



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Душан Јовановић

**МОДЕЛ ОБЈЕКТНО ОРИЈЕНТИСАНЕ
КЛАСИФИКАЦИЈЕ У
ИДЕНТИФИКАЦИЈИ
ГЕОПРОСТОРНИХ ОБЈЕКТА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2015

Редни број, РБР:		
Идентификациони број, ИБР:		
Тип документације, ТД:	Монографска документација	
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал	
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација	
Аутор, АУ:	Душан Јовановић	
Ментор, МН:	др Миро Говедарица	
Наслов рада, НР:	Модел објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката	
Језик публикације, ЈП:	српски	
Језик извода, ЈИ:	српски/енглески	
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија	
Уже географско подручје, УГП:	Војводина	
Година, ГО:	2015.	
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт	
Место и адреса, МА:	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6	
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	6/194/98/9/119/0/14	
Научна област, НО:	Електротехника и рачунарство	
Научна дисциплина, НД:	Геоинформатика	
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	класификација сателитских снимака, модел класификације, објектно оријентисана класификација, геопросторни објекти	
УДК		
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду	
Важна напомена, ВН:		
Извод, ИЗ:	У оквиру докторске дисертације извршен је преглед стања постојећих начина идентификације геопросторних објеката на основу података насталих на принципима даљинске детекције. Извршена је анализа постојећих проблема и корака које је неопходно провести како би се добили што бољи резултати идентификације геопросторних објеката. Анализирани су поступци мапирања, начини сегментације слике, критеријуми за идентификацију, селекцију и класификацију геопросторних објеката као и методе класификације. На основу анализе креиран је модел идентификовања геопросторних објеката базираних на објектно оријентисаној анализи слике. На основу предложеног модела извршена је верификација модела у поступку идентификовања зграда, пољопривредних површина, шумских површина и водених површина које представљају студије случаја.	
Датум прихватања теме, ДП:		
Датум одбране, ДО:		
Чланови комисије, КО:	Председник: др Душан Петровачки, професор емеритус	
	Члан: др Драган Стојановић, ванредни професор	
	Члан: др Александар Ристић, ванредни професор	Потпис ментора
	Члан: др Зора Коњовић, редовни професор	
	Члан, ментор: др Миро Говедарица, редовни професор	

Accession number, ANO :												
Identification number, INO :												
Document type, DT :	Monograph documentation											
Type of record, TR :	Textual printed material											
Contents code, CC :	Ph. D. Thesis											
Author, AU :	Dušan Jovanović											
Mentor, MN :	dr Miro Govedarica											
Title, TI :	Object-oriented classification model for identification of geospatial objects											
Language of text, LT :	Serbian											
Language of abstract, LA :	Serbian/English											
Country of publication, CP :	Republic of Serbia											
Locality of publication, LP :	Vojvodina											
Publication year, PY :	2015.											
Publisher, PB :	Author's reprint											
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6											
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	6/194/98/9/119/0/14											
Scientific field, SF :	Electrical engineering and computer engineering											
Scientific discipline, SD :	Geoinformatics											
Subject/Key words, S/KW :	Classification of satellite images, classification model, object-oriented classification, geospatial objects											
UC												
Holding data, HD :	Library of Technical science faculty, Novi Sad											
Note, N :												
Abstract, AB :	This PhD thesis includes an overview of the existing methods of identifying geospatial objects from a remote sensing data, basically satellite or airplane images. The analysis of existing problems and necessary steps in identification of remotely sensed data is obtained in way to get the best results of identification of geospatial objects. The mapping procedures, methods of image segmentation, the criteria for identification, selection and classification of geospatial objects and methods of classification are also analyzed. The result of analysis is a model of identifying geospatial objects based on object-oriented image analysis. Based on the proposed model, verification of the model was carried out. Afterwards case study of the proposed model is carried out in process of identifying buildings, farmland, forest and water areas.											
Accepted by the Scientific Board on, ASB :												
Defended on, DE :												
Defended Board, DB :	<table border="1"> <tr> <td>President:</td> <td>dr Dušan Petrovački, professor emeritus</td> <td rowspan="5" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Menthor's sign</td> </tr> <tr> <td>Member:</td> <td>dr Dragan Stojanović, Associate professor</td> </tr> <tr> <td>Member:</td> <td>dr Aleksandar Ristić, Associate professor</td> </tr> <tr> <td>Member:</td> <td>Dr Zora Konjović, Full professor</td> </tr> <tr> <td>Member, Mentor:</td> <td>dr Miro Govedarica, Full professor</td> </tr> </table>	President:	dr Dušan Petrovački, professor emeritus	Menthor's sign	Member:	dr Dragan Stojanović, Associate professor	Member:	dr Aleksandar Ristić, Associate professor	Member:	Dr Zora Konjović, Full professor	Member, Mentor:	dr Miro Govedarica, Full professor
President:	dr Dušan Petrovački, professor emeritus	Menthor's sign										
Member:	dr Dragan Stojanović, Associate professor											
Member:	dr Aleksandar Ristić, Associate professor											
Member:	Dr Zora Konjović, Full professor											
Member, Mentor:	dr Miro Govedarica, Full professor											

Садржај

Апстракт.....	1
Abstract	1
Списак коришћених скраћеница.....	2
Увод.....	3
Предмет и оквир истраживања	3
Циљ истраживања	5
Очекивани резултати	6
Научни допринос истраживања.....	7
Преглед садржаја дисертације	7
1 Основни принципи даљинске детекције.....	9
1.1 Увод	9
1.2 Даљинска детекција.....	9
1.2.1 Историјат даљинске детекције.....	10
1.2.2 Основни елементи даљинске детекције	11
1.3 Сензори за даљинску детекцију	14
1.3.1 Електромагнетни спектар података.....	15
1.4 Рачунарска обрада слике.....	18
1.4.1 Пре-процесирање снимка	19
1.4.2 Процесирање снимка	21
1.4.3 Пост-процесирање снимка	21
2 Стање у области истраживања.....	23
2.1 Увод	23
2.2 Класификовање геопросторних објеката на основу сателитских снимка ниске и средње просторне резолуције.....	26
2.3 Класификовање геопросторних објеката на основу сателитских снимка високе или веома високе просторне резолуције	31
2.4 Разматрања	38
3 Разматрања о моделу класификације	40
3.1 Увод	40

3.2	Пиксел базирана класификација	42
3.3	Објектно оријентисана анализа слике - <i>OBIA</i>	45
3.3.1	Перцепција и интерпретација слике	46
3.3.1.1	Визуелна перцепција	46
3.3.1.2	Контекст слике	47
3.3.1.3	Искуство аналитичара	48
3.3.2	Анализа пиксел и објектне класификације	49
3.3.3	Објекти слике	52
3.3.4	Хијерархија објеката	54
3.3.5	Представљање знања - разумевање слике	57
3.3.6	Сегментација слике	61
3.3.6.1	Мултирезолуциона сегментација	64
3.3.6.2	Сегментација базирана на вредностима и локацији пиксела	68
3.3.6.3	Ламбда сегментација	70
3.3.6.4	Сегментација шаховске табле - Chessboard Segmentation	72
3.3.6.5	Quadtree сегментација	72
3.3.6.6	Сегментација базирана на подели контраста	73
3.3.6.7	Сегментација спектралних разлика	74
3.3.6.8	Сегментација базирана на више прагова	75
3.3.6.9	Сегментација базирана на основу филтрирања контраста	76
3.4	Објектно базирана класификација	78
3.4.1	Особине и правила класификације	79
3.4.2	Фази класификација	83
3.4.3	Хијерархија класа и међусобни односи	84
3.5	Разматрања	86
4	Формирање модела класификације	87
4.1	Увод	87
4.2	Основни модел	87
4.3	Приступ у поступку мапирања	91
4.4	Критеријуми за класификацију геопросторних објеката	94
4.5	Идентификација и селекција геопросторних објеката од интереса	98

4.6	Класификација употребљених метода и имплементиране методе сегментације.....	102
4.7	Модел објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката.....	104
4.8	Оцена тачности	107
4.9	Разматрања	110
5	Резултати истраживања и верификација.....	111
5.1	Увод	111
5.2	Верификација модела у поступку класификације зграда	112
5.2.1	Студија случаја Суботица	113
5.2.2	Студија случаја Суботица – мале зграде.....	116
5.2.2.1	Креирање филтрирање и селекција геопросторних објеката од интереса – објекти слике на основу DSM-а	116
5.2.2.2	Сегментације DSM-а.....	118
5.2.2.3	Класификација.....	119
5.2.2.4	Реваулација класификованих објеката.....	123
5.2.2.5	Оцена тачности.....	129
5.2.3	Студија случаја Суботица – велике зграде	131
5.2.3.1	Оцена тачности.....	132
5.2.4	Студија случаја Београд	132
5.2.4.1	Оцена тачности.....	135
5.3	Верификација модела у поступку класификације различитих типова вегетације	136
5.3.1	Студија случаја пољопривредно добро "Сава Ковачевић"	138
5.3.2	Студија случаја Национални парк Фрушка Гора	143
5.3.2.1	Оцена тачности.....	148
5.3.3	Студија случаја идентификација водених површина	149
5.3.3.1	Оцена тачности.....	152
5.3.4	Дистрибуција геоинформација	152
5.3.4.1	Модел за атмосферску корекцију сателитских снимака.....	154
5.3.4.2	Модел за детекцију водених површина употребом NDWI.....	155
5.3.4.3	Модел за Ламбда сегментацију	156
5.4	Разматрања	156

6	Закључак.....	158
	Литература	160
	Прилози	169
	Оцена тачности Суботица – мале зграде	169
	Оцена тачности Суботица – велике зграде	170
	Оцена тачности Славија.....	170
	Оцена тачности део Славије.....	171
	Оцена тачности Лука Београд.....	172
	Оцена тачности Национални парк Фрушка гора.....	173
	Оцена тачности водене површине WV2 снимак	174
	Оцена тачности водене површине Landsat 8 снимак.....	174
	Опис процеса модела за уклањање облака са Landsat 8 снимака.....	176
	Опис процеса модела за рачунање ТОА над Landsat 8 снимцима	178
	Опис процеса модела за детекцију водених површина над Landsat 8 снимцима	180
	Опис процеса модела Ламбда сегментације над RapidEye снимцима	182
	Пољопривредна карта структуре сетве за 2013. годину.....	187
	Структура сетве по врстама гајених биљака за 2013. годину	188
	Додаци	190
	Списак слика.....	190
	Списак табела	194

ЗАХВАЛНИЦА

Захваљујем се свом ментору, професору др Миру Говедарици, на великој количини знања које ми је пренео током докторских студија и на саветима које сам од њега добио у процесу израде докторске дисертације. Велику захвалност дугујем својој менторки проф. др Зори Коњовић, која ме је од студентских дана пријатељски подржавала у свим активностима. Посебно се захваљујем професору емеритусу др Душану Петровачком на указаном поверењу свих ових година. Захваљујем се и ванредном професору др Ристић Александру на помоћи у току израде ове дисертације. Хвала и свим колегама са катедре.

Захваљујем се својим пријатељима и породици, који су ме свесрдно подржавали и били уз мене. Посебно се захваљујем својим родитељима и сестрама, који су ме подстицали и гурали кроз живот и пружали несебичну подршку и безграничну љубав. На крају се захваљујем и мојим точковима, онима који ме највише инспиришу и покрећу – супрузи Наталији, ћерки Емилији и синовима Алекси и Предрагу.

Апстракт

У оквиру докторске дисертације извршен је преглед стања постојећих начина идентификације геопросторних објеката на основу података насталих на принципима даљинске детекције, пре свега сателитских и авио-снимака. Извршена је анализа постојећих проблема и корака које је неопходно провести како би се добили што бољи резултати идентификације геопросторних објеката. Такође су анализирани поступци мапирања, начини сегментације слике, критеријуми за идентификацију, селекцију и класификацију геопросторних објеката као и методе класификације. На основу анализе креиран је модел идентификовања геопросторних објеката базираних на објектно оријентисаној анализи слике. На основу предложеног модела извршена је верификација модела у поступку идентификовања зграда, пољопривредних површина, шумских површина и водених површина које представљају студије случаја.

Кључне речи: класификација сателитских снимака, модел класификације, објектно оријентисана класификација, геопросторни објекти

Abstract

This PhD thesis includes an overview of the existing methods of identifying geospatial objects from a remote sensing data, basically satellite or airplane images. The analysis of existing problems and necessary steps in identification of remotely sensed data is obtained in way to get the best results of identification of geospatial objects. The mapping procedures, methods of image segmentation, the criteria for identification, selection and classification of geospatial objects and methods of classification are also analyzed. The result of analysis is a model of identifying geospatial objects based on object-oriented image analysis. Based on the proposed model, verification of the model was carried out. Afterwards case study of the proposed model is carried out in process of identifying buildings, farmland, forest and water areas.

Keywords: Classification of satellite images, classification model, object-oriented classification, geospatial objects

Списак коришћених скраћеница

LIDAR	Light Detection And Ranging
CORINE	COoRdination of INformation on the Environment
OBIA	Object Base Image Analysis)
GEOBIA	Geospatial Object Based Image Analysis)
ГИС	Географски информациони системи
WPS	Web Processing Service
ОГЦ	OGC - Open Geospatial Consortium
TIROS I	Television Infrared Observation Satellite
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ERTS	Earth Resource Technology Satellite
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIR	near infrared
MIR	mid infrared
ETM	Enhanced Thematic Mapper
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer
MLC	maximum likelihood classifiers
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
DT	decision trees
RF	random forests
SVM	support vector machines
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
DEM	Digital elevation model
DSM	Digital surface model
DTM	Digital terrain model
WorldView-2	WV-2
PCA	Principal Component Analysis
BPMN	Business Process Model Notation
RGB	red green blue
DN	Digital Number
NDWI	Normalized Difference Water Index

Увод

Предмет и оквир истраживања

Класификација геопросторних података, у ширем смислу, разматра начине класификације геопросторних података мануелним, полу-аутоматским и аутоматским поступком. Класификација геопросторних података насталих на принципима даљинске детекције, данас се пре свега односе на класификацију мултиспектралних и хиперспектралних снимака и *LIDAR* (*LIDAR – Light Detection And Ranging*) података. Методе и алгоритми који се користе у овим поступцима представљају само један аспект сложене и обимне области класификације података и објеката у простору употребом рачунарских система, али су и један од њених најважнијих делова.

Ако се посматра класификација геопросторних података у последњих тридесетак година, већи део класификованих података настао је као резултат класификације мултиспектралних снимака са различитих сателитских и авионских платформи односно сензора. Методе класификације мултиспектралних снимака су се пре свега базирале на класификацији са обуком (*supervised*) и класификацији без обуке (*unsupervised*), такозване методе анализе и класификације слике базиране на вредностима пиксела. Ове методе прате процедуру „обуке“, која статистичким параметрима описује сваку од специфицираних класа. Затим се сваки пиксел анализира на основу својих спектралних карактеристика, и последњи корак је класификовање припадности пиксела некој од класа уколико задовољава специфициране статистичке параметре.

Резултати ових традиционалних метода класификације су се у већини случајева показале као одговарајуће у случају коришћења сателитских снимака ниске и средње просторне резолуције као што су *Landsat*, *SPOT*, *ASTER* и *MODIS*. Са друге стране, употребом новијих генерација снимака, који се карактеришу веома високом спектралном и просторном резолуцијом, тешко је постићи задовољавајуће резултате. Добра илустрација овог проблема је програм *CORINE* (*COoRdination of INformation on the Environment*)[1] Европске уније, где је база података коришћења земљишта и земљишног покривача креирана на основу *Landsat TM* снимака скоро у потпуности ручно, пошто методе аутоматске класификације нису пружале задовољавајуће резултате.

Повећањем броја платформи чија је просторна резолуција из такозване "1 метар-генерације" сателита, појављују се и нова подручја примене. *IKONOS* (1999), *QuickBird* (2001), *OrbView* (2003), *WorldView1* (2007), *WorldView2* (2009) и *WorldView3* (2014) сателитске платформе су довеле до масовног повећања сврсисходних апликација у области урбанизма, саобраћаја, пољопривреде, сигурности, животне средине, како по броју тако и по својој сложености. Уопштено гледано, последњих десетак година могу се увидети два

тренда: (а) повећање количине произведених података у спектру који никад није био шири – било да је реч о просторној, спектралној, радиометријској или времесној резолуцији и (б) повећање планираних или насумичних захтева за систематска или несистематска истраживања површине Земље.

Развој нових апликација и техника класификација је тренутно веома важно истраживачко подручје и веома велик проблем. Развојем сателитских платформи и беспилотних летелица, као и нових сензора у даљинској детекцији, појављује се потреба за креирањем метода обраде таквих податка и модела који формално описују начине обраде прикупљених податка са сателитских платформи, као и потреба за аутоматизованим начином испоруке ових података одговарајућем географском информационом систему или дефинисаним корисницима.

Управо због тога ово научно истраживање бави се развојем модела идентификовања геопросторних објеката базирано на објектно оријентисаној анализи слике *OBIA* (*OBIA* — *object base image analysis*), као методе класификације или идентификације геопросторних објеката. За *OBIA* се не може рећи да је новост у погледу анализе слика насталих методама даљинске детекције јер се заснива на сегментацији слике, детекцији ивица и екстракцији и класификацији особина, што се као концепт користи већ десетак година. Критичан сегмент је веза између просторног концепта у анализи Земље и њене површине, Географских информационих система (*ГИС*), Географско информационе науке (*ГИScience*) и синергије између објеката слике и њихових радиометриских карактеристика, као и постојање једног уопштеног модела који на јасан начин прави везу између улазних података, њиховог избора, и метода и начина обраде података, са једне стране, и класификовања геопросторних објеката са друге стране.

OBIA као метода класификације не посматра појединачне пикселе као основу за класификовање, него се бави анализом групе пиксела – објеката и на тај начин врши класификацију слике. Објекти настају у процесу сегментације када се слика дели у групе пиксела који имају сличне локалне карактеристике. Основни параметар у креирању ових објеката код већине доступних алгоритама је фактор скалирања. Такође, објекти се анализирају не само на основу њихових спектралних карактеристика, него и на основу њиховог облика, текстуре и њиховог односа са суседним елементима, односно суседним објектима. Избором правилног фактора скалирања, могуће је креирање објеката који су блиски објектима визуелне интерпретације сателитских снимака. Овакав начин класификације омогућује класификовање објеката коришћењем информација за сваки објекат појединачно као и за њихов међусобан однос. Објектно оријентисана класификација, на начин на који је описана, има пре свега за циљ аутоматизацију процеса екстракције објеката из снимака насталих на принципима даљинске детекције.

Предмет овог научног истраживања односи се на начине формирања модела који ће уважавати процес класификовања објеката на начин који је најсличнији људском

визуелном начину интерпретације слике. Уобичајени начини екстракције и класификовање геопросторних објеката као највећи проблем имају екстракцију геопросторних објеката која би крајњем кориснику могла да пружи информацију о којој врсти објеката је реч – да ли су то грађевински објекти, пољопривредне парцеле, крошње дрвећа, зелена површина, водена површина или слично. Предмет научног истраживања у оквиру докторске дисертације су управо проблеми и задаци током успостављања оваквог једног модела, који ће на ефикасан начин омогућити класификовања геопросторних објеката на основу објектно оријентисаних метода класификације. Креиран модел уважава све особине интерпретације објеката са слике које користи човек, пре свега боју (тон), текстуру, величину, облик, сенку, место објекта или шаблон објекта. Такође, поред ових, модел уважава и мерљиве особине објеката, као што су описи идентификованих објеката линијама или полигонима, мерљивост односа расподеле објеката унутар неких карактеристичних класа објеката или просторна повезаност идентификованих објеката.

На крају, ово научно истраживање се бави и начином дистрибуције модела за идентификацију геопросторних објеката, употребом формалних спецификација и сервиса који могу на правилан начин да опишу сам поступак идентификовања објеката кроз процесе, пре свега употребом веб процесинг сервиса (*WPS – Web Processing Service*) и *OGC (OGC – Open Geospatial Consortium)* стандарда који обезбеђују правила за стандардизацију улазних и излазних података у геопросторним процесима. Формална спецификација *WPS-a* такође дефинише начине захтева за извршење процеса и руковање резултатима процеса.

Циљ овог научног истраживања је било успостављање модела у идентификацији геопросторних објеката применом објектно оријентисане класификације, уважавајући топологију идентификованих геопросторних објеката, геометрију геопросторних објеката и карактеристике и атрибуте којима се такви идентификовани геопросторни објекти одликују, као и дефинисање начина дистрибуције таквог једног модела употребом формалних спецификација и *OGC* стандарда.

Циљ истраживања

Употреби даљинске детекције и класификације сателитских снимака и других типова геопросторних података у *ГИС-у* и методама објектно оријентисане анализе слике посвећена је велика пажња у досадашњим истраживањима ако се као критеријум усвоји број објављених резултата. Ако се као критеријум усвоји број објављених резултата, велика пажња у досадашњим истраживањима посвећена је употреби даљинске детекције и класификације сателитских снимака и других типова геопросторних података у *ГИС-у* и методама објектно оријентисане анализе слике. Са друге стране, постојећи резултати у овој области и проблем дефинисања начина и метода класификације геопросторних објеката као и метода и аутоматизованих процеса објектно оријентисане анализе слике, који обухватају ову материју, разматрају се само делимично, те је потребно

специфицирати свеобухватнији систем применљив на различите типове сателитских снимака као и других типова геопросторних података насталих на принципима даљинске детекције.

Основни циљ предложене докторске дисертације је дефинисање формалне спецификације модела идентификације геопросторних података на основу објектно оријентисане класификације у складу са актуелним стандардима класификације геопросторних података добијених применом принципа даљинске детекције и у складу са стандардним методама објектно оријентисане анализе слике геопросторних података. Предложен модел треба да је, такође, применљив над различитим врстама геопросторних података добијених применом принципа даљинске детекције, као и да је конфигурабилан, чиме се омогућава прилагођавање конкретне имплементације потребама корисника.

Очекивани резултати

У поступку идентификације геопросторних објеката, сви објекти имају заједничке карактеристике као што су геометрија, међусобни тополошки односи и атрибути, који их својим вредностима раздвајају и који дефинишу којој врсти геопросторних објеката и припадају. Управо атрибути који описују геопросторне објекте дефинишу и начине примене овог истраживања.

Примена очекиваних резултата, дакле, зависи пре свега од идентификованих геопросторних објеката. Уколико се ради о идентификацији парцела као геопросторних објеката, њена примена је могућа пре свега у области пољопривреде и урбанизма. Уколико се ради о идентификацији зграда као геопросторних објеката, очекивана примена је у урбанизму у најширем могућем смислу. Уколико се ради о идентификацији крошњи дрвећа онда је очекивана примена у шумарству или урбанизму и уређењу градских површина. Уколико се ради о идентификацији путева као геопросторних објеката, онда је очекивана примена у транспортној инфраструктури, или се, ако је реч о идентификацији водених површина као геопросторних објеката, она може очекивати у хидрографији, пољопривреди или урбанизму.

Од докторске дисертације очекују се следећи резултати:

- формална спецификација модела идентификације геопросторних објеката применом стандардних метода и метода објектно оријентисане анализе слике,
- спецификација алгоритама за идентификацију геопросторних објеката на основу стандардних метода и метода објектно оријентисане анализе слике,
- имплементација прототипа геопросторног процеса у идентификацији геопросторних објеката, и
- верификација предложеног модела на репрезентативном примеру реалног система.

Научни допринос истраживања

Предложена тема докторске дисертације припада области геоинформационих наука, геоинформатике и методама класификације геопросторних података добијених принципима даљинске детекције. Научни допринос истраживања се пре свега огледа у формалној спецификацији модела која дефинише начине и методе класификације геопросторних обејката као и метода и аутоматизованих процеса објектно оријентисане анализе слике, применљивих на различите типове сателитских и авио-снимака, као и других типова геопросторних података насталих на принципима даљинске детекције. Научни допринос ове докторске дисертације се огледа у формирању модела који ће уважавати процес класификовања обејката на начин који је најсличнији људском визуелном начину интерпретације слике. Допринос ове докторске дисертације је пре свега спецификација модела идентификације геопросторних података над мултиспектралним сателитским и авио-снимцима и спецификација модела примене објектно оријентисане анализе слике при идентификацији геопросторних објекта.

Преглед садржаја дисертације

Текст докторске дисертације састоји се из пет делова. У уводном делу дисертације дат је осврт на основне принципе даљинске детекције, њен историјат, основне елементе и развој. Друго поглавље представља приказ досадашњих истраживања и резултата који се односе на област класификације геопросторних објекта. Ова анализа је подељена на два дела – први, који се односи на класификацију снимака ниске и средње просторне резолуције, и други, који се односи на класификацију снимак високе или веома високе просторне резолуције. Приказани су и анализирани релевантни постојећи алгоритми, методе и модели класификација мултиспектралних снимака. Посебно је дата анализа постојећих начина објектно оријентисане анализе слике у идентификацији геопросторних објекта. На крају другог поглавља разматра се преглед података који се користе у радовима из ове области истраживања.

Трећи и четврти део чине централни део рада. У трећем делу дата су разматрања о моделу класификације који представља основу за израду модела. У овом поглављу извршена је анализа начина обраде и процесирања (класификације) снимака насталих на принципима даљинске детекције. На почетку поглавља дат је кратак осврт на стандардне начине класификовања и преглед напредних техника пиксел базиране класификације. Ово поглавље фокусира се на поступак објектно оријентисане анализе слике, објашњени су начини перцепције и интерпретације слике, концепт хијерархије објекта и разумевања слике и поступак сегментације слике, као и опис доступних алгоритама за сегментацију слике. На крају поглавља дата су правила и особине објектно базиране класификације слике.

Четврти део представља најбитнији део рада. Он садржи формалну спецификацију која обухвата:

- основни модел класификације снимака даљинске детекције,
- приступ у поступку мапирања,
- модел класификације особина геопросторних објеката,
- модел идентификације и селекције геопросторних објеката,
- модел сегментације и класификације слике и
- модел објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката.

На крају четвртог поглавља дате су смернице у погледу оцене тачности класификације снимака даљинске детекције.

Пето поглавље представља верификацију приказаних модела на конкретним задацима идентификације геопросторних објеката. Верификација је извршена путем имплементације модела објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката, прилагођене конкретној примени, што обухвата следеће активности:

- дефинисан је модел система класификовања геопросторних објеката за зграде, вегетацију и водене површине,
- извршена је класификација поменутих геопросторних објеката над различитим подацима даљинске детекције,
- извршена је дистрибуција појединих геопросторних процеса који су саставни део модела употребом формалних спецификација и *OGC* стандарда.

Последњи део представља закључна разматрања, анализу резултата и доприноса докторске дисертације, као и анализу праваца даљих истраживања.

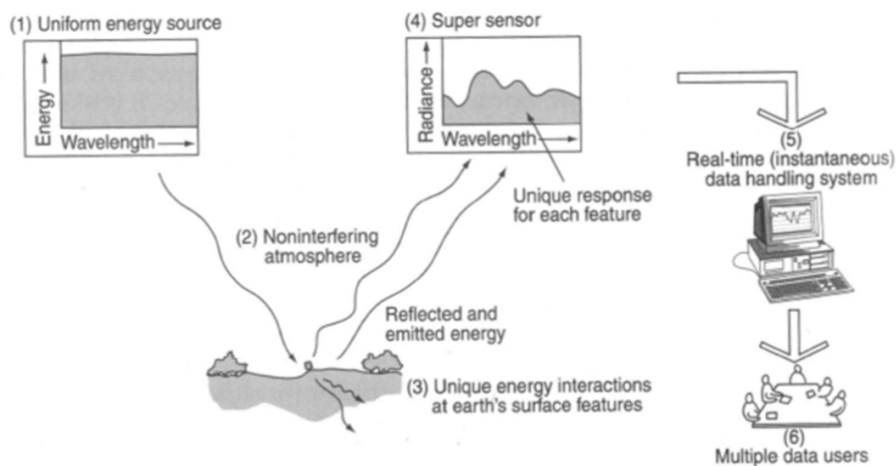
1 Основни принципи даљинске детекције

1.1 Увод

У оквиру овог поглавља дати су основни принципи даљинске детекције. На почетку поглавља се дискутује о идеалном систему даљинске детекције. Након кратког осврта на историјат даљинске детекције, детаљно се расправља о елементима система даљинске детекције. У наставку поглавља описани су сензори даљинске детекције и електромагнетни спектар података из угла даљинске детекције. На крају поглавља дате су напомене у поступку обраде снимака добијених принципима даљинске детекције.

1.2 Даљинска детекција

Даљинска детекција (теледетекција, даљинско истраживање) је метода прикупљања информација о неком објекту или феномену у већем или мањем опсегу помоћу уређаја за снимање или истраживање у реалном времену који је бежичан или није у физичком или блиском контакту с објектом (тј. помоћу терестричних уређаја, авиона, хеликоптера, свемирске летелице, сателита или брода). У пракси се даљинска детекција спроводи помоћу различитих на даљину постављених уређаја за прикупљање информација о неком објекту или подручју.



Слика 1 Идеалан систем даљинске детекције (у пракси не постоји) [2]

У складу са дефиницијом даљинске детекције, она се може описати као наука и као технологија употребе сензора електромагнетских зрачења за регистровање слика или других врста података о објекту од интереса, чијом се интерпретацијом могу добити корисне информације о објекту.

На слици (Слика 1) је приказан идеалан систем даљинске детекције, који у пракси не постоји, а који каже да постоје 6 основних елемената система: извор енергије (1), који се простире без интерференције (2) до објекта од интереса (3) где постоји јединствена форма интеракције са површином Земље. Рефлектована и емитована енергија се бележе на сензору (4), након чега се подаци обрађују (5) и интерпретирају корисницима (6) [2].

Поређењем ове методе са фотограметријском методом (која је наука и технологија добијања поузданих просторних података о физичким објектима човековог окружења кроз процес бележења, мерења и интерпретације фотографија и слика добијених емитованом енергијом, а помоћу сензорских система) видимо да даљинска детекција и фотограметрија имају заједничке темеље у пољима која садрже информације о самим објектима, користе неке сличне или једнаке сензоре, али се разликују по намени па стога и по начину снимања и начину интерпретације.

Циљ даљинске детекције је брзо и економично добијање прецизних информација о релативно великим подручјима. Системским понављањем снимања могуће је пратити и регистровати дневне, сезонске и годишње промене неке појаве. Објекти даљинске детекције су сви елементи Земљине површине и атмосфере у видном пољу сензора.

Даљинска детекција омогућује прикупљање података на опасним или неприступачним подручјима. Примене даљинске детекције укључују надзор нестанка шума у подручјима попут Амазона, учинак климатских промена на ледне арктичке и антарктичке регије, те дубинско сондирање обалних и океанских дубина [3]. Прикупљање војних података током Хладног рата омогућило је коришћење прецизне збирке података о опасним граничним подручјима. Даљинска детекција, такође, замењује скупо и споро прикупљање података на земљи, а да тим процесом не утиче на природу и постојање посматраних објеката или подручја.

Орбиталне платформе прикупљају и одашиљу податке из различитих делова електромагнетског спектра што у споју са опсежним ваздушним и земаљским истраживањима и анализама даје истраживачима довољно информација за праћење појава као што су Ел Нињо или неки други природни дуготрајни или краткотрајни феномени. Остале употребе укључују различита подручја геонауке као што је управљање природним ресурсима, затим примена у пољопривреди, у праћењу стања и очувања површине земље, при урбанистичком планирању, или на пример прављење 3Д модела терена и слично.

1.2.1 Историјат даљинске детекције

Све је почело далеке 1957. године лансирањем Спутњика I, првог Земљиног вештачког сателита. Рани сателити су били опремљени инструментима (сензорима) за мерења свемира у близини Земље. Настајањем и применом софистициранијих инструмената преко сателита почињу посматрања спољашњег свемира. Свемирско посматрање почиње лансирањем сателита *TIROS I* (Television Infrared Observation Satellite) [4]. *TIROS* – серија

сателита је предходник данашњих NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) временских сателита који круже у поларним орбитама. Први сателит за осматрање Земље био је ERTS (Earth Resource Technology Satellite) који је лансирала NASA (National Aeronautics and Space Administration) 1972. године. Овај сателит је касније назван Landsat I и био је први из серије Landsat сателита пројектованих за осматрање Земљине површине [5]. Од тада сателитске камере и сензори системски снимају и картирају (мапирају) Земљу, тј. њену атмосферу (ваздух), хидросферу (вода), криосферу (лед) и биосферу (живе организме) помоћу технологије даљинске детекције.

Научно-техничке и технолошке иновације, те праћење и анализа сателитских снимака у последњих тридесет година из темеља су промениле наше гледање на Земљу. Годинама је та технологија била везана само за војску и националну сигурност или за развојне програме у високо научним или комерцијалним институцијама САД-а. Међутим, ширење сателитске технологије и на друге земље, те нагли развој компјутерске технологије, омогућили су у целом свету коришћење ове технологије.

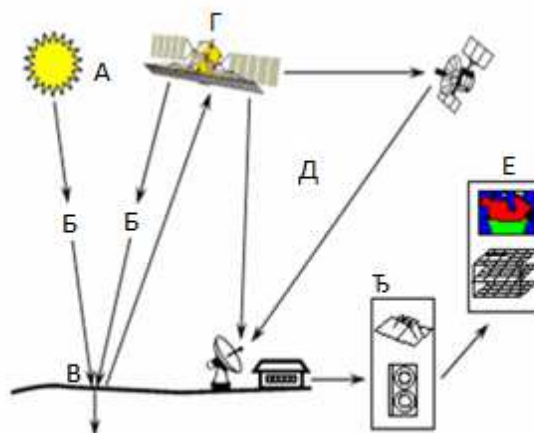


Слика 2 Blue marbell [6]

Све се чешће сусрећемо са сликама добијеним помоћу разних техника даљинске детекције, а неке од њих изгледају као праве фотографије док друге наликују апстрактним сликама. Један од најпознатијих снимака Земље начињених из свемира је тзв. „Плави мрамор“ (Blue marbell Слика 2) снимљен из свемирског брода Аполо 17 на путу за Месец у децембру 1972. године. Међутим, већина слика добијених помоћу даљинске детекције нису фотографије него дигиталне слике начињене компјутером.

1.2.2 Основни елементи даљинске детекције

Даљинска детекција је доказ народне изреке: слика вреди више од хиљаду речи. Ми доживљавамо наше окружење преко наших пет чула. Нека чула (нпр. чуло додира и чуло укуса) захтевају додир чулних органа са објектом. Са друге стране, ту су и чула (нпр. чуло вида и чуло слуха), која не захтевају блиски контакт са објектима. Другачије речено, ми спроводимо даљинску детекцију сво време, тј. људски визуелни систем је добар пример система даљинске детекције у општем облику.



Слика 3 Основни елементи даљинске детекције

Уопштено говорећи даљинска детекција се односи на активности снимања, посматрања, и сагледавања објеката са одстојања. Код даљинске детекције сензори нису у директном контакту са посматраним објектима. Електромагнетно зрачење се употребљава као носилац информација у даљинској детекцији. Као излазни податак добијамо слику посматраног објекта. Следећи корак је обрада (анализа и интерпретација) слике, а у циљу добијања корисних информација са слике. За разлику од идеалног система даљинске детекције, реалан систем се састоји од седам основних елемената који учествују у поступку даљинске детекције и то су (Слика 3):

- Извор енергије (А) – основна компонента за даљинску детекцију – постојање извора енергије који осветљава и/или ствара електромагнетну енергију за посматрани објект.
- Простирање и атмосфера (Б) – енергија путује кроз атмосферу, доћи ће до интеракције са атмосфером приликом проласка кроз њу. Ова интеракција ће се појавити и други пут, приликом повратка енергије ка сензору.
- Интеракција са објектом (В) – када енергија нађе пут до објекта кроз атмосферу, долази до интеракције енергије и објекта, која зависи од особина самог објекта, стања објекта у којем се налази и енергије.
- Снимање енергије (Г) – након што се енергија рефлектовала или емитивала од/из објекта, одговарајући сензор (даљински – који није у контакту са објектом) прикупља и снима електромагнетну енергију (рефлектовану или емитовану).
- Пренос и процесирање (Д) – енергија коју је снимео сензор се шаље, често у електромагнетном облику, у станицу за процесирање, где снимљена електромагнетна енергија добија облик слике.
- Интерпретација и анализа (Ђ) – представљају визуелни и/или дигитални начин екстракције информација о посматраном објекту.

- Апликације (Е) – завршни елемент даљинске детекције представљају разне апликације које омогућавају боље разумевање проучаваног објекта и брже и ефикасније решавање одређених практичних проблема.

Карактеристике реалног система даљинске детекције се најбоље могу описати кроз основне карактеристике или кроз основне недостатке и начине примене.

Недостаци реалног система:

- Извор енергије најчешће није непроменљив па је потребно вршити калибрацију карактеристика извора зрачења или радити с релативним јединицама зрачења.
- Атмосфера прави проблеме па је потребна калибрација.
- Различити материјали могу спектрално изгледати исто због вишезначности спектралног „света”.
- Идеални суперсензор не постоји, нема сензора који је осјетљив на све таласне дужине.
- Капацитет података које генеришу сензори надмашују могућности система за обраду података.
- Корисници морају коначно и користити податке добијене даљинском детекцијом, али тако да се подаци претварају у информације тј. да неко зна како се ти подаци интерпретирају и користе.

Уколико се савладају недостаци, успешна примена реалног система даљинске детекције се може огледати у:

- испитивању и процени обновљивих ресурса,
- опажању стања и промене Земљиног покривача,
- надгледању и контроли загађености водних ресурса,
- контроли и мониторингу интеракције између копна и мора у приобаљу и процени стања загађености,
- опажању стања вегетације и шума у критичном стању,
- процени климатских фактора на регионалном и локалном нивоу и процени и надгледању феномена деградације околине,
- активностима повезаним с геолошким и геоботаничким проблемима (процена минералних и енергетских сировина, тзв. необновљивих ресурса),
- проучавању природних катастрофа (разарања) као што су потреси, вулканске ерупције, шумски пожари, поплаве и др.,
- разним антропогеним девастирањима (инциденти на инсталацијама, загађење воде и сл.) и на крају
- у различитим идентификацијама геопросторних објеката.

Даљинску детекцију можда боље можемо објаснити кроз одређени објекат посматрања. Објекат посматрања у геодезији и геоматици је површина Земље, објекти на њеној површини и објекти испод површине Земље. Сваки објекат зрачи електромагнетну енергију, која може бити сопствена или рефлектована. Сопствена енергија је она коју сам објект поседује и зрачи је, док рефлектована енергија представља енергију другог извора емитовану ка објекту, било из природног или вештачког извора. Електромагнетна енергија садржи информације о својствима објекта који је зрачи. Електромагнетну енергију региструје уређај односно сензор који се налази на некој платформи. Платформа или носач сензора треба да омогући сензору систематску регистрацију електромагнетне енергије на већој површини терена, при чему је платформа по правилу покретна.

Регистровану електромагнетну енергију сензор даје у виду записа. Запис енергије назива се снимак. Снимак се проучава и на њему се издвајају подручја различитих својстава. Уочавање разлике у својствима и издвајање појединих подручја према тим разликама представља анализу снимка. Утврђене разлике у својствима се објашњавају, тј. даје им се значење са аспекта дисциплине у чије се сврхе метода и примјењује. Тумачење разлика у својствима и одређивање њиховог значења назива се интерпретација. Она представља најзначајнији елемент у процесу даљинске детекције. Резултат интерпретације и коначни производ примене методе даљинске детекције је податак (информација).

1.3 Сензори за даљинску детекцију

Сензор је уређај за откривање, регистрацију и мерење зрачења електромагнетске енергије. Постоје многобројни типови различитих сензора који се међусобно разликују: људско око, фото-камера, ТВ и видео-камера, скенери, радари и други. Сензори се конструишу тако да региструју шире или уже спектрално подручје, односно зраке виших таласних дужина у целини, појединачне спектралне линије, тј. зраке једне таласне дужине, или одједном више раздвојених спектралних линија које обухватају једно спектрално подручје.

Постоји више подела сензора, у наставку је дата њихова подела[7]:

- i. Подела према пореклу регистроване енергије (основна подела):
 - Пасивни сензори – детектују природну радијацију коју емитују или рефлектују објекти или околно подручје. Рефлектовано сунчево светло је најчешћи извор радијације коју мере пасивни сензори. Примери пасивних даљинских сензора укључују филмску фотографију, дигиталне фото-апарате без блица,....
 - Активни сензори – емитују енергију ради скенирања објеката и подручја, а затим сензор детектује и мери радијацију коју је циљ рефлектовао или распршио у позадини. Радар је пример активног даљинског истраживања при којем се мери временски интервал између емисије и повратка чиме се утврђује локација, висина, брзина и смер објекта.

- ii. На основу броја и ширине спектралних опсега сензори се деле на:
- панхроматске – који мере енергију рефлексије у једном широком делу електромагнетног спектра,
 - мултиспектралне – мери се рефлексија у великом броју опсега (десетине до стотине канала),
 - хиперспектралне – мери се рефлексија у пуно појединачних опсега (стотине и хиљаде канала),
 - ултраспектрални – у развоју.
- iii. Подела према конструктивним карактеристикама и начину рада:
- Фото-оптички системи (фото-камере) су најстарији али широко употребљавани за прикупљане информација о објектима на Земљи. Осетљивост црно-белог филма је опсег од око 0.4–0.7 μm .
 - Електрооптички сензори (електрооптички системи) –, уређаји који региструју и претварају електромагнетну енергију у електрични импулс. Импулси даље стварају препознатљиву слику из природе.
 - Мултиспектрални скенер – електрооптички систем који посебно региструје електромагнетну енергију различитих таласних дужина, тј. зрачења различитих спектралних подручја. Мултиспектрални скенери новијих конструкција могу да региструју и преко 10 канала. Сваки регистрован снимак у одређеном каналу представља засебну црно-белу слику снимљеног подручја и накнадним комбиновањем могу настати колор композити. Распон таласних дужина које региструју мултиспектрални скенери креће се од 0.3 до 14 μm .

1.3.1 Електромагнетни спектар података

Електромагнетно зрачење које прође кроз атмосферу долази до површине Земље и објеката на њој. То зрачење се назива упадно зрачење. У додиру с површином објеката оно се мења по интензитету, смеру, таласној дужини, поларизацији и фази.

Сваки објект може пристигло зрачење одбити (рефлектовати), пропустити (трансмитовати) или упити (апсорбовати). Осим тога, сваки објект може исијавати (емитовати) своју енергију. Тако настале промене се опажају и бележе методама научне дисциплине назване даљинска детекција. Научници тада проучавају и објашњавају (интерпретирају) добијене снимке како би препознали објекте и ствари и објаснили њихове особине које су узроковале те промене.

Различити сензори детектују електромагнетна зрачења појединих спектралних подручја. Свако спектрално подручје носи јединствени скуп информација о Земљиној површини. Нпр. озон апсорбује ултраљубичасто зрачење па се одређивање озона у атмосфери врши мерењем ултраљубичастог зрачења. Помоћу микроталаса посматрају се ледене поларне капе, преко чијег отапања се може пратити глобално загревање. Видљиви и инфрацрвени подаци употребљавају се за процену стања (здравља) усева, шума и других

облика вегетационог покривача Земље. Топлотно инфрацрвено зрачење (топлота) употребљава се за одређивање температуре облака, тла и океанских површина.

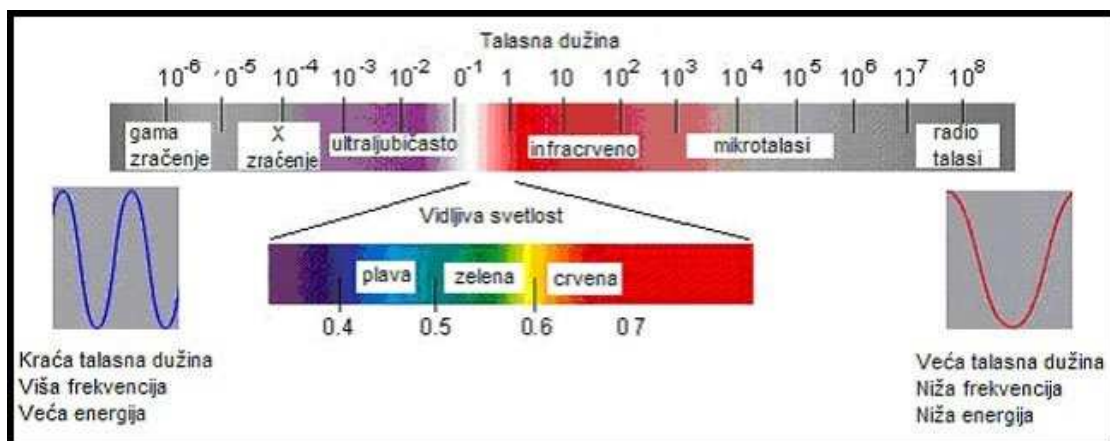
Две карактеристике електромагнетног зрачења су изузетно важне за разумевање даљинске детекције, а то су таласна дужина и фреквенција. Таласна дужина се мери у линеарним вредностима: нанометрима, микрометрима, милиметрима и центиметрима, а симбол за таласну дужину је грчко слово ламбда (λ). Фреквенција се обично мери у Херцима (Hz). Таласна дужина и фреквенција су у следећем односу:

$$C = \lambda \nu$$

Израз 1-1

где су: λ – таласна дужина, ν – фреквенција (број пуних осцилација у јединици времена) и C – брзина светлости (~ 300000 км/сец).

Из формуле је јасно да су таласна дужина и фреквенција обрнуто сразмерне (што је краћа таласна дужина виша је фреквенција, а што је дужа таласна дужина фреквенција је нижа).



Слика 4 Електромагнетни спектар са издвојеним таласним дужинама видљиве светлости

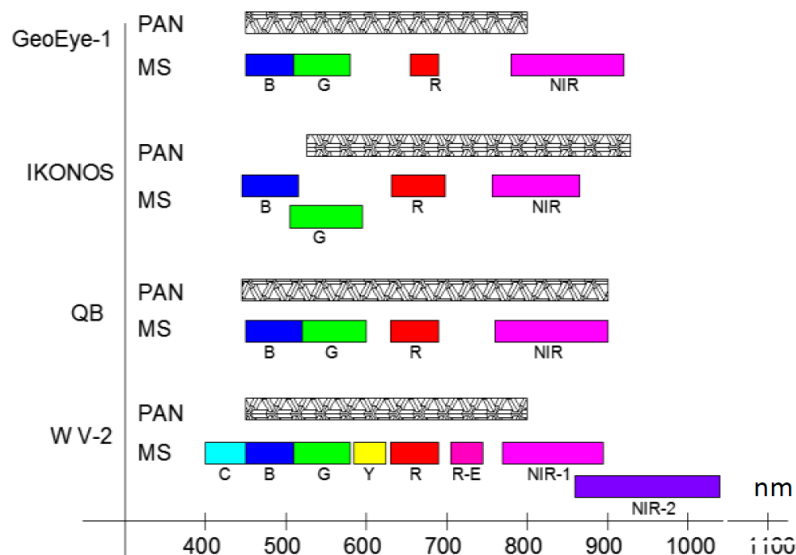
Са изузетком објеката чија је температура на апсолутној нули, сви објекти емитују електромагнетно зрачење. Сва питања апликација даљинске детекције леже на разумевању електромагнетног зрачења и његовог односа (и деловања) са земљином површином, атмосфером и инструментима. Најпознатија форма електромагнетног зрачења је видљива светлост, која представља мали (али важан) део електромагнетног спектра. На слици (Слика 4) је приказан електромагнетни спектар са издвојеним таласним дужинама видљиве светлости.

Премда постоје панхроматски сензори који обједињују сву видљиву светлост у једно мерење (као црно-бели филм), већина сензора видљивог подручја раздваја долазеће зрачење на различите боје, односно на спектралне скупове (опсеге). Они такође могу

бележити различите спектралне опсеге ултраљубичастог, видљивог и инфрацрвеног (*NIR near infrared* или *MIR mid infrared*) зрачења. Овакви подаци се називају мултиспектралним подацима.

На наредној слици (Слика 5) приказане су таласне дужине панхроматских и мултиспектралних снимака са различитих сателитских платформи, редом *GeoEye-1* који има један панхроматски опсег просторне резолуције 41 *cm* таласне дужине 450–800 *nm* и мултиспектралним опсезима са просторном резолуцијом од 1.65 метара и таласним дужинама опсега *Blue*: 450–510 *nm*, *Green*: 510–580 *nm*, *Red*: 655–690 *nm* и *NIR*: 780–920 *nm* [8]. Затим *IKONOS* са PAN опсегом просторне резолуције 1 метар (82 *cm*) и таласном дужином од 526–929 *nm* и мултиспектралним опсезима просторне резолуције од 4 метра (3.2 метра) таласних дужина *Blue* : 445–516 *nm*, *Green* : 506–595 *nm*, *Red* : 632–98 *nm* и *NIR* : 757–853 *nm* [9].

QuickBird сателитска платформа са својим панхроматским опсегом просторне резолуције 61 *cm* (55 *cm*) и таласном дужином 405–1053 *nm* и мултиспектралним опсезима просторне резолуције 2.44 m (2.16 m) и таласним дужинама *Blue*: 430–545 *nm*, *Green*: 466–620 *nm*, *Red*: 590–710 *nm* и *NIR*: 715–918 *nm* [10], и на крају *WorldView2* (*WV-2*) сателитска платформа са једним панхроматским опсегом просторне резолуције 0.46 *cm* (0.5m) и таласном дужином од 450–800 *nm* и 8 мултиспектралних опсега са просторном резолуцијом 1.85 метара (2m) и таласним дужинама: *Coastal*: 400–450 *nm*, *Red*: 630–690 *nm*, *Blue*: 450–510 *nm*, *Red Edge*: 705–745 *nm*, *Green*: 510–580 *nm*, *NIR1*: 770–95 *nm*, *Yellow*: 585–625 *nm* и *NIR2*: 860–040 *nm* [11].



Слика 5 Панхроматске и мултиспектралне таласне дужине за различите сателитске платформе [12]

1.4 Рачунарска обрада слике

Посматрана својства на сателитским снимцима имају, уопштено гледано, изразите спектралне карактеристике, а мултиспектрални подаци могу бити класификовани за одређивање разних спектралних класа. Употребом рачунара и програма (софтвера) за анализу слика сви пиксели с истим спектралним карактеристикама се сврставају у исту класу. Овај процес обједињује мултиспектралне податке (вишеструка мерења) за исти пиксел на једну вредност. Сви пиксели с једнаким спектралним карактеристикама најчешће одговарају истом типу земљиног покривача.

Слика која је произведена разврставањем пиксела и бојењем резултујућих класа по неком коду, назива се тематска мапа. Тематска мапа сама по себи представља резултат рачунарске обраде слике. У тематској мапи различите класе пиксела су идентификоване и груписане заједно. На пример сви пиксели који су шума могу бити груписани у једну групу и означени једном ознаком као шума или могу бити груписани у две групе као црногорица и белогорица, или пак могу бити груписани као црни бор, јела, смрека.

Као што је већ раније споменуто, већина слика добијених помоћу метода даљинске детекције су дигиталне слике настале рачунарским путем. Постоје два начина добијања дигиталних података (снимака):

- преузимање снимака добијених даљинском детекцијом у аналогном облику и конверзија у дигитални формат процесом дигитализације и
- преузимање снимака добијених даљинском детекцијом који су већ у дигиталном облику.

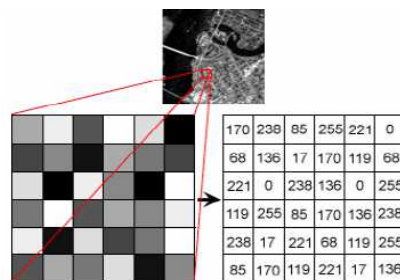
Снимак је слика, фотографија, или било који други облик који дводимензионално (растерски) приказује објекте или површине (сцене). Информације садржане у снимцима приказане су у сивим тоновима или бојама (природним или псеудобојама).

Дигитална слика коју ствара рачунар састављена је од елемената који се називају пиксели, а они су сложени вертикално и хоризонтално на компјутерском екрану, број који показује ниво сивила пиксела зове се дигитални број и он означава вредност пиксела. Сваки пиксел на слици одговара одређеној локацији на Земљи која је стварна површина коначних димензија. Пиксел представља најмању површину коју одређени сензор може опазити.

Предности дигиталних снимака над аналогним снимцима су:

- не мењају се због спољашних утицаја као обични снимци,
- могу се умножавати, увек једнаком тачношћу, без промене или губитка информација,

- могу се математички обрађивати ради добијања нових снимака без бојазни од оштећења оригинала,
- могу се анализирати и приказивати појединачни елементи слике,
- могу се обрадити и анализирати велике количине података у релативно кратком времену,
- могу се електронски послати на различите удаљености без губитка информација (интернет),
- снимак се може дигитално процесирати.



Слика 6 Дигитална слика – пиксел – дигитални број

Дигитални снимци се добијају низом математичких операција које се изводе над дигиталним бројевима снимака, па се те операције уопштено називају дигитално процесирање снимака (*digital image processing*). То укључује технике:

- приказ снимка на монитору (ц/б, колор),
- аналогно-дигитална конверзија,
- геометријска и радиометријска корекција,
- различите технике побољшања слике (повећање контраста, филтрирање слике, класификација, издвајање објеката) и др.

Процесирањем се побољшава квалитет снимака у смислу боље читљивости и запажања детаља, те идентификација и класификација жељених података. На тај начин постиже се много боља анализа и интерпретација садржаја снимка, што је од изузетне важности у даљинској детекцији.

Постоје три основне фазе у дигиталној (рачунарској) обради снимака:

- Пре-процесирање снимака,
- Процесирање снимака и
- Пост-процесирање снимака

1.4.1 Пре-процесирање снимка

Подаци путују дуго од тренутка снимања до корисника и при том пролазе кроз вишеструке промене: у атмосфери од Сунца до Земље, у атмосфери од Земље до сензора, у

сателиту, од сателита до земаљске пријемне станице, од станице до система за њихово снимање и припрему за оперативно кориштење.

Зато је често потребно поправити податке пре интерпретације снимака. Превођење података у одговарајући кориснички формат (конверзија слике) и корекција снимака због могућих грешака (радиометријске и геометријске), проводи се у тзв. фази пре-процесирања.

Радиометријска грешка утиче на радиометријске вредности пиксела у слици, нпр. може се догодити да недостаје један ред пиксела у слици. Геометријска грешка утиче на локацију пиксела на слици (због ротације Земље или рељефа терена). Не-системска корекција може се уклонити успостављањем специфичног модела, нпр. промена географске ширине на којој се у датом моменту налази сателит. За сваки скуп сателитских података потребно је направити калибрацију података, која садржи географску ширину сваке позиције сателита у скупу података, а то се ради пре извођења корекције. Подаци снимљени посредством сателита (изворни подаци) често су оптерећени грешкама, које могу бити узроковане сензорима за снимање (сензор не функционише добро), геометријом орбите сензора, ротацијом Земље, форматом сензорског снимања и др. Отклањање, или барем умањивање таквих грешака обично се проводи пре приказа и анализе снимака.

У пре-процесирању разликујемо системске и не-системске корекције [13]. Системске корекције, односно оне којима се грешке могу отклонити помоћу конструкције модела грешке су:

- конверзија података,
- радиометријска корекција и
- геометријска корекција

Приликом конверзије података могу се дефинисати следећи процеси [13]:

- дигитализација,
- узорковање и квантизација,
- компресија записа слике и
- математичке трансформације

Слику најпре треба дигитализовати, односно конвертовати континуалне (аналогне) сигнале у дискретни (дигитални) облик. Дигитализација просторних димензија слике назива се узорковањем слике. Узорковање је поступак који омогућава опис континуалне функције слике коначним скупом дискретних бројева. Након узорковања следи квантизација слике што представља дискретизацију нивоа сивила слике. Квантизација је најчешће линеарна па се заједно с узорковањем описује линеарном једначином.

Радиометријска корекција укључује:

- корекцију због губитка линија током скенирања (услед лошег функционисања једног од сензора / детектора),
- корекцију због периодичних пруга на слици (неки од детектора снима више или мање изнад или испод нормале),
- корекцију због случајног шума и
- атмосферску корекцију.

Најважнија међу њима је грешка због губљења података у линији скенирања (недостају поједини пиксели). Код ове корекције битан је још и поступак удруживања хистограма података након чега се рачунају тзв. кумулативни хистограми. Такође поред ових грешака појављују се и грешке које могу настати због различитих узрока као што су:

- грешке у инструментима (геометрија сензора),
- орбиталне геометрије сателита,
- ротације Земље и њене закривљености,
- нестабилности платформе сензора (скретање по правцу, ротирање, брзина, висина),
- панорамске (рељефне) дисторзије и
- разлике у узорковању и др.

Поступак геометријске корекције може се поделити на два дела: поступак који се темељи на геометрији сателитске орбите и поступак који се темељи на контролним тачкама на Земљи. Геометријски кориговани снимци трансформисани у неку картографску пројекцију називају се геореференцирани снимци, а поступак даљег побољшавања снимака назива се геокодирање.

1.4.2 Процесирање снимка

У фази процесирања снимака, спроводе се различите технике обраде с циљем побољшања интерпретацијске вредности снимка (лакше и поузданије издвајање података на снимку). Најчешћи поступци су у фази процесирања снимка су [13]:

- трансформација снимка (кодирање, побољшање и обнављање снимка, интерпретација),
- повећање контраста,
- филтрирање дигиталних снимака,
- трансформација основних компоненти снимка,
- обрада коефицијента спектралних опсега и
- класификација снимка.

1.4.3 Пост-процесирање снимка

У поступку пост-процесирања издвојени подаци (информације) у претходним корацима, експортују се у прикладни формат, како би се добијене информације могле користити. Експортирани подаци по правилу се користе у Географским информационом

системима за даља проучавање и чување података. У ГИС-у је омогућена интегрисана анализа различитих типова података у географском контексту. Излазни подаци дигиталног процесирања снимака у даљинској детекцији могу бити и у већини случајева су улазни подаци за даљу обраду у ГИС-у, зарад подизања вредности самих информација. Ова веза односно интеракција између дигиталног процесирања и ГИС-а резултује стварањем информација квалитетнијем од обичног спајања два скупа података. Све активности обраде података које се проводе у овој завршној фази могу се назвати пост-процесирање.

2 Стање у области истраживања

2.1 Увод

У оквиру овог поглавља дат је осврт на тренутно стање у области истраживања. Преглед радова је подељен у две целине. Прво подпоглавље се односи на тренутно стање у области класификовања геопросторних објеката на основу снимака ниске и средње просторне резолуције, док се у другом делу разматрају достигнућа из области класификовања геопросторних објеката над снимцима високе просторне резолуције. На крају је у разматрањима дат преглед стања у области истраживања, као и смернице које произилазе из анализе, а значајне су за креирање модела који је резултат ове докторске дисертације.

Технологија употребе даљинске детекције за потребе мапирања геопросторних објеката и мапирање земљишног покривача постала је кључни фактор у апликацијама из разних области, а пре свега у области животне средине ([14], [15]), шумарства [16], хидрологије ([17], [18]), пољопривреде ([19], [20], [21], [22]), урбанизма ([23], [24], [25]), геологије [26], транспорте инфраструктуре и других области [27]. Управљање над природним ресурсима и инфраструктуром, планирање и програми праћења зависе од тачних информација, које се на брз и адекватан начин могу добити употребом и обрадом података добијених принципима даљинске детекције.

Технике даљинске детекције се такође користе за праћење промена ([28], [29]), што представља важну улогу у свим областима које су уско повезане са Земљом односно управљањем земљишним покривачем у сваком смислу те речи. Статистички подаци добијени техникама даљинске детекције се користе за праћење стања развоја урбанизма, пољопривреде, воде и водних ресурса, мапирања земљишних ресурса, управљања индустријом.

Еволуција технологије даљинске детекције, развој сателитских платформи, и све већи број бесплатних сателитских снимака све више утиче на локалну и глобалну економију, те је сама област даљинске детекције постала изузетно значајна за развој друштва [30].

Основни начин управљања геопросторним информацијама огледа се у одређеној бази знања или информација, које су пре свега у власништву одговарајућих локалних, регионалних или републичких административних установа које су по закону обавезне да их поседују. Ове информације се могу прикупљати на различите начине, пре свега употребом тематских алфанумеричких или картографских информација. Динамичан развој окружења који је очигледан на сваком кораку, захтева периодична обнављања како би ове

информације биле веродостојне, а доступност података све више зависи управо од геопросторних информација која настају на основу обраде сателитских снимка. Данас се доста сателитских снимака може добити бесплатно, а списак сателитских платформи чији се снимци за подручје Србије могу добити бесплатно такође су доступни у [30]. Адекватне, сврсиходне и пре свега ажурне информација о простору захтевају употребу техника даљинске детекције које се могу поделити на неколико фаза при чему се по обиму посла и квалитету информација издвајају технике аквизиција података о простору и технике обраде тако прикупљених података.

Најзаступљеније технике аквизиције података се могу поделити на податке које се добијају са сателитских платформи, затим подаци који се добијају са ваздушних платформи и подаци који се добијају са земаљских (терестријалних) платформи. Као што је речено, заједничко за све ове податке је да у мањем или већем обиму захтевају обраду како би прикупљени подаци добили квалитативну односно употребљиву вредност.

По количини података који се данас прикупљају, најзаступљенији су 2Д и 3Д подаци. 2Д подаци су махом добијени са сателитских платформи различитих просторних и спектралних карактеристика, затим следе подаци који су добијени са авио-платформи – при чему се по количини прикупљених података разликују 2Д и 3Д подаци (дигиталне камере – 2Д и ласерски сензори – 3Д). И на крају, све су актуелнији подаци добијени са беспилотних летелица.

У оквиру студија случаја које верификују предложен модел, који је резултат ове докторске дисертације, управо због атрактивности и количине геопросторних података који се добијају аквизицијом са различитих сензора, коришћени су подаци добијени са сателитских и авионских платформи. Поступци обраде ових података превасходно се односе на класификовање геопросторних објеката различитих намена и за различите примене и апликације. Начини класификовања геопросторних објеката зависе, пре свега, од тога о каквим подацима је реч, а основни проблем обраде података, односно класификовања геопросторних објеката, јесте квалитет и оцена тачности класификације. Ови параметри у највећој мери зависе од тога да ли је реч о подацима са веома високом просторном и радиометријском резолуцијом (сателитски снимци високе просторне резолуције - *WorldView2*, *WorldView3*, *IKONOS*, *QuicBird*, или снимци високе просторне резолуције настале употребом ваздушних платформи – авио-платформе, хеликоптери или беспилотне летелице), или се ради о подацима са средњом или ниском просторном резолуцијом (*RapidEye*, *SPOT*, *IRSS*, *Landsat* и сличне сателитске платформе).

Постоји велики број алгорита за класификацију геопросторних објеката, при чему се они грубо могу поделити на традиционалне алгоритме, такозвани пиксел базирани приступ анализе слике, и алгоритме са приступом анализе слике базиране на објектима. Традиционални алгоритми класификације података добијених даљинском детекцијом су базирани на вредностима пиксела. Код ових алгорита мултиспектрални подаци односно

пиксели се користе као нумеричка основа за категоризацију односно класификацију. Они се базирају на конвенционалним техникама статистике посматраних података, тј. пиксела. Примери ових техника су класификација са обуком и класификација без обуке (класификација са надзором и без надзора или *supervised* и *unsupervised* класификација). Код класификације са обуком, анализа слике представља процес категоризације пиксела тако што се специфицира алгоритам у којем се нумерички опишу жељене категорије, односно класе. У том поступку се изаберу репрезентативни скупови пиксела (такозвани обучавајући скупови) који нумерички интерпретирају жељене класе, односно категорије. Након тога се сваки пиксел посматране слике нумерички пореди са сваким од обучавајућих категорија и на тај начин се придружује некој од њих.

У пиксел базираној методи класификације, пиксели су основно средство за обраду слике. Традиционално класификација са надзором и без њега се базира на појединачном пикселу, па је главни циљ класичних процедура за класификацију слике да аутоматски категоризују све пикселе на слици у жељене класе односно категорије. Ове методе класификације користе само атрибуте боје сваког од пиксела и за већи део ових алгоритама пиксел базирани класификатор класификује сваки пиксел независно и без обзира на суседне пикселе, при чему се занемарује просторна аутокорелација посматраних пиксела. Ове технике су биле незаменљиве до појаве објектно базиране анализе слике.

Велики напредак су донели алгоритми са приступом класификовања базираних на самим објектима (*object-based, object base image analysis – OBIA*). Овај приступ комбинује спектралне информације које носи сваки пиксел (боја) са просторним информацијама, текстуром и контекстом сваког пиксела у односу на суседне пикселе. Сам поступак се превасходно базира на процесу сегментације слике. Сегментација представља процес дељења слике у сегменте односно објекте са одређеним бројем пиксела. Сваки објекат који настане у процесу сегментације се карактерише својим обликом, величином, бојом и тополошким односима са суседним објектима.

Као што је већ речено на почетку, у наставку текста ће бити дат преглед тренутног стања у области истраживања, при чему су анализирани радови који су обухватили сателитске снимке средње и високе просторне резолуције, као и подаци добијени са авионских платформи који су по правилу високе или веома високе просторне резолуције. Такође у првом делу прегледа радова из области, дати су радови који су се бавили поређењем два основна начина класификовања снимака, а у другом делу је дат преглед тренутног стања у области објектне анализе слике, односно, класификације базиране на објектима.

2.2 Класификовање геопросторних објеката на основу сателитских снимка ниске и средње просторне резолуције

У свом раду [31] "A comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for mapping land cover in northern Australia", аутори *T. Whiteside, W. Ahmad*, користе *ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer)* податке са 14 спектралних опсега, за подручје северне Аустралије за мапирање земљишног покривача. У оквиру студије приказани су резултати класификације традиционалном пиксел базираном методом и објектно базираном методом класификације. Класификација са надзором користи алгоритам максималне вероватноће (*maximum likelihood*) док објектно оријентисана класификација користи мултирезолуциону сегментацију слике, при чему су сегменти распоређени према размерама у више слојева. Аутори су приликом оцене тачности дошли до закључка да објектно оријентисана класификација (78%) показује знатно боље резултате од класификације са обуком (69%). Пиксел базирана класификација се показала као ефикаснија код хомогених земљишних покривача (густа шума) док је објектно оријентисана класификација разрешила проблем хетерогених типова земљишних покривача (дрвеће Еукалиптиса).

У студији [32] "*Comparisons of Object-Oriented and Pixel-Based Classification of Land Use/Land Cover Types Based on Landsat7, Etm+ Spectral Bands (Case Study: Arid Region of Iran)*" коришћен је *Landsat7 (ETM+ Enhanced Thematic Mapper)* са шест спектралних опсега за класификацију 14 различитих типова земљишног покривача, односно 14 класа, за подручје централног Ирана. У њој су приказани резултати пиксел базиране класификације извршене уз помоћ алгоритма минималне удаљености (*minimum distance*) и објектно оријентисане класификације која се састојала од неколико различитих скупова параметара у оквиру примењене мултирезолуционе сегментације. Резултати су показали да је објектно оријентисана класификација (91%) дала боље резултате него пиксел базирана класификација (81%).

Рад под именом "*A comparison of the performance of pixel-based and object-based classifications over images with various spatial resolutions*" [33] користи сателитске снимке различитих просторних резолуција – *SPOT-5* са просторном резолуцијом од 10 m, *Landsat7 (ETM+)* са просторном резолуцијом од 30 m и *MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)* са просторним резолуцијама од 100 m и 250 m. У раду се пореде резултати две врсте класификације и даје се приказ какав утицај на перформансе ОБИА класификације имају различите просторне резолуције. Пиксел базирана класификација је обухватила четири основна алгоритма: минимална раздаљина (*minimum-distance*), најближи сусед (*nearest neighbour*), паралелопипед класификатор (*parallelepiped classifier*) и класификатор максималне вероватноће (*maximum likelihood classifiers*). Објектно базирана класификација је обухватила два корака, мултирезолуциону сегментацију, као први корак, и класификовање на основу спектралних и просторних карактеристика

објеката насталих у процесу сегментације, као други корак. У раду је показано да са два скупа снимака са четири различите просторне резолуције *OBIA* класификација постиже већу тачност него класификација базирана на пикселима. Такође, овај рад је показао да се повећањем просторне резолуције смањује разлика у тачности.

Супротно претходним студијама, аутори студије [34] "*A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery*" добили су скоро идентичне резултате за класификације базиране на пикселима и на објектима. На основу *SPOT-5* сателитских снимака средње просторне резолуције 10 m, у Канади, у подручју реке "*South Saskatchewan*", аутори класификују шест класа земљишног покривача и то: земљиште под усевима, мешана трава, стене и земљиште, обалска и мочварна вегетација и водене површине. Аутори у својој студији код класификације са обуком, користе релативно модерне и робусне алгоритме: *decision trees (DT)*, *random forests (RF)* и *support vector machines (SVM)*. У овој студији пиксел базирана класификација има 15 слојева који се користе приликом класификације и то четири спектрална опсега *SPOT-5* платформе, један вегетациони индекс – *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*, четири слоја пејзажа – дигитални модел висина (*DEM – Digital Elevation Model*) и пратећи слојеви и шест слојева који описују текстуру снимака., Са друге стране *OBIA* класификација има много већи број променљивих који учествују у поступку сегментације и класификације. Примењена је такође мултирезолуциона сегментација са различитим параметрима фактора размере, компактности, боје и облика. Аутори нису нашли никакву значајну предност која би фаворизовала неку од предложених метода, при чему су два приступа имала мале разлике у тачности класификовања у неку од шест поменутих класа (мање од 5%). Још један закључак њихове студије поред тога што ниједна метода није показала предност, јесте да се *OBIA* класификација показала као много захтевнија у смислу процесирања и времена које је било потребно да се добију поменути резултати.

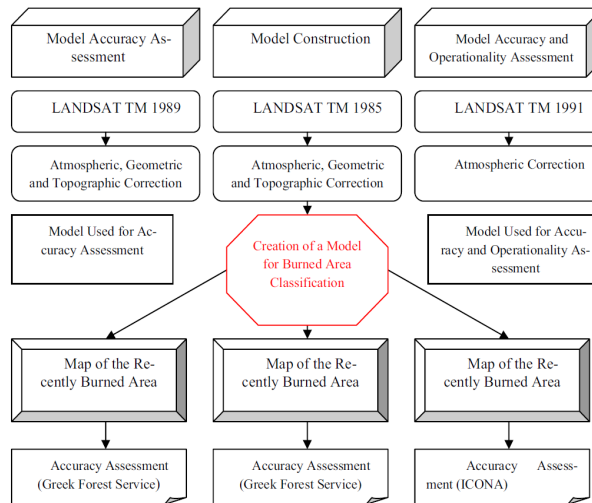
У раду "*A Comparison of Pixel-based versus Object-based Land Use/Land Cover Classification Methodologies*" [35] аутори (N.D. Riggan, Jr., R.C. Weih, Jr.) користе два *SPOT-5* сателитска снимка, са вегетацијом и без ње, просторне резолуције 10 m који спајају са инфрацрвеним авио-снимком просторне резолуције 1 m. Ови снимци покривају област Арканзаса и националног парка "Hot Springs". Аутори због корелације спојених снимака користе *Principal Component Analysis (PCA)* слој како би направили нову слику коју користе у даљем раду. Аутори класификују снимак у 11 класа: урбано, путеви, железничке пруге, трава, листопадно дрвеће, четинари, земља, мешане површине, водотоци, водене површине и јалово земљиште. У овом случају аутори су користили сегментацију базирану на вредностима и локацијама пиксела. Приликом поређења резултата класификације процена тачности је извршена методом матрице грешке и Капа коефицијентом. Резултати су показали да укупна тачност за објектно базирану класификацију износи 82% док је пиксел базирана класификација имала тачност од 66.9%.

Приказани радови су се бавили класификовањем геопросторних објеката са мултиспектралних сателитских снимака ниске и средње просторне резолуције, при чему су класификовани геопросторни објекти представљени као површински покривачи класификовани према потребама самих истраживача или апликација за различите намене. Такође, наведени радови баве се углавном поређењем резултата тачности пиксел базиране и *OBIA* базиране класификације. Класификовани геопросторни објекти у овим случајевима најпре представљају неку врсту земљишног покривача уопштено, нпр. шумско подручје или се, ако се тражи детаљнија класификација, шумско подручје дели на одређене класе нпр. зимзелена шума и листопадна шума. У наведеним радовима аутори се такође преваходно баве поређењима резултата класификације на један или други начин, при чему се ниједан рад није формално бавио или предложио модел који би био општеприхваћен као метода за класификовање жељених (посматраних) геопросторних објеката.

Рад под називом "*The development of an object-oriented classification model for operational burned area mapping on the Mediterranean island of Thasos using LANDSAT TM images*" [36] представља модел објектно оријентисане класификације за мапирање изгорелих подручја на острву Тасос на основу *Landsat* ТМ снимака (два велика пожара 1985. и 1989. године), као и тестирање робусности модела за одређена подручја у Шпанији (пожар 1991. године у подручје под називом "*Hoya de Bunol*").

Аутори [36] користе три *Landsat* ТМ снимка из 1985. и 1989. године за острво Тасос и 1991. годину за Шпанију, мапу пожара за поменуто подручје, као и топографске карте размере 1:50000 и *DEM* просторне резолуције 10 m. Због додатних података извршени су предпроцесни кораци који за снимке подручја Тасоса подразумевају атмосферску, геометријску и топографску корекцију, а за снимак Шпаније само атмосферску корекцију.

Модел који су аутори развили за снимак из 1985. године се састоји из два основна корака сегментације и класификације. Аутори користе мултirezолуциону сегментацију како би добили одговарајуће објекте слике, а класификацију базирају на фази логици описа класа у три нивоа. Модел који су направиле за снимак из 1985. године је показао укупну тачност класификације од 98.85% за класе вода, изгорела подручја и неизгорела подручја. Снимак из 1989. године је искоришћен за процену тачности модела, при чему је укупна тачност била идентична 98.85%. Снимак из 1991. године је искоришћен за процену тачности и процену оперативности модела и укупна тачност је била 98.46%. Методологија коју су применили аутори приказана је на слици (Слика 7).

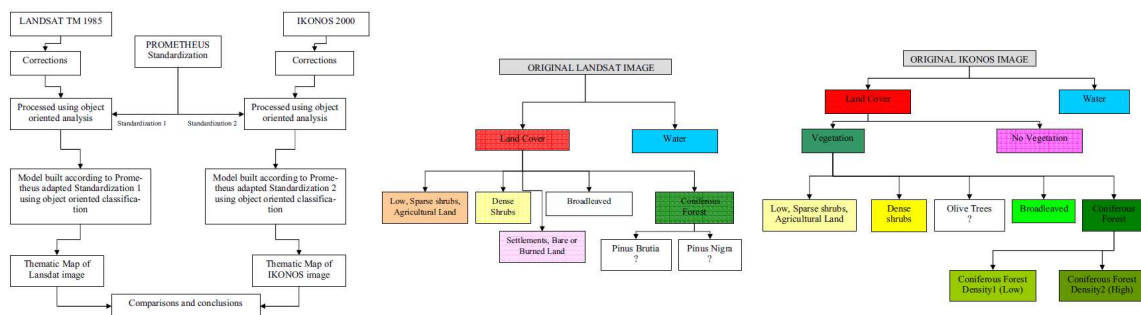


Слика 7 Методологија [36]

Аутори студије [37] "*Object-oriented classification modelling for fuel type mapping in the Mediterranean, using LANDSAT TM and IKONOS imagery preliminary results*" су покушали да представе модел за класификацију потенцијалних запаљивих подручја, односно, класификовање земљишног покривача за острво Тасос у Грчкој, према "*Prometheus*" стандарду. Представљен је модел класификације *Landsat* и *IKONOS* сателитских снимка у 7 различитих типова (класа) вегетације који потенцијално представљају опасност за ширење пожара. Они у свом раду дефинишу методологију која подразумева одговарајуће корекције снимка, *OBIA* процесирање снимка уз ослонац на поменути стандард, креирање модела објектно оријентисане класификације и као резултат креирање две тематске мапе које се на крају пореде (Слика 8).

Аутори у овом раду користе снимке и средње и високе просторне резолуције и за сваки од њих примењују посебне моделе који подразумевају сегментацију и класификацију. Предложени модели омогућавају хијерархијску организацију класа, а класификационе процедуре контролишу не само спектралне карактеристике, него узимају у обзир облик, текстуру и међусобне односе између објеката слике.

За *Landsat* модел дефинишу минималну површину од 3600 м², дефинишу границе за вредности вегетационог индекса *NDVI* за жељене класе и користе дигитални модел висина *DEM*, што укупно даје 8 тематских слојева које користе у моделу за класификацију (Слика 8).



Слика 8 Приказ методологије и модела класификације [37]

За *IKONOS* модел коришћена су 4 опсега (три видљива и инфрацрвени) за раздвајање спектралних карактеристика и класификације на основу њих, а такође је креиран и *NDVI* слој података. Висока просторна резолуција овог снимка ауторима је омогућила да користе и текстуру и облик за потребе класификације (Слика 8).

Као закључак аутори [37] *Landsat* модел сматрају као довољан за препознавање основних класа (вода, голети, жбуње и шуме са подкласама четинари и листопадна шума) и истичу значај великог броја спектралних опсега ових снимака. *IKONOS* модел користе за класификовање различитих подкласа (различите густине шуме, ниска вегетација и сенка) која је могућа управо због високе просторне резолуције.

Уколико се жели извршити класификовање само одређене врсте земљишног покривача, нпр. урбаног типа, тј. жели се извршити класификовање геопросторних објеката као што су куће, зграде, стазе, путеви, паркинг места, појединачна стабла, базени и слично, истраживања показују да је просторна резолуција снимака значајнији фактор (мања величина пиксела – већа просторна резолуција) у односу на спектралну резолуцију снимака (већи број спектралних опсега или ужи спектрални опсеги). Тако аутори [23] у свом раду "Spatial analysis of high-resolution urban thermal patterns in Vojvodina, Serbia" користе управо снимке високе резолуције и изведене податке *NDVI*, *NDBI* (*Normalised Difference Built-up Index*) за креирање везе између земљишног покривача и температуре.

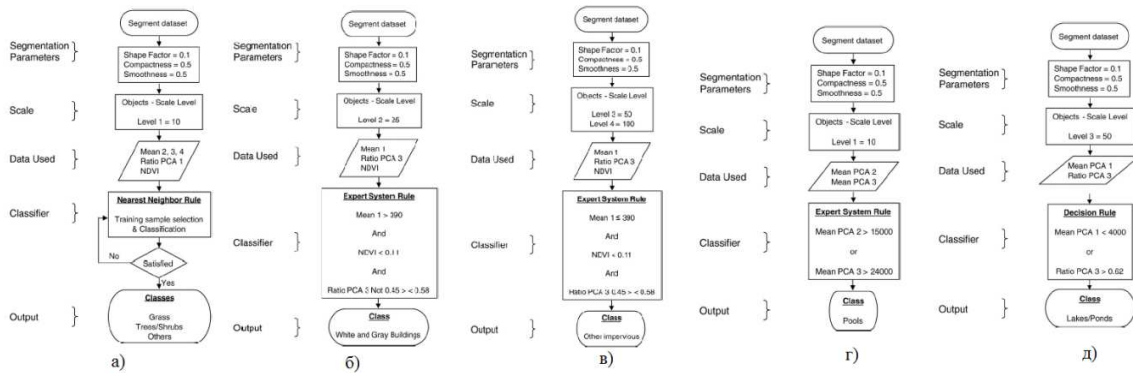
Конкретно – уколико посматрамо само урбано окружење, у случају мултиспектралних сателитских и авио-снимака високе и веома високе просторне резолуције (просторне резолуције од 4 m, 2 m, 1 m 0.5 m па до неколико центиметара), спектралне карактеристике посматраних геопросторних објеката из урбаног окружења али и других окружења, показују сложене обрасце или шаблоне. Иако аналитичар на овим снимцима високе просторне резолуције лако препознаје појединачне објекте (нпр. куће или објекте за становање са кровом од различитих врста црепа), традиционални алгоритми класификације базирани на пикселима имају проблем да препознају управо овакве објекте или да направе разлику између сличних објеката, због тога што се класификација базира само на спектралним карактеристикама појединачног пиксела, а игнорише се просторна информација коју носи појединачан пиксел или група пиксела која представља неки

објекат. Једно од основних ограничења у урбаној класификацији јесте велики број различитих урбаних земљишних покривача са сличним спектралним карактеристикама (нпр. пут и паркинг место има сличне или исте спектралне карактеристике као кров неке зграде, трава и жбуње имају исте или сличне спектралне карактеристике као и дрво).

2.3 Класификовање геопросторних објеката на основу сателитских снимка високе или веома високе просторне резолуције

У наставку текста дат је преглед радова који пореде пиксел базирану класификацију са *OBIA* класификацијом, при чему су коришћени управо снимци високе или веома високе просторне резолуције.

Soe W. Myint и други аутори [38], у свом раду "*Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery*" користе *QuickBird* сателитски снимак са четири спектрална опсега просторне резолуције 2.4 m за подручје Феникса у Аризони. Циљани материјали односно класе код обе врсте класификације су били зграде, други вештачки објекти (путеви и паркинг места), земљиште, дрвеће/жбуње, трава, базени и језера/баре. Аутори користе мултirezолуциону сегментацију, где за сваку класу користе различите параметре и тежинске факторе ове методе. Ови параметри и модели за класификацију наведених класа приказани су на слици (Слика 9).



Слика 9 Модели класификације а) траве, жбуња и дрвећа, б) белих и сивих зграда, в) друге вештачке површине, г) базена и д) језера и бара[38]

У поступку класификације аутори користе различите параметре (фактор размере, компактности и облика) у поступку сегментације и креирају додатне податке које користе за сваку од класа. Тако да су аутори поред основних опсега креирали *PCA* слој и *NDVI*, а што се тиче класификације сегментираних објеката слике користе две методе, функцију припадности и класификатор најближег суседа (*nearest neighbor*).

Укупна тачност класификације базиране на спектралним информацијама пиксела је достигла само 63.33%, док је *OBIA* класификација показала знатно већу укупну тачност од 90.40%. Што се тиче *OBIA* класификације, аутори су приказали велики број различитих параметара за сегментацију у класификацију, при чему су користили композите опсега или оригиналне опсеге сателитског снимка, вегетационе индексе и *PCA* слике и односе између њих. Такође, аутори су у свом раду показали да процес сегментације и класификације није тако једноставан, односно да је потребан велики број тест подручја и тестирања док се не постигну задовољавајући резултати. Аутори на крају закључују да није могуће направити универзално прихваћен метод који би био применљив за исти снимак и за исте класе на неком другом подручју.

У свом раду [39] Noritoshi Kamagata и остали, користе мултиспектрални *IKONOS* снимак за подручје централног Јапана за град Yokaihiba City. Студија пореди пиксел базирану класификацију и *OBIA* класификацију за крај урбаног подручја града и почетак руралног подручја са доста вегетације. Код пиксел базиране класификације коришћени су алгоритми максималне вероватноће (*maximum likelihood*) и *ISODATA*. Оба алгоритма су показала лоше резултате у делу сенке на снимцима, као и на ободима шумских подручја и мешане вегетације. *OBIA* класификација је, са друге стране, доста добро правила границе између различитих типова вегетације и шуме.

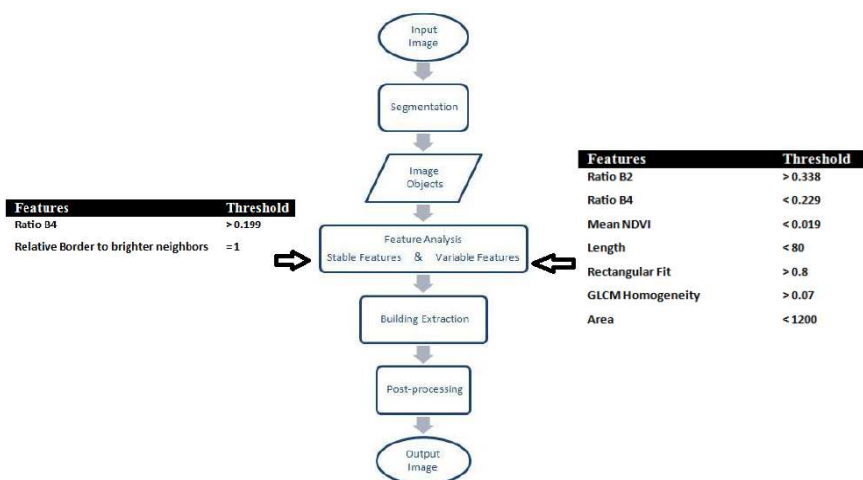
Студија "*Comparison of object-based and pixel based infrared airborne image classification methods using DEM thematic layer*", аутора [40] Dehvari A. и Heck R. J. приказује креирање мапа различитих типова земљишних покривача источне обале језера Хурон у Онтарију, Канада, на основу авионских инфрацрвених снимака. Класификација је издвојила 12 типова геопросторних објеката (класа) као што су дрвеће, зграде, трава, пшеница, плажа и слично. У овој студији коришћене су пиксел базирана класификација метода максималне вероватноће и објектно базирана метода класификација најближег суседа. Класификација земљишног покривача за традиционлану пиксел базирану класификацију је показала ефекат соли и бибера и имала је најмању тачност од 59.5%. Укупна тачност се повећала на 80% употребом *OBIA* класификације која је у основи користила мултirezолуциону сегментацију са различитим параметрима, али је и даље био присутан проблем да се раздвоје зграде и потоци. Након додавања контура и *DEM*-а, резултати класификације су поправљени и показали су тачност од 94%. Овде је потребно нагласити да је просторна резолуција снимка била 0.25 m. *DEM* и дигитални модел терена (*DTM – Digital Terrain Model*) су настали на основу интерполације *LIDAR* висинских тачака резолуције 1 m, а контурне линије (1 m интервал) су генерисане из *DTM*-а. Аутори су закључили да објектна метода има предност у односу на пиксел базирану, поготово кад се као додатни слој у класификацији користи и информација о висинама, у овом случају *DEM* високе резолуције.

У студији "*Classification of the wildland–urban interface: A comparison of pixel- and object-based classifications using high-resolution aerial photography*", аутори [41] за потребе

ватрогасне службе имају за циљ да мапирају објекте које је направио човек у претежно шумском подручју које има велики ризик од пожара (Напа округ, Калифорнија, САД). Посматрано тест подручје је изабрано тако да се примењене методе мапирања могу применити на цео округ, за тест подручје нису постојали проверени подаци. Доступни снимци су се састојали од колор-фотографија просторне резолуције 15 cm, на основу којих је направљен још један слој – PCA компонента. Ова *четири* слоја су учествовала у класификацији, поређени су резултати класификације без надзора (*IsoData* алгоритам) и *OBIA* класификације (мултirezолуциона сегментација слике и комбинација фази класификације са надзором). Пиксел базирана класификација имала је укупну тачност од 62,11% при чему је класа "изграђена подручја" имала најмању тачност од свега 21,43%. Објектно базирана класификација је имала укупну тачност од 80,08% са 63,16% процената тачности за класу "изграђена подручја". Аутори су закључили да је пиксел базирана класификација неадекватна за детаљну класификацију типова намене земљишта са снимцима овако високе резолуције, односно, да се бољи подаци добијају *OBIA* класификацијом.

Рад "*Object-Based Building Extraction from High Resolution Satellite Imagery*" [42] презентује модел за екстракцију зграда из *QuickBird* сателитских снимака на основу употребе карактеристика снимка. *OBIA* приступ у овом раду подразумева да зграде имају регуларни геометријски облик, хомогеност зграде са варијацијом у транзицији ка околини и одређену висину која узрокује појаву сенке у суседству зграде. Предложен модел је приказан на слици (Слика 10), где се види да су аутори прво извршили сегментацију слике уз помоћ мултirezолуционог сегментационог алгоритма, са фактором размере 40, тежинским фактором боје 0.7, и тежинским фактором облика 0.3 (фактор глаткости и компактности је 0.5). Након сегментације аутори дефинишу стабилне и променљиве карактеристике које користе за класификацију. Стабилне карактеристике су изведене из карактеристике зграда као геопросторног објекта које се карактеришу одређеним висинама, па су аутори на основу тога детектовали сенку на снимку. Идеја аутора је да се стабилне карактеристике у овом моделу могу користити и при раду над другим сателитским снимцима.

Променљиве карактеристике комбинују више информација које су садржане у објектима слике, пре свега односе другог и четвртог опсега, *NDVI*, дужину објекта слике, фактор облика, хомогеност и површину. Као закључак аутори констатују тачност класификације зграда преко 80% и обећавајуће резултате.



Слика 10 Предложена метода [42]

У наставку текста приказани су радови који су објављени у оквиру књиге под називом "*Object-Based Image Analysis, Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*"[43].

Аутори *Kux* и *Araújo* [44] у свом раду користе две *QuickBird* сцене из 2002. и 2004. године и, уз уважавање геолошких, геотехничких и употребу катастарских података за посматрано подручје, врше објектно оријентисану класификацију. Аутори у свом раду користе елементе визуелне интерпретације, мултирезолуциону сегментацију, хијерархијску мрежу за дефинисање класа и фази функцију припадности одређеним класама. На почетку, на основу визуелне интерпретације сателитских снимка и интерпретацијом боје, текстуре, облика, величине, сенке, висине и шаблона, дефинишу класе за жељени поступак мапирања. У поступку мултирезолуционе сегментације имају три нивоа, на основу катастарских података дефинишу блокове и улице за први ниво класификације, у другом нивоу дефинишу се подручја под вегетацијом и подручја без вегетације унутар којих се дефинишу класе различитих врста зграда, и на трећем нивоу креирају се објекти слике који представљају такође зграде са различитим крововима. На слици (Слика 11) је приказана хијерархија класа и правила која су примењена у сегментацији и класификацији.

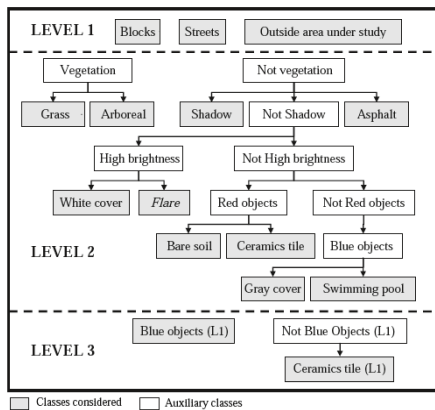


Table 2. Membership rules used for the classification of the 2004 image, quarter Belvedere.

CLASSES	RULES APPLIED
Arboreal vegetation	VEGETATION; Brightness, Vegetation index; Texture: average of sub-objects at band 4.
Grass vegetation	VEGETATION; Brightness; Vegetation index; Texture: average of sub-objects at band 4; Inexistence of "Asphalt" as neighbor objects.
Asphalt	NON-VEGETATION; Brightness; existence of super-objects "Streets" (from cadastre).
Shadow	NON-VEGETATION; Brightness; Nonexistence of super-objects "out of area".
White roofs	NON-SHADOW; HIGH BRIGHTNESS; Brightness.
Flare	NON-SHADOW; HIGH BRIGHTNESS; Brightness.
Ceramic tile	NO HIGH BRIGHTNESS; RED; Vegetation Index; It is not "Asphalt"; Area relationship with sub-objects "Ceramic tile n1" (*)
Bare soil	NO HIGH BRIGHTNESS; RED; It is not a tile; Bright; It is not Asphalt; Ratio of band 3 by all others; Vegetation Index.
Gray Cover	NOT RED; BLUE; Bright; Vegetation Index; Relation of area with sub-objects "blue (n1)"; It is not Asphalt; It is not a Swimming pool.
Swimming pool	NOT RED; BLUE; Bright; It is not Asphalt; NDVI; Ratio of bands 3 and 1 by all others; Area relation of sub-objects "blue (n1)".

(*) Objects classified as Ceramic tile in "Level 1".

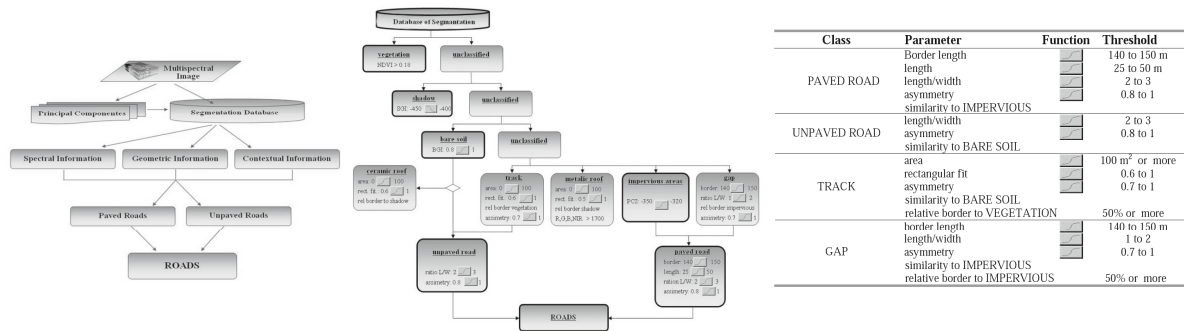
Слика 11 Хијерархијска класа и правила припадности класама [44]

Резултате класификације аутори користе за студију развоја града и утицаја на простор и потенцијална клизишта, као и на промене које су настале у периоду од две године. Резултати су указали на смањење подручја под вегетацијом и пораст вештачких површина. Тачност резултата класификације је задовољавајућа, осим за вегетацију (трава и подручја слична дрвећу), као и за класу светлих површина (лимени кровови и слично). На тачност осталих класа знатно су утицали катастарски подаци (класа асфалт 100%). На крају, аутори предлажу употребу дигиталног модела површина (*DSM* – Digital Surface Model) како би поправили поступак орторектификације и побољшали резултате класификације црвених објеката класе голо земљиште и класе земљани цреп (лакше разликовање ове две класе на основу висина објеката слике).

Рад "*Object-based classification of QuickBird data using ancillary information for the detection of forest types and NATURA 2000 habitats*" аутора *Förster* и *Kleinschmit* [45] бави се такође објектно оријентисаном класификацијом *QuickBird* снимака ради детекције типова шума у складу са NATURA 2000 категоризацијом. Аутори поред снимака користе дигитални модел терена *DTM*-а (Digital Terrain Model) од 5 и 25 метара на основу којих креирају нагиб, аспект, закривљеност и висину терена, затим мапу типова земљишта и мапу шума, а за контролу земаљску карту станишта и врста. У поступку сегментације користе мултирезолуциону сегментацију у три нивоа, при чему сваки ниво има различите параметре фактора размере, и факторе облика и компактности. Аутори класификују шуму у класе: буква, млада буква, смрека, стара смрека, црна бреза, пошумљено подручје, ариш и јавор, на неколико начина. Њихова студија је показала да је тачност класификације већа када се користе помоћне информације у поређењу само са мултиспектралном класификацијом (тачност је већа за 13%). Поред добрих резултата аутори предлажу употребу и интеграцију додатних података као што су *LIDAR*.

Због брзог прогреса земаља у развоју и убрзане урбанизације, многи градови трпе велике промене које углавном нису планске и које не прате актуелне мапе и планови. Један од таквих је и Сао Паоло у Бразилу. *Nobrega* и аутори [46] у свом раду "*An object-based*

approach to detect road features for informal settlements near Sao Paulo, Brazil" описују начин детекције путева на *IKONOS* сателитском снимку. Циљ аутора је да поред многих урбаних површина издвоје само путеве, што је подразумевало неколико корака у процесирању снимка, креирање *PCA* слоја, сегментацију слике и дефинисање класа. Спектралне карактеристике објеката након сегментације, као и облик и контекст објеката је искоришћен за креирање класификационих правила.



Слика 12 Ток процесирања снимка, пример модела класификације и параметри коришћени у класификацији [46]

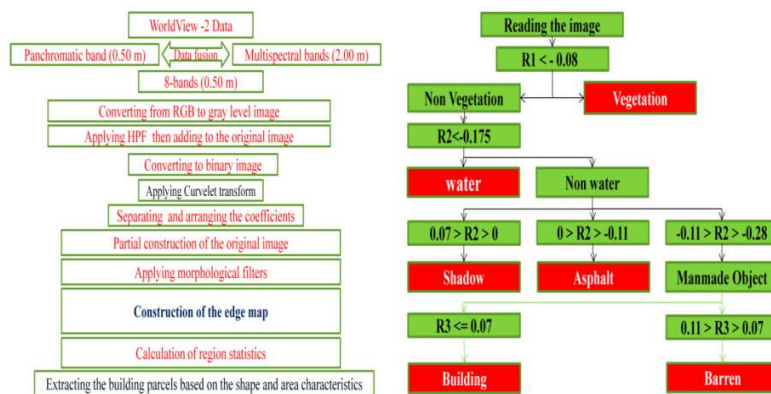
Ове информације су аутори искористили за дефинисање следећих класа: вегетација, сенка, голо земљиште, земљани пут, неасфалтирани, непропусни и асфалтни пут, керамички кров, метални кров и на крају – рупа и трака, класе које су коришћене као помоћ у континуираном креирању класе путева. У поступку креирања класификационих правила направљени су додатни слојеви информација, већ поменути *PCA* компоненти и *NDVI* слој. Мултирезолуциона сегментација са фактором размере 30 је направила сегменте (објекте) слике над којима су за одређене класе израчунати одређени параметри. Пример генералне класификационе шеме и параметри су приказани на слици (Слика 12).

Аутори [46] закључују да је упркос неким тешкоћама, показан завидан резултат са тачношћу од 65%. Поред тога аутори препоручују употребу *LIDAR* или неких других теренских података који би се искористили за побољшање резултата класификације, па и кроз боље класификовање окружујућих класа.

Предност коју доносе сателитске платформе високе просторне резолуције са великим бројем опсега, као што је на пример *WorldView-2 (WV2)*, омогућавају да се разреше проблеми који су постојали код платформи средње и ниске спектралне и просторне резолуције. Недостатак детаља код поступка препознавања одређених геопросторних објеката и присуство одређених проблема код препознавања земљишних покривача због малог броја спектралних карактеристика отклоњени су појавом напредних сателитских платформи. Снимци високе просторне и спектралне резолуције као што су *WV2*, посебно су значајни у урбаним апликацијама и детаљним класификацијама које су у области урбанизма посебно значајне. Класификација воде, сенке, црвених кровова и бетонске зграде спектрално показују значајну конфузију или због спектралне сличности

(вода и сенка) или zbog sličnosti materijala od kojih su napravljene (crveni krovovi i betonske zgrade).

Elsharkawy sa ostalim autorima u radu "*New Combined Pixel/Object-Based Technique For Efficient Urban Classification Using Worldview-2 Data*" [47] koriste upravo snimke WV2 satelitske platforme sa svih 8 opsega za klasifikovanje senke, vode, vegetacije, zgrada, golog zemljišta i asfaltnih puteva. Na slici (Slika 13) su prikazani model klasifikacije zgrada na osnovu algoritma detekcije ivica i *OBIA* klasifikacije i односи опсега који се користе у класификацији са задатим праговима за сваки однос и класу.



Слика 13 Модел класификације и прагови за односе опсега који се користе у класификацији[47]

У својој студији [47], аутори покушавају да поправе пиксел класификацију комбинацијом са *OBIA* класификацијом. Да би то постигли, аутори су предложили креирање три односа између опсега на следећи начин: R1 однос за класификацију вегетације и воде, однос R2 за асфалт, сенку и објекте које је правио човек и однос R3 за зграде и неплодно земљиште. Формуле за наведене односе су дате у доле наведеном изразу(Израз 2-1), а ознаке у формулама су ознаке опсега који су детаљно приказани на слици (Слика 5).

$$R1 = \frac{R - NIR1}{R + NIR1}, \quad R2 = \frac{C - R}{C + R}, \quad R3 = \frac{NIR1 - Y}{NIR1 + Y}$$

Израз 2-1

Поред тога искоришћена је *curvelet* трансформација која се користи за детекцију граница зграда (алгоритам за детекцију ивица), која заједно у комбинацији са *OBIA* класификацијом повећава тачност класификације зграда за преко 30%. Тачност класификације за пет класа је прихватљива, док је тачност за класу зграде у поређењу са пиксел базираном класификацијом подигнута са 45.8% на 85.4%.

2.4 Разматрања

На основу приказаних радова из области истраживања, може се закључити да су сви наведени радови обухватили различите типове просторних података. Неки аутори користе само снимке добијене принципима даљинске детекције, док већи број њих користе и додатне помоћне просторне податке, било да су то подаци о висинама терена или објеката или изведени подаци из постојећих снимака као што су разне врсте индекса или сличне врсте изведених података. У табели (Табела 1) је дат упоредни преглед коришћених података у радовима из области истраживања.

Рад	Просторна резолуција				Спектрална резолуција		Додатни просторни подаци		
	Ниска	Средња	Висока	Веома Висока	РГБ	РГБ и НИР	Висине	Индекси/Односи	Остало
[14]				X		X		X	
[16]		X				X			
[18]		X				X			
[19]	X	X				X		X	
[21]		X				X		X	
[22]	X	X				X		X	
[23]		X	X	X	X	X		NDVI, NDBI	
[24]				X		X			
[26]		X				X	DEM	NDVI	Педолошка карта
[28]		X				X			Топографска карта
[29]		X				X			
[31]		X				X	DEM		
[32]		X				X			
[33]	X	X				X			
[34]		X				X	DEM	NDVI	
[35]		X		X	X	X			PCA
[36]		X				X			
[37]		X	X			X	DEM	NDVI	
[38]			X			X		NDVI	PCA
[39]			X			X			
[40]				X		X	DEM		
[41]				X	X			X	PCA
[42]			X			X	DEM	X	
[44]			X			X		X	
[45]			X			X	DTM		
[46]			X			X		NDVI	PCA
[47]				X		X		X	

Табела 1 Преглед коришћених података

На основу спроведене анализе може се закључити да модел који је резултат ове докторске дисертација мора обухватити не само мултиспектралне снимке различитих просторних резолуција које користе сви анализирани радови, већ модел мора да уважи употребу различитих додатних просторних података. Анализа је показала да додатни просторни подаци као што су информације о висинама различитог типа, различити индекси, односи између опсега и разне врсте карата, својим значајем и информацијама које садрже, значајно поправљају резултате класификације.

Анализирани радови, скоро у потпуности занемарују значај описа класификационог проблема и стандардизовања у поступку мапирања, као и одређивање минималне јединице мапирања. Такође описани радови, и модели који се користе у њима нису применљиви на различите податке даљинске детекције, него су уско везани само за један тип податка који се користи у анализираном примеру. Ова докторска дисертација се бави управо креирањем једног свеобухватног модела, где крајњи корисник на основу описа класификационог проблема јасно може да закључи које податке треба користити за одређене класификационе проблеме. У оквиру студија случаја ове докторске дисертације, показано је да се предложени модел може користити без измена или са врло малим изменама над различитим типовима података, што ће бити показано у поглављу 5 – Резултати истраживања.

Осим овога, анализа је показала да се поред осталих, у већини случајева користи мултирезолуциони сегментациони алгоритам занемарујући остале сегментационе алгоритме. У следећем поглављу се зато анализирају тренутно доступни алгоритми сегментације, на основу чега, модел који је резултат ове докторске дисертације омогућава употребу већег броја алгоритама за сегментацију слике, а све у зависности од описа класификационог проблема, модела за дефинисање поступка мапирања и модела за критеријум класификације геопросторних објеката. Такође, предложени модел уважава и истиче значај особина објеката који учествују у поступку класификације, што у случају анализираних радова није наглашено.

Све ово ће бити показано у поглављу 3 и поглављу 4 који детаљно објашњавају концепте примењене у моделу за идентификацију геопросторних објеката уз ослонац на објектно оријентисану класификацију.

3 Разматрања о моделу класификације

3.1 Увод

Основни циљ ове докторске дисертације је креирање модела за класификацију геопросторних објеката уз превасходни ослонац на објектно оријентисану анализу слике. Основа модела заснива се на поступку и начинима који објашњавају како се на основу улазних растерских података различитог типа, након одговарајуће обраде и процесирања, добијају нове информације (резултати класификације). Овај поступак и начини подразумевају да у моделу буду представљени различити приступи у поступку класификације над различитим улазним подацима, а да као исход његове примене крајњи корисник, вођењем кроз методе и неопходне кораке у класификацији жељеног геопросторног објекта, треба да зна шта на основу својих улазних растерских података може да очекује као резултат класификације.

Поглавље разматрање о моделу класификације се бави управо поступцима и начинима обраде и процесирањем (класификацијом) снимака насталих на принципима даљинске детекције. На почетку поглавља дат је кратак осврт на стандардне начине класификовања и преглед напредних техника пиксел базиране класификације. У другом делу је концепцијски и методолошки објашњен поступак објектно оријентисане анализе слике, где су појашњени начини перцепције и интерпретације слике и дата упоредна анализа пиксел и објектне класификације. Дат је концепт хијерархије објеката и разумевања слике. У последњем делу је детаљно објашњен поступак сегментације слике као и опис доступних алгоритама за сегментацију слике. Поглавље се завршава описом објектно базиране класификације.

Сви објашњени концепти у овом поглављу у ствари представљају основу за креирање једног свеобухватног модела за идентификацију геопросторних објеката уз ослонац на објектно оријентисану класификацију.

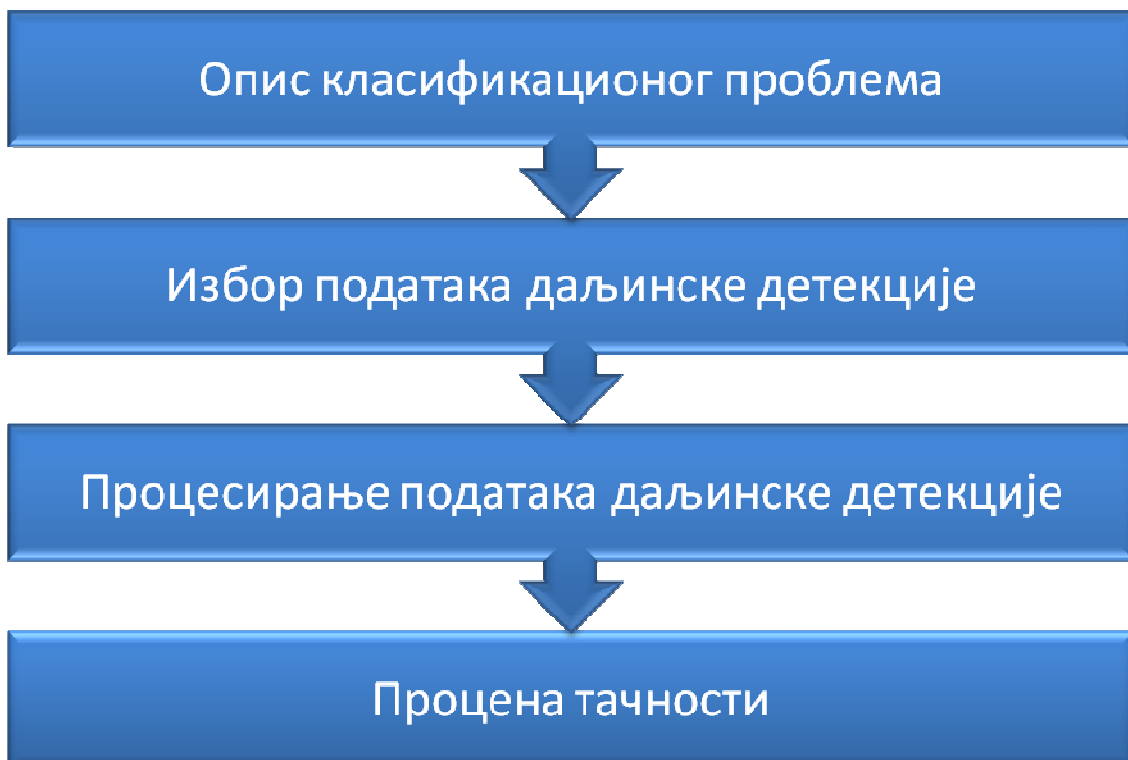
На основу претходних поглавља, у којима су објашњени основни теоријски концепти даљинске детекције и извршена анализа стања у области истраживања, као основа за креирање поментуог модела у наставку уводног текста дат је модел генералних корака класификације података даљинске детекције (Слика 14).

Поступак трансформације података даљинске детекције у информације, у смислу класификације земљишног покривача и начина коришћења површина Земље, најћешће представља технике класификације базиране на статистичким препознавањима шаблона. Оваква процедура подразумева да је одређено географско подручје снимљено у виду

снимка са више спектралних опсега електромагнетног спектра (мултиспектрални снимци), над којима су извршене одређене потребне корекције.

Да би се формирао модел класификације геопросторних објеката базиран на објектно оријентисаној анализи слике, потребно је дефинисати основни модел класификације над подацима насталим на принципима даљинске детекције. Основа модела дата је на слици (Слика 14) која дефинише основне кораке који су неопходни у било којој врсти класификације.

Као што се види, први корак у класификацији података даљинске детекције је опис класификационог проблема. Након тога потребно је, на основу описа класификационог проблема, дефинисати податке над којима ће се вршити класификација. Следећи корак је сам поступак класификације за које постоје одређени кораци пре и после класификације како би се она извршила на одговарајући начин, и на крају је потребно извршити процену тачности извршене класификације.



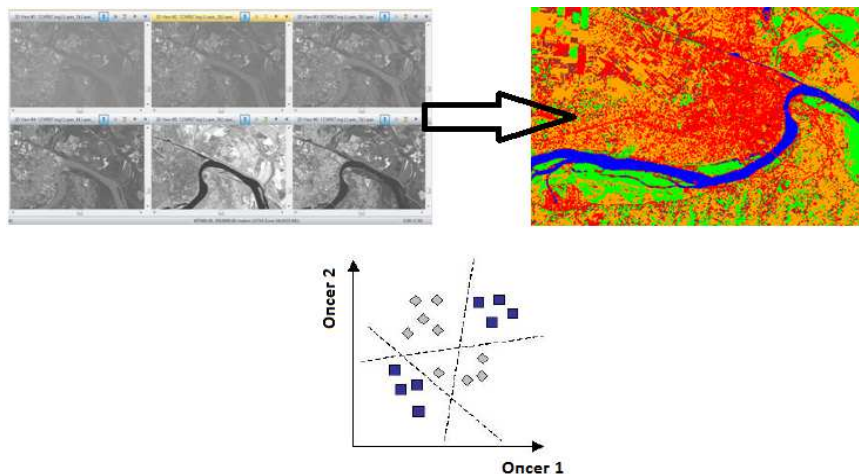
Слика 14 Модел генералних корака класификације података даљинске детекције

Овај модел генералних корака класификације искоришћен је као основа за свеобухватни модел који је резултат ове докторске дисертације.

Као што је већ речено у уводу, у наставку текста су дате основне хипотезе, концепције и методологије истраживања ове докторске дисертације.

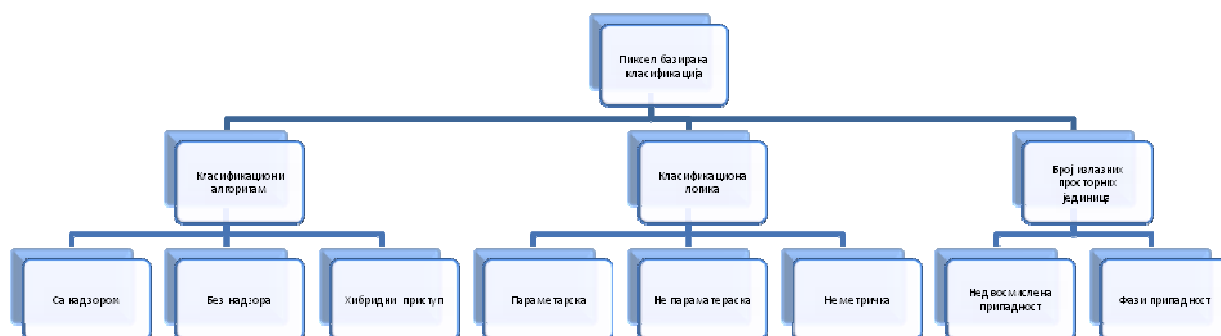
3.2 Пиксел базирана класификација

Пиксел базирана класификација представља, пре свега, поступак сврставања сваке анализираних просторне јединице у одговарајућу класу. У нашем случају просторна јединица која се анализира је један пиксел, а ако говоримо о мултиспектралним снимцима онда је просторна јединица пиксел и његова вредност у свим или одређеним изабраним опсезима. Пиксел базирана класификација, у ствари, сваку просторну јединицу која се анализира, представља у форми вектора особина, при чему тај вектор особина представља скуп различитих мерења (нпр. мерења рефлескије). Да би се извршила класификација, потребно је одредити границе између овако дефинисаних вектора, при чему те границе одређују припадност анализираних просторних објеката одређеној класи. Дефинисање правила, односно избор алгоритама на основу којих се одређује позиција односно припадност одређеној класи се назива класификација. На слици (Слика 15) су приказани појединачни опсеци из видљивог и инфрацрвеног дела електромагнетног спектра *Landsat 8* снимака за подручје Новог Сада, резултат класификације у складу са *CORINE* пројектом и простор особина за први и други опсег.



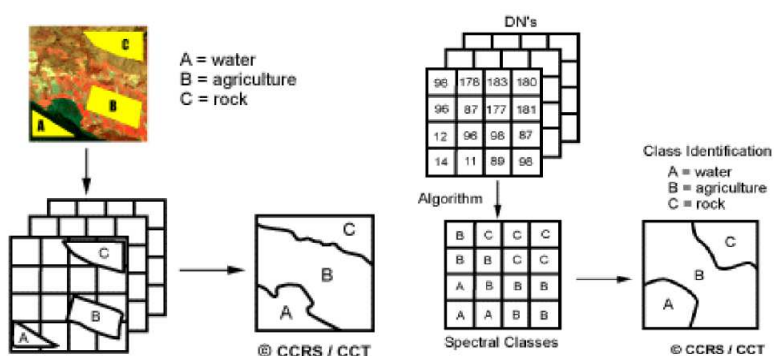
Слика 15 Пиксел базирана класификација *Landsat* снимака за подручје Новог Сада

Категоризација начина класификације базирана само на вредностима пиксела приказана је на следећој слици (Слика 16) и разликује се по класификационим алгоритмима за обраду слике, где постоје класификација са надзором и без њега (са обучавајућим скуповима и без њих) и хибридна, затим на основу претпоставке о дистрибуцији података односно класификационој логици, и према подели на такозвану "тврду" (недвосмислену припадност класи) и "меку" (фази припадност одређеној класи) класификацију.



Слика 16 Категоризација пиксел базиране класификације

Уопштено гледано, основна подела пиксел базиране класификације врши се према типу обучавајућих скупова. Постоје две основне методе – класификација са надзором и класификација без надзора (Слика 17). У основи методе класификације са надзором је да аналитичар идентификује хомогене репрезентативне делове различитих типова (класа), након чега се ови примери користе као обучавајући скупови. Избор ових делова слике зависи пре свега од аналитичара, односно од његовог предзнања. Нумеричке информације изабраних делова слике у свим опсезима се користе за "обучавање" рачунара у препознавању спектрално сличних подручја за сваку класу. Рачунар на основу доступног алгоритма креира спектралне потписе за сваку класу и пореди сваки пиксел слике са овим потписима, након чега сврстава све пикселе у слици у одговарајућу класу на основу "сличности" са обучавајућим скуповима. Класификација без надзора је супротна наведеном начину класификације. Рачунар на основу доступних алгоритама групише све пикселе на основу нумеричких вредности према задатим статистичким параметрима, а онда аналитичар покушава да груписане пикселе сврста у неке од унапред дефинисаних класа.



Слика 17 Класификација са надзором и без надзора [7]

Један од критичних делова код класификације са надзором је припрема обучавајућих скупова. Ако се узме у обзир да се у фази обуке прикупљају подаци који се користе у обуци алгоритама за класификацију, овај део знатно утиче на коначне резултате класификације слике. Такође, уобичајена ограничења у овој фази (доступност података) могу да доведу до неадекватног обучавајућег скупа. У случају употребе параметраских класификатора број обучавајућих скупова знатно утиче на процене статистичких параметра, и на крају, уколико на слици доминирају мешани пиксели, а само "чисти" пиксели се узимају за обучавајуће пикселе, ово може такође да утиче на тачност класификације. Обе наведене методе припадају такозваној групи "тврде" класификације где резултат класификације, односно број просторних јединица, недвосмислено припада одређеном броју класа.

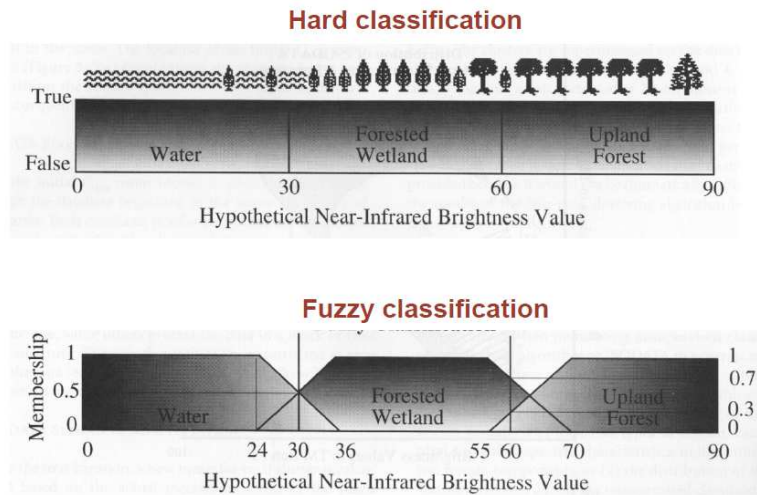
Трећи тип класификација је хибридни приступ који подразумева употребу неке од метода експертне класификације, стабла одлучивања или неуронске мреже и они спадају у неметричке методе класификације са фази припадношћу резултата класификације, док поменуте класификација са обуком и без обуке спадају у статистичке параметарске или непараметарске технике.

Уколико се говори о претпоставци дистрибуције података и класификацији, односно о класификационој логици, класификатори се у том смислу деле на параметарске, непараметарске и неметричке класификаторе. У параметарске класификаторе, као што је нпр. класификатор максималне вероватноће, спадају они који претпостављају нормалну дистрибуцију података, док непараметарски класификатори као што су класификатори најближих суседа подразумевају податке који немају нормалну дистрибуцију података. Неметричке методе као класификатор стабла одлучивања по одређеним правилима, може да ради и са правим реалним подацима (нпр. вредности рефлексије се крећу од 0 до 100%) и номиналним скалираним подацима (нпр. класа1 = водена површина, класа2 = шума, класа3 = пољопривредна површина).

Још један од могућих проблема је тај што су географски подаци (снимци) често непрецизни у смислу да границе између различитих феномена нису јасне (нпр. почетак и крај обале, почетак и крај шуме), такође припадности некој класи нису увек јасни, тј. подаци су често и хомогени и хетерогени. На слици која следи (Слика 18) дат је један пример где се може видети како се различити природни феномени репрезентују, односно, како су они представљени кроз нумеричке вредности пиксела у једном опсегу слике.

Ако се посматра претходна дискусија, па у том смислу говоримо о броју излазних просторних јединица, односно о резултату класификације и каква класификација може да буде, имамо поделу на "тврду" и "меку" (фази) класификацију. Тврда класификација, дакле, подразумева да је у резултату класификације сваки пиксел на недвосмислен начин присиљен или ограничен на припадност једној класи. Резултат фази класификација са

друге стране омогућава да сваки пиксел може припадати једној или више класа у исто време.

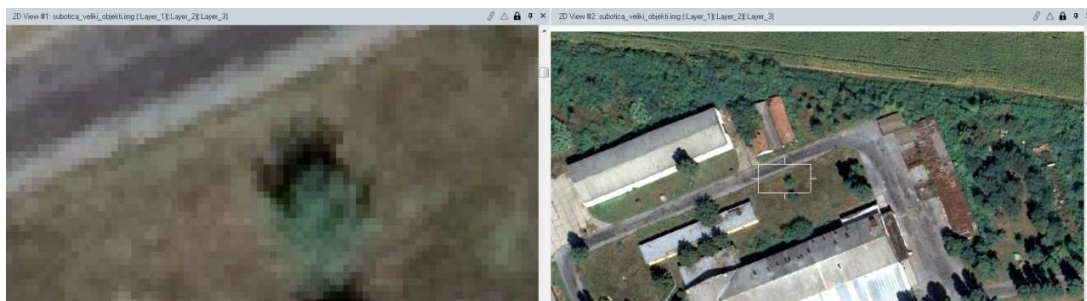


Слика 18 Пример "тврде" и "меке" - фази класификације [48]

3.3 Објектно оријентисана анализа слике - *OBIA*

У оквиру овог поглавља представљени су основни концепти објектно оријентисане анализе слике. Да би било јасније, сва теоријска разматрања у овом поглављу, где је то могуће, приказана су кроз практичне примере.

Као што је већ речено, свака слика се састоји из пиксела који представљају забележен рефлектован или емитован део електромагнетног спектра (светлости) са површине која је опажена (сликана). На слици (Слика 19) је приказан пример, где се, уколико се посматра само појединачан пиксел, (Слика 19 лево) при великом увећању, може видети да су пиксели само серије квадратића, при чему човек не може се са сигурношћу рећи о чему је реч. Али, ако се исто подручје посматра у другачијој размери (Слика 19 десно, бели правоугаоник), може се видети да посматрана серија пиксела у ствари представљају жбун поред пута.



Слика 19 Различите размере приказа истог снимка - Суботица

Овај пример представља концепцијске разлике између два приступа анализи слике. Док се пиксел базирана анализа слике базира само на информацијама које садрже појединачни пиксели, *OBIA* се базира на информацијама које се могу добити од скупа сличних пиксела који се зову објекти или објекти слике. Објекти слике су групе пиксела чија сличност се не базира само на спектралним карактеристикама (нумеричке вредности пиксела) него и по величини, облику, текстури, као и контексту у односу на суседне пикселе.

У наставку текста дат је детаљан опис *OBIA* и метода које су укључене у овакав начин анализе и интерпретације слике.

3.3.1 Перцепција и интерпретација слике

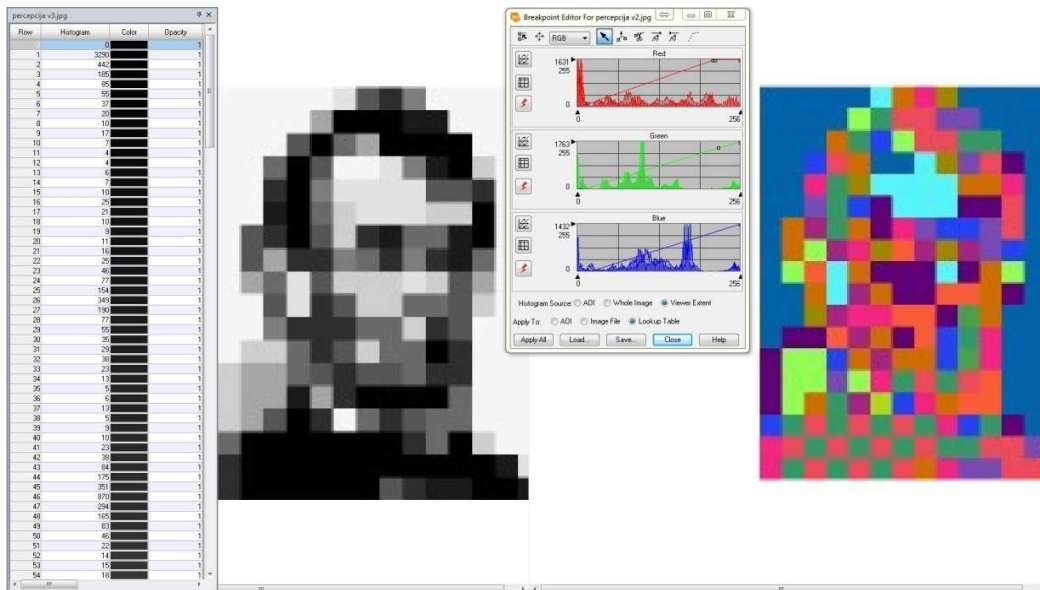
3.3.1.1 Визуелна перцепција

Да би било јасније о чему се ради, дат је пример који приказује да садржај слике може да буде препознат само ако су подаци приказани на одговарајући начин. Само тада човек може да препознаје шаблоне, боје и форму, који су представљени у различитим формама слике. Пример (Слика 20, Слика 21) показује да се садржај слике појављује у различитим облицима, што јасно показује разлике између људске интерпретације и интерпретације појединачног пиксела. Људско око види много више од различитих боја, људско око такође види и облик, текстуру и просторни однос одређених елемената на слици. Сваки човек на основу свог искуства различито интерпретира слику и свако од нас види слику у различитом контексту. Уколико се посматрају сателитски и авио-снимци, онда је ту посебно изражен контекст који у много чему зависи од искуства аналитичара са таквим погледом на површину земље (управно на Земљу), искуство са различитим комбинацијама опсега и слично. Искуство аналитичара је од пресудног значаја за интерпретацију оваквих снимака.

Row	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0	255	255	253	249	249	250	251	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	251
1	255	254	252	248	248	247	248	247	248	248	248	248	248	248	248	248	248	248	248	248	248	248
2	255	254	251	247	245	245	246	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
3	255	250	252	248	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
4	255	250	252	248	246	247	247	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
5	254	254	251	247	245	246	247	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
6	254	254	251	247	245	246	246	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
7	255	250	252	248	246	246	247	246	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
8	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
9	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
10	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
11	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
12	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
13	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
14	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
15	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
16	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
17	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
18	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
19	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
20	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
21	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
22	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
23	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
24	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
25	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
26	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
27	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
28	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
29	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
30	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
31	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
32	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
33	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
34	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
35	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
36	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
37	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
38	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
39	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
40	255	250	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
41	256	246	251	247	245	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246

Слика 20 Нумеричке вредности пиксела који представљају људски лик

Пример на првој слици (Слика 20) показује да бројеви сами по себи тешко да могу бити правилно интерпретирани, односно да они могу да имају неку вредност само ако су правилно кодирани. Пример на наредној слици (Слика 21) показује да мора постојати правило које каже на који начин се бројеви који представљају вредности пиксела трансформишу у слику како би човек могао правилно да изврши интерпретацију ових бројева.



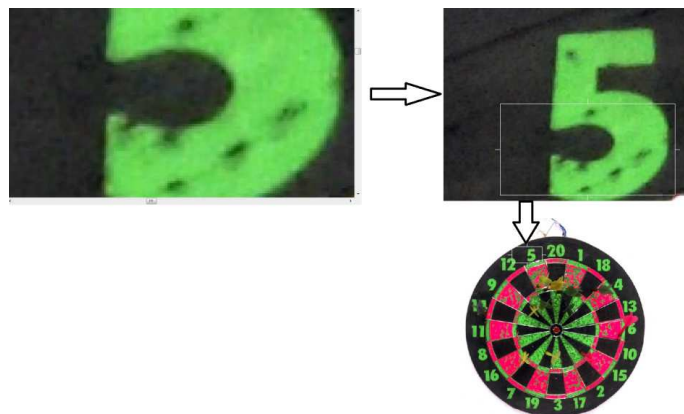
Слика 21 Кодирани приказ претходне слике

Уколико се посматра слика човека (Слика 21 лево), човек не интерпретира слику пиксел по пиксел. Обично, кад погледа овај пример, човек прима комплексну структуру шаблона, боја и форми, који су структурирани у различитим нивоима слике. Део по део објеката слике се обрађује и спаја у један велики, што значи да се садржај слике састоји од неколико слојева у исто време. Иако је црно бела слика човека лоше резолуције и са лимитарним бројем боја, односно нијанси сиве, човек ипак може да прикупи довољно информација да препозна људски лик – спој делова слике који представљају лице и одећу човека. Конкретно на овом примеру се могу уочити, односно препознати два нивоа, један који представља лице, и други који се састоји од делова (очи, нос, брада, коса, и рамена).

3.3.1.2 Контекст слике

Како би се јасно указало на значај контекста слике, у односу на просторни распоред дат је следећи пример (Слика 22), где се у горњем левом углу види нешто што се може интерпретирати као зелена потковица са црном позадином. Уколико се прошири контекст посматрања слике, можемо да закључимо да није у питању потковица већ број 5 али и даље не можемо да закључимо о чему је реч. На крају се, у доњем делу слике, када је приказан шири контекст, може препознати да није у питању само обичан број пет, него да

је у питању пикадо где се број 5 зелене боје налази у спољном кругу пикада који је црне позадине.



Слика 22 Пример контекста у анализи слике

Дакле, овај пример је јасно показао значај контекста слике, поготово у просторном смислу, на основу чега се може закључити да контекст слике представља значајну одредницу које може да утиче на интерпретацију и перцепцију у анализи слике.

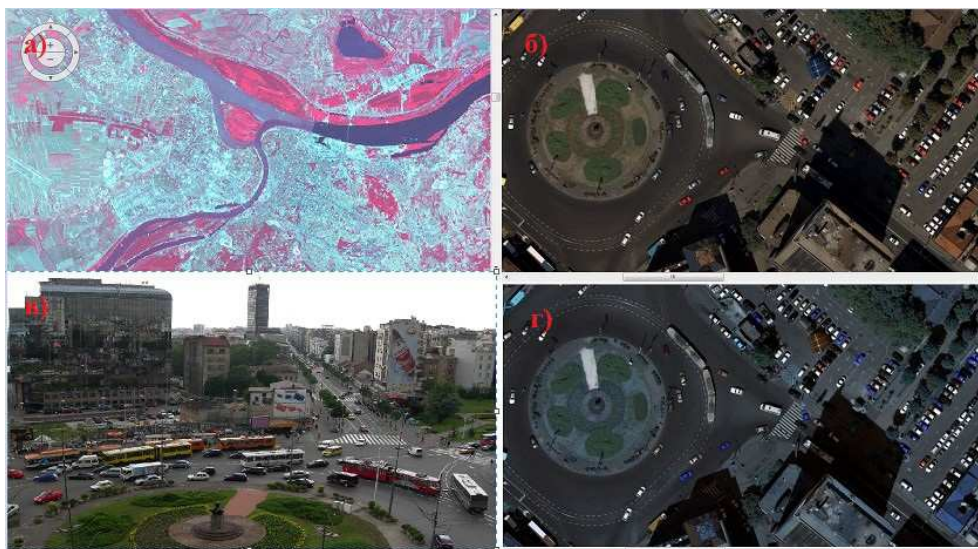
3.3.1.3 Искуство аналитичара

Искуство аналитичара који врши анализу слике је такође значајно битно. Људски вид је добро припремљен за комплексне анализе и интерпретације слике. Искуство се стиче од најранијег детињства, али људски вид има проблем када се сусретне са снимцима који су настали на принципима даљинске детекције. Проблем који се појављује је испољен, пре свега, у начину погледа на слику (одгоре), затим ту су и опсежи односно спектралне карактеристике снимака ван видљивог дела спектра, и на крају, рад са различитим размерама и резолуцијама снимака. Искуство је значајно уколико желимо успешну интерпретацију слике.

Потребно је много искуства у интерпретацији слика које имају различиту шему боја "false colour", поготово када се ради о снимцима који садрже опсеге ван видљивог дела електромагнетног спектра, када је потребно препознати неке природне феномене, или када је потребно да се препознају одређене текстуре или структуре у слици. "У раду који се бави анализом људског мозга закључено је да се процесирање сигнала са било којих од наших чула базира на векторском кодирању сигнала у вишедимензионалном простору особина. Остаје да се утврди које векторске равни или осе се користе када се интерпретирају сигнали са наших чула. Искуство представља значајно подручје у поменутом мултидимензионалном простору особина" [49].

Пример који је дат на слици (Слика 23) представља управо приказ истог подручја (Славија–Београд) на различите начине и илуструје значај искуства аналитичара, где је на

у првом делу слике (а) приказана *Landsat 7* сцена у *432RGB* "false colour" комбинацији боја, у другом (б) Ортофото Славије у природној комбинацији боја *321RGB*, у трећем (в) обична фотографија Славије и на крају (г) сателитски снимак *WV2* у *123RGB* "false colour" комбинацији боја.



Слика 23 а) Београд *Landsat 7 432RGB*, б) Ортофото Славије *321RGB*, в) Фотографија Славије, г) *WV2* Славије *123RGB*

3.3.2 Анализа пиксел и објектне класификације

Да би се јасније истакле разлике између пиксел и објектно базиране класификације, користимо прост пример приказан на сликама које следе (Слика 24, Слика 25 и Слика 26). Када се погледа резултат класификације приказан на првој слици (Слика 24), аналитичар који има искуства би могао да претпостави шта је приказано на датој мапи, односно, могао би да претпостави да се ради о различитим геопросторним објектима, при чему свака боја која се појављује на мапи представља различите класе као површинске покриваче.

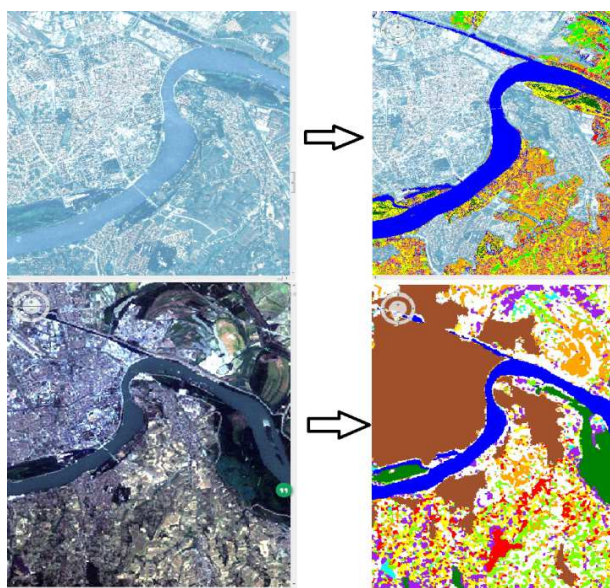
Уколико се посматра аспект пиксел класификације, опште је познато да су спектралне карактеристике различитих водених површина међусобно сличне (нпр. река и језеро, или канал који се улива у реку), такође различите површине под вегетацијом имају међусобно сличне спектралне карактеристике [50]. Управо због тих сличности, пиксел класификација не може да направи разлику између реке и језера, или парка и остале вегетације.



Слика 24 Резултати класификације [51]

Уколико овај пример класификације посматрамо са аспекта објектне класификације, онда подручје које је под вегетацијом, а представља градски парк, (на Слика 24 заокружен зеленим кругом), можемо да класификујемо иако су спектралне карактеристике површине која представља градски парк сличне са спектралним карактеристикама сличних површина ван градског језгра, нпр. шуме или ливаде. Дакле, управо објектна класификација градски парк класификује на правилан начин, зато што поред спектралних карактеристика узима у обзир просторни контекст, па рачунар може да "препозна" да се вегетација налази унутар урбаног подручја и да тај вегетациони део уствари представља градски парк.

Оно што је заједничко за снимке са различитих сензора је да пиксел увек представља исту ствар, а то је забележена емитована или рефлектована електромагнетна енергија са површине земље. Код пиксела који физички представљају исто подручје, али су различите просторне резолуције, пиксел често не представља само једну врсту површине него садржи у себи различите типове површина (ефекат мешаног пиксела), па самим тим, иако се ради о истом подручју на површини Земље, пиксели немају исте вредности. Пошто уобичајено суседни пиксели на снимку имају сличне карактеристике (просторна аутокорељација) неприкладно је или "неекономично" да се сваки пиксел третира појединачно. Овај проблем може да се посматра на примеру два снимка различитих просторних и спектралних резолуција за подручје Новог Сада, приказаних на слици која следи (Слика 25).



Слика 25 Резултат класификације *Landsat 7* и *IRS LISS 4* - Нови Сад

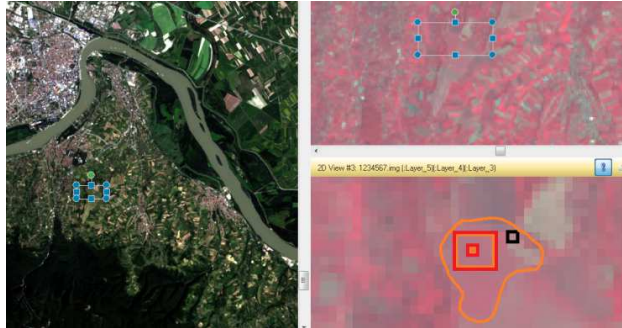
IRS LISS 4 сцена, просторне резолуције 6 m, која обухвата подручје града Новог Сада, и чија површина је око 530 km², у само једном опсегу има око 21 милион пиксела (Слика 25 горе), односно у сва четири опсега која су коришћена у класификацији око 84 милиона пиксела. Цела *Landsat 8* сцена (Слика 25 доле) која обухвата подручје Новог Сада је у просеку велика око 30000 km², просторна резолуција је 30 m, што значи да по једном опсегу сцена има око 62 милиона пиксела. Уколико користимо и панхорматски опсег просторне резолуције 15 m, онда се број пиксела повећава на 250 милион по опсегу, односно преко 1750 милиона пиксела за сцену која садржи и видљиве и инфрацрвене опсеге. Третирање сваког пиксела појединачно, са аспекта пиксел класификације, без обзира на развој технологије и рачунара, било би изузетно непрактично и неекономично

Поред ових, проблеми који се најчешће срећу код пиксел базиране класификације се могу сврстати у неколико група:

- спектралне карактеристике (вредности пиксела) припадају већем броју класа класификације, а не само једној,
- не постоји просторни однос који се користи у класификацији,
- ефекат соли и бибера [50].

Основна мањкавост пиксел класификације у односу на објектну је мала количина информација која се може добити ако се посматра само један пиксел (Слика 26 црни правоугаоник) уважавајући његову боју (односно вредности пиксела свих опсега слике). Пиксел базирана класификација не може да узме у обзир тесктуру (Слика 26 црвени правоугаоник) форму и облик, као и суседне односе између пиксела и њихов контекст

(Слика 26 наранџаст полигон). На Слика 26 је приказан пример винограда поред Новог Сада на *Landsat* 8 сателитском снимку просторне резолуције 30 m.



Слика 26 Лево: *Landsat* 8 у природном приказу боја, Горe десно: *Landsat* 8 543РГБ комбинација боја и Доле десно: Виноград поред Новог Сада

3.3.3 Објекти слике

У највећем броју случајева, информације које су битне за разумевање неке слике нису садржане само у пикселу него се морају узети у обзир смислени објекти у слици и њихови међусобни односи. Такође је битно да се дефинише однос између циљаних објеката и просторне резолуције снимака. Пораст просторне резолуције савремених сателитских платформи омогућиле су значајно висок ниво детаља што опет води проширењу скупа циљаних класа објеката.

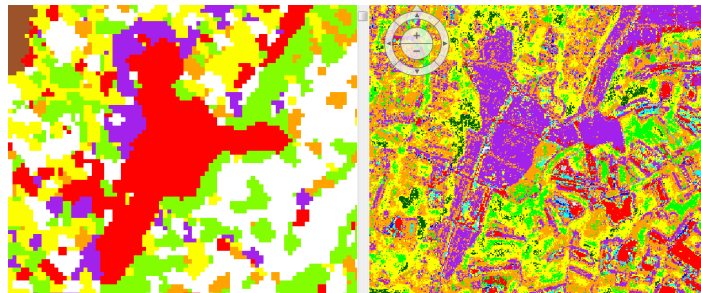
Да би се класификовали објекти од интереса, статистичка анализа базирана само на спектралним карактеристикама није довољна. Као што је истакнуто у магистарском раду [52], као и у другим радовима [53], [54], [55], појава снимака високе резолуције повећала је потребу за ефикаснијим методама више него икад. Генерално, за снимке високе резолуције, поступак који подразумева сегментацију пре класификације много је боља опција од пиксел базиране класификације, јер подразумева поделу простора са тенденцијом да се укључе мањи и компатнији подрегиони. Сегментација је генерално погоднија за снимке високе резолуције где постоји потреба за груписањем пиксела.

На примеру снимка просторне резолуције од 1 m, где се посматра шумска вегетација, са просеком пречника круне дрвета од 10 m и више, сваки објекат слике који представља круну једног стабла се састоји од великог броја пиксела. У овом случају сваки пиксел од 1 m ће бити део појединачне круне једног стабла, што значи да ће објекат слике бити састављен од груписаних пиксела који имају јаку спектралну аутокорељацију јер су сви део једног истог објекта, а односи између објеката слике су и спектрални и просторни.

На наредној слици (Слика 27) приказан је резултат класификације винограда у близини Новог Сада, са леве стране је црвеном бојом приказан виноград добијен на основу објектно базиране класификација, а са десне стране розом бојом приказан је виноград као резултат пиксел базиране класификације. На овом примеру, код пиксел базиране

класификације уочава се потреба за неким видом генерализације, што је чест случај код класификације земљишних покривача када је циљ класификације креирање релативно хомогених класа.

Такође, на истој слици се, код пиксел базиране класификације, примећује ефекат "соли и бибера", када велики број класификованих пиксела припада различитим класама, али у ствари представљају исту врсту земљишног покривача. Пиксел базирана класификација и ефекат соли и бибера се може превазћи управо сегментацијом (нпр. груписањем сличних пиксела) након чега би требало да се врши класификација.



Слика 27 Резултат класификације винограда - Нови Сад

Основни елемент *OBIA* класификације је објекат слике, који представљају суседне регионе у слици. Разликују се два типа објеката, примитивни објекти и објекти од интереса. Објекти од интереса у ствари представљају реалне објекте, као што су зграда, кућа или цела пољопривредна парцела, док примитивни објекти у ствари представљају неопходан међукорак у поступку сегментације, класификације и настанка објекта од интереса, при чему најмањи објекат слике представља један пиксел слике. Када посматрамо реалне објекте слике који имају неки смисао, онда статистички подаци посматраних објеката имају већу поузданост него кад се ради само о статистици појединачних пиксела. Овакви објекти такође имају јасније границе, што није случај ако посматрамо само појединачне пикселе. Предност *OBIA* класификације не огледа се само у поузданијој статистици објеката, већ и у другим особинама и смисленим мерењима нпр. при статистици обраде текстуре објеката, затим у већој корелацији између објеката уз ослонац на облик објеката (нпр, дужина, број ивица, површина,...), у тополошким односима између објеката (суседни објекат или објекти, суперобјекат,...) и у блиском односу између неког објекта из реалног света и објекта слике. Benz и остали аутори [56] ове односе између објеката посматрају као незаменљиве, и закључују да они значајно побољшавају вредност финалне класификације која се не може постићи уз помоћ пиксел базиране класификације.

Уколико се посматра савремена даљинска детекција, снимци високе резолуције су све доступнији. Овакви снимци високе резолуције носе информацију која се може посматрати у различитим резолуцијама, при чему се у исто време могу посматрати информације са фином резолуцијом – што може бити један ниво података и збирне информације што може да представља неки супер ниво. Овакав начин прикупљања

информација захтева угњеждане односе између различитих нивоа информација, односно појављује се потреба за хијерархијом која је систематски уређена. Објекти слике код снимака са високом резолуцијом управо се и посматрају кроз систематски уређену хијерархију. Овај приступ је доминантан код ГИС аналитичара који анализу неке мапе управо посматрају кроз хоризонталне односе између објеката мапе.

Интеграција даљинске детекције и ГИС-а се управо постиже кроз објекте слике. Из перспективе обичног ГИС корисника репрезентација слике кроз структуриране полигоне је њихов "матерњи језик" [53]. Употреба атрибута и просторних односа између објеката слике уводи географски концепт (који је основа сваког ГИС-а) у поље даљинске детекције.

Ове основне концепте географије или ГИС-а, као што су концепт суседа, раздаљине, локације, као и поменута агрегација информација снимака високе резолуције и представљање вишеслојне презентације, можемо применити на објекте слике који настају као резултат сегментације и *OBIA* класификације.

3.3.4 Хијерархија објеката

У теорији о хијерархији објеката слике се говори о нивоима организације, који нису рестриктивно ограничени на величину или опсег. Објекти слике имају инхерентну величину. Слика може бити представљена у различитим размерама истовремено (*multi-scale* репрезентација), у зависности од циљаних објеката и домена размере објеката. Одређивање елемената неког система у зависности од размере може се обавити уз помоћ анализе са више размера (*multi-scale*). Из перспективе даљинске детекције, објекти слике у исто време представљају агрегацију групе пиксела (или мањих објеката) као и делове већих објеката. У основи хијерархије објеката слике, стратегија креирања објеката комбинује идеју хијерархијске организације објеката, међусобне интеракције и међусобних односа у систему и процеса који утичу на промену размере слике.

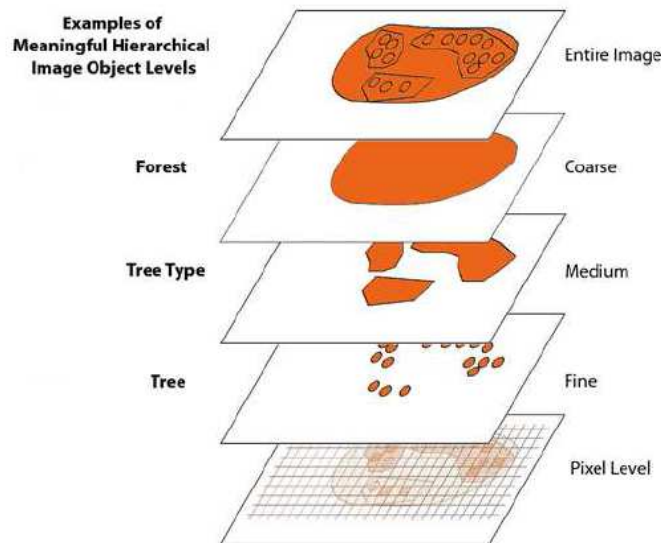


Слика 28 Сателитске палтформе са различитим резолуцијама

Повећање резолуције сателитских снимака омогућава нам да се користе све мање и мање размере, што људску интеракцију и поглед на свет доводи у исти домен као и домен размера данашњих снимака високе резолуције који настају на принципима даљинске детекције. Са снимцима ниске резолуције (Слика 28) као што су Метеосат или *Landsat*, класична пиксел класификација земљишног покривача даје оптималне резултате за класификацију до десетак класа [1]. Са резолуцијама испод 1 метра (World View серија сателита) домен доступних размера се увећава са повећањем подручја, као и областима у којима се ови снимци могу користити (екологија, урбанизам, планирање, сигурност,...), јер ниво детаља на снимку омогућује много већи број класа у финалној класификацији. Комбинација снимака са ниском и средњом резолуцијом са снимцима са високом резолуцијом управо подржавају посматрања и анализе са више размера (*multi-scale*) јер је активност човека у центру домена снимака високе резолуције.

Различити погледи и различите размере неминовно доводе до различитих објеката. Размера се пре свега односи на величину објеката који се појављују у пејзажу или на репрезентацију објекта на мапи или сателитском снимку. Различити објекти такође имају различиту размеру, због тога што сваки објекат има своју природну размеру те се појављује само у одређеним размерама. Такође, у зависности са које висине се посматра Земља, зависи и који објекти су видљиви. У свом раду Нау и аутори [55] демонстрирали су да заступљеност објекта у више размера даје боље резултате него ако се ослонимо само на статистичке податке које меримо унутар неке слике.

Иако је домен размера код даљинске детекције условљен резолуцијом пиксела, жељени објекти од интереса имају најчешће своје размере. Ове размере одређују да ли ће се одређени објекат (класа) појавити. Такође исти типови објеката се појављују у различитим размерама (нпр. мостић на неком каналу и велики мост преко неке велике реке или дрво, тип дрвета и шума (Слика 29)). Супротно томе, поступак класификације и објекти који треба да се појаве као резултат класификације директно одређују размеру од интереса (Слика 29).



Слика 29 Хијерархија објеката слике [57]

Сваки део Земље садржи различите објекте различитих размера који резултују различитим скалама размера. Границе унутар размера нису никад јасне, па се стога креирање објеката слике и одређивање размере и хијерархије објеката сматра битним и компликованим процесом. Да би се одредио релевантан опсег размера који се користе у анализи неке слике, морају се, пре свега, дефинисати:

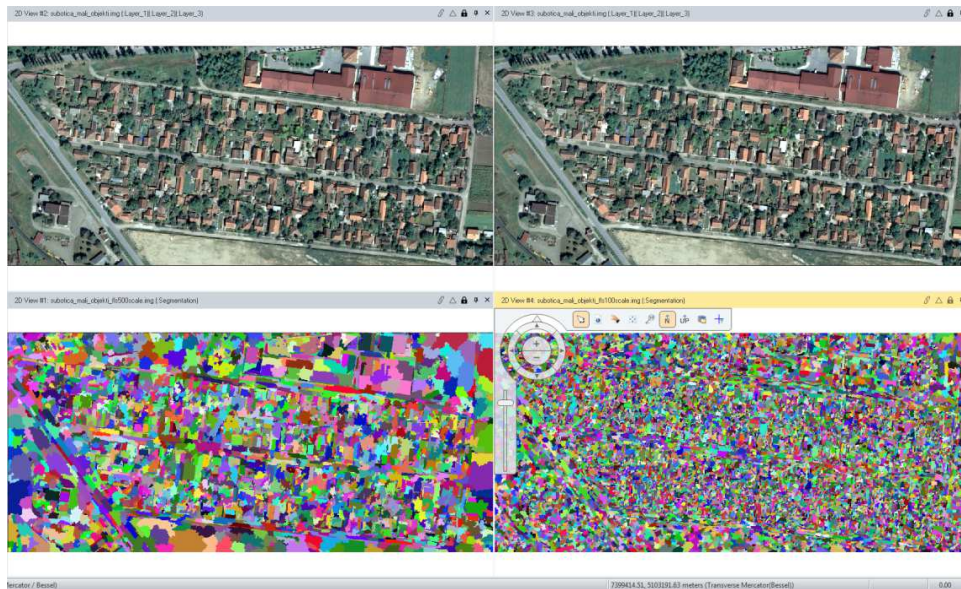
- минимална површина објекта која је упоредива са резолуцијом снимка (првенствено просторна, али и спектрална и радиометријска)
- опсег података односно најгрубља размера целог снимка (укупна површина, ширина опсега снимка, покривеност одређеним временским трајањем).

Хијерархија објеката има за циљ у ствари да се објекти слике могу презентовати симултано у различитим нивоима хијерархије. При чему сваки објекат зна свој контекст појављивања и своје место у хијерархији.

Још један од битних делова хијерархије објеката је и поступак декомпозиције. Потребно је поделити слику (систем) на компоненте у складу са њиховом размером и редоследом у хијерархији објеката. Приликом декомпозиције, новонастали објекти, односно подсистеми, су независни један од другог, али имају међусобне везе које се могу користити за међусобну интеграцију.

Дакле, потребно је дефинисати шта у ствари треба да представља један објекат у снимцима који су настали на принципима даљинске детекције и да ли такви објекти настају интеграцијом или агрегацијом. Интегрисани објекти се састоје од делова који су структурно организовани и имају одређену размеру, док агрегирани објекти немају структурну организацију својих делова него само представљају неко подручје без

унутрашње размере објеката. Дакле, из перспективе даљинске детекције, објекти слике су интегрисани објекти који постоје у својим унутрашњим размерама и састоје се од структурно повезаних делова.

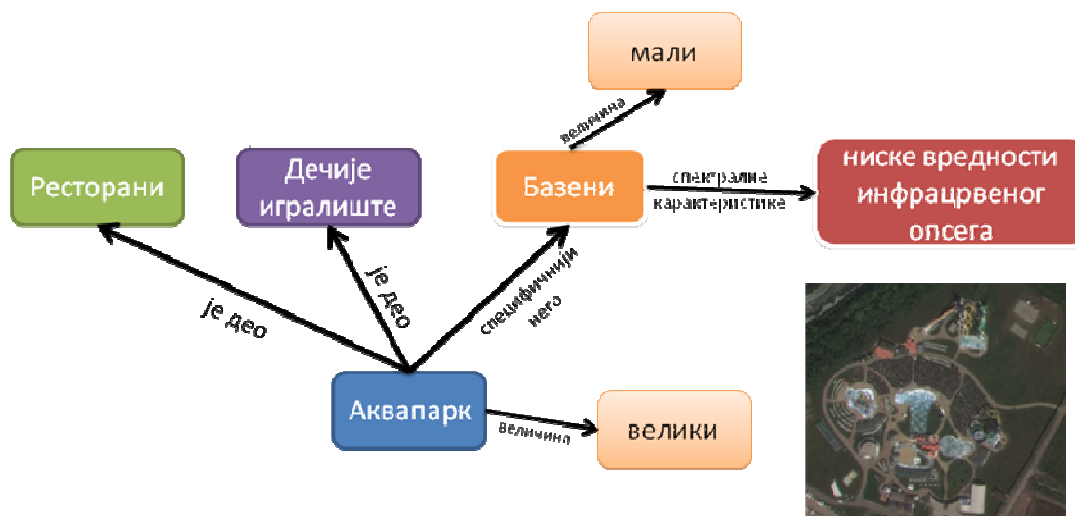


Слика 30 Ламбда сегментација са различитим размерама

У случају различитих објеката такође се поставља питање која размера да се користи и на којим размерама треба успоставити хијерахију између објеката слике. Да би се разумео однос између објеката слике унутар домена различитих размера на слици или ван њега (Слика 30), дат је пример *Ламбда* сегментације ортофото снимка за подручје Суботице са размером објеката 1:500 (лево) и 1:100 (десно). На овој слици може се уочити да је потребно одредити шта је оптимална размера, а то зависи пре свега од величине, облика и спектралне дистрибуције објеката слике на посматраном примеру. Дакле, може се закључити да одабир оптималне резолуције зависи пре свега од посматране сцене и од специфичности објеката који се желе добити као резултат.

3.3.5 Представљање знања - разумевање слике

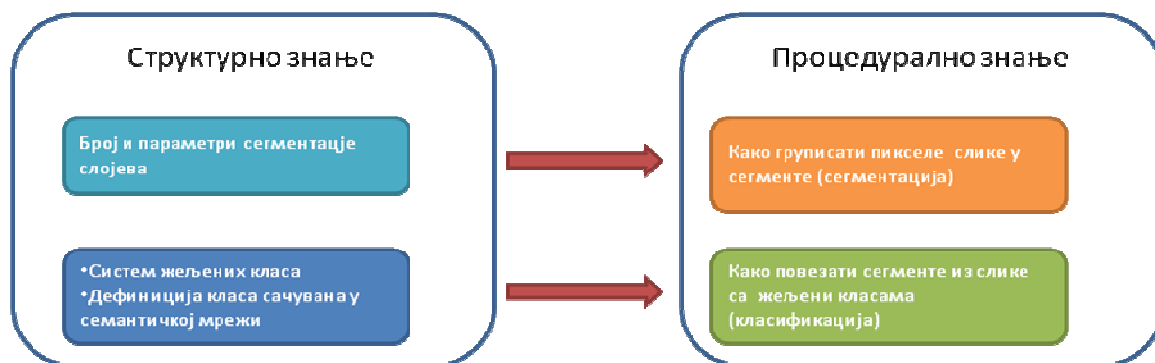
Код интерпретације слике настале на принципима даљинске детекције, знање је најважнији део у интерпретацији слике. У поступку интерпретације, људско знање се допуњује сазнањима која се стичу обуком. Вештачка интелигенција разликује процедуралне и структурне начине интерпретације знања. Процедурална знања су представљена специфичним рачунарским функционалностима која су одликују одређеним правилима. Структурна знања представљена су концептима који говоре о повезаности различитих домена у интерпретацији слике. У поступку разумевања слике структурна знања говоре о везама између објеката слике и "стварног света" односно о географским особинама које их повезују. Обично се ове везе представљају кроз неки семантички концепт односно кроз семантичку мрежу која описује ове везе.



Слика 31 Пример семантичког презентовања у анализи слике аквапарка Бачки Петровац

Уколико се посматра снимак аквапарка (Слика 31), структурно знање је представљено кроз систем који садржи графичке нотације и семантичку мрежу која представља формални оквир за анализу слике (семантичко знање је одликовано кроз концепт наслеђивања нпр. "је део", или "је инстанца"). Карактеристике семантичке мреже треба да се огледају у контроли над везама које су установљене.

OBIA приступ у анализи слике захтева успостављање једне овакве мреже која служи као концептуални оквир за дефинисање броја сегмента и параметара у поступку сегментације као и дефиниције жељених класа у поступку класификације (Слика 32). На овај начин је омогућено да се сваки корак у процесу разумевања слике документује, чиме се постиже контрола над свим корацима и доступност за случај потребе да се неки од корака измене. Овакав формализован приступ у анализи технички дозвољава трансфер класификације на неку другу сцену и уз евентуалне мале исправке у процесу могу се постићи задовољавајући резултати. Такође, овај концепт сажима неопходна знања која се користе за креирање скупова правила потребних за поступак класификације. Управо овај концепт је примењен на моделу који је резултат ове докторске дисертације, а у студијама случаја које верификују модел, кроз поступак класификовања зграда као геопросторних објеката, примењен модел није мењан односно направљене су минималне измене за четири верификациона примера.



Слика 32 Концептуални оквир мреже (са)знања

И поред напретка у развоју вештачке интелигенције, где је уложен велики напор да се направе алгоритми за детекцију објеката, разумевање слике није и не представља само поступак екстракције објеката са неке сцене. У тумачењу неке слике постоје различите карактеристике и случајеви, па на крају и различите жељене класе класификације. Разумевање слике ипак треба посматрати као процес кроз који се на крају долази до описа садржаја слике. Процес разумевања слике пролази кроз различите етапе и условљен је:

1. Дефинисањем – Разумевање слике је процес који води ка реконструкцији садржаја слике кроз опис садржаја слике.
2. Опсегом разумевања слике – од података слике до симболичке репрезентације садржаја слике.
3. Условима за разумевање слике који зависе од домена, односно, интереса интерпретатора слике и дефинисани су:
 - питањама истраживања,
 - одређеном облашћу примене,
 - предзнањем и искуством интерпретатора слике.
4. Описом
 - објеката реалног света и њихова веза са сценом
 - функцијама које описују поменуте везе
5. Улазним знањем односно процесом који је вођен
 - коришћењем процедуралног знања
 - трансформацијом структурног знања
6. Дисциплинама које се користе у процесу попут
 - процесирања и обраде слике
 - препознавања облика
 - вештачке интелигенције

Формирање концептуалне везе са људском перцепцијом сегментације слике се сматра основним предусловом за поступак разумевања слике. Објектно оријентисана анализа слике – *OBIA* нуди методе којима се комплексна сцена може поделити на смислене

(примитивне) делове слике. Неопходни и релевантни кораци уз ослонац на *OBIA* су дати на слици која следи (Слика 33) [49].

Један од најважнијих аспеката разумевања слике је информација о контексту слике. У свом раду Бенз и остали аутори [56] закључују да постоје две врсте контекстуалних информација – глобални контекст, који описује ситуацију слике (локацију, време, информације о сензору и слично) и локални контекст, који описује међусобне односе региона у слици. Објекти слике морају бити повезани како би био омогућен просторни и семантички контекст. Када су објекти слике са различитим размерама међусобно повезани, то доводи до креирања хијерархијске мреже објеката слике. Заједно са класификацијом и међусобним зависностима између објеката и класа, таква мрежа се може посматрати као просторна семантичка мрежа.



Слика 33 Кораци у разумевању слике

Да би се јасно дефинисали кораци у планирању описа слике и сегментације, морају се јасно дефинисати циљани објекти, размере у којима се они појављују и класе. Међусобна веза ових податка заједно са вишеслојном сегментацијом треба да воде до јасне слике о томе како циљани објекти треба да буду структурирани, односно да дефинишемо нивое објеката од интереса. Критичан елемент сегментације је поклапање објеката сцене и концепта реалности.

Моделовање, односно, категоризација објеката слике уствари представља успешно креирање скупа правила базираних на знању експерта који врши анализу слике. Моделовање треба да обухвати категоризацију објеката на основу њихових спектралних, просторних и других међусобних односа, на основу којих се могу дефинисати различите класе – спектралне, структурне и семантичке.

У завршној фази разумевања слике, где имамо јасно дефинисану категоризацију објеката, може се рећи да се садржај слике од стране интерпретатора може повезати са концептом реалности.

Дакле, цео процес се карактерише трансформацијом и употребом знања. Моделовање, опис жељених класа, креирање правила, давање имена, све су то релевантни поступци над одређеним објектима који чине знање које користимо у поступку разумевања слике. Постепеним прилагођавањем, побољшањем и моделирањем објеката, на неким новим сценама, знање се обогаћује чиме се долази у позицију да се праве нова правила.

3.3.6 Сегментација слике

Као што се може закључити из претходног поглавља, сегментација слике представља значајан део саме *OBIA* класификације, а као поступак представља један од најзначајних делова модела ове докторске дисертације. Стога је у наставку текста дат значајан осврт на сам појам сегментације слике, као и примери доступних алгоритама за сегментацију слике.

Основни циљ сегментације слике је дефинисање оптималног начина за поклапање између објеката слике и географских карактеристика, односно геопросторних објеката из стварног света.

Иако су технике сегментације слике добро познате у неким областима, оне су донедавно ретко коришћене у поступку класификације снимака (података) насталих у поступку посматрања Земље. Један од главних разлога је што су ови алгоритми били преваходно развијени за разне анализе шаблона, разграничења на материјалима и вештачким површинама, контроли квалитета производа и слично. Циљ сегментације снимака насталих на принципима даљинске детекције је стварање хомогено спектралних сегмента који могу да показују димензије и објекте на снимцима.

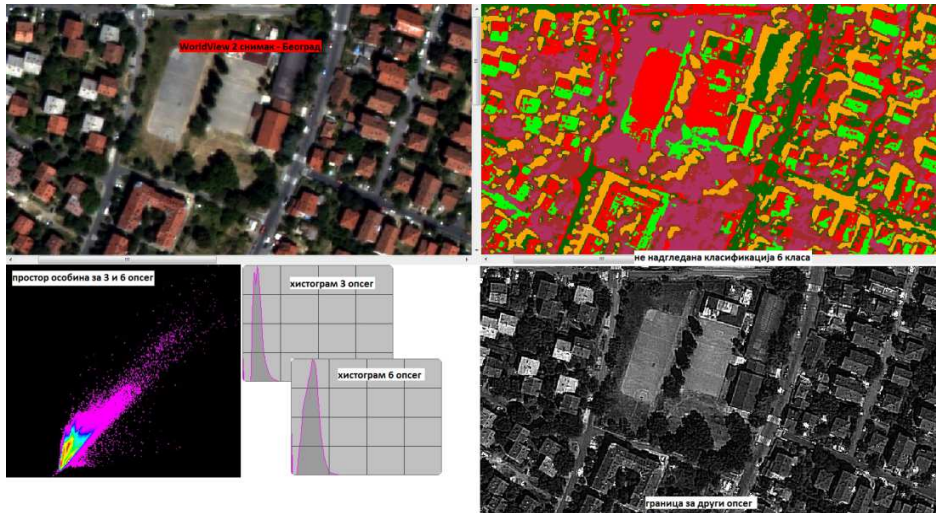
По раду аутора Horowitz и Pavlidis [58] сегментација се заснива на четири математичка принципа:

1. унија скупа региона чини слику
2. региони не смеју да се преклапају
3. примена критеријума хомогености
4. хомогени критеријуми суседних региона се морају разликовати

Уколико се посматрају данас најзаступљенији типови података, радарски снимци, сателитски снимци са високом резолуцијом или снимци са авионских и беспилотних летелица, анализа оваквих података може бити успешна само ако се над њима врши сегментација у смислене хомогене површине или релативно хомогене површине. При чему се критеријуми хомогености разликују по вредности осветљености, боји, тесктури, форми, висини,...

Традиционалне методе за сегментацију се могу поделити у три основне групе:

- сегментација базирана на хистограму/пикселу
- сегментација базирана на регионима
- сегментација базирана на ивицама



Слика 34 Хистограм базирана сегментација

Хистограм базирана сегментација се одвија у простору особина. Овај приступ се разликује од осталих углавном због тога што игнорише просторну димензију у стварном простору. У принципу, овај начин се може сврстати у облик ненадгледане класификације која за резултат има класе, али не и просторно суседне регионе. На горњој слици (Слика 34) види се пример снимка над којим је извршена ненадгледана класификација у 6 класа за подручје Београда и пример сегментације на бази одређивањем прага хистограма, као и простор особина за трећи и шести опсег снимка и њихови хистограми. Овај приступ је један од најједноставнијих приступа (ту спадају све врсте са глобалним одређивањем прага). Простор особина се дели на подврсте и пиксели који припадају истој подврсти се спајају ако су суседни пикселу у снимку над којим се врши сегментација. Ове методе дају ограничен квалитет сегментације, која се најчешће испољава као превише сегмената или премало сегмента. Алтернатива овим техникама је покушај да се прављењем обучавајућих скупова унапреди поступак. Сегменти се тада креирају након пиксел базиране класификације груписањем у глобалном простору особина. Спајањем свих суседних пиксела који припадају истој класи настају сегменти [59].

Регион базирана класификација, као што само њено име каже, као резултат испоручује регионе. Овај начин сегментације разликује се у начинима настанка региона. Региони настају применом техника раста (*region growth*), спајања (*region merging*) и дељења региона (*region splitting*) или разним комбинацијама и из њих изведеним техникама. Раст региона почиње са скупом пиксела, при чему регион расте додавањем

суседних пиксела докле год је задовољен услов хомогености. Спајање региона почиње са неким дефинисаним почетним регионима, нпр. појединачним пикселима, који се спајају док не буде задовољен критеријум дефинисан прагом за величину региона. Техника дељења региона дели слику у подрегионе (нпр. квадрате), који се затим поново деле на подрегионе све док се не достигне одређени ниво хомогености. Могућа је комбинација спајања и дељења региона, где се слика дели на квадрате фиксне величине. Затим се хетерогени квадрати опет деле, а хомогени спајају.



Слика 35 *Quadtree* сегментација

Пример регион сегментације над ортофото снимком Суботице је *quadtree* сегментација (Слика 35), где је иницијално снимак један објекат, након чега је подељен у 60 сегмента (квадрата), након чега се сегменти спајају или раздвајају у зависности од својих особина. У зависности од критеријума хомогености, ови квадрати се деле у мање регионе или се спајају у веће регионе.

Генерално важеће за обе технике, места почетних региона (пиксела) могу да буду насумично изабрана на снимку, од доле на горе или од горе на доле (на основу садржаја снимка). Алгоритам посматра суседне регионе (пикселе) нпр. 4 или 8 суседних региона, под условом да већ не припадају неком од региона и да је задовољен задат критеријум хомогености. Ови алгоритми зависе од почетних региона и њихове позиције и често пате од нејасно дефинисаног критеријума раста региона.

Регион базирана сегментација има више смисла када на снимку постоје већи и компактни објекти. Сегментација базирана на ивицама има више смисла када на снимку постоје издужени објекти, где онда ивице представљају границе између хомогених делова. Сегментација базирана на ивицама проналази ивице између хомогених подручја. Овај поступак обично подразумева претходна филтрирања и побољшања слике пре него што се крене у детекцију ивица. Детектоване ивице (групе пиксела) се комбинују како би формирале границу.



Слика 36 Сегментација базирана на ивицама - Београд

Поступак сегментације базиране на ивицама (приказан на WV2 снимку за подручје Београда (Слика 36) се може поделити на део детекције ивице и на део спајања ивице. Приликом детекције ивице, као што је већ наведено, потребно је извршити одређена филтрирања како би се смањио шум на посматраном снимку или побољшања која истичу одређене локалне промене интензитета или слично. Затим се детектује ивица у складу са задатим критеријумима, селекују се пиксели, затварају празнине између ивица и одређени делови бришу, комбинују се линије – или се прудужују продужују или скраћују. У другом делу се спајају рубни делови пиксела како би се формирала граница.

У наставку текста дати су примери алгоритама сегментације који су коришћени у овој докторској дисертацији.

3.3.6.1 Мултирезолуциона сегментација

Власчке и Stroble [53] у свом раду сугеришу да један од најбољих приступа у сегментацији снимака даљинске детекције представља мултирезолуциона сегментација развијена од стране Baatz и Schape [60]. То је регион базирани алгоритам који комбинује критеријуме хомогености боје и облика који дозвољава више сегментационих нивоа у оквиру једне слике.

Сегментација слике подразумева вредност појединачног и његових суседних пиксела како би се израчунао [61]:

- критеријум боје h_{color} и
- критеријум облика или просторни критријум h_{shape}

Ова два критеријума се након тога користе за креирање објеката слике или групе релативно хомогених пиксела коришћењем функције сегментације [61]:

$$S_f = w_{color} \times h_{color} + (1 - w_{color}) \times h_{shape}$$

Израз 3-1

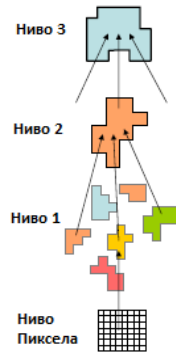
где корисник дефинише тежински фактор за спектралне карактеристике (боје) у односу на облик у границама ($0 < w_{color} < 1$). Ако корисник жели да више нагласи боје (спектралне карактеристике) приликом креирања хомогених објеката, онда ће вредност да буде већа (нпр. $w_{color} = 0.8$).

Пример је дат на доњој слици (Слика 37), у оквир које је имплементиран мулти-резулциони (*multi-resolution*) сегментациони алгоритам.



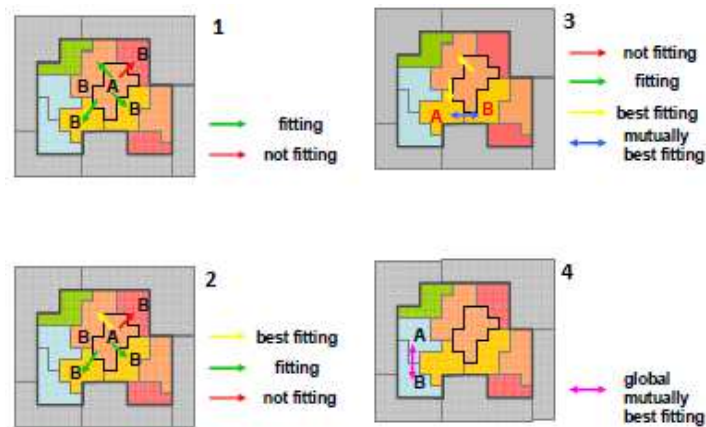
Слика 37 Резултат мултирезулционе сегментације са параметрима размере 10, и тежнским факторима облика 0.1 и компактности 0.5 [62]

Мултирезулциони алгоритам за сегментацију спаја пикселе или постојеће објекте слике, на оптимизован начин за задати број објеката слике, минимизирањем просечне хетерогености објеката и повећањем њихове хомогености. По перформансама спада у најбрже алгоритме за сегментацију [63].



Слика 38 Техника спајања региона и размера код мултирезолуционог алгоритма [64]

На претходној слици (Слика 38) приказан је начин спајања региона (од доле ка горе). Алгоритам стартује са сваком пикселом као појединачним регионом. Два региона се спајају у један већи објекат све док је задовољен критеријум хомогености (параметар размере) са најмањим растом хетерогености. Овај параметар размере је значајан са аспекта онога што желимо да добијемо приликом креирања региона, да ли је потребно да нпр. региони представљају појединачна стабла или жбуње или региони треба да представљају воћњаке или шуму. Предност овог алгоритма је управо у могућности вишеслојне сегментације, односно у креирању региона који могу бити по нивоима, где сваки следећи ниво представља веће објекте који садрже неке од региона из претходног нивоа.



Слика 39 Начин одлучивања [6]

На Слика 39) је приказан хеуристички начин одлучивања приликом креирања региона код мултирезолуционе сегментације. Старт алгоритма је на месту које је највише удаљено од свих осталих пиксела или сегмената (зависи од подешавања). Први корак је проналажење суседних објеката Б који могу да се споје са објектом А који погодује односно задовољава критеријум хомогености. Други корак је да се од оних објеката који погодују изабере онај који највише погодује. Трећи корак је проналажење локално међусобно најпогоднијих, односно проналажење најпогоднијег објекта Б који одговара

објекту А, затим проналажење најпогоднијег објекта Ц за објекат Б. Проверити да ли је објекат Ц уствари објекат А, ако није тако онда објекат Б постаје објекат А, а објекат Ц постаје објекат Б при чему се процедура понавља докле год се не пронађе пар локалних објеката суседних објекту А који задовољава критеријум хомогености. Последњи корак је проналажење глобално међусобно најпогоднијих објеката за спајање чији се критеријуми хомогености најбоље испуњени за целу слику.

Критеријум хомогености боја (спектралних карактеристика) објеката слике се рачуна као сума стандардне девијације спектралних вредности сваког слоја (σ_k) (опсега) помножен са тежинским фактором за сваки слој (w_k) [62] :

$$h = \sum_{k=1}^m w_k \times \sigma_k$$

Израз 3-2

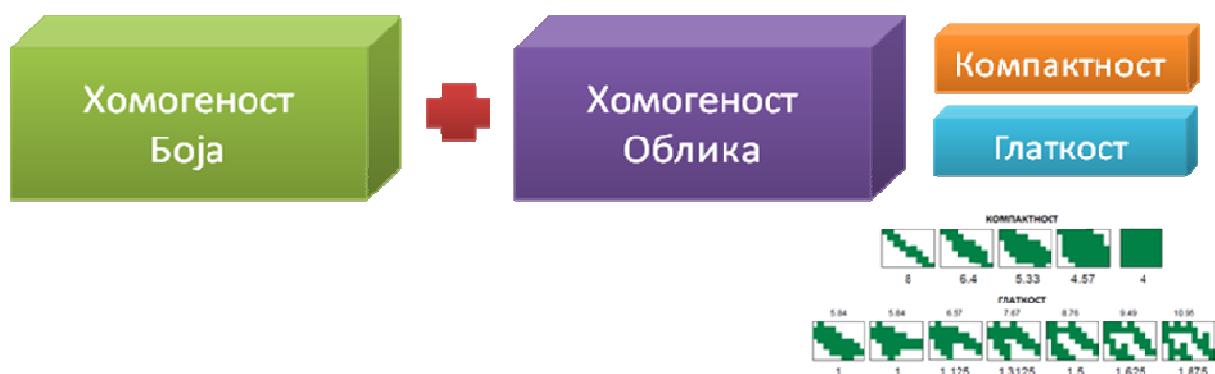
Критеријум боје се онда рачуна за све промене код стандардне девијације за сваки слој k од укупно m опсега [62]:

$$h = \sum_{k=1}^m w_k [n_{mg} \times \sigma_k^{mg} - (n_{ob1} \times \sigma_k^{ob1} + n_{ob2} \times \sigma_k^{ob2})]$$

Израз 3-3

где је тежина стандардне девијације спектралних вредности сваког слоја (σ_k) дата преко величине објеката n_{ob} , при чему mg значи спајање (merge).

Критеријум хомогености који је поменут у претходном пасосу пондерише критеријуме хомогености боје и хомогености облика један против другог, а у оквиру критеријума хомогености облика пондеришу се међусобно компактност и глаткост објеката (Слика 40.)



Слика 40 Критеријум хомогености

Уколико говоримо о критеријуму хомогености боја, за два објекат кажемо да су слична ако су они суседни у одређеном простору особина. Хомогеност облика се задовољава преко критеријума компактности (компактност – идељано компактан, објекат није нпр. дугачак) и глаткости (глаткост – границе ивица објеката су глатке, нпр. нису рецкаве). Критеријум хомогености глаткости облика објеката дозвољава да објекти расту само ако настао објекат нема рецкаве границе. Критеријум хомогености компактности облика објеката фаворизује објекте који имају компактан облик. Критеријум облика се дакле рачуна уз помоћ два критеријума, компактности (*compact* – *cpt*) и глаткости (*smoothness*) који су дати преко формула:

$$cpt = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

Израз 3-4

$$smooth = \frac{l}{b}$$

Израз 3-5

Однос између дужине објеката l и квадратног корена броја пиксела у објекту n дефинише компактност, док однос између дужине обима објеката l и најкраће могуће дужине границе најмањег правоугаоника објекта b представља глаткост (Слика 40)

Критеријум облика се онда рачуна помоћу ова два критеријума глаткости и компактности као [62]:

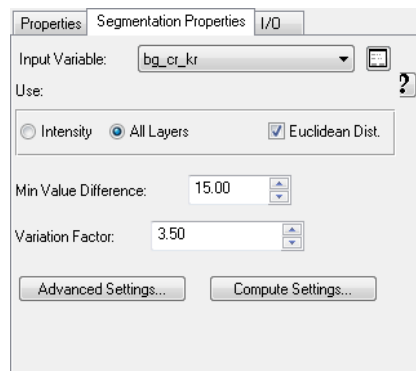
$$h_{shape} = w_{cpt} \times h_{cpt} + (1 - w_{cpt}) \times h_{smooth}$$

Израз 3-6

где је ($0 \leq w_{cpt} \leq 1$) кориснички дефинисана тежина за критеријум компактности.

3.3.6.2 Сегментација базирана на вредностима и локацији пиксела

Сегментација базирана на вредностима и локацији пиксела, као што и сам назив каже, дели слику у сегменте вредновањем вредности пиксела и локације пиксела. Пиксели који су просторно спојени и имају сличне вредности групишу се у један сегмент. Резултат процеса сегментације је растер односно тематска слика, а вредност пиксела у сегментима представља ознаку класе којој пиксел припада, односно ознаку припадности растерском објекту.



Слика 41 Подешавање параметера сегментације

Ова врста сегментације се може вршити над сликом која има један или више слојева (панхроматски или мултиспектрални снимци). Сегментација се врши, или на основу интезитета, при чему се интезитет рачуна као просечна вредност пиксела за све слојеве слике, или на основу Еуклидског растојања пиксела. Еуклидско растојање се рачуна или само за један слој слике, при чему се сегменти креирају за сваки слој слике појединачно, или се рачуна Еуклидско растојање за сваки пиксел и за сваки слој слике. Употреба свих слојева слике даје боље резултате сегментације због тога што се користи више информација који се онда пореде са интезитетом. Подешавања за сегментацију овог типа дата су на првој слици (Слика 41), а резултати на наредној (Слика 42).

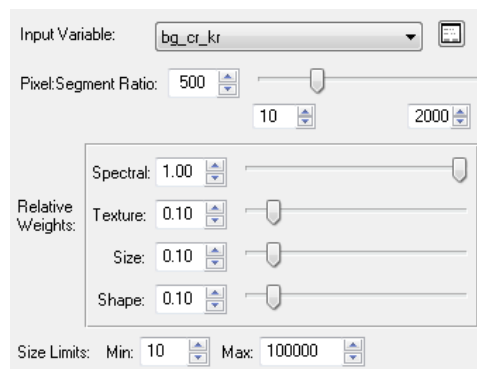
Аналитичар такође може да дефинише минималну раздаљину између суседних сегмената (нпр. за осмобитне податке оптимално је 15). Што је већа раздаљина биће мањи број сегмента. Уколико је вредност између суседних пиксела мања од задате минималне раздаљине, пиксели ће онда бити део истог сегмента. Приликом ширења сегмента аналитичар варијационим фактором специфицира колико је важна улога варијација у вредности пиксела и на основу тог фактора дефинише да ли ће се сегмент проширити или не. Што је већи овај фактор варијације хетерогени сегменти ће бити већи. На слици која следи (Слика 42 а)) приказан је део Београда. На основу спектралних карактеристика овог снимка креира се растерски слој вероватноће (Слика 42 б)) на основу којег се креирају сегменти (Слика 42 в)). Сваки сегмент (објекат) слике има различиту боју и проценат припадности одређеном типу објекта (Слика 42 г)).



Слика 42 Резултат сегментације базиране на вредностима и локацији пиксела - подручје Београда

3.3.6.3 Ламбда сегментација

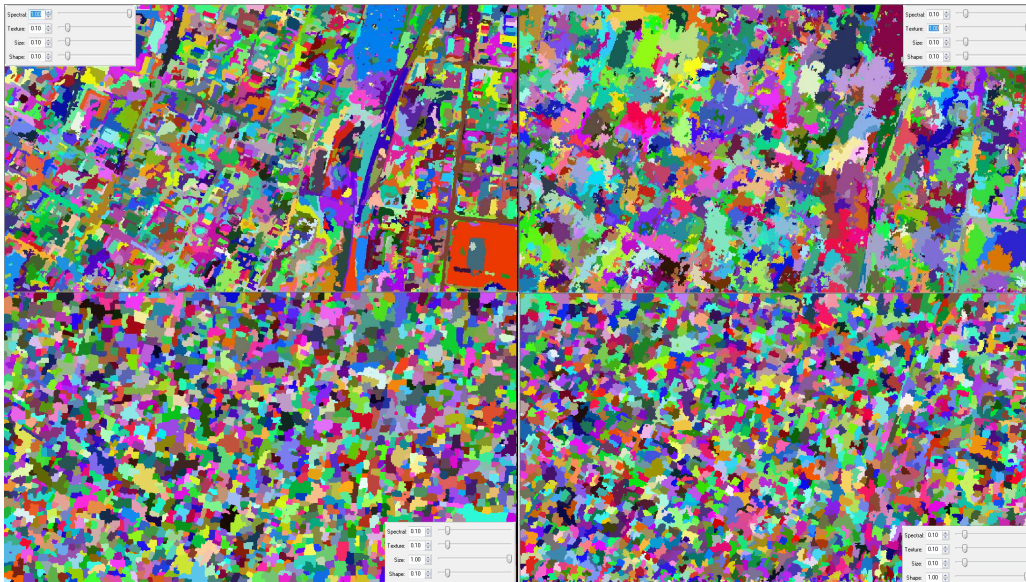
Ламбда сегментација, као и претходна сегментација, врши сегментацију слике при чему резултат слике представља растер, односно тематску слику, где вредност пиксела, као и у претходном случају, представља ознаку класе којој пиксел припада, односно ознаку припадности растерском објекту. Сегментација је могућа са панхроматским или мултиспектралним снимцима (слике са једним или више слојева).



Слика 43 Подешавање параметра ламбда сегментације

За разлику од претходне сегментације, Ламбда сегментација је "bottom up merging" алгоритам, који поред спектралних карактеристика уважава текстуру, величину и облик сегмента приликом одлуке о спајању сегмента. Такође аналитичар може да дефинише однос сегмента и пиксела и минималну и максималну величину сегмената. Однос сегмента и пиксела специфицира просечан број пиксела који ће сваки сегмент да садржи, при чему, наравно, сегменти могу бити већи или мањи, што зависи и од осталих параметара, а пре свега од параметра величине сегмента.

Релативне тежине спектралних карактеристика пискела, тежине тесктуре, и тежине величине и облика се узимају у обзир приликом креирања сегменат релативно и њихов значај утиче на хомогеност сегмената. Уколико су сва четири параметра са истим вредностима, резултат сегментације ће увек бити исти. На претходној слици (Слика 43) показани су примери подешавања параметара за овај тип сегментације.



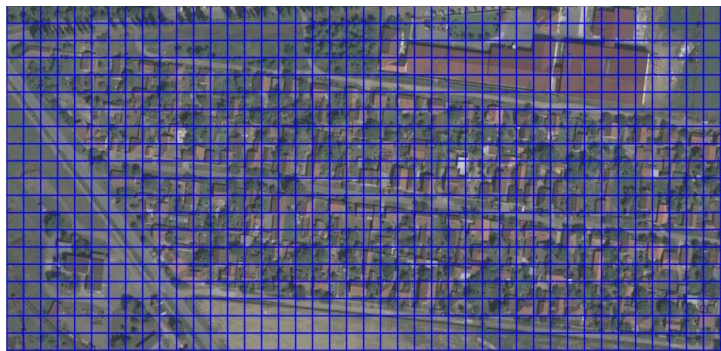
Слика 44 Резултат Ламбда сегментације – подручје Београда

Спектралне карактеристике се рачунају као средња вредност вредности пиксела за све пикселе сегмента. Уколико је већа тежинска вредност овог параметра, сегменти ће имати већу спектралну хомогеност и обрнуто. Текстура сегмента представља меру стандардне девијације вредности пиксела сегмента и већа тежинска вредност овог параметра ће проузроковати генерисање сегмената који су више хомогени, а мања генерисање оних који су мање хомогени у смислу текстуре сегмента. Величина сегмента се мери као број пиксела у сегменту, при чему већи тежински фактор, као и у претходна два случаја, као резултат даје сегменте који су по величини више хомогени, а мањи фактор генерише сегменте који су мање хомогени у величини сегмента. И на крају, облик представља меру комплексности границе сегмента. Што је већи тежински фактор, сегменти су више хомогени у погледу комкатности и глаткоће сегмената и обрнуто. Резултат сегментације за исти WV2 снимак подручја Београда приказан је на претходној слици (Слика 44). Представљена су четири различита резултата сегментације, при чему су тежински фактори за спектралне карактеристике постављени на вредност 1, а остали на 0.1 за први резултат, затим за текстуру, величину и облик тежински фактори су постављени редом на вредност 1, а остале карактеристике на вредност 0.1 респектативно.

3.3.6.4 Сегментација шаховске табле - Chessboard Segmentation

Ова сегментација дели слику у квадратне објекте слике. Сегментација дели слику на објекте одређене величине, при чему аналитичар одређује величину. Сегментација креће из горњег левог угла, креира квадратну мрежу и дели слику на сегменте фиксне величине.

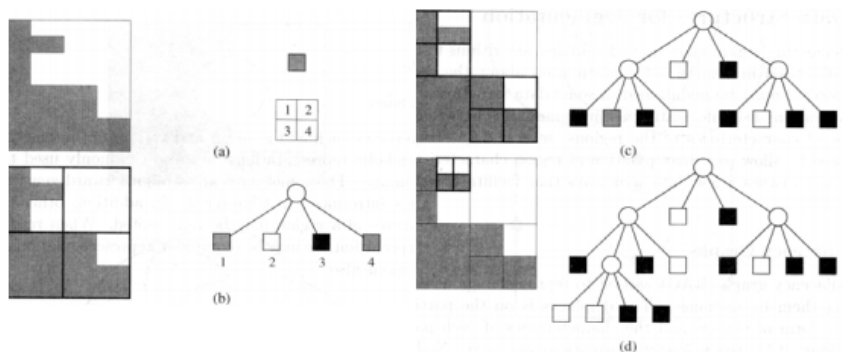
Ова врста сегментације спада у најједноставније сегментације. Сегментација овог типа не узима у обзир о каквим подацима се ради и најчешће се користи у напредним методама класификације када је потребно поделити слику на сегменте исте фиксне величине.



Слика 45 Chessboard сегментација са фактором величине објекта 50 – ортофото Суботице

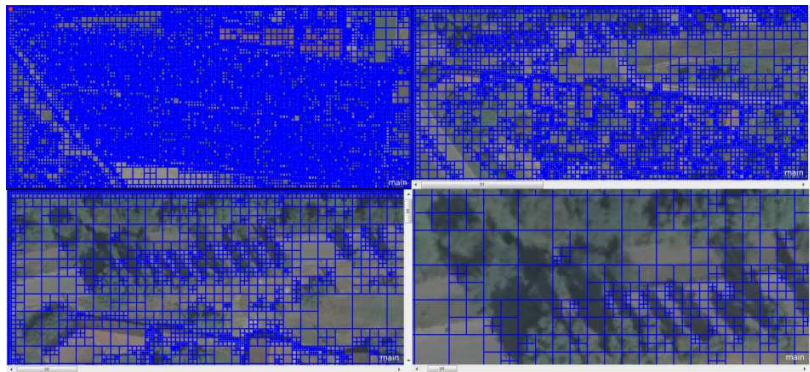
3.3.6.5 Quadtree сегментација

Овај алгоритам дели слику и објекте у облику мреже "Quadtree" формиране у облику квадратних сегмената (објеката). Као и претходни алгоритам, извршавање почиње у горњем левом углу слике, делећи слику на квадратне сегменте дуж креиране мреже. Структура ове мреже се креира тако да сваки квадрат има максималну величину и да задовољава критеријуме хомогености дефинисане модом и параметром размере. Максимална величина сегмента је 256 x 256, или 65536 пиксела. На слици која следи (Слика 46) шематски је приказан начин Quadtree сегментације. Оригинална сива слика се у првом кораку дели на четири једнака региона, у другом кораку мешани региони се деле, а црни и бели се више не деле, у трећем кораку се дели једини преостали мешани регион.



Слика 46 Quadtree сегментација

Аналитичар може да дефинише супер објекат на основу којег се креирани сегменти слике уклапају комплетно унутар граница супер објекта, или да дефинише фактор размере који представља максималну разлику боја сваког селектованог слоја слике унутар сегмента слике. Он, такође, може да задаје тежине слојевима слике и на тај начин дефинише који слој слике има утицај на резултате сегментације. Исто тако могу се додатно укључити и тематски слојеви који могу да имају своју тежину у извршавању сегментације. Сваки тематски слој може да утиче на додатну сегментацију. На следећој слици (Слика 47) је приказан пример резултата сегментације за ортофото Суботице са параметром размере 60.



Слика 47 Резултат Quadtree сегментације – ортофото Суботице, фактор размере 60

3.3.6.6 Сегментација базирана на подели контраста

Алгоритам сегментације базиране на подели контраста (*Contrast Split Segmentation*) дели слику или објекат слике на тамне и светле регионе. Сегментација се базира на вредности прага који максимизира контрасте између светлих објеката (састоје се од пиксела изнад вредности прага) и тамних објеката (састоје се од пиксела испод вредности прага). Алгоритам оптимално процењује праг за сваки објекат у слици, први корак је сегментација шаховске табле, где се слика дели на једнаке делове, након чега се сваки квадратни објекат који је настао дели даље. Оптимизација се врши узимајући у обзир различите вредности пиксела као потенцијалне прагове. Тест прагови се крећу од минималног до максималног прага, са међурезултатима изабраним у складу са величином корака, при чему корак може да се сабира или да се множи са задатим вредностима. Ако тест задовољава праг за минимално тамну површину и минимално светлу површину, тада се процењује контраст између светлих и тамних објеката. Тестирани праг који је произвео највећи контраст је тада изабран као најбољи праг и користи се за раздвајање објеката у сегменте.



Слика 48 Сегментација базирана на подели контраста – ортофото Суботице

Приликом рачунања контраста између светлог и тамног објекта, алгоритам креира границе објеката на три могућа начина:

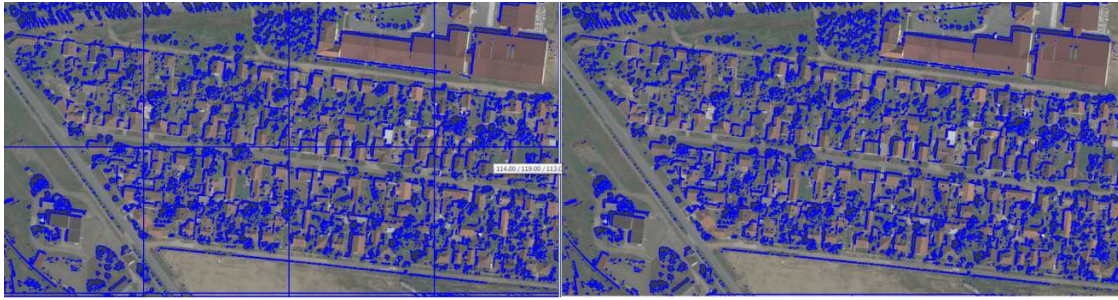
- односом ивица, $a-b/a+b$
- разликом ивица, $a-b$ и
- разликом објеката.

где је a средња вредност пиксела границе светлог објекта и b средња вредност пиксела границе тамног објекта, док се разлика објеката рачуна као разлика средњих вредности свих светлих и средњих вредности свих тамних пиксела. На претходној слици (Слика 48) приказани су резултати сегментације за различите начине рачунања контраста и то редоследом: за разлику ивица (Слика 48 **Error! Reference source not found.** а), затим однос ивица (Слика 48 б) и разлика објеката (Слика 48 ц).

3.3.6.7 Сегментација спектралних разлика

Сегментација спектралних разлика (*Spectral Difference*) спаја суседне објекте слике на основу средње вредности пиксела посматраних објеката. Суседни објекти слике ће бити спојени ако су средње вредности интензитета посматраних објеката мање од задате максималне спектралне разлике коју одређује аналитичар.

У принципу, овај алгоритам је замишљен, пре свега, као поступак који се извршава на постојећим резултатима сегментације, ради побољшања резултата, тако што спаја спектрално сличне објекте који су настали неком другом сегментацијом.



Слика 49 Резултат сегментација базираних на подели контраста и након тога извршене сегментације спектралних разлика

Аналитичар задаје максималну спектралну разлику између објеката који се користе у сегментацији, па се, ако је разлика мања од задате вредности, суседни објекти спајају. На претходној слици (Слика 49) приказан је резултат сегментације спектралних разлика за максималну спектралну разлику 10, над већ извршеном сегментацијом базираном на подели контраста. Аналитичар евентуално може да задаје тежинске факторе одређеним слојевима слике или да користи додатне тематске слојеве који могу да поправе и утичу на резултате сегментације.

3.3.6.8 Сегментација базирана на више прагова

Сегментација базирана на више вредности дефинисаних прагова (*Multi-Threshold сегментација*) дели објекте слике на основу вредности пиксела. Ова врста сегментације класификује сегменте према праговима које је задао аналитичар, а може се користити и за креирање неклассификованих објеката слике такође на основу задатих прагова вредности пиксела.

Вредност прага се задаје ручно, при чему се праг задаје, или за целу слику, или за појединачне објекте слике. Уколико се праг задаје само за одређене објекте слике, онда се селектовани скуп пиксела дели у два подскупа на такав начин да је хетерогеност подскупова повећана на максимум. Овај алгоритам користи комбинацију употребе хистограма и хомогености како би се израчунао праг за дељење селектованог скупа пиксела на подскупове.

Домени над којима се може извршити ова врста сегментације су на нивоу пиксела, на нивоу објеката слике, на нивоу суседних објеката слике, или чак и на нивоу супер објеката или подобјеката.

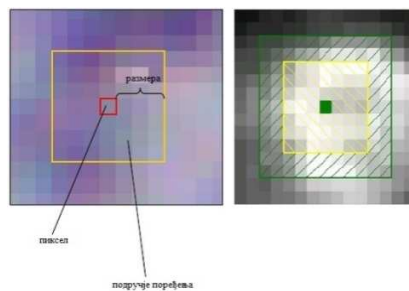
Најчешће се ова врста сегментације користи како би се поправили резултати претходних сегментација или резултати класификације. Аналитичару је омогућено да креира један или више критеријума са једним прагом или више њих за различите слојеве слике или за различите резултате класификација.

3.3.6.9 Сегментација базирана на основу филтрирања контраста

Сегментација базирана на филтрирању контраста представља напредну, оптимизовану, пиксел базирану методу за креирање неклассификованих објеката (сегмента). Филтрирање се врши на основу контраста и градијента, и то у неколико размера у исто време. Уколико приликом филтрирања контраста и градијента, у било којој од размера анализе, дође до детекције потенцијалног објекта у некој од размера, резултат класификације пиксела се чува као интерни тематски слој, тако да сваки пиксел припада једној од пет класа:

- није објекат,
- објекат у првом слоју,
- објекат у другом слоју,
- објекат у оба слоја и
- пиксел је игнорисан.

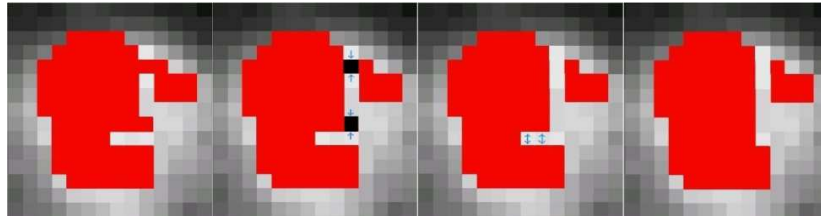
Након класификације извршава се сегментација шаховске табле, где се тематски слој претвара у објекат слике.



Слика 50 Сегментација филтрирањем контраста

Аналитичар као први корак у овој сегментацији треба да одреди горње и доње прагове, који се најчешће одређују на основу вредности пиксела. Уколико посматрани пиксел има мању или већу вредност од задатих прагова, он ће бити игнорисан. Затим аналитичар одређује колико ће размера филтрирања постојати и дефинише њихове вредности. На претходној слици (Слика 50) зеленом бојом је представљен пиксел. Прва размера има вредност 3, где је подручје поређења графички приказано жутом косим линијама, а друга размера има вредност 5, где је подручје поређења графички приказано зеленим косим линијама. Уколико су пиксели у посматраним подручјима поређења у задатим горњим и доњим границама, пиксели се класификују по једном од наведених критеријума. Дакле, алгоритам селектовани пиксел посматра као централни пиксел и формира два правоугаоника – унутрашњи и спољашњи. Уколико су вредности размера позитивне (у нашем примеру на Слика 50 позитивне вредности 3 и 5), проналазе се светлији објекти, а уколико су вредности размера негативни бројеви, проналазе се тамнији објекти. Пореде се средње вредности пиксела унутрашњег (жутог) правоугаоника са средњом вредношћу пиксела спољашњег (зеленог) правоугаоника. Након овога,

аналитичар може и да зада вредност градијента, што значајно усложњава и продужава овај алгоритам, или да, на основу критеријума облика, модификује облик објекта у смислу уклањања одређених пиксела из објекта или попуњавања рупа у објекту.



Слика 51 Критеријум облика

На овој слици (Слика 51) приказан је пример за критеријум облика вредности 1. То значи да сви делови објекта (пиксели) кроз које права линија пролази само једном треба да буду уклоњени, а сви пиксели кроз које права линија пролази само једном, а који нису делови објекта, треба да постану део објекта. За критеријум облика вредности 0, објекат се неће променити.



Слика 52 Резултат сегментације базиране на основу филтрирања контраста – ортофот Суботица

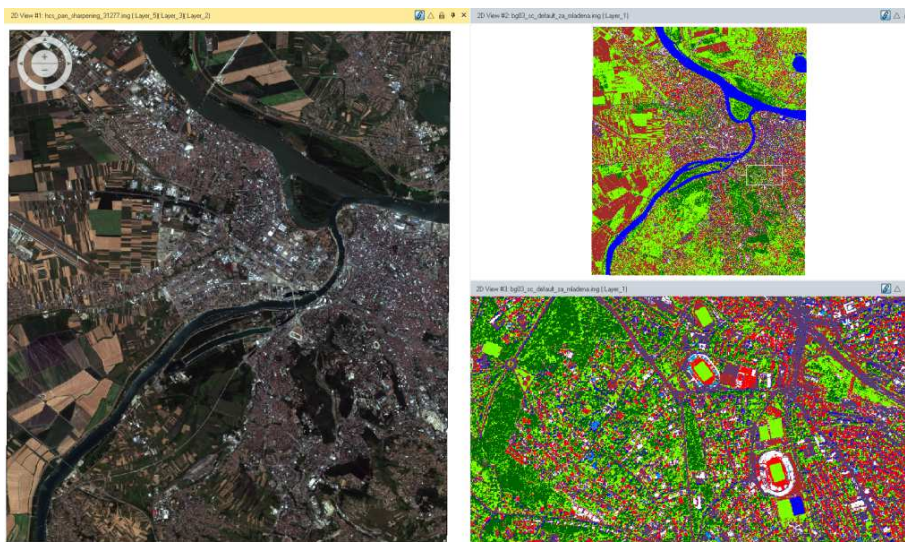
Након завршетка сегментације настаје тематски слој над којим се врши сегментација шаховске табле где се сви сегменти преводе у објекте слике са задатом величином. На претходној слици (Слика 52) приказан је резултат сегментације базиране на основу филтрирања контраста над ортофотом Суботице, са параметрима размере 3 и 5, горњом границом 1600 и доњом границом 15, без градијента (Слика 52 лево) и са градијентом који има вредност 9 (Слика 52 десно).

3.4 Објектно базирана класификација

Након претходног поглавља у којем су објашњени основни принципи сегментације слике и алгоритми који се користе у овој дисертацији, потребно је објаснити и сам појам објектно базиране класификације. Циљ управо овог поглавља је приказ објектно оријентисане класификације и сличности и специфичности које се могу поредити са другим пиксел базираним техникама класификације.

Пре описа основних функционалности и начина класификација потребно је дати неке уводне напомене. Број опсега код савремених сателитских платформи расте, количина података, радиометријска резолуција и друге карактеристике утичу на то да се класификација обично одвија у вискодимензионом простору особина. Број особина и димензија простора је неограничен, а разлог за то лежи, пре свега, у објектима. Пиксел се карактерише спектралним карактеристикама, које су представљене у n димензионом простору особина, где n зависи пре свега од броја спектралних опсега сензора. Код сателитских снимака са WV-2 платформе, n може узети вредност од 4 до 8. На слици која следи (Слика 53) приказана је класификација ширег подручја Београда на једном снимку са ове платформе.

Када се посматрају објекти, они са једне стране представљају скупове пиксела на основу којих се могу извести разне статистичке карактеристике објеката, вегетациони индекси, стандардне девијације, и слично, и заједно са геометријским особинама објеката представљају значајан број особина које се могу користити за класификацију. Са друге стране, различити хијерархијски нивои и односи између објеката и њихових особина такође утичу на димензионалност проблема. Дакле, приликом класификације суочени смо са високим степеном слободе што, пре свега, зависи од поменутих особина. На пример, вода у језеру и базену се разликује пре свега по карактеристикама воде, које се често тешко уочавају на снимцима, поготово ако је радиометријска резолуција снимка лоша. Али, уколико употребимо информацију о облику разлика, сигурно може бити јаснија. Уколико посматрамо јавне и приватне базене, информација о величини нам помаже да одредимо где је мали, вероватно приватни базен, а где је велики, вероватно јаван базен. Уколико се употреби и просторни контекст, обично се јавни базени налазе у градовима у оквиру неких спортских комплекса, док се приватни базени налазе обично у приградским или викенд зонама. Овакав поступак моделирања, формирања правила и класификације базиране на оваквим правилима је изузетно значајан за разумевање објектно оријентисане класификације.



Слика 53 Пример класификације ширег подручја Београда

3.4.1 Особине и правила класификације

Класификација обично представља одређивање припадности једног или више објекта одређеној класи у складу са описом класа. Опис класе представља, у ствари, опис особина или услов који одређена класа задовољава. Објекти се онда додељују задатој класи ако су задовољене особине или задати услови. Ово је омогућено сегментацијом простора особина у регионе, након чега се формирају везе између објеката и класа. Критичан елемент су везе, односно, стратегија за креирање правила овакве класификације.

Доступне особине објеката које утичу на начин класификације, превасходно зависе од алата у којој се врши класификација. Независно од тога особине се могу поделити на:

- вредности слојева над којима се врши класификација
 - стандардна девијација,
 - средња вредност,...
- геометријске карактеристике
 - величина,
 - облик,...
- текстура
 - вредност текстуре (нпр. стандардна девијација),
 - облик текстуре (нпр. смер),...
- хијерархјске особине
 - број нивоа,
 - број поднивоа,
 - број наднивоа
- односи према класама
 - суседни објекти,

- под објекти,
- супер-објекти
- тополошки односи
 - раздвојени објекти
 - објекти се додирују,...

Објектно оријентисана класификација слике, дакле, може да узме у обзир различите особине објеката, пошто сваки објекат (сваки полигон) не садржи, на пример, само средњу вредност спектралних карактеристика свих пиксела за све опсеге, него се у обзир могу узети различита просторна мерења која карактеришу облик полигона. У табели која следи (Табела 2) наведене су неке од метричких вредности које се могу израчунати за сваки полигон (објекат), а које су коришћене у овој докторској дисертацији.

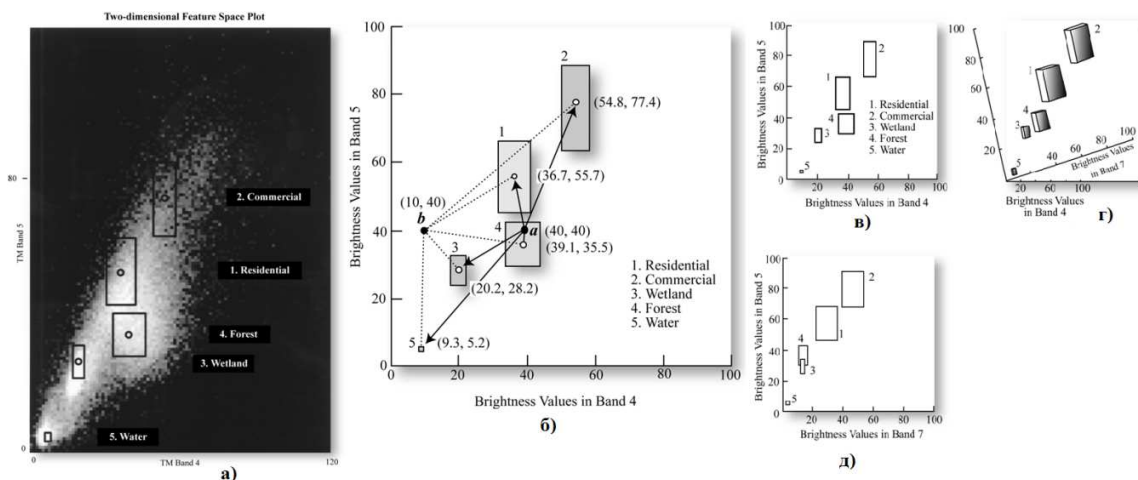
Метрика објекта слике	Алгоритам	Опис
Површина (Area)	$A = \sum_{i=1}^n a_i$	Код георефернцираних података, површина објекта слике (A) једнака суми површине свих n пиксела (a_i) објекта слике. Нпр. објекат слике са само мултиспектралним опсезима $2 \times 2m$ World View 2 платформе од 50 пиксела је једнака $50 \times 4m^2 = 200m^2$
Однос дужине и ширине (Length-to-Width Ratio)	$\gamma = \frac{l}{w}$	Однос дужине и ширине (γ) се рачуна дељењем дужине (l) и ширине (w) објекта слике. При чему је ово апроксимација одређена димензијама најмањег правоугаоника који окружује објекат слике
Дужина (Length)	$l = \sqrt{A \times \gamma}$	Дужина објекта слике се рачуна апроксимацијом коришћењем односа дужине и ширине. Уколико је објекат закривљен, боље је да се подели у мање објекте.
Ширина (Width)	$w = \sqrt{\frac{A}{\gamma}}$	Ширина објекта слике се рачуна апроксимацијом коришћењем односа дужине и ширине. Уколико је објекат закривљен, боље је да се подели у мање објекте.
Средња вредност (Mean)	$\mu_L = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}$	Средња вредност објекта слике (μ_L) у једном слоју слике се рачуна као сума вредности свих пиксела посматраног објекта слике (v_i) подељен са са укупним бројем пиксела у објекту (n).

Спектрална средња вредност (Spectral Mean)	$b = \frac{\sum_{i=1}^{n_L} \mu_i}{n_L}$	Ако се посматра појединачан објекат слике (полигон), спектрална средња вредност представља средња вредност слојева (μ_i) подељен са укупним бројем слојева (n_L) (опсега).
Спектрални однос објекта слике (Spectral Ratio)	$\text{однос}_L = \frac{\mu_L}{\sum_{i=1}^{n_L} \mu_i}$	Средња вредност појединачног објекта слике (μ_L) подељена са сумом свих спектралних слојева (опсега) посматраног објекта (μ_i)
Стандардна девијација објекта слике (Standard Deviation)	$\sigma_L = \frac{\sum_{i=1}^{n_L} (v_i - \mu_L)^2}{n - 1}$	Стандардна девијација објекта слике (полигона) за појединачан слој се рачуна као сума квадрата свих вредности пиксела (v_i) од које се одузме средња вредност објекта слике (μ_L), подељен са укупним бројем пиксела полигона (n) минус један.
Средња разлика са суседним објектом слике (Mean Difference to Neighboring Image Object)	$\Delta c_L = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^{nn} l_{si} \times (\mu_i - \mu_{Li})$	Средња разлика са суседним објектом слике се рачуна уз помоћ: l = дужина границе објекта слике у пикселима, l_{si} = дужина границе директног суседног објекта, (μ_i) = средња вредност слоја (i) објекта слике, (μ_{Li}) = средња вредност слоја (i) суседног објекта слике, и броја суседних објеката (nn)
Дужина границе (Border Length)	$bl = \sum_{i=1}^n e_i$	Дужина границе објекта слике представља суму броја ивица (e_i) које додирују све суседне објекте слике
Индекс Облика (Shape Index)	$si = \frac{bl}{4 \times \sqrt{A}}$	Индекс облика објекта слике представља дужину границе подељену са четири пута квадратни корен површине објекта. Што је објекат глаткији вредност је мања, што је вредност већа облик је више изломљен.
Густина (Density)	$d = \frac{\sqrt{n}}{1 + \sqrt{\text{Var}(X) + \text{Var}(Y)}}$	Густина објекта слике је површина објекта подељена са њеним радијусом. Вредности су апроксимирани рачунањем варијансе свих X и Y координата свих n пиксела који формирају објекат слике. Представља меру компактности, , што је објекат компактнији, већа је густина и објекат је све више квадратног облика.

Асиметрија (Asymmetry)	$k = 1 - \frac{n}{m}$	Асиметрија се рачуна као један минус однос дужине мање (n) и веће (m) осе елипсе која окружује објекат. Што је већа асиметрија већа је вредност.
------------------------	-----------------------	--

Табела 2 Списак различитих метрика које се могу израчунати на основу појединачних објеката слике

Мултиспектрална пиксел базирана класификација се може дефинисати као трансформација вредности рефлексије, односно, вредности пиксела при припадности одређеној класи. У статистичком смислу, спектралне карактеристике пиксела су представљене у простору особина који је n -димензионалан, при чему n представља број опсега сензора. Класификатор одређени пиксел додељује одређеној класи, што одговара припадности одређеном региону у простору особина, при чему су пиксели груписани у регионе у складу са нпр. спектралном хомогеншћу у простору особина. Ови региони су обично формирани на основу обучавајућих (тренинг) скупова. Алгоритам минималне удаљености (или најближи комшија или неки други) рачуна Еуклидску раздаљину за сваки пиксел до центроида сваке класе и на основу чега се пикселу додељује припадност најближој класи (Слика 54). Уколико се уместо пиксела користе објекти, простор особина се значајно увећава, па је класификатор минималне удаљености још прихватљивији, а број обучавајућих скупова се смањује јер само један објекат има много типичних узорака пиксела.



Слика 54 а) Дводимензиони простор особина четвртог и петог опсега *Landsat* сцене, б, в) паралелопипед класификација са минималном раздаљином четврти и пети опсег, г) четврти и седми опсег, д) пети и седми опсег [48]

Уместо обучавајућих скупова, класификација се може заснивати на правилима. Проблем спектралне сличности различитих геопросторних објеката се превазилази управо креирањем правила. Правила се могу односити на спектралне, просторне, тополошке, хијерархијске или било које друге особине објеката који се класификују. Због потенцијално великог броја особина, на основу којих се могу правити правила, потребна је

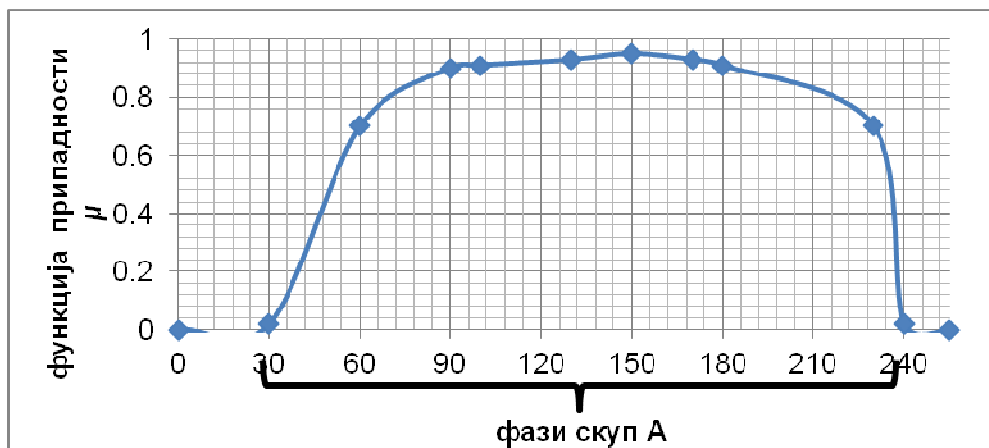
формализација у представљању и интерпретацији класа класификације, што се постиже фази приступом, односно фазификацијом степена припадности некој класи кроз моделовање одређеног опсега особина објеката.

3.4.2 Фази класификација

Класификација базирана на фази логици је једноставна техника, која у основи преводи вредности особина објеката у опсег фази вредности од 0 до 1, чиме се индицира припадност одређеној класи. Предности фази класификације огледају се пре свега у:

- могућности пресликавања вредности особина објеката у фази вредности, чиме се постиже стандардизација особина и њихова комбинација иако их има пуно,
- омогућава прилагодљив начина описа особина објеката и
- омогућава формирање комплексних описа особина објеката уз помоћ логичких операција и хијерархијских описа класа.

Фази логика помаже да се најједноставније представи реалан свет са свим својим неправилностима и хетерогеншћу својих особина. Апроксимација реалног света са свом својом комплексношћу је много лакша са фази базираном класификацијом. Фази логика лако моделује људски начин размишљања и лакша је за представљање лингвистичких правила. Такође омогућава припадност објеката у више од једне класе кроз различите вредности вероватноће припадности једној или више класа. Фази скуп нема јасно изражене границе, па стога скуп елемената (пиксела) може делом да припада једној или више класа.

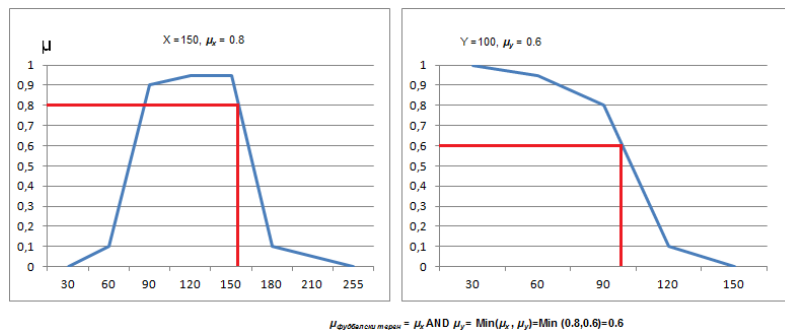


Слика 55 Пример припадности особине фази скупу – фудбалски терени

На овој слици (Слика 55) дат је пример припадности одређене особине неком фази скупу. Фази скуп А је подскуп вредности из целог опсега различитих вредности одређеног особитног растера X (нпр. инфрацрвени опсег који има вредности од 0 до 255) који представља класу (нпр. фудбалски терени) са једним објектом одређених особина. Y оса представља меру припадности која мења булову логику ("нетачно" и "тачно") са вредностима из скупа од 0 до 1, где 0 значи нетачно, 1 тачно, а све остале вредности

између 0 и 1 представљају транзицију између тачно и нетачно. Функција припадности $\mu(x)$ се дефинише тако што се сваком објекту X са одређеним особинама одређује мера припадности μ . Све вредности објеката чија је вредност припадности већа од 0 припада фази скупу.

Функција припадности и начин на који је она формирана представљају одлучујућу улогу за успешну класификацију. Функција мора да представља модел који описује однос између особине објеката и класификације. Што је боље реалан свет моделован од стране функције припадности, бољи ће бити и резултати класификације.



Слика 56 Класа "фудбалски терени" дефинисана са две особине објеката X и Y

Правила типа "ако-онда" се користе за додељивање објеката одређеној класи – ако вредност X неког објекта припада фази скупу, онда припада датој класи. Комбинација фази скупова се користи за напредна фази правила. На Слика 56) дат је пример комбинације фази скупова, где уз помоћ оператора "AND" правимо фази правило. Класа фудбалски терен дефинисана је објектима са одређеним вредностима, објекат има особину X са вредношћу 150 чија је функција припадности $\mu_x = 0.8$, а особина Y има вредност 100 и функцију припадности $\mu_y = 0.6$.

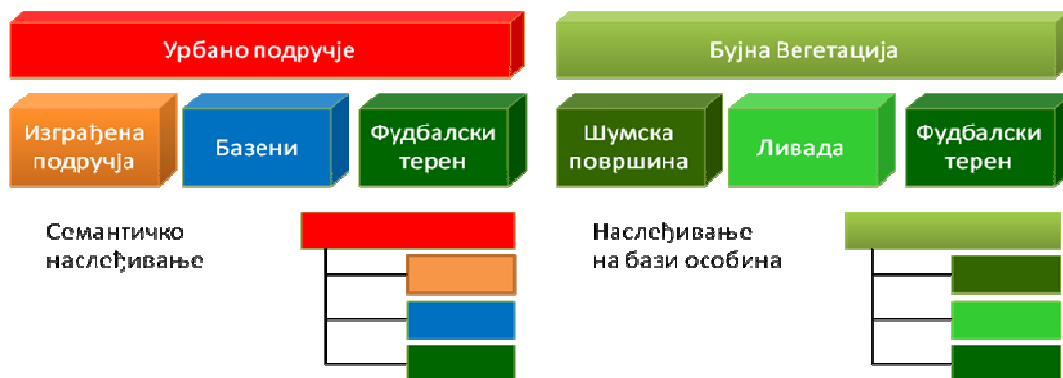
$$\mu_{\text{фудбалски терен}} = \mu_x \text{ AND } \mu_y = \text{Min}(\mu_x, \mu_y) = \text{Min}(0.8, 0.6) = 0.6$$

Израз 3-7

На основу овако креираних фази правила добија се као резултат класификација, где сваки објекат има скуп вредности који представљају степен припадности некој класи, чији збир не мора да буде 1.

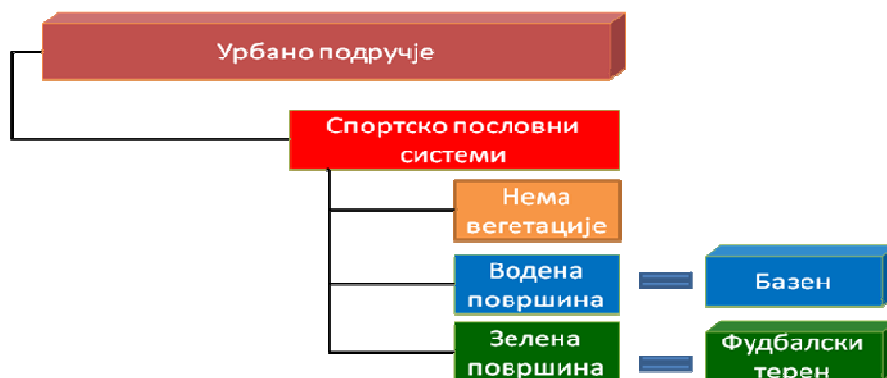
3.4.3 Хијерархија класа и међусобни односи

Хијерархија класа и међусобни (тополшки) односи такође представљају битан део *OBIA* класификације. Класе су саставни део наслеђивања код *OBIA*, нпр. дете класа наслеђује све спектралне карактеристике родитеља класе или се може утврдити и семантички ниво класа као што је приказано на доњој слици (Слика 57).



Слика 57 Хијерархија класа

Односи дефинисани хијерархијом класа су двоструки, са једне стране присутно је наслеђивање преко описа класа, а са друге стране семантичко наслеђивање на основу семантичких група. Дете класа може да наследи више особина од родитеља класе, док једна класа може бити део више група. Наслеђивање је уобичајена техника у објектно оријентисаном моделовању, где родитељи објекти прослеђују своје особине деци објектима.



Слика 58 Пример утицаја односа између класа.

Комплексност односа између класа дефинише на који начин ће се извршити класификација, при чему се мора строго водити рачуна да односи између класа нису циклично међузависни. Класа А не сме бити описана са особинама класе Б, ако је класа Б већ описана и зависи од класе А. Да би се најлакше објаснио значај међусобних односа између класа, посматрајмо пример зеленог вегетативног подручја на неком снимку. Ово вегетативно подручје је саставни део класа национални паркови, ливаде, засејане површине под луцерком, и слично, али у нашем случају (Слика 58) ово подручје ће бити класификовано као фудбалски терен јер "уграђено" у урбано подручје, односно "уграђено" је у подручје спортски пословни системи. Исти принцип би био примењен на површину под водом, која ће бити класификована као базен ако је "уграђена" у урбано подручје, а у

супротном, водена површина би могла припадати класама као што су језера, реке, потоци, мора или океани (Слика 58).

3.5 Разматрања

Основни циљ докторске дисертације је креирање модела објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката, што подразумева јасан опис концепције објектно оријентисане анализе слике. У оквиру овог поглавља јасно су представљени различити приступи у поступку и начинима обраде и класификације снимака насталих на принципима даљинске детекције.

Централан део овог поглавља заузимају поступак сегментације слике и објектно базирана класификација. Кроз практичне примере детаљно је објашњен поступак сегментације слике и описани су алгоритми за сегментацију слике који се користе у овој дисертацији. На крају поглавља су објашњени основни концепти објектно базиране класификације.

Сви објашњени концепти у овом поглављу, заједно са поглављем два и поглављем један, у ствари представљају основу за креирање једног свеобухватног модела за идентификацију геопросторних објеката уз ослонац на објектно оријентисану класификацију.

У следећем поглављу, уз ослонац на разматрања о моделу из овог поглавља, и на основу модела генералних корака класификације података даљинске детекције (Слика 14), креирани су сви подмоделу који обухватају опис класификационог проблема, дефинисање података над којима се врши класификација, поступак избора особина потребних за идентификацију геопросторних објеката од интереса и поступак избора типа сегментације и класификације.

4 Формирање модела класификације

4.1 Увод

У оквиру овог поглавља прво су дата уводна разматрања, након чега следи први, уопштени модел класификације података даљинске детекције. У наставку текста по поглављима дати су модели за приступ у поступку мапирања, као и модели који појашњавају критеријуме за класификацију геопросторних објеката, идентификације особина објеката и модел за избор метода сегментације и класификације. Сви модели су представљени кроз дијаграме у складу са индустријским стандардом *BPMN (Business Process Model Notation)*, који је општеприхваћен формат за нотацију бизнис процес модела [65]. На основу свих креираних модела, на крају је приказан и свеобухватни модел који је резултат ове дисертације. На крају поглавља дате су смернице о оцени тачности, која је неопходна са аспекта верификације модела.

4.2 Основни модел

Основни циљ сваке класификације је екстракција информација из скупа података који се класификују. Ако се посматрају сателитски снимци, основни циљ класификације је добијање информација о Земљи, односно шта се и где се налази на површини земље. Резултати класификације се најчешће деле на тематске и квантитавне податке. Тематски подаци најчешће представљају мапе са категорисаним променљивима или мапе са тематским класама, као што су мапе путева, мапе објеката, мапа земљишног покривача, мапа пожарних подручја, мапа поплавлених подручја, разне пољопривредне мапе, шумске мапе и слично, док квантитативни подаци, у ствари, представљају мапу са континуираним променљивима, као што су мапе са вегетационим индексима, мапе биомасе, мапе волумена дрвећа и слично. Традиционалан начин за мапирање земљишног покривача подразумевао је класификацију на нивоу пиксела где се као резултат добија мапа категорисаних класа, где свака категорија, у ствари, представља неки од унапред дефинисаних земљишних покривача.

Поред поменутих традиционалних метода, постоје и напредније технике које се убрајају у групу класификационих алгоритама које такође подразумевају креирање обучавајућих скупова – тренинг, али се разликују у начину добијања резултата класификације. У ову групу спадају нпр. неуронске мреже, стабло одлуке и слично. Поред тога, развијене су и методе које су увеле системски приступ у класификацији, пре свега концепт нивоа класификације. У ове групе спада фази класификација, експертна класификација или други типови мултикласификационих алгоритама који врше интеграцију резултата неколико различитих класификационих алгоритама, као и класификација у којој

учествује не само један него више типова улазних података (алфанумерички и категорисани подаци) и помоћних информација у класификационом процесу (нпр. структурирани подаци из снимка, подаци који имају просторни контекст, мултиподаци из истог извора – вишевременски подаци, употреба географског знања које је од значаја за процес класификације).

Заједничко за све наведене методе класификације је у основи покушај да пренесемо наше знање на рачунар и помогнемо му у интерпретацији слике. У том погледу, а нарочито када се удаљимо од спектралних карактеристика снимка, пиксел базирана класификација (третирање појединачног пиксела) је ограничена. Оно што је неопходно је веза између људске перцепције и интерпретације слике и рачунара. У скуп напредних класификационих техника као последња се појавила класификација базирана на објектној оријентисаној анализи слике - *OBIA*. У основи ове напредне методе класификације слике је покушај интерпретације начина како људско биће перцепира информације са неке слике.

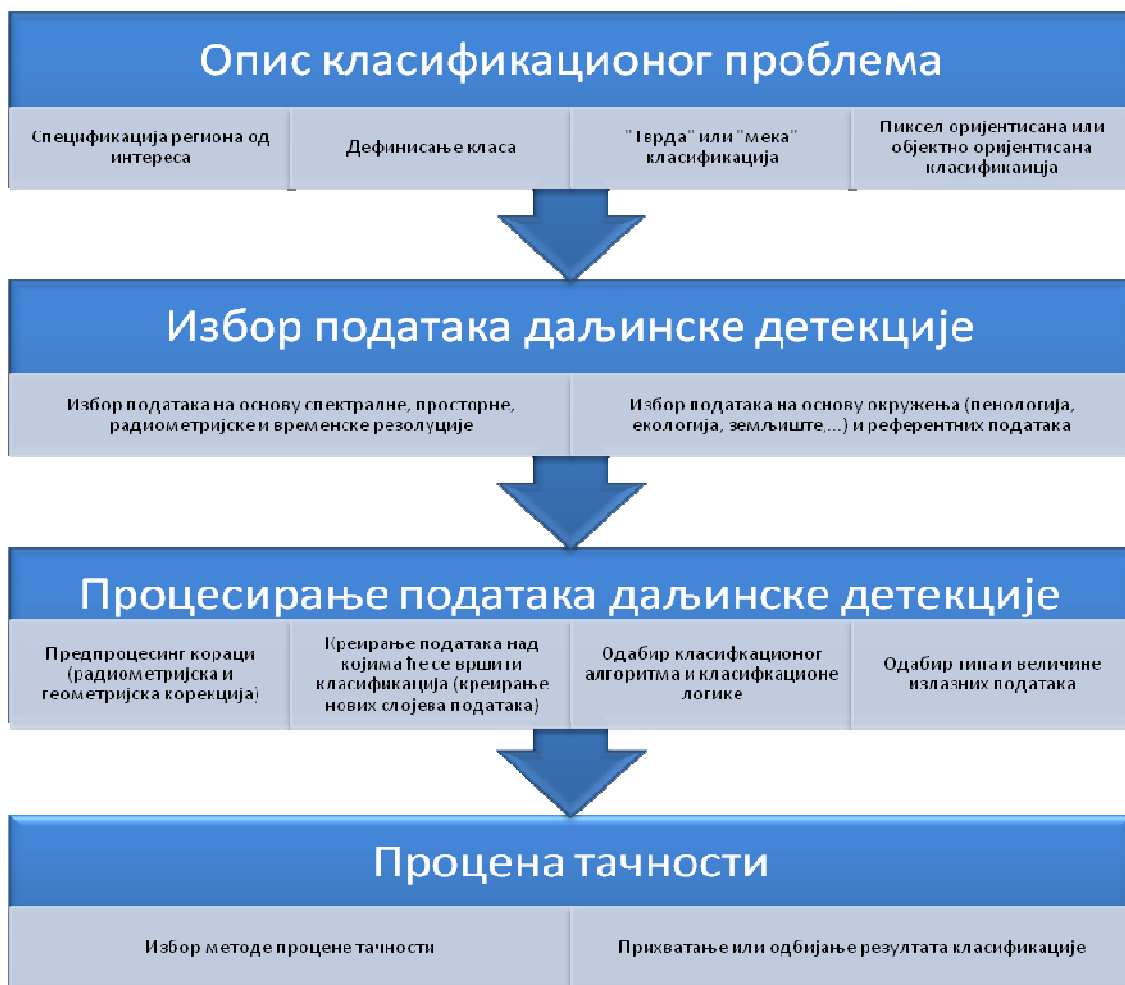
Оно што је заједничко за све поменуте процесе класификације је недостатак јединственог модела по којем би се могла вршити и пиксел и објектно базирана класификација.

Поређење система у анализираним радовима из области је прилично тешко, модели нису увек експлицитно дефинисани, количина параметара и прагова које аналитичар мора да зада у оквиру модела се разликују и још увек не постоји свеобухватно поређење модела и параметра. Тренутна истраживања се крећу у правцу аутоматске екстракције структура које је направио човек, пре свега зграда, путева и мреже путева, затим вегетације, реке и слично. У доступној анализираној литератури није пронађен ниједан уопштени модел у којем би био дефинисан комплетан поступак класификације, односно дефинисање корака у добијању тематских информација класификацијом снимака добијених на принципима даљинске детекције (авио-снимци, снимци из беспилотних летелица, снимци са сателитских платформи новије генерације са високом просторном резолуцијом). Креирање модела за идентификацију геопросторних објеката на бази објектно оријентисане класификације, што је и циљ ове докторске тезе, базира се на предложеном моделу у претходном поглављу (Слика 14), који је сада поново детаљније приказан на слици која следи (Слика 59).

Ако говоримо о томе шта треба да буде резултат модела, онда говоримо о резултату класификације коју представља моделовање објеката из 3Д света, а које је претежно направио човек (уколико говоримо о зградама, путевима,...) или о објектима који представљају основне јединствене физичке, географске и разне друге карактеристике (шумске површине, водене површине, воћњак, виноград,...). Резултат модела може бити и појединачна тачка, ако говоримо о стаблу, или бандери уличне расвете, затим површина крова неке зграде или централна линија пута, са семантичким информацијама, али кључно је екстракција геометријских објеката. Основни фокус модела је због наведеног,

естрактована информација у виду геопросторног објекта, који је идентификован на снимку, а захваљујући јасном дефинисања класификационог проблема. На резултате модела утичу, такође, и различити извори података који се користе за класификацију, и у том смислу модел је фокусиран преваходно на улазне податке који се данас највише користе, а пре свега сателитски снимци високе резолуције, снимци са авио-платформи, као и модели терена и модели објеката високе резолуције.

На основу модела генералних корака класификације (Слика 14), креиран је први уопштени модел класификације података даљинске детекције, приказан на наредној слици (Слика 59). Први корак у класификацији података даљинске детекције је опис класификационог проблема. Он подразумева неопходне кораке као што су спецификација региона од интереса, дефинисање класа које треба да представљају жељене резултате класификације, избор излазних резултата (такозвана "тврда" или "мека" класификација) и, на крају, избор типа класификације, пиксел базирана или објектно оријентисана класификација.



Слика 59 Уопштени модел класификације података даљинске детекције

На основу описа класификационог проблема, и на основу познатих карактеристика података даљинске детекције, врши се избор података над којим се врши класификација. Основне карактеристике као што су радиометријска, просторна, спектрална и временска резолуција значајно утичу на резултате класификације, као и на избор класификационих алгоритама. Референтни подаци и окружење, као и додатни алфанумерички и просторни подаци, такође утичу на резултате класификације, па се овај корак може сматрати једним од најзначајнијих корака у самом моделу.

Процесирање података подразумева неколико фаза. Први корак су разни предпроцесни поступци који утичу на саме податке и подразумевају нормализацију података (радиометријска корекција) и геометријску корекцију ако је то неопходно. У овом кораку се, такође, врши и избор одговарајућих класификационих алгоритама, затим избор иницијалних обучавајућих – тренинг скупова, ако је то потребно, избор одговарајућих опсега на основу задатих критеријума и просторних и спектралних карактеристика, креирање нових слојева података који ће учествовати у класификацији и одабир типа излазних података класификације као и величине излазних података.

Последња фаза у моделу приказаном на претходној слици (Слика 59) је поступак провере тачности излазних резултата који подразумева избор методе провере тачности (квалитативна или статистичка), одређивање броја узорака по класи, избор референтних истинитих података и креирање матрице грешке на основу статистичке анализе. Након овога следи прихватање или одбијање резултата класификације и евентуална дистрибуција резултата класификације ако су резултати добри, односно прихватљиви.



Слика 60 Основни модел за идентификацију геопросторних објеката уз ослонац на објектно оријентисану класификацију

На основу уопштеног модела класификације података даљинске детекције креирани су остали модели који представљају појединачне фазе у самом моделу (поступку) идентификације геопросторних објеката уз ослонац на објектно оријентисану класификацију.

Основа модела идентификације геопросторних објеката, уз ослонац на објектно оријентисану класификацију, приказана је на претходној слици (Слика 60). Уз сву обазривост у односу на значај процене тачности резултата класификације, модел приказан на поменутој слици (Слика 60) се може још уопштити и представити у виду табеле (Табела 3). Као што се може видети у тој табели (Табела 3), основни модел састоји се од пет целина које су јасно повезане. Свака целина у табели (Табела 3) је намерно приказана различитим бојама, како би се јасно истакле карактеристике сваке целине и међусобне везе, при чему

су међусобне везе приказане стрелицама одговарајуће боје. У самој табели, наравно, нису наведене све карактеристике појединачних делова, али ће оне бити обрађене накнадно у сваком од појединачних модела. Оно што треба нагласити је да ће, у наставку текста, сваки појединачан део односно целина бити означени истом бојом као и у датој табели (Табела 3), како би се јасно успоставила веза између основног модела и појединачних подмодела.

Критеријуми за класификацију геопросторних објеката	Идентификација и селекција геопросторних објеката од интереса		Класификација употребљених метода	Имплементарне методе сегментације
<ul style="list-style-type: none"> - резолуције доступних података: - просторна - спектрална - радиометријска - површина - облик 	<ul style="list-style-type: none"> - спектралне карактеристике - геометрија - топологија - атрибути - додатни подаци 	<p>ВЕЗА ИЗМЕЂУ КРИТЕРИЈУМА И ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ СА КЛАСИФИКАЦИЈОМ И СЕГМЕНТАЦИЈОМ</p>	<ul style="list-style-type: none"> - класификација на основу спектралних карактеристика - класификација на основу облика - класификација на основу контекста - класификација на основу текстуре - класификација на основу DSM 	<ul style="list-style-type: none"> - мултирезолуциона сегментација - Ламбда сегментација - сегментација базирана на вредностима и локацији пиксела

Табела 3 Табеларни приказ основног модела за идентификацију геопросторних објеката уз ослонац на објектно оријентисану класификацију

Израду целокупног модела започињемо у простору дефинисања јасног поступка класификације, а све у смислу идентификације и селекције геопросторних објеката од интереса. Да би се овај део модела успешно реализовао, потребно је пре свега дефинисати приступ у поступку мапирања.

4.3 Приступ у поступку мапирања

Приликом поступка класификације, потребно је на самом почетку дефинисати на који начин ће се извршити мапирање, што захтева неколико јасно дефинисаних корака. У обзир се морају узети :

- карактеристике снимка који се користи у поступку класификације,
- техничка спецификација жељеног резултата класификације, односно техничка спецификација финалне мапе (нпр. минимална површина картоирања),

- географске карактеристике посматраног подручја, доступност додатних помоћних података

На основу ових података могуће је:

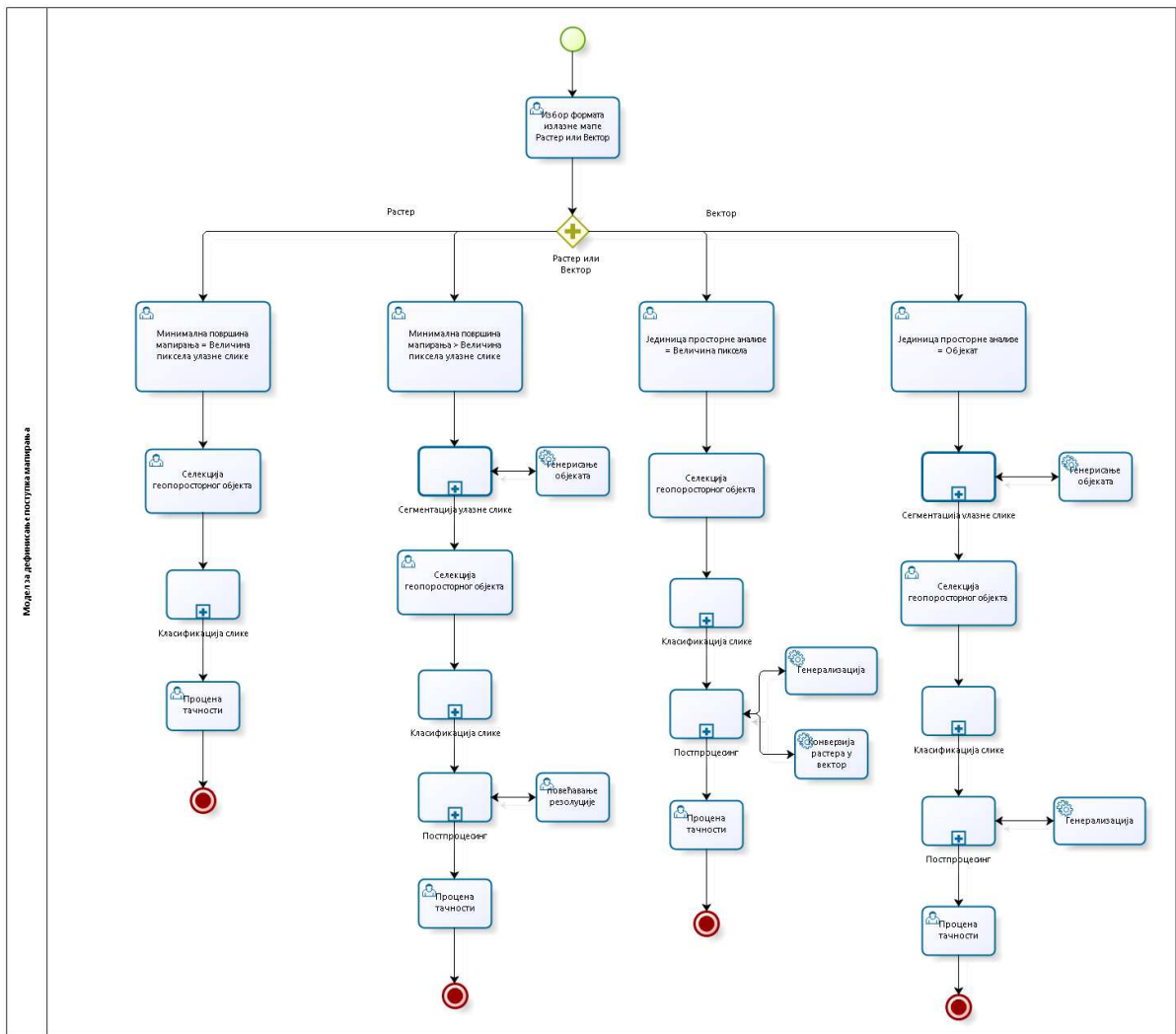
- јасно дефинисање просторних одредби у поступку класификације, нпр. да ли се као резултат класификације очекује растерски или векторски податак,
- донети одлуку о раслојавању улазних података на смислене целине (стратификација)
- донети одлуку о додатним помоћним подацима, да ли да се користе или не, и ако се користе – који подаци се користе

На пример, минимална површина картирања код растерских мапа је обично један пиксел, док код векторских мапа, најмањи објекат у мапи уједно представља и минималну површину картирања. Дефинисањем минималне површине мапирања, у ствари дефинишемо и начин класификације – уколико је одлука да минималну површину представља пиксел, у ствари се одлучујемо за пиксел базирану класификацију. Ако се, пак, одлучимо да је минимална површина мапирања неки смислени објекат, онда се преваходно одлучујемо на објектни приступ класификације, односно на *OBIA* класификацију.

Да би јасно дефинисали све битне одреднице које утичу на то шта нам је просторна јединица анализе и од чега она зависи, потребно је да знамо:

- просторну резолуцију улазних података (снимака) над којим се ради класификација,
- тип тематских информација које желимо да добијемо као резултат класификације, нпр. земљишни покривач, коришћење земљишта, зграде, парцеле,...
- формат излазне мапе, нпр. векторски или растерски,
- минималну површину мапирања финалне мапе, и
- да знамо све препроцесинг и постпроцесинг кораке које планирамо да применимо.

На слици која следи (Слика 61) наведени су сви кораци који су неопходни за јасно дефинисање у поступку мапирања и они представљају први подмодел дефинисан уз помоћ алата *Bizagi Modeler*. Овај алат се користи за креирање документације и креирање бизнис процес модела. Нотација омогућава креирање модела, дијаграма и документације у складу са индустријским стандардом *BPM (Business Process Model)* [66].



Слика 61 Модел за дефинисање поступка мапирања

Иако је циљ овог доктората модел класификације геопросторних објеката базирана на *OBIA*, због општости модела класификације на приказаној слици (Слика 61) дат је уопштени модел за дефинисање поступка мапирања, који обухвата и пиксел базирану и *OBIA* базирану класификацију.

Дакле, на самом почетку класификације, аналитичар се мора одлучити шта је његова минимална површина мапирања и који је тип података очекиван (растер или вектор) као излазни резултат класификације. Уколико је минимална површина мапирања већа од величине пиксела слике, и ако је за основну јединицу просторне анализе изабран објекат слике, онда се уствари одлучујемо за поступак сегментације, односно одлучујемо се за класификацију слике на основу објеката. Циљ овог докторског рада јесте управо креирање модела који описује у потпуности овај поступак.

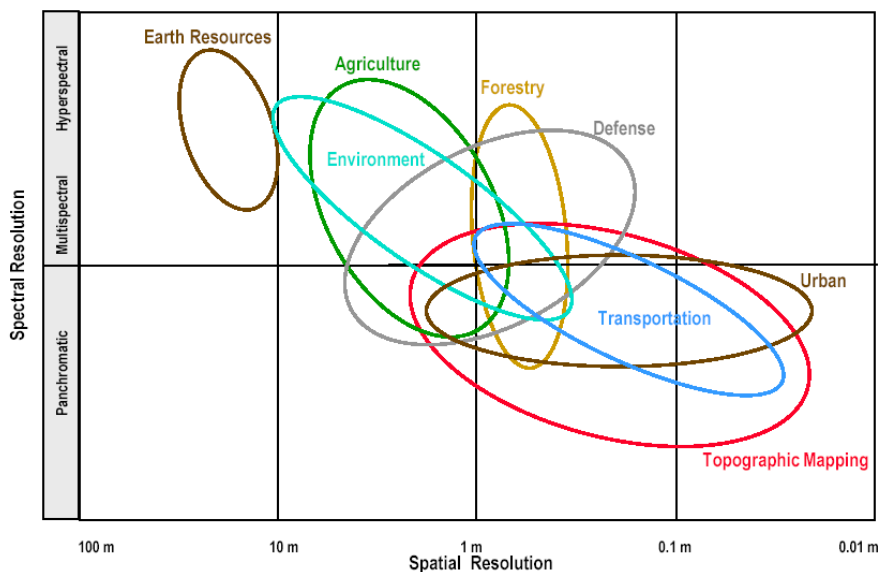
4.4 Критеријуми за класификацију геопросторних објеката

Основни критеријуми за класификацију пре свега зависе од улазних података и онога што аналитичар може да очекује на основу својих улазних података. Аналитичар је на основу описа класификационог проблема и одлуке о поступку мапирања, који је резултат претходног модела (Слика 61), унапред упознат о каквом геопросторном објекту је реч. На основу просторне резолуције улазних података аналитичар доноси одлуку да ли уопште могу бити задовољени основни критеријуми за класификацију и да ли треба да се врши или не.

Развој даљинске детекције данас се пре свега огледа у развоју резолуције, радиометријске, спектралне, временске и пре свега просторне. Радиометријска резолуција снимка представља способност сензора да разликује и сними што мање делове емитоване или рефлектоване енергије. Подаци снимка су забележени као позитивни дигитални бројеви у распону задате радиометријске резолуције (нпр. $2^8=256$). Данас се може рећи да је развој ове области достигао врхунац са најсавременијим сателитским платформама и сензорима, где је радиометријска резолуција најчешће осомобитна ($2^8=256$) једанаестобитна ($2^{11}=2048$) или чак шеснаестобитна ($2^{16}=65536$), што значи да подаци снимка могу да имају неке од вредности у опсегу од 0 до 65536, а све у зависности од сензора.

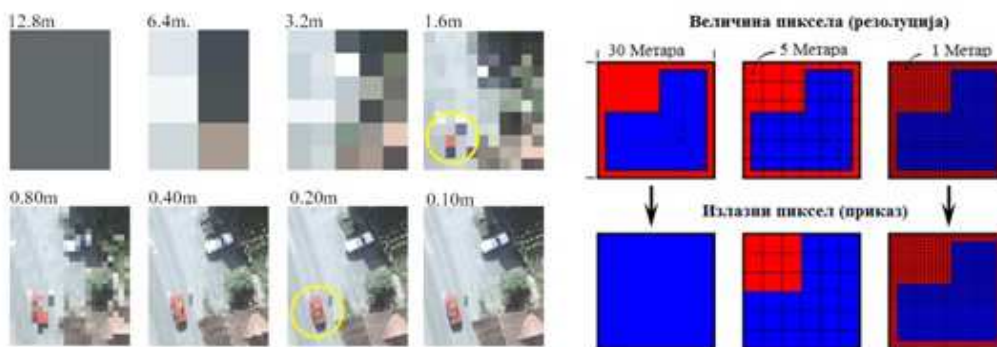
Временска резолуција се код сателитских платформи креће од неколико десетина дана па до једног дана, али ако говоримо о беспилотним летелицама чије снимке можемо практично да добијемо сваки минут, онда временска резолуција полако губи смисао.

Оно што је свакако битно за све врсте снимака јесте спектрална резолуција. Спектрална резолуција представља способност односно осетљивост сензора да забележи одређену ширину опсега електромагнетног спектра емитоване или рефлектоване енергије [48]. Ширина опсега, којем делу електромагнетног спектра припада (видљиви део, блиско инфрацрвени, средње инфрацрвени, далеки инфрацрвени део,...) и њихов број дефинише превасходну примену снимка (пољопривреда, урбанизам, саобраћај,...). На наредној слици (Слика 62) дат је пример примене снимка у одређеној области у зависности од просторне и спектралне резолуције.



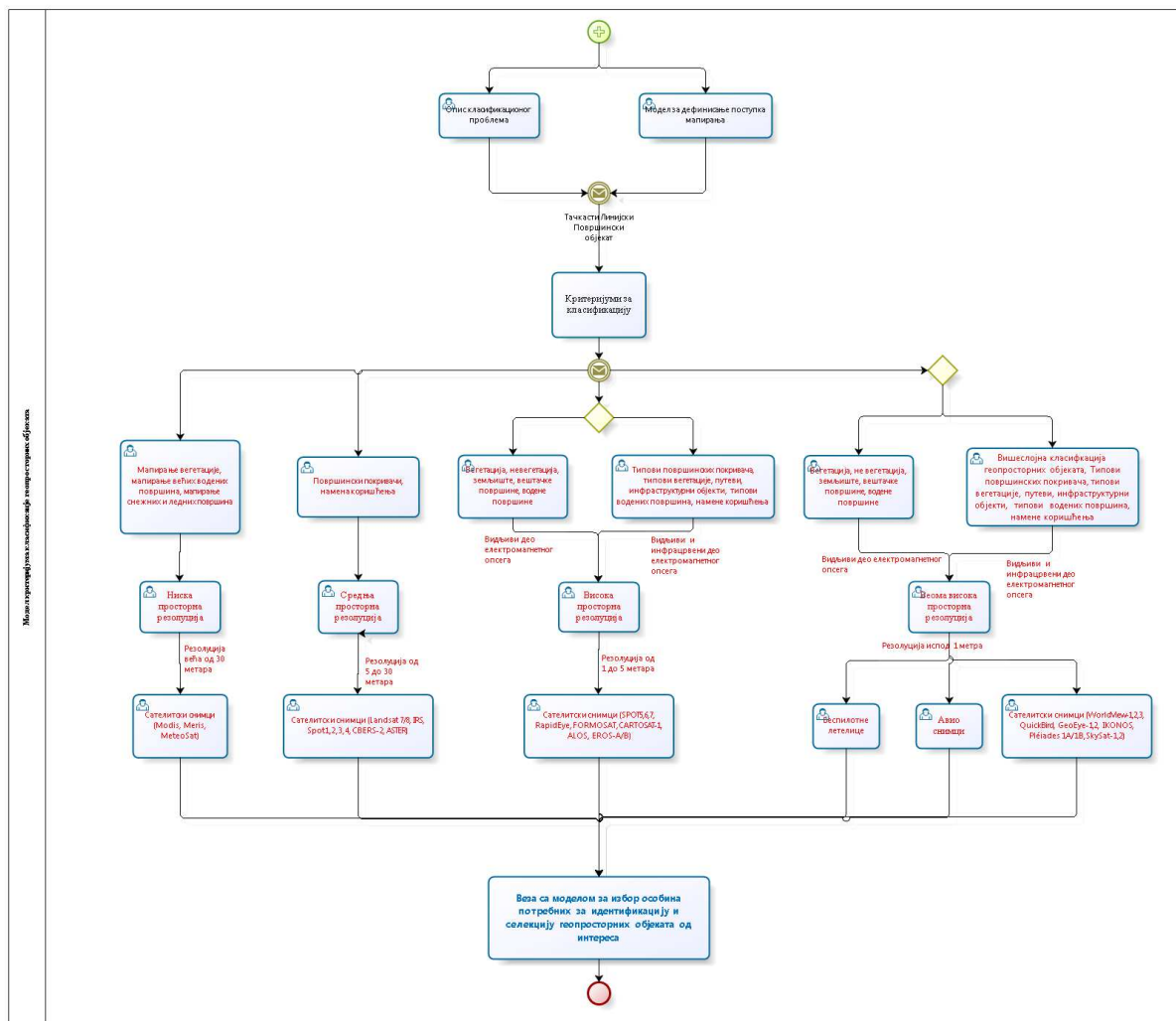
Слика 62 Однос спектралне и просторне резолуције и њихова примена

Просторна резолуција данас представља део даљинске детекције који се и даље највише развија. Пре само 50 година просторна резолуција мултиспектралних платформи је била 1 km, а данас је неколико десетина центиметара (31 cm - *WorldView3* [67]). Такође, сензори на авионским платформама и беспилотним летелицама имају веома високу просторну резолуцију и снимци настали на овим платформама већ имају просторну резолуцију од неколико центиметара. О важности просторне резолуције можда најбоље говори слика (Слика 63), на којој је могуће уочити који детаљи се могу препознати на снимцима средње и високе просторне резолуције, као и утицај просторне резолуције на резултате анализе снимка.



Слика 63 Значај просторне резолуције и њена улога у анализи

Узимајући у обзир пре свега значај просторне резолуције, као и њен потенцијални развој у будућности, али без занемаривања значаја спектралне резолуције, креиран је модел који дефинише критеријуме класификације геопросторних објеката, који је приказана на следећој слици (Слика 64) и који је описан у складу са *BPM* нотацијом.



Слика 64 Модел критеријума класификације геопросторних објеката

Модел који дефинише критеријуме за класификацију геопросторних објекта на самом почетку захтева дефинисан поступак мапирања (Слика 61) и опис класификационог проблема са дефинисаним класама које треба да представљају резултат класификације. У моделу је дефинисано да аналитичар, након тога, на основу просторне резолуције може да одлучи која врста снимака му је потребна како би задовољио опис класификационог проблема и жељене класе класификације.

У моделу на горе приказаој слици (Слика 64) јасно је дефинисано да са снимцима ниске просторне резолуције веће од 30 метара, у које спадају само неке сателитске мултиспектралне платформе (Modis, Meris, MeteoSat,...) могу да се, кроз поступак класификације, препознају површине под вегетацијом, да се изврши мапирање већих водених површина, или изврши мапирање снежних површина и површина под ледом, што и јесте основна сврха ових сателитских платформи [68], [69], [70].

Уколико се ради о снимцима средње просторне резолуције, што значи да су у питању сателитске платформе као што је *Landsat 7/8*, *IRS*, *SPOT 1, 2, 3, 4*, *CBERS-2*, *ASTER* ([71], [72], [73]) или друге, аналитичар може да очекује детекцију површинских покривача и детекцију намене коришћења земљишта. Уколико аналитичар има у опису класификационог проблема задатак да препозна стамбене јединице типа зграде или куће, а располаже само снимцима средње просторне резолуције, модел (Слика 64) одмах дефинише да то није могуће са тим снимцима. Поред тога, аналитичару се јасно сугерише да у зависности од задатка (описа класификационог проблема) мора да води рачуна о спектралној резолуцији, односно да ли снимци поред видљивог дела електромагнетног спектра поседују и инфрацрвени део.

Уколико аналитичар има задатак да класификује типове површинских покривача, типове вегетације, путеве, инфраструктурне објекте, типове водених површина, намене коришћења или слично, онда на основу модела може да закључи да су му потребни снимци високе просторне резолуције (од 1 до 5 метара). У ту групу спадају сателитски снимци са платформи *SPOT 5, 6, 7*, *RapidEye*, *FORMOSAT*, *CARTOSAT-1*, *ALOS*, *EROS-A/B* ([72], [74]) или други са сличним карактеристикама. Ове платформе имају знатно већу примену у односу на снимке средње просторне резолуције. У овом делу модела аналитичар поред просторне резолуције мора да води рачуна и о спектралној резолуцији. У зависности од тога да ли жели да врши класификацију геопросторних објеката за које је потребан само видљиви део, или жели класификацију за који су потребни и инфрацрвени делови електромагнетног опсега, зависиће и да ли ће моћи да врши класификацију само по површинским покривачима или и класификацију по типовима површинских покривача. На пример, ако је од аналитичара, кроз опис класификационог проблема и дефинисаног поступка мапирања, захтевано да се изврши класификација само вегетационих површина, без улажења у детаље о којим се типовима вегетационих површина ради, модел сугерише да су довољни само снимци са виском просторном резолуцијом и видљивим делом електромагнетног спектра. Уколико је обавезна и класификација по типовима вегетационих покривача, онда су поред видљивог дела спектра потребни и инфрацрвени опсеги који доносе много више информација и који задовољавају захтеве таквог класификационог проблема.

И на крају, модел предвиђа употребу снимака веома високе просторне резолуције, где поред сателитских снимака као што су *WorldView 1/2/3*, *QuickBird*, *IKONOS*, *Pléiades 1A/1B*, *GeoEye 1/2*, или *SkySat 1/2* ([75], [76], [11]), постоји могућност да су снимци пореклом са авионских платформи или тренутно најактуелнијих беспилотних летелица. У сваком случају, и овде постоји потреба да аналитичар на основу класификационог проблема дефинише да ли су потребни само *RGB (RGB-red green blue)* снимци (видљиви део спектра) или су потребни и снимци са инфрацрвеним деловима опсега електромагнетног спектра. Уколико у опису класификационог проблема постоји потреба за вишеслојном класификацијом (блок зграда први ниво, зграде други ниво или вегетација први ниво,

трава и дрвеће други ниво), или класификација по типовима површинског покривача (зграде, стубови, стазе, путеви, базени, тениски терени и слично), онда је аналитичар тај који треба да предложи мултиспектралне снимке веома високе резолуције.

На крају, аналитичар на основу овог модела као резултат добија јасно дефинисано коју врсту снимака у погледу спектралне и просторне резолуције треба да користи како би задовољио већ описани класификациони проблем и поступак мапирања. Затим заједно са резултатима модела за избор особина потребних за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса (Слика 65) може да пређе на избор доступних метода сегментације и класификације које су у овом раду описане.

4.5 Идентификација и селекција геопросторних објеката од интереса

Након дефинисаног модела за поступак мапирања, описа класификационог проблема и модела за дефинисање критеријума класификације геопросторних објеката, аналитичар зна са којим снимцима одређених просторних и спектралних карактеристика располаже и следећи корак је дефинисање начина селекције геопросторног објекта.

Да би се правилно описале особине геопросторних објеката од интереса посматраћемо пре свега практичне примере из реалног света као што су зграде, базени, стадиони, тениски терени и слично, затим линијске структуре као што су путна мрежа или реке, и полигонске структуре као што су површине под шумама, вегетација или различити типови вегетације или површинских покривача, на основу којих ћемо лакше груписати заједничке критеријуме за селекцију и идентификацију геопросторних објеката. Ови описи ће помоћи да се, као пред корак класификације, унапред одреде особине, односно просторне информације које се користе у самом поступку класификације. Манипулација и избор ових просторних особина односно информација је неопходан корак како би се евентуално смањио њихов непотребно велики број, наравно, без утицаја на крајњу тачност класификације.

Поставља се питање који су то просторни подаци који се могу користити у поступку екстракције информација, које просторне особине утичу на избор алгоритма у класификацији, на који начин се најбоље бира нека информација како би се најбоље издвојиле класе у поступку класификације.

Уколико се ради о класификацији зграда, што је данас једно од најзначајних праваца у истраживању класификације базиране на *OBIA*, модел мора јасно да раздвоји начине класификације у зависности од типа сензора који се користи и који су додатни подаци доступни (дигитални модели терена или дигитални модел објеката). Такође и комплексност и тип подручја (урбано или рурално) утиче на начин класификације, а присутна је и зависност од размере, односно дефинисане минималне јединице мапирања и

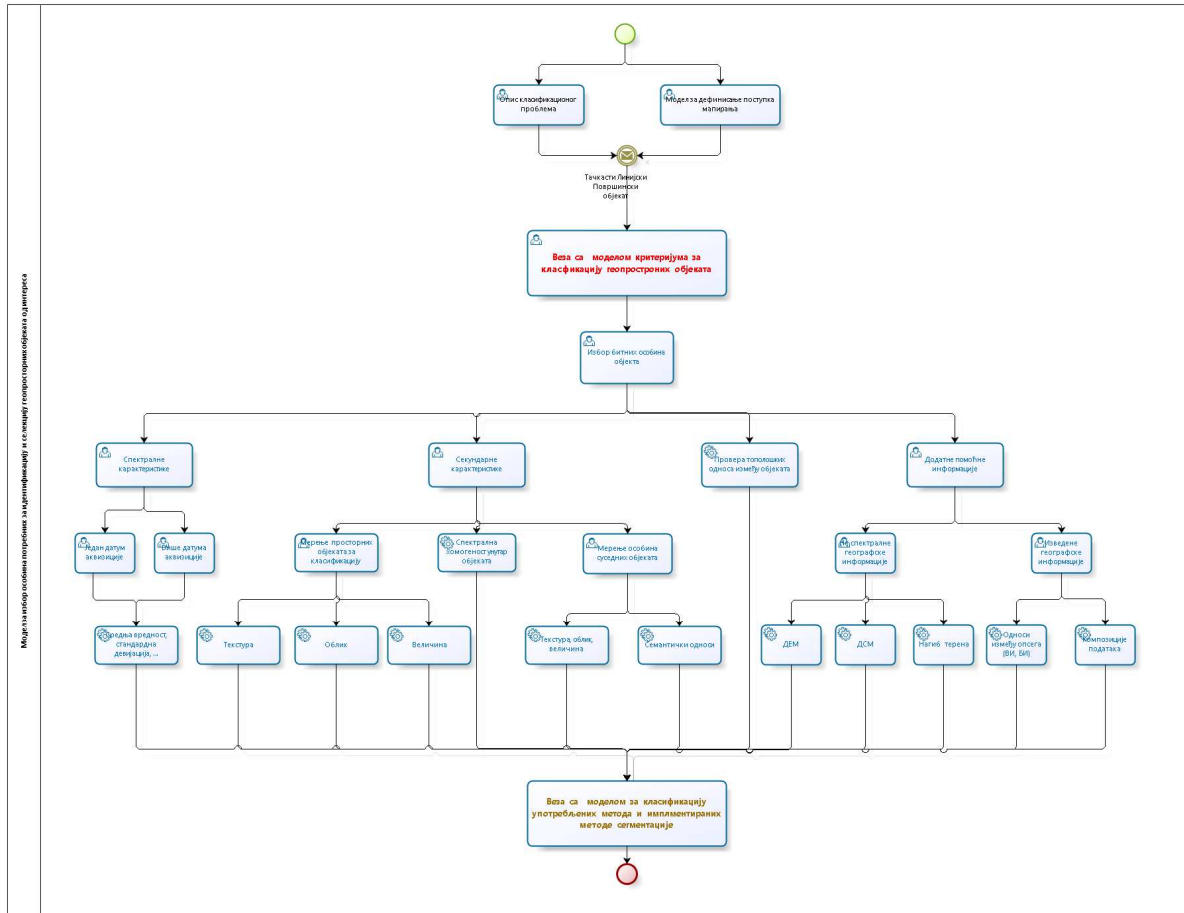
кавалитета података, што све утиче да ли ће се моћи, и на ком нивоу детаља, класификовати појединачна зграда или комплексна структура зграда односно објеката.

Главни тип линијских топографских објеката базиране на *OBIA* класификацији су путеви, реке, пруге и границе између различитих површинских типова покривача. Код авио-снимака високе резолуције линијске структуре, путеви, реке, пруге се могу јасно уочити. Овакви подаци су обично са три опсега из видљивог дела електомагнетног спектра и најчешће су доступни у форми ортофото снимка одређене размере (1:1000, 1:2500 и 1:5000). Сателитски снимци поред основних *RGB* опсега, обично поседују и додатне информације у виду додатних опсега из инфрацрвеног дела електромагнетног спектра, који се углавном не појављују код авио-снимака (авионске платформе обично носе *RGB* сензор). *RGB* авио-снимци у детекцији путева су добри у руралним подручјима, али, уколико је у питању урбано подручје, где постоји велик број вештачких објеката са сличним спектралним карактеристикама, онда су додатни опсеги који су доступни код сателитских снимака од велике користи. Наравно, од изузетног значаја су и тополошки односи између објеката, где нпр. тополошки односи јасно могу да разреше о којој врсти линеарног објекта је реч. Начин на који аналитичар може да опише геопросторни објекат је од великог значаја, а одговори на питања као што су: шта је поред, да ли има пресецања, да ли има нешто испод и слично, на најбољи начин описују објекат (пут који је представљен линијском структуром поседује и додатне особине као што су раскрснице где има пресецања, затим надвожњаци – нешто је испод, и слично). Ако посматрамо природне линијске објекте, реке су, као линијски тип објеката и као природан тип објеката, обично ограничене или са природним границама (објектима) другог типа или са границама које је човек направио.

Што се тиче полигонских структура, шуме, њиве, и различитих типова земљишних покривача и вегетације, оне се најчешће добијају као резултат различитих класификација базиране пре свега на мултиспектралним сателитским снимцима. Површински покривачи у руралним подручјима се обично састоје, или од малих, или великих пољопривредних површина, са комплексним вегетационим покривачем и ретким стамбеним објектима и комплексном просторном структуром. За оваква подручја, доступни сателитски снимци и авио-снимци високе резолуције нису сами по себи довољни, потребно је додатно дефинисати везе између објеката. Те додатне везе су најчешће базиране на спектралним и просторним карактеристикама објеката слике као и контексту међусобних односа између међусобно суседних објеката слике.

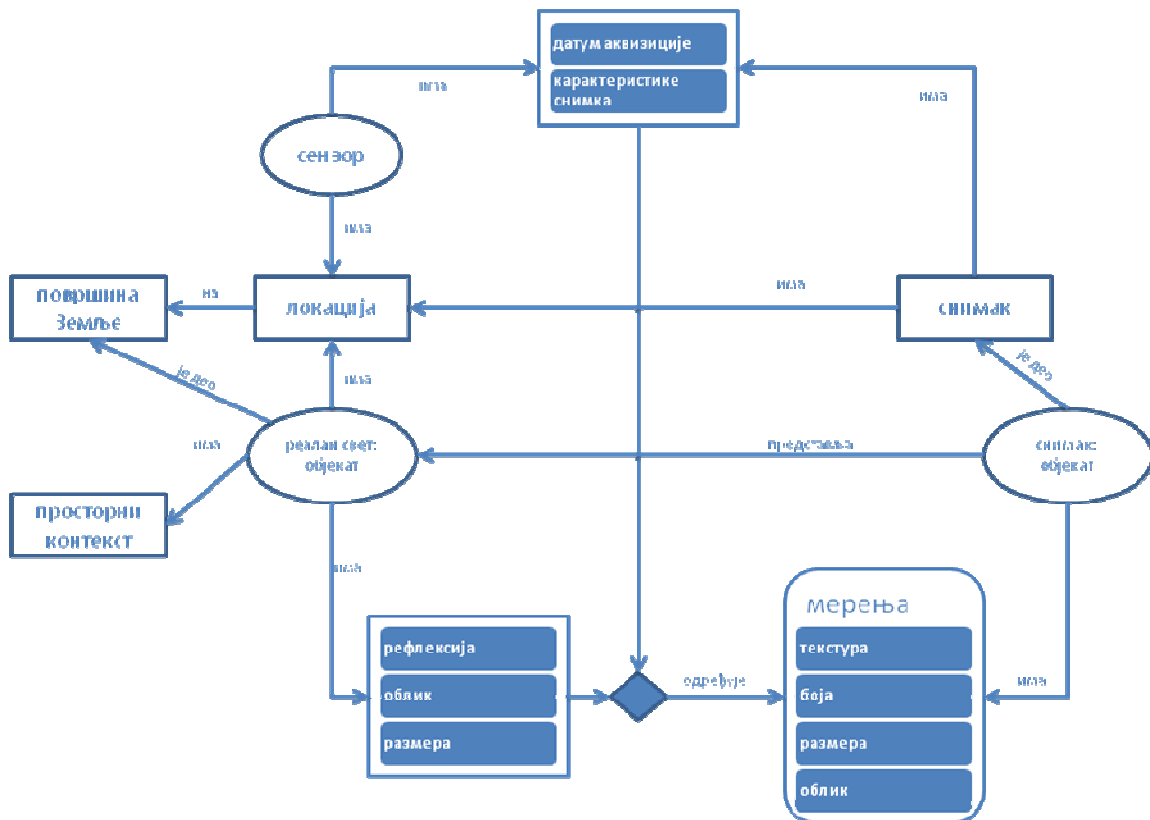
Као што је већ речено у поглављу *Особине и правила класификације*, доступне особине објеката које утичу на начин класификације, превасходно зависе од алата у којем се врши класификација. Оно што модел приказан на наредној слици (Слика 65) ради, јесте да аналитичару даје препоруку о којим особинама мора да води рачуна, а аналитичар на основу описа класификационог проблема и доступних података одлучује које особине су битне и неопходне да се задовољи задатак класификације. Аналитичар се на основу ове

препоруке и могућности софтвера у којем се ради класификација одлучује за одговарајућу особину, било да су то геометријске карактеристике, информације о текстури, или нека од метричких особина (датих у Табела 2).



Слика 65 Модел за избор особина потребних за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса

На основу наведених карактеристика објеката креиран је модел приказан на слици (Слика 65) који представља основу за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса. Као што се види у уопштеном моделу за класификацију података даљинске детекције (Слика 59) аналитичар на основу описа класификационог проблема и дефинисања жељених класа, као и на основу модела за дефинисање поступка мапирања (Слика 61), већ пре самог избора битних особина објеката зна да ли је жељени резултат класификације тачкасти, линијски или површински објекат. На основу модела за критеријума класификације геопросторних објеката (Слика 64) аналитичар зна са којим снимцима располаже. Модел (Слика 65) на основу тога омогућује аналитичару да дефинише и изабере најбитније особине геопросторних објеката од интереса.



Слика 66 Приказ везе реалног света и дела особина које су аналитичару потребна за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса

Први корак у моделу је избор спектралних карактеристика који се користити за идентификацију и селекцију геопросторног објекта у поступку класификације. Уколико поседује снимке са више датума аквизиције, потребно је да, у зависности од дефинисаних жељених класа, одлучи које су спектралне карактеристике од значаја за жељене класе.

Затим, у другом кораку аналитичар дефинише и остале карактеристике које су у вези са изабраним објектима и жељеним класама. Аналитичар, ако је то могуће дефинише текстуру, облик, величину, и спектралну хомогеност посматраних објеката. У истом делу се дефинишу и особине суседних објеката, њихова текстура, облик, величина, као и семантички односи између њих и посматраног објекта. На приложеној слици (Слика 66) је приказан пример за везу реалног света и дела особина које аналитичар може да препозна на снимку, а која су му потребна за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса.

Након тога аналитичар дефинише тополошке особине посматраних објеката, пре свега уз помоћ унапред дефинисаних жељених класа. Аналитичар у овој фази описује тополошке односе између објеката са жељом да такве односе искористи у поступку класификације. На пример уколико су у спецификацији жељених класа дефинисане зграде, зелене површине, путеви и бицикличке стазе, описом тополошких односа између

оваквих појава у реалном свету и њихова имплементација у овој фази помаже да се јасније одреде тополошки односи између објеката који се користе у поступку класификације.

Последња фаза у оквиру овог дела класификације је избор одговарајућих помоћних информација које могу помоћи у идентификацији жељених класа (геопросторних објеката). Уколико постоје додатне информације о висинама терена, дигитални модел терена или дигитални модел објеката са одговарајућом просторном резолуцијом која може да помогне у идентификацији жељених класа (објеката), аналитичар бира податке које ће помоћи у класификацији. Такође аналитичар може на основу доступних података да креира додатне изведене информације (нпр. информације о нагибу терена или стрминама које могу да помогну на примеру класификације зграда, када се на основу *DTM*-а високе просторне резолуције зграде могу класификовати уз помоћ информације о разликама у висинима или подацима о стрминама објеката слике).

Такође, у случају мултиспектралних сателитских снимака, авио-снимака или снимака са беспилотних летелица које поред основних *RGB* опсега слике поседују и инфрацрвене опсеге, аналитичар може да креира одговарајуће додатне податке који наглашавају карактеристике одређених објеката на слици које није могуће уочити редовном анализом снимака. Вегетациони индекси су типичан пример на основу којих се могу истаћи одређене карактеристике вегетације које нису видљиве или присутне у самим снимцима. Аналитичар се, на основу дефинисаних жељених класа и типа геопросторних објеката, одлучује за креирање одговарајућих индекса (постоји преко 50 различитих индекса, постоје вегетациони индекси, индекси изграђености и слично) или може да се одлучи за неку композицију података које могу да унапреде резултате класификације.

Након одабира свих неопходних особина потребних за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса, прелази се на избор критеријума за класификацију геопросторних објеката на основу имплементираних метода сегментације.

4.6 Класификација употребљених метода и имплементираних метода сегментације

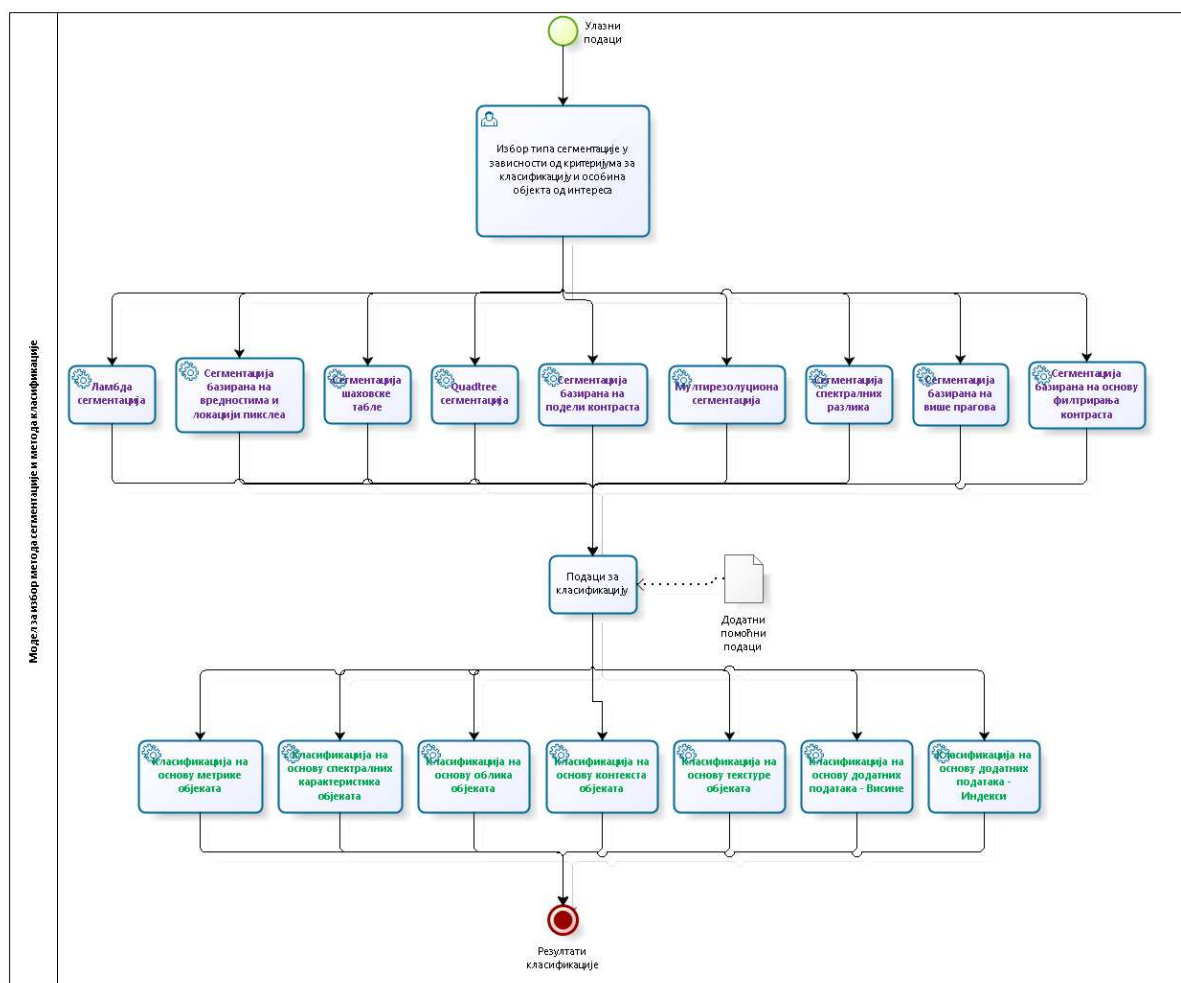
На основу модела за критеријум класификације геопросторних објеката и модела за избор особина потребних за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса, аналитичари се одлучују за тип сегментације снимка. Тип сегментације по својим карактеристикама унапред одређује резултат, односно изглед, величину и карактеристике геопросторних објеката који се појављују као резултат сегментације слике.

Након извршене сегментације аналитичар одлучује да ли су потребни и додатни подаци који ће заједно са резултатима сегментације учествовати у класификацији. Аналитичар на основу описа класификационог проблема и модела мапирања, критеријума класификације и особина геопросторних објеката врши избор понуђених метода за

класификацију, односно доноси одлуку да ли се класификација врши на основу спектралних карактеристика објеката, на основу облика објекта, текстуре или слично, или ће у поступак класификације укључити помоћне податаке.

Аналитичар, такође, у овом делу модела може одлучити да се изврше и две сегментације уколико то он закључи на основу описа класификационог проблема. Такође и приликом класификације, аналитичар се може одлучити да поступка класификације не буде само на основу спектралних карактеристика, него се може одлучити и за комбинацију две или више типова класификације.

Модел описан у складу са *BPM* нотацијом приказан је на слици (Слика 67).



Слика 67 Модел за избор метода сегментације и метода класификације

У поглављу 3.3.6 описани су сегментациони алгоритми који представљају основу за објектно оријентисану класификацију. Аналитичар, на основу описа класификационог проблема и на основу описа сегментационих алгоритама, дефинише оптимални начин за

поклапање између објеката слике над којом се спроводи поступак сегментације, са једне стране, и основних карактеристика које описују геопросторне објекте из стварног реалног света, са друге.

Резултат сегментације снимака насталих на принципима даљинске детекције је стварање хомогено спектралних сегмента, односно објеката који се одликују специфичним карактеристикама. Карактеристике објеката се могу описати на различите начине, пре свега на основу њихових димензија, облика, контекста, спектралних карактеристика, или слично, и заједно са додатним подацима, над којима такође може по потреби да се изврши сегментација, може да се изврши и класификација по правилима дефинисаним кроз опис класификационог проблема. Модел приказан на претходној слици (Слика 67) подразумева да аналитичар након сегментације одлучује која од метода класификације највише одговара задатку класификације. Модел предвиђа да се аналитичар може одлучити за само једну методу или чак и за све методе класификације, све у зависности од доступних података за класификацију.

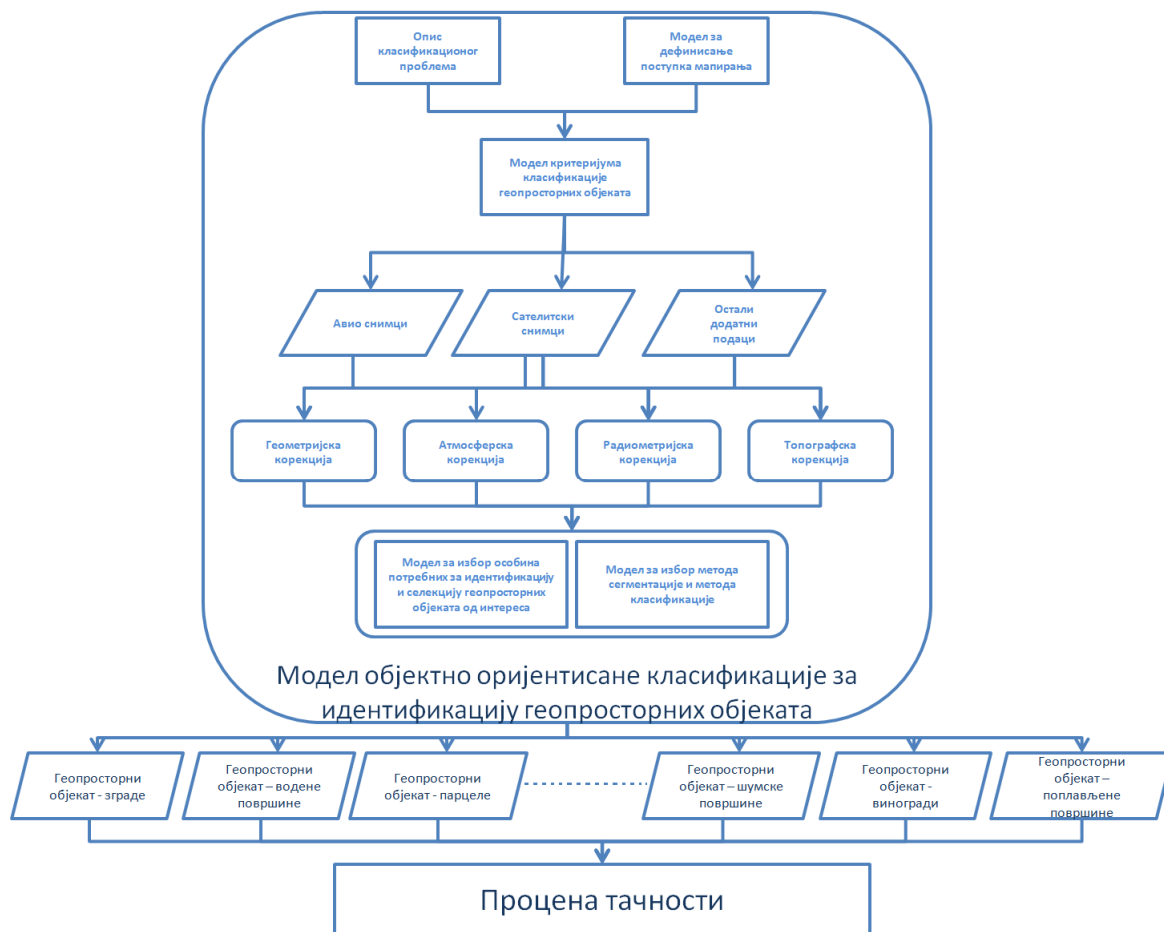
4.7 Модел објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката

У оквиру овог поглавља дати су модели:

- Уопштени модел класификације података даљинске детекције,
- Основни модел за идентификацију геопросторних објеката уз ослонац на објектно оријентисану класификацију,
- Модел за дефинисање поступка мапирања,
- Модел критеријума класификације геопросторних објеката,
- Модел за избор особина потребних за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса и
- Модел за избор метода сегментације и метода класификације

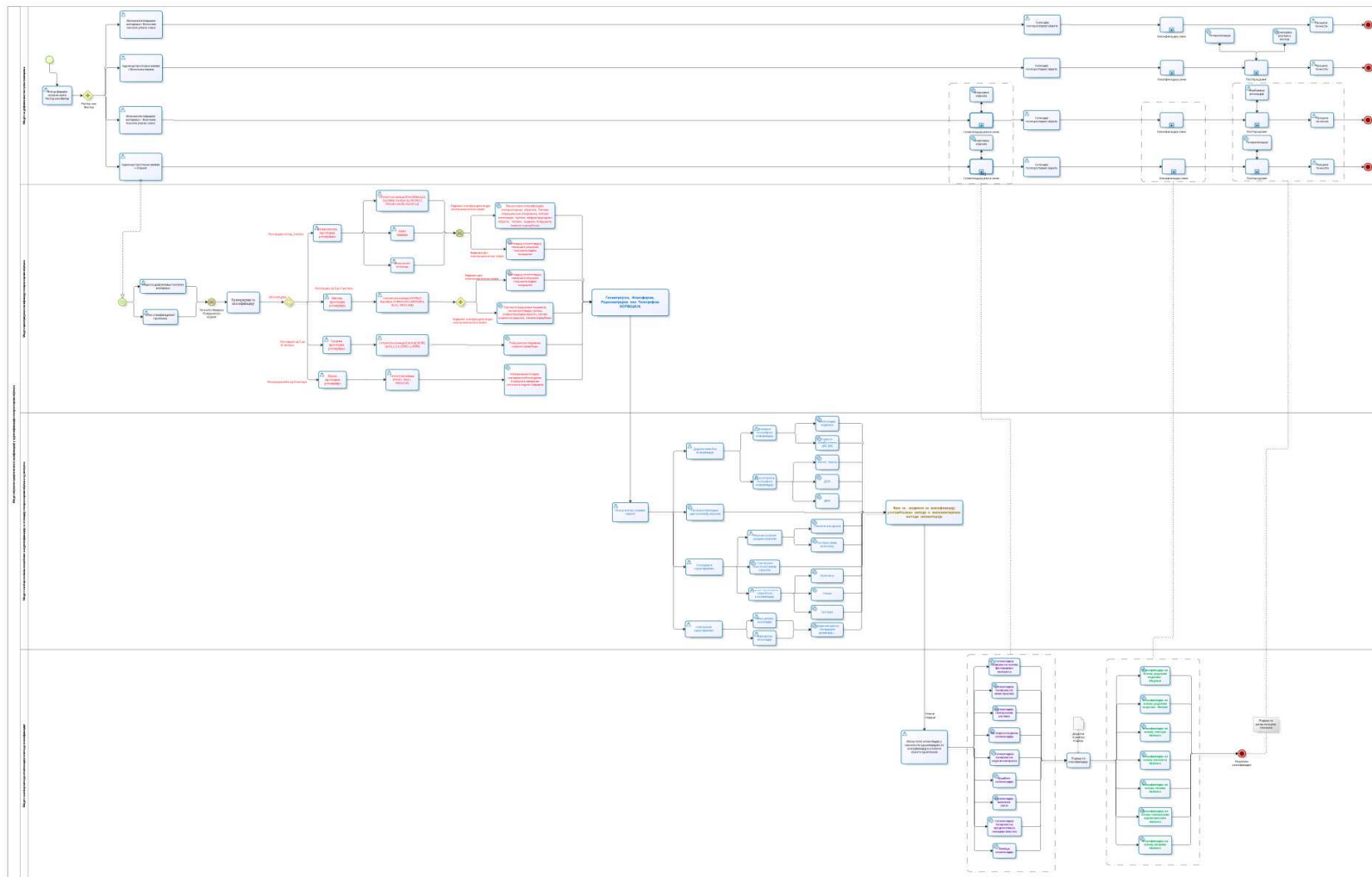
на основу којих се може креирати један коначан свеобухватан модел – Модел објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката. Овај модел је формално приказан на првој слици (Слика 68), док је на другој (Слика 69) приказан у складу са *VRM* нотацијом.

Дакле, модел предвиђа да је први корак опис класификационог проблема и дефинисање модела за поступак мапирања. Након тога, у оквиру модела за критеријуме класификације геопросторних објеката доноси се одлука који подаци су неопходни, након чега се врше одговарајуће корекције у зависности од врсте снимака. Следећи корак је избор потребних особина објеката и избор метода за сегментацију и класификацију.



Слика 68 Модел објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката

На слици која следи (Слика 69) приказане су све фазе у поступку класификације, где се јасније уочавају фазе и везе између појединачних модела. Овде се јасно види веза између модела за поступак мапирања и осталих модела. Дакле, први корак проистиче самим избором објекта као основе у поступку мапирања, што у ствари представља одлука о објектно оријентисаној класификацији. Друга веза између модела за поступак мапирања је у избору типа сегментације. И на крају, трећа, односно четврта веза је направљена након завршетка класификације, где модел за поступак мапирања дефинише евентуалне постпроцесинг кораке и оцену тачности.



Слика 69 Модел објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката

4.8 Оцена тачности

Као што је на крају претходног поглавља речено, последњи корак у моделу (Слика 68 и Слика 69) представља оцену тачности резултата класификације. Оцена тачности је нужан и пратећи корак код сваког вида класификације слике који се користи у даљинској детекцији. Оцена тачности одређује квалитет мапе добијене помоћу даљински детектованих података [77]. Тематска мапа добијена из класификације може се сматрати тачном ако обезбеђује непристрасну репрезентацију региона који приказује [78].

Сигурно је да се тачност класификације мења у зависности од избора алгоритма класификације, осим тога, тачност класификације ће се мењати у зависности од тога ко класификује мапу, тј. код избора тренинг подручја за класификацију. Такође тачност класификације зависи од избора места (пиксела) за валидацију класификације, тј. избора референтних података за оцену тачности. Како би се добила што боља тачност класификације треба водити рачуна о:

- Величини узорка за оцену тачности
- Прикупљању података за оцену тачности и
- Анализи резултата

Ово су фундаментални кораци код оцене тачности [77]. Након извршене класификације неопходно је упоредити узорке са мапе и референтне узорке. Претпоставља се да су референтни подаци довољно тачни за коришћење у оцени тачности. Узорци са мапе су класификовани пиксели који могу да припадају одређеној категорији (шума, трава, ливада, вода, асфалт).

Актуелна оцена тачности у даљинској детекцији је заснована на матрици грешака (*confusion matrix, error matrix*) и на капа коефицијенту као пратећем параметру матрице грешака [77], [78]. Матрица грешака или матрица конфузије пореди информације између референтних података и података класификације за одређени узорак. Понекад се зове матрица конфузије јер открива конфузију између појединих класа, тј. помешаност пиксела између различитих класа [78].

Матрица грешака је увек квадратна, где редови представљају класификоване податке, док колоне представљају референтне податке. Ако постоје 4 класе, онда је матрица димензија 4 пута 4. Дијагонални чланови ове матрице представљају тачне класификације, а вандијагонални чланови представљају нетачне класификације. Овај приступ је традиционалан и широко усвојен у даљинској детекцији. У литератури постоје и други поступци за оцену тачности [79], [80], али се оцена тачности помоћу матрице грешака користи у скоро свим радовима из области од интереса који су анализирани, па је стога коришћена и у овој докторској дисертацији.

У наставку текста приказан је пример оцене тачности класификације како би се разумео поступак прављења матрице грешака.

		Референтни подаци				Сума редова	Класе
		В	ПЗ	У	Ш		
Класификовани подаци	В	88	1	2	0	91	В = Вода ПЗ = Пољопривредно з. У = Урбано Ш = Шума
	ПЗ	0	55	15	7	77	
	У	5	10	95	5	115	
	Ш	0	8	5	128	141	
	Сума колоне	93	74	117	140	424	

Укупна тачност =
 $(88+55+95+128)/424 = 366/424 = 86\%$

Продуцентска тачност	Корисничка тачност
$V = 88/93 = 95\%$	$V = 88/91 = 97\%$
$PZ = 55/74 = 74\%$	$PZ = 55/74 = 71\%$
$U = 95/117 = 81\%$	$U = 95/117 = 83\%$
$SH = 128/140 = 91\%$	$SH = 128/140 = 91\%$

Слика 70 Пример оцене тачности

На датој слици (Слика 70) је приказана матрица грешака са поступком рачунања параметара који служе за оцену тачности. Колоне матрице представљају референтне податке који су у већини случаја информације настале теренским опажањем, или подаци који су визуелно интерпретирани са аеро-снимака или сателитских снимака високе резолуције. Осим овога, као референтни подаци могу послужити званичне тематске мапе подручја истраживања које су већ класификоване са довољном тачношћу за коришћење. Заједничко свим контролним подацима је да су сви геореференцирани. Често постоји недостатак референтних историјских података за даљинску детекцију и ово је врло велики проблем не само у Србији него и у целом свету. Редови у матрици грешака представљају класификоване податке, односно резултате класификације. Као што је већ речено, дијагонални чланови представљају тачне класификације и ако суму дијагоналних чланова поделимо са укупним бројем пиксела који су ушли у оцену тачности, укупна тачност је 86 %. У литератури се појавио податак да је задовољавајућа гранична укупна тачност 85 % и то је узето као стандард у даљинској детекцији [81].

Матрица грешака је такође добар показатељ грешака појединих класа, тј. тачности појединих класа. Постоје два типа грешака код овакве оцене тачности, грешка укључивања и грешка искључивања једне класе у другу класу. Грешка укључивања се дефинише као укључивање појединог подручја (пиксела) у неку класу када не припада тој класи. Грешка

искључивања је изостављање неког подручја из класе када заиста припада тој класи. Свака грешка је искључивање из тачне класе и укључивање у погрешну класу [77].

На горе датом примеру (Слика 70), у другом реду код матрице грешака, може се приметити да је 15 пиксела класификовано као пољопривредно земљиште, док референтни подаци показују да је то урбана површина. Стога је 15 пиксела искључено из тачне урбане класе и укључено у погрешну пољопривредну класу. Осим ових показатеља, матрица грешака показује продуцентску (*producer accuracy*), корисничку (*user accuracy*) и већ поменути укупну тачност [82]. Термин продуцентска тачност се користи зато што је продуцент, креатор мапе, заинтересован колико добро се може направити мапа. Корисничка тачност се зове тако због тога што је корисник добијене мапе заинтересован за тачност мапе. Укупна тачност је најчешће коришћена као показатељ успешности класификације.

Продуцентска и корисничка тачност се користе да изразе тачност појединих класа. Рецимо, ако смо заинтересовани за способност класификације шума у истом примеру (Слика 70), онда ћемо срачунати продуцентску тачност за поменути класу. Продуцентска тачност се рачуна тако што број тачних класификација за неку класу поделимо са сумом колоне која одговара тој класи. У матрици грешака, за класу шума, дијагонални члан је 128 који се дели са бројем 140, након чега је добијена продуцентска тачност од 91 %. Корисничка тачност се за шуму добија тако што број 128 поделимо са сумом реда која одговара класи шума, он износи 141 и што за наш пример даје корисничку тачност исто 91 %. Ове две тачности могу да буду врло различите и није нужно да је, ако је једна тачност добра, и друга таква. Такође се у нашем примеру може уочити да у матрици грешака постоји велика конфузија између класе урбано и пољопривредно земљиште.

Осим матрице грешака, често се као додатни параметар оцене тачности користи Капа анализа. Капа анализа је дискретна техника више променљивих која се користи у оцени тачности да статистички одреди да ли је једна матрица грешака значајно другачија од друге [83]. Другачије речено, то је нормализација оцене тачности и служи за поређење

тачности. Резултат Капа анализе је Кхат (*КНАТ*) статистика (\hat{K}) која је још једна мера слагања заснована на разлици између стварног слагања у матрици грешака и шансе слагања која је указана помоћу сума колоне и редова. Капа статистика је саставни део код већине софтвера за обраду слике. Капа коефицијент се рачуна као:

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}$$

Израз 4-1

где су n_{ii} дијагонални чланови матрице, n_{i+} су суме редова, n_{+i} су суме колона, а n је количина узорка.

4.9 Разматрања

Ово поглавље, поред поглавља *Разматрања о моделу класификације*, представља кључни део дисертације. У оквиру овог поглавља на почетку је показана веза између претходног дела текста дисертације, где су дати основни концепти објектно оријентисане анализе слике. На почетку поглавља дато је проширење уопштеног модела класификације приказаног у претходном поглављу и истакнут његов значај.

Централан део овог поглавља заузимају појединачни модели који су показани појединачно по поглављима. Ови појединачни модели су у наставку текста обједињени у једна свеобухватни генерализован модел који је резултат ове дисертације. Сви модели су поред формалних и текстуалних описа, представљени кроз дијаграме у складу са *BPM* нотацијом. На крају поглавља формално је описан генерализовани свеобухватни модел (Слика 68), а на слици (Слика 69) је приказан дијаграм Модела објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката у складу са *BPM* нотацијом. На крају поглавља дате су смернице о оцени тачности, која је неопходна са аспекта верификације модела.

У следећем поглављу приказана је верификација модела кроз типичне примере идентификације геопросторних објеката на основу података добијених даљинском детекцијом.

5 Резултати истраживања и верификација

5.1 Увод

У претходном поглављу представљен је модел обејктно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката. У оквиру овог поглавља приказане су студије случаја које верификују предложен модел. Разлика између студија случаја која треба да верификује предложен модел и стања у области истраживања и цитираних радова јесте пре свега у доступности података високе и веома високе резолуције. На пример, у Сједињеним Америчким Државама постоји програм *National Agriculture Imagery Program (NAIP)* који за 48 држава САД обезбеђује снимке у периоду када има вегетације од 2002. године. Интервали снимања су 2 до 3 пута годишње са снимцима просторне резолуције 1 метар и 4 оспега (црвени, зелени, плави и инфрацрвени) [84]. Доступност ових снимака је прихватљива по цени, а у неким случајевима је и бесплатана за одређене кориснике.

Да би се извршила верификација, у студијама случаја које следе коришћени су различити типови података који су били доступни у току израде ове дисертације. За одређена географска подручја Србије у предметним студијама случаја коришћени су снимци средње и високе резолуције, док су за подручје Београда и Суботице коришћени снимци веома високе резолуције. Избор података за верификацију је извршен с намером/циљем да се обухвати што већи број карактеристика геопросторних објеката из стварног света и да се притом користе подаци који су најчешће присутни и који се највише користе. Стога је одлучено да се за податке користе ортофото снимци равничарских и брдовитих подручја, који су настали снимањем са авионских платформи, као и мултиспектрални сателитски снимци високе и веома високе просторне резолуције. Поред тога, по потреби су коришћени и додатни подаци, пре свега дигитални модели терена, дигитални модели објеката, као и изведени, новокреирани подаци као што су вегетациони индекси или слично, који су могли да поправе резултате класификације, а све у складу са предложеним моделом.

У случају када су коришћени сателитски снимци високе резолуције, сви предпроцесинг кораци, као што је изоштравање снимка уз помоћ пан опсега код *WorldView 2* снимака или орторектификација сателитских и авио-снимака, креирање дигиталног модела терена и дигиталног модела површина на основу облака тачака, извршени су коришћењем *Erdas Imagine 2015* софтверског пакета. Такође, имплементација одговарајућих модела, делови сегментације и класификације, као и верификације модела извршено је уз помоћ *IMAGINE Objective* софтверског решења. Публиковање процеса из верификационих модела, уз ослонац на *WPS*, извршено је такође уз помоћ *Erdas Imagine*

2015 софтверског пакета и *Erdas Apollo* 2015 серверске платформе. Поред тога за имплементацију, односно верификацију модела, коришћен је и *eCognition Developer* верзије 8.9.

5.2 Верификација модела у поступку класификације зграда

На основу преложеног модела приказаног на ранијим сликама (Слика 68 и Слика 69), креиран је модел за класификацију зграда као геопросторних објеката који је приказан на слици која следи (Слика 71). Црвеном бојом су приказане везе предложеног модела и његове имплементације у поступку идентификације зграда као геопросторних објеката. Први корак у моделу је опис класификационог проблема. Пошто је задатак идентификација зграда, на основу модела критеријума за класификацију, а да би се постигла задовољавајућа тачност, одређено је да се морају користити подаци веома високе просторне резолуције, са видљивим, и по могућности, инфрацрвеним спектром боја. Због одређених типичних карактеристика зграда као геопросторних објеката, потребно је поред тога поседовати и дигитални модел површина, који може знатно да утиче на тачност класификације. Како је задатак класификовање зграда, поступак класификације може да се фокусира само на ове објекте и њихове особине, а могуће је и коришћење особина других геопросторних објеката присутних на снимку. Као што се види на моделу (Слика 71), особине објеката слике који настају након сегментације, а које ће се користити у класификацији, су особине карактеристичне за вегетацију, земљу, висину објеката и метричке карактеристике објеката слике. Након тога резултати класификације се екпортују и врши се оцена тачности. Овај модел ће бити верификован на четири студије случаја.

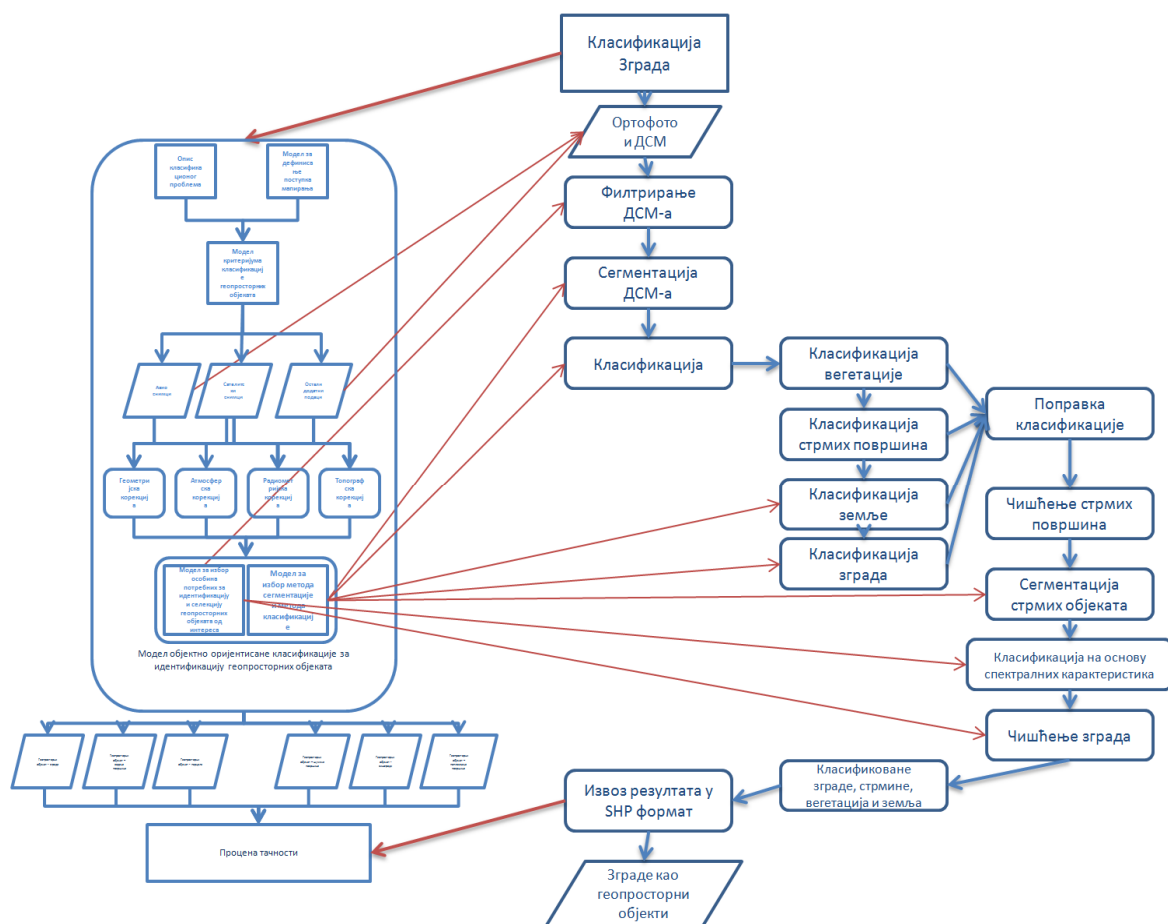
У оквиру верификације модела за потребе класификације зграда као геопросторног објекта, изабрана су два географска подручја различитих тополошких карактеристика, односно два подручја са различитим врстама објеката. Београд са изразитим разликама у надморским висинама терена и различитим типовима објеката, пре свега по спратности, висини и намени, и Суботица са малим разликама у надморским висинама терена, са великим бројем равних улица и појединачних стамбених објеката ниже спратности и висине.

Прво подручје над којим се врши верификација модела је подручје Суботице. Подаци који се користе је ортофото града Суботице, само са природним спектром боја, просторне резолуције 25 центиметара/пиксел, и дигиталног модела површина резолуције 1 метар као додатни податак.

Карактеристике овог демо-подручја се огледају, пре свега, у малим висинским разликама модела терена, са приближном надморском висином око 109 метара. Општина Суботица обухвата град и 18 приградских насеља и простире се на површини од око 1000 квадратних километара. У идентификацији зграда као геопросторног објекта, Суботица је

карактеристична по томе што у самом граду и приградским насељима постоје различити типови зграда. Постоје појединачни стамбени објекти мале спратности (куће или пословни објекти), затим велики нестамбени објекти ниске спратности (хале, образовне институције и слично) као и вишеспратни стамбени и пословни објекти.

Друго подручје над којим се врши верификација је Београд, односно подручје Славије и Луке у Београду. Подаци који се користе за обе локације су ортофото просторне резолуције 10 центиметара/пиксел само са природним спектром боја, и дигиталног модела површина резолуције 50 центиметара.



Слика 71 Модел за класификацију зграда као геопросторних објеката

5.2.1 Студија случаја Суботица

На основу уопштеног модела класификације приказаног у претходном поглављу, прво се приступило опису класификационог проблема. Задатак аналитичара је превасходно да специфицира регион од интереса, дефинише класе и определи се за начин класификације.

За верификацију модела као регион од интереса изабрана су два карактеристична подручја у Суботици, један са превасходно великим објектима и други са мањим претежено појединачним стамбеним објектима (Слика 72 и Слика 73).



Слика 72 Студија случаја зграде - Суботица велике зграде

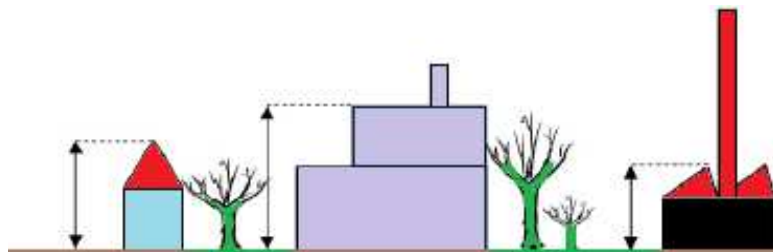
На основу модела (Слика 71) одређени су :

- јединица просторне анализе је зграда, односно објекат слике који представља зграду у релном свету,
- избор података – ортофото и *DSM*
- избор типа сегментације *DSM* и ортофото снимка
- избор критеријума за класификацију *DSM* и ортофото снимка



Слика 73 Студија случаја зграде – Суботица мале зграде

Опис зграда као геопросторних објеката се, пре свега, односи на њихову величину, облик и висину. Ако се узме у обзир величина објеката и просторна резолуција ортофото снимка (25 *cm*/пиксел), предвиђено је да је минимални објекат, односно зграда минимално 4x4 метара, то је површина од 16x16 пиксела, односно 256 пиксела, што доводи до рачунице да је минимални објекат величине 256 пиксела. Уколико објекат нема правилан облик или је покривен сенком или дрветом, прихваћена је мања вредност, односно за минимални објекат мапирања узета је вредност од 200 пиксела. Заједничко за све зграде је да немају фиксну висину, било да су појединачни стамбени објекти, пословни објекти или вишеспратни објекти за пословну или стамбену намену. Висина објеката се нагло мења на њеним крајевима па се објекти одликују одређеним нагибом, а такође висина објеката се значајно разликује од околине објеката, што је графички приказано на наредној слици (Слика 74). Поред поменутих карактеристика зграде као геопросторних објеката, увек присутна информација је и информација који носи сам пиксел, односно спектралне карактеристике посматраних геопросторних објеката.



Слика 74 Графички приказ основне карактеристике зграда – висине објеката

Спектралне карактеристике носе значајне информације, али у нашем случају ортофото поседује само основне опсеге из видљивог дела електромagnetног спектра, па је

за очекивати да нам само спектралне карактеристике неће дати задовољавајући резултат. Због тога, као што је моделом предвиђено, уводи се још један слој информација, дигитални модел објеката *DSM* са просторном резолуцијом 1 метар/пиксел, као додатни слој за класификацију. Дигитални модел терена и дигитални модел објеката настао је као резултат авионског ласерског скенирања (*LIDAR*) ширег подручја Суботице са просторном резолуцијом од једне тачке по метру.

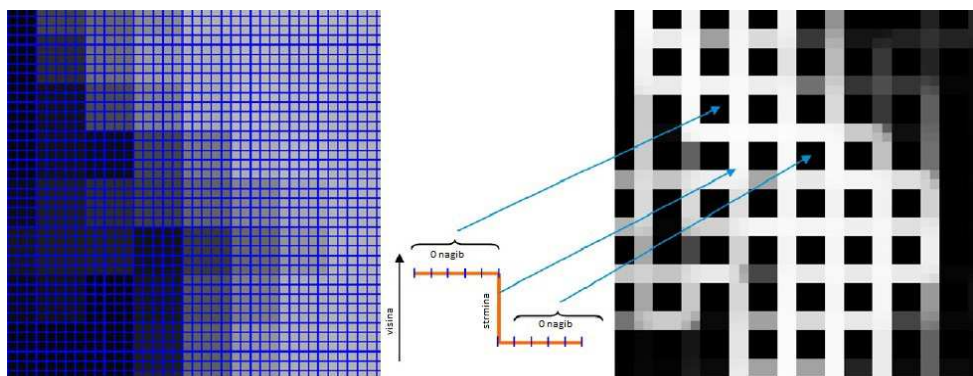
Употребом и обрадом облака тачака креиран је дигитални модел терена и дигитални модел објеката, на основу којег се могу креирати и додатне информације које могу да се користе за класификацију зграда. Једна од карактеристика које се могу користити у класификацији је и информација о нагибу, која је значајна, како је објашњено, управо због наглих промена висина зграда.

У наставку текста, на основу модела за класификацију зграда као геопросторних објеката у овој првој студији случаја детаљно су објашњени сви кораци приказани на слици која представља поменути модел (Слика 71). Све остале студије случаја ће садржати само приказе свих корака и оцене тачности као услов за верификовање резултата и модела.

5.2.2 Студија случаја Суботица – мале зграде

5.2.2.1 Креирање филтрирање и селекција геопросторних објеката од интереса – објекти слике на основу *DSM*-а

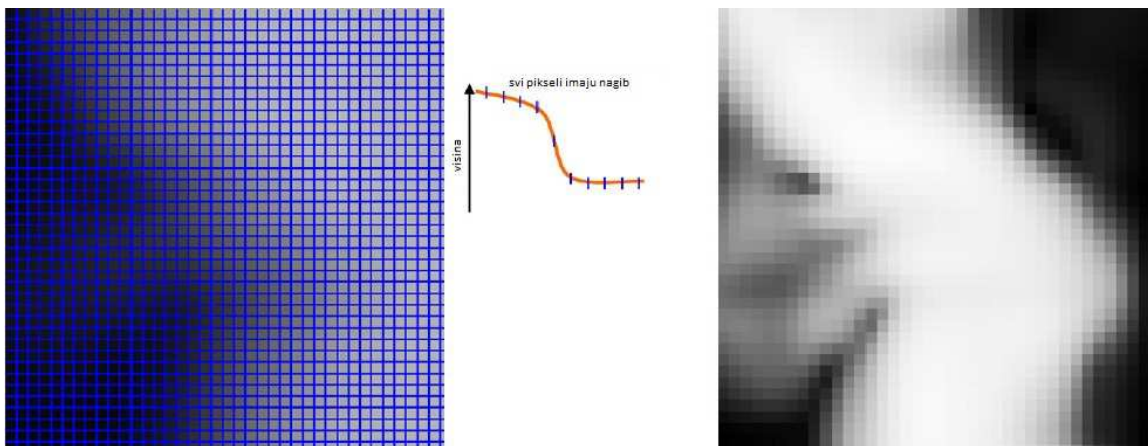
Нагиб око зграда је увек велик, односно стрм. Уколико се посматрају стабла која се налазе око зграда, она су често сличне висине као и објекти (поготово ако се ради о породичним стамбеним објектима – кућама) али су описани стрмим деловима – падинама (због ласерског зрака који се некад одбије од лишће, а некад прође до површине тла). Ова карактеристика стрмине и падине је јединствена и може се употребити за класификацију. Информација о нагибу не постоји директно у *DSM* и потребно је направити такав слој. Прва ствар је филтрирање *DSM* ради уклањања шума у подацима, а то се постиже преко алгоритма глачања (*smooth*) или филтера ивице (*edges filters*). У овом случају користи се филтер "*surface calculation*" који рачуна нагиб.



Слика 75 Разлике у резолуцијама проузрокују да одређени пиксели немају нагиб.

Приликом рачунања нагиба на оваквом сировом *DSM*-у, различите резолуције *DSM* и ортофото снимка, при чему је *DSM* мање резолуције од ортофотоа, проузроковаће да се добије погрешан нагиб. Овај ефекат различитих резолуција се може избећи креирањем глатког *DSM*-а, и затим креирањем слоја нагиба на основу глатког *DSM*-а.

На горњој слици (Слика 75) јасно се види разлог креирања глатког *DSM*-а. Када је *DSM* у оригиналном облику, због разлике у резолуцијама, суседни пиксели имају исте висине, што узрокује да пиксели са истом висином немају нагиб (0 нагиб), а пад нагиба (стрмина) се дешава само на ивици пиксела *DSM*-а.



Слика 76 Гладак *DSM* омогућава да сви пиксели имају нагибе

Када се направи гладак *DSM*, сви пиксели имају различите висине и због тога не постоје вештачки "равни нагиби" (Слика 76), односно сви пиксели имају нагиб.

Из тог разлога, за прављења слоја нагиба корсите се два филтера. Први је за глачање *DSM*-а, а други је за креирање слоја нагиба.

5.2.2.1.1 Филтер конволуције

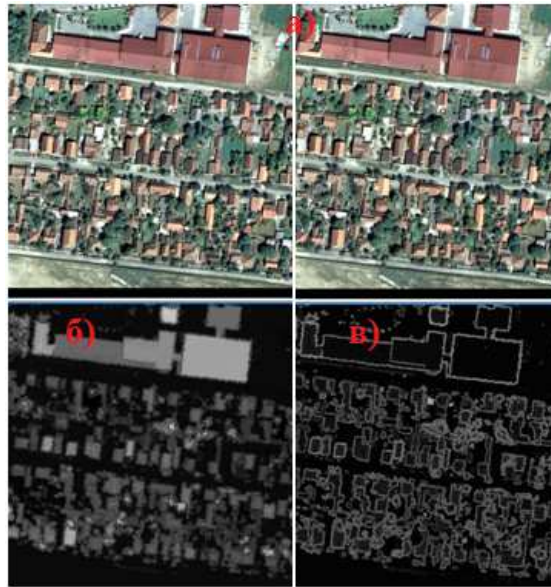
У овом филтеру основа је *Gauss Blur* филтер [85] за изравнање *DSM*-а. Битан параметар је величина оквира која утиче на степен глаткоће јер се њиме дефинише квадрат унутар којег се пореде пиксели. Што је већа ова вредност, *DSM* ће бити више углачан. У нашем случају резолуција ортофото снимка је 4 пута већа од резолуције *DSM*-а, што значи да је довољно да квадрат буде 5×5 .

5.2.2.1.2 Рачунање нагиба

За рачунање нагиба могу се користити неки од доступних алгоритама за рачунање нагиба, на основу којих добијамо слој који нам говори да ли је подручје равно или има стрмине. Овде користимо *Slope Zevenbergen, Thorne (ERDAS)* алгоритама [86], који омогућава да изаберемо проценат или степен нагиба и јединицу вредности пиксела, као и улазни слој из претходног корака. У случају нашег алгорита, користимо проценат за нагиб, а за јединицу користимо вредност 1, чиме је омогућено да добијемо шири спектар

вредности. На пример за случај да је резолуција пиксела 1км, а висина је дефинисана у метрима, ова вредност би била 0,001.

На првој слици (Слика 77 а) приказан је пример ортофото, *DSM*-а за изабрано демо-подручје приказан је на средњој слици (Слика 77 б), док је израчунати слој нагиба добијен у претходном кораку приказан на последњој слици (Слика 77 в) .



Слика 77 Ортофото Суботице – мали објекти, *DSM* и Нагиб

5.2.2.2 Сегментације *DSM*-а

Као неопходан део објектно оријентисане анализе слике, сегментација слике на смислене објекте је од круцијалне важности. Број алгоритама и начин имплементације сегментације зависи од софтвера до софтвера, али у сваком случају, ово је, може се рећи, кључан део *OBIA*. Правилан избор одговарајућег алгорита сегментације у моногоне утиче на даље резултате класификације. У нашем случају класификација зграда на основу ортофото снимка и модела висина утиче на изборе алгоритама сегментације.

За даљу класификацију, објекти који треба да се појаве као резултат сегментације су објекти који представљају стрме делове слоја нагиба добијени у претходном кораку. Делови са великим нагибом су са веома израженим разликама контраста у слоју нагиба. У нашем случају избор је пао на сегментацију базирану на подели контраста који дели објекте у тамне и светле. Овај алгоритам рачуна најбољи праг који се користи за аутоматску поделу, чиме се добијају објекти који најбоље репрезентују информације о нагибу.

Неопходна су два корака сегментације – један генерални у којем се добијају иницијални објекти нагиба и други који ће одвојити објекте на оне са средњим нагибом и друге који су веома стрми. Приликом подешавања сегментације треба да се обрати пажња

на следеће ствари: величину делова иницијалног објекта, опсег, величину корака од најмање до највеће вредности и на контраст мод за израчунавање контраста.

Величина делова иницијалног објекат треба да буде довољно велика тако да се креира само један објекат по сцени. Из тог разлога постављена вредност је 5000x5000 пиксела јер тиме обухватамо цело демо-подручје. За мање вредности постоји могућност да се појаве вештачки објекти на границама. Опсег нашег *DSM*-а се креће од 0 до 200 и то су вредности које представљају најравније и најстрмије делове слоја нагиба. На основу овог опсега се дефинише корак увећања од минималне вредности прага до максималне вредности прага. Алгоритам прерачунава нови најбољи праг сваки пут када се корак увећа, све док се не достигне максимална вредност. Већа вредност ће да убрза алгоритам, а мања ће узроковати поделу објеката између светлих и тамних објеката тако да објекти имају већи контраст. На слици која следи (Слика 78) приказани су резултати прве и друге сегментације.



Слика 78 Резултат прве и друге сегментације

5.2.2.3 Класификација

5.2.2.3.1 Класификација стрмих подручја

У претходном кораку направљен је нови слој који садржи информације о нагибу, при чему објекти представљају подручја са различитим нагибима. На основу модела за избор метода сегментације и класификације, изабрана је класификација на основу метричких особина објеката (описаних у Табела 2). У првој класификацији у овом алгоритму креира се нови слој који представља стрма подручја, а он после представља основу за креирање објеката који представљају зграде. Оно што се може приметити јесте

да и дрвеће и зграде представљају стрме објекте, па се у току класификације мора водити рачуна о томе да не дође до погрешне класификације објеката.

Стрма подручја се класификују провером вредности доње границе за средњу вредност слоја нагиба. Инспекцијом слоја нагиба установљено је да је релевантна средња вредност нагиба 50, па се сви објекти слоја нагиба са вредношћу преко 50 класификују као стрма подручја. На слици која следи (Слика 79) зеленом бојом су приказани класификовани објекти слике који представљају стрмине.

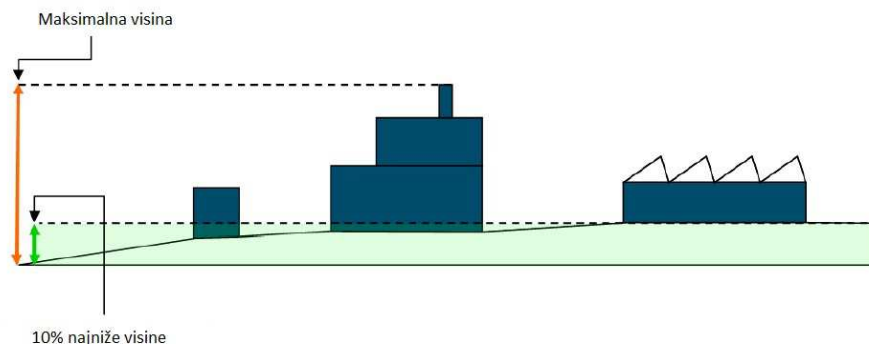


Слика 79 Класификација стрмих објеката слике

5.2.2.3.2 Класификација тла

Пре саме класификације зграда неопходан је још један корак, а то је класификација тла која се такође може извршити на основу додатних података насталих на основу дигиталног модела објеката и терена. Циљ овог поступка класификације је да се користе аутоматска правила или да се, уколико то није могуће, при поступку класификације обавезно зада нека гранична вредност. У претходним корацима креирани су објекти на основу сегментације базиране на подели контраста и класификована су стрма подручја на основу фиксне границе средње вредности слоја нагиба.

Уколико урадимо анализу како човек препознаје зграде у некој сцени, један од начина је да се пореде висине зграда са висином тла поред зграда (Слика 80). Да бисмо могли да поредимо објекте са висином потребно је прво да се идентификују објекти који немају висинску разлику, односно да класификујемо тло. Претпоставка је да у одређеном подручју висина терена не расте више него у одређеном проценту и да користимо ову претпоставку за класификацију терена.



Слика 80 Пример одређивања максималних и минималних висина на основу *DSM*-а и *DEM*-а

Ово значи да објекти, чија је висина испод одређеног процента у поређењу са максималном висином, могу да буду класификовани као терен. У нашем случају, за тест подручје Суботице, где је терен релативно раван, граница може да буде 10%. Један од начина за класификацију објеката са најнижом висином је рачунање средње вредности слоја висина. Други, бољи начин да се одреди висина објекта слике је да се висина објекта процени у односу на минималну вредност пиксела садржаног у самом објекту. Овај приступ гарантује да ће само они објекти чији сви пиксели имају вредност испод задате границе бити класификовани као терен (тло).

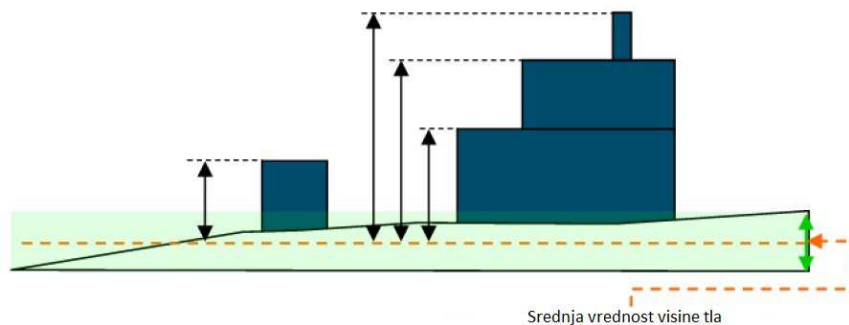
Да би извршили овакву класификацију, потребно је у првом кораку да се израчуна вредност за 10% најнижих објеката и да се та вредност сачува као променљива (у нашем примеру користи се статистичка операција типа *quantile* која враћа 10% вредности објеката слике са најнижом вредношћу за слој *DSM*), а у другом кораку да се сви некласификовани објекти упореде са том променљивом и да се они који имају мању вредност од израчунате променљиве класификују као земља (тло), што је на наредној слици (Слика 81) приказано браон бојом.



Слика 81 Резултат класификације тла (класа земља) приказан је браон бојом.

5.2.2.3.3 Класификација зграда

Последњи корак у класификацији је класификација објеката слике који представљају зграде. Зграде имају знатно различите вредности висина у односу на своју околину и ова разлика висина представља карактеристику која се може искористити и повезати са објектима слике које, у ствари, представљају зграде. У релативно равним подручјима, као што је подручје Суботице, висине појединачних зграда се могу поредити са висином земљишта која окружују посматране објекте (зграде), што значи да се на неки начин ове разлике у висинама могу довести у релацију која ће омогућити класификацију зграда (Слика 82).

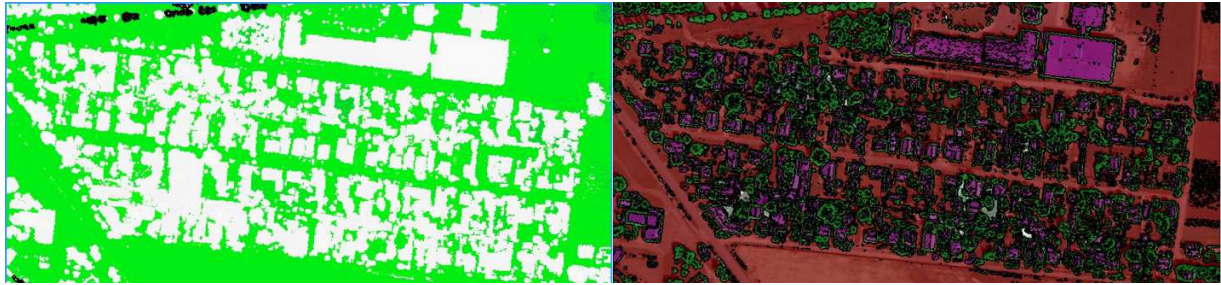


Слика 82 Поређење висине зграда са средњом вредношћу висине тла

Постоји неколико алгоритама који описују разлике у вредностима посматраних суседних или несуседних објеката. Са аспекта класификације зграда, у нашем случају неклассификовани објекти треба да се упореде са објектима класе "земља" (тло, терен) насталим у претходном кораку. У претходном кораку су објекти слике који су јако стрми такође класификовани у класу "стрмине", што значи да нисмо у могућности да користимо алгоритме који пореде суседне објекте пошто потенцијалне зграде нису у суседству са објектима типа "земља", већ углавном са објектима који припадају класи "стрмине".

Креиран је алгоритам који карактерише релацију између објеката слике који представљају потенцијалне зграде и објеката слике класе "земља". Овај алгоритам рачуна разлике између објеката слике који припадају класи "земља" и слоја *DSM*, односно пореди разлике средње вредности *DSM*-а појединачних објеката слике са свим објектима који представљају терен.

Уколико се недге као резултат ове релације појаве негативне вредности, то значи да су објекти нижи, односно имају мању вредност средње вредности *DSM* од објеката класе "земља", позитивне вредности значе да су средње вредности *DSM*-а објекта слике виши од објеката терена. Потребно је одредити граничну вредност за ову релацију, у нашем случају гранична вредност је 10.



Слика 83 Приказ резултата алгоритма и класификације

На представљеној слици (Слика 83) лево је белом бојом приказан позитиван резултат алгоритма поређења средње вредности *DSM*-а објеката са средњом вредности тла који је већи од 10.

Поред тога у оквиру овог дела класификације водило се рачуна о величини објеката. С обзиром на могућност погрешне класификације стрмина, као и објеката који нису зграде, а задовољавају претходни критеријум, сви објекти који имају већу површину од 200 пиксела нису класификовани као зграде, односно уколико су задовољили претходни критеријум и прешли су у класу "зграде", одмах су у следећем кораку декласификовани и вратили се у објекте слике који још увек нису класификовани. До броја од 200 пиксела дошло се на основу просторне резолуције, односно модела мапирања где је приликом описа класификационог проблема одређена минимална површина зграде 200 пиксела. На истој слици (Слика 83) са десне стране приказан је и резултат класификације, где су љубичастом бојом приказани објекти слике који су класификовани као зграде.

5.2.2.4 Ревауација класификованих објеката

У поступку ревауације класификованих објеката, користиће се класификовани објекти и ортофото са доступним опсезима, односно користиће се спектралне карактеристике доступног снимка за Суботицу.

Први корак је обрада објеката који припадају класи "стрмине", креирањем мањих објеката коришћењем спектралних карактеристика снимка. Овај корак ће се извршити новом сегментацијом објеката који припадају класи "стрмине". Други корак ће се састојати у проширивању објеката класе "зграде" на објекте класе "стрмине" који задовољавају задате спектралне карактеристике и трећи корак је попуњавање празнина у објектима класе "зграде".

5.2.2.4.1 Сегментација и нова класификација објеката "стрмине"

Око објеката који су препознати као зграде налазе се објекти који су препознати као стрмине. Да би се извршила комплетна класификација зграда, потребно је да се објекти зграде прошире на објекте стрмина, за шта је потребно да се изврши неколико корака.

Тренутни објекти су креирани на основу сегментације слоја нагиба сегментацијом базираном на подели контраста. Како би се извршила анализа који објекти зграда треба да

се прошире на објекте стрмина, ови објекти морају да буду подељени на мање објекте. Ово подразумева сегментацију ових објеката, и за разлику од претходне сегментације, овде се врши сегментација на основу спектралних карактеристика слоја ортофотоа. Мултирезолуциона сегментација је извршена само над објектима класе "стрмина" кориштењем само три спектрална опсега који садржи ортофото (црвени, зелени и плави опсег).

Објекти који су суседни са зградама у реалном свету су у већини случајева стазе, трава или дрвеће. По својим спектралним карактеристикама стазе и зграде су сличне, односно нема знатних разлика, поготово у случају нашег примера кад имамо само три опсега (црвени, зелени и плави). Како би избегли да се објекти зграда, који су са својим спектралним карактеристикама слични са суседним објектима, погрешно класификују, потребно је ограничити се на само одређене суседне објекте. У нашем примеру ограничићемо се само на објекте који су директно поред објеката зграда, те објекте ћемо прекласификовати у привремену класу "кандидат зграде".

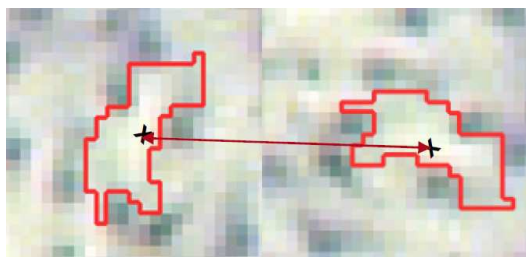
За избор објеката који су наслоњени на зграде користи се тополошка особина "у односу на границу" где вредност већа од нуле значи да је објекат директно наслоњен на објекат класе "зграде". Овим делом сви објекти класификовани као "стрмине", а наслоњени су на објекте "зграде", прелазе у објекте "кандидат зграде".

Анализира се спектрална сличност наслоњених (суседних) објеката на објекте зграда. Како кровови имају различите варијације у бојама, спектрална сличност треба да се анализира за сва три опсега одједном. Најједноставнији начин је да се посматара осветљеност објеката за све опсега одједном, па је стога креирана аритметичка функција дефинисана као $(\text{плави} + \text{зелени} + \text{црвени})/3$. Слично као код евалуације висина, разлике у спектралним сличностима између објеката "зграде" и објеката "кандидат зграде" треба да обухвате и позитивне и негативне разлике, односно да обухвате и мање светле и више тамне објекте, а кључна дилема је како одредити ову границу.

Пре него што се крене у рачунања о спектрално сличним суседним објектима, потребно је објаснити на који начин се рачуна раздаљина између суседних објеката и на који начин се рачуна спектрална сличност.

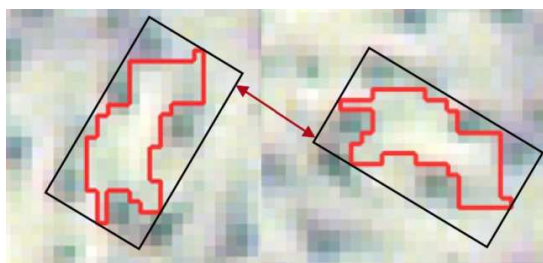
Суседни објекти у нашем случају су објекти који се налазе на неколико метара од објеката зграда, што за случај од 4 метра удаљености подразумева да се посматрају објекти удаљени до 16 пиксела. Као решење за рачунање удаљености суседних објеката намећу се два начина. Један је најмањи описујући правоугаоник (*minimum bounding rectangle*), а други центар гравитације (*center of gravity*) [61].

"Центар гравитације" апроксимацијом мери раздаљину центра гравитације између два објекта слике, што може брзо да се израчуна, али за велике објекте слике може да буде поприлично нетачна метода (Слика 84).



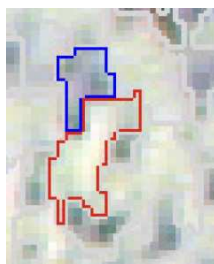
Слика 84 Пример рачунања раздаљине између објеката [61]

"Најмањи описујући правоугаоник" користи апроксимацију и креира правоугаоник који обухвата објекте слике. Раздаљина се, у овом случају, рачуна од граница правоугаоника који обухвата посматране објекте слике (Слика 85).



Слика 85 Пример рачунања раздаљине између објеката [61]

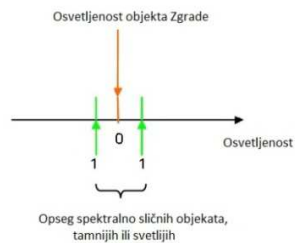
Специјална ситуација је када су објекти директни суседи, у овом случају "Најмањи описујући правоугаоник" као резултат раздаљине враћа вредност нула, а апроксимација "Центар гравитације" увек враћа вредности веће од 0.



Слика 86 Пример суседних објеката

У нашем случају коришћен је "Најмањи описујући правоугаоник" који апроксимира удаљености суседних објеката.

Што се тиче рачунања спектралне удаљености између спектрално сличних објеката слике, тамнији објекти враћају негативан резултат, а светлији позитиван. Због тога што желимо да нађемо сличне објекте у спектралном смислу, коришћен је оператор који враћа апсолутне вредности за израчунате разлике "Средња апсолутна разлика", односно само позитивне вредности.

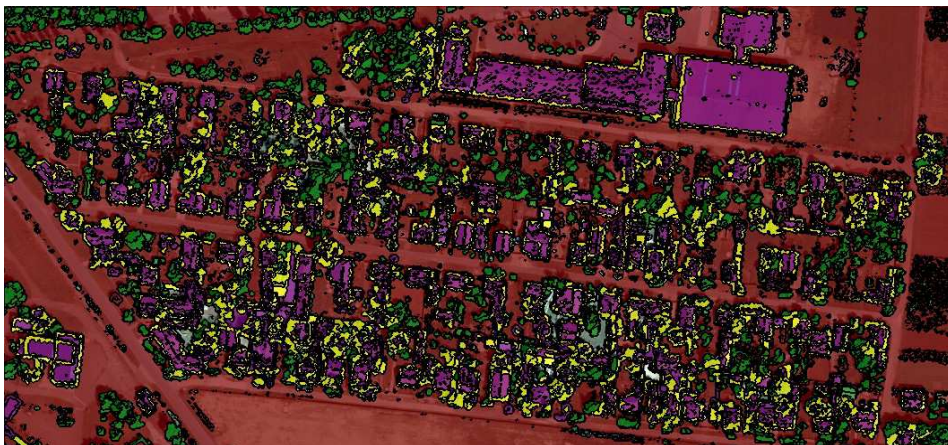


Слика 87 Пример разлике спектралних карактеристика објеката слике

Дакле, на основу апроксимације раздаљине између објеката и аритметичке функције која рачуна средњу вредност спектралних карактеристика сва три опсега, направљен је алгоритам који дефинише опсег претраге објеката и пореди спектралне карактеристике објеката слике.

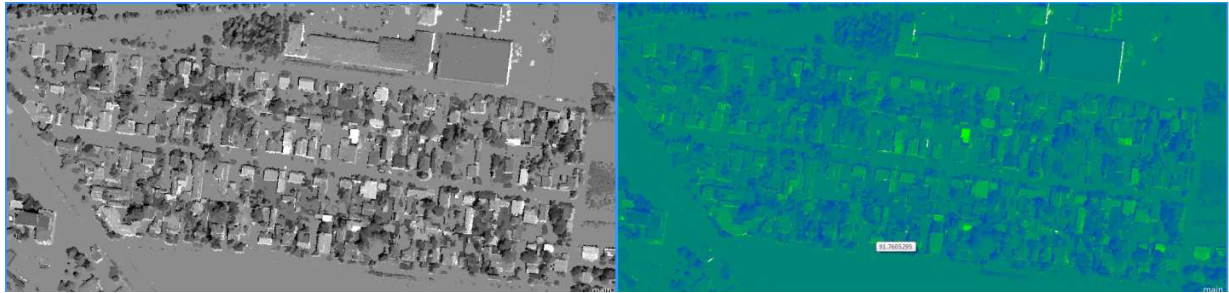
Први корак је мултирезолуциона сегментација и она дели објекте класе "стрмине" на мање објекте. Параметри мултирезолуционе сегментације су мање-више стандардни и у овом случају извршавају се над објектима слике који припадају класи "стримне". Тежински фактор је један за слојеве ортофото, а нула за остале слојеве, фактор размере објеката слике је 25, критеријум хомогености за облик је 0.1, а за компактност 0.5. Након извршене сегментације, сви објекти стрмине су подељени на мање објекте.

Следећи корак је да се сви објекти који су суседни објектима класе "зграде", на основу тополошке релације "у односу на границу", пребаце у привремену класу "кандидат зграде". Ово је урађено за све објекте који за поменути релацију имају вредност већу од 1. На првој слици (Слика 88) жутом бојом су приказани сви објекти који су из класе "стрмине" прешли у привремену класу "кандидат зграде".



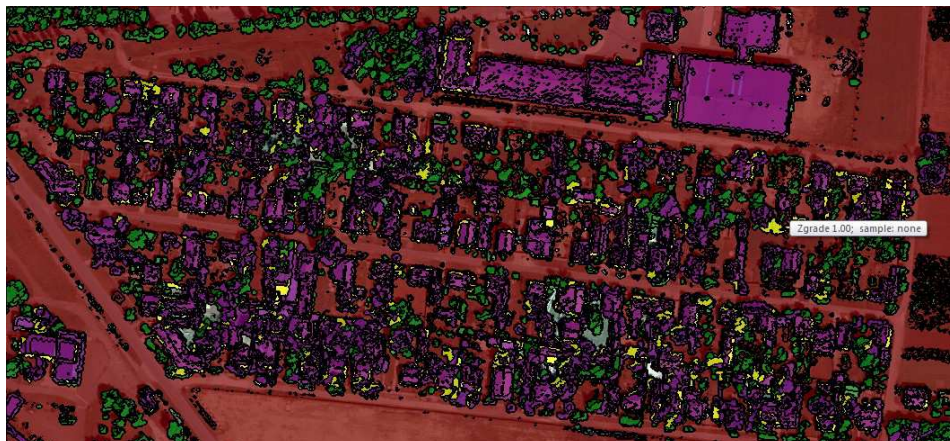
Слика 88 Класификовање у привремену класу

Након тога извршено је поређење објеката "зграде" и суседних објеката, при чему су као суседни објекти посматрани они који су на раздаљани од 4 метра (16 пиксела).



Слика 89 Пример објеката слике приказане као средња вредност осветљености свих опсега ортофота

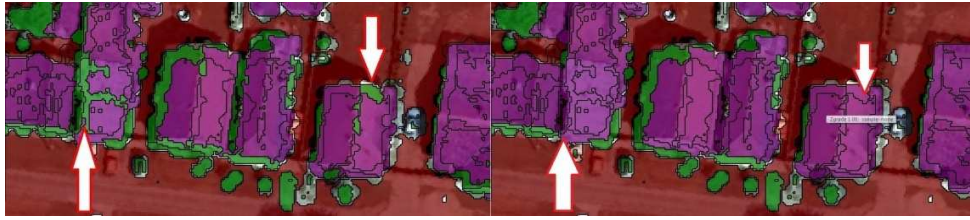
На другој слици (Слика 89) је приказан пример осветљености објеката слике у црно-белом и колор приказу. Сви објекти класе зграде се пореде са објектима приказаним на овој слици (Слика 89) који су на раздаљини од 16 пиксела, при чему је раздаљина израчуната преко апроксимације "најмањег описујућег правоуганика". Сви објекти класе "кандидат зграде" који су задовољили овај критеријум раздаљине пореде се средњом апсолутном разликом између објеката (Слика 87). Објекти са средњом апсолутном разликом мањом од 20 (ову разлику дефинише аналитичар и зависи пре свега од снимка и типа опсега) су прекласификовани у класу "зграде" што је приказано на наредној слици (Слика 90).



Слика 90 Резултат "ширења" објеката зграде на суседне спектрално сличне објекте кандидат зграде

Након овога сви објекти привремене класе "кандидат зграде" се враћају у класу "стрмине".

Последњи корак у поправци класификације стрмих објеката је преглед и избор свих "стрмих" објеката слике који су или окружени са објектима слике класе "зграде", или са том класом имају исту границу у већем делу. Такви објекти су прекласификовани у класу "зграде". На наредној слици (Слика 91) стрелицом су показани објекти који су из класе стрмина прешли у класу зграде.



Слика 91 Пример "проширења" класе зграде на суседне класе "стрмине"

5.2.2.4.2 Класификација објеката "зграде" на основу спектралних карактеристика

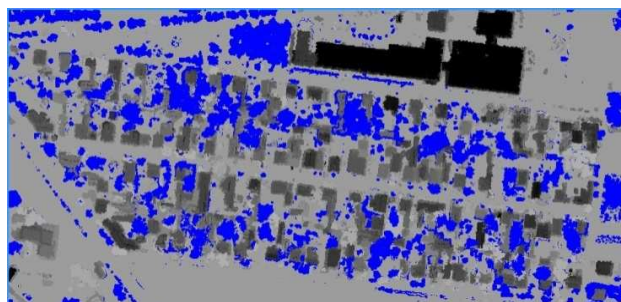
Последњи корак у класификацији је провера класе "зграде" по два основа. Први је погрешна класификација објеката слике који у реалном свету сачињава дрвеће, односно висока вегетација, а који су класификовани као "зграде", а други је декласификација објеката који су мали да би у реалном свету представљали зграде.

Погрешна класификација дрвећа као зграде се најлакше решава коришћењем спектралних карактеристика снимка. Карактеристика за *RGB* снимке (немају инфрацрвене опсега) за раздвајање вегетације су врло оскудне, те је стога креирана додатна информација која пореди зелени опсег са свим осталим опсезима на начин приказан у формули:

$$\frac{\text{средња вредност зеленог опсега}}{\text{средња вредност црвеног опсега} + \text{средња вредност зеленог опсега} + \text{средња вредност плавог опсега}}$$

Израз 5-1

На основу ове карактеристике, аналитичар може да процени који објекти слике представљају вегетацију. На слици (Слика 92) плавом бојом приказан је однос зеленог и осталих опсега за вредност већу од 0.345. Аналитичар у овом случају одређује граничну вредност, (она зависи од доба године и карактеристика самог снимка, тј. од стања и количине вегетације). Ова вредност се за овај тип снимка (ортфот) у већини случајева креће у распону од 0.3 до 0.4.



Слика 92 Однос зеленог и осталих опсега ортофотоа

Након одређивања ове граничне вредности, сви објекти слике класе зграде са већим вредностима прелазе у класу стрмине.



Слика 93 Резултат класификације

У другом делу аналитичар спаја све објекте слике који припадају истој класи. Након тога, сви објекти класе зграде који су мањи од задате минималне величине објекта прелазе у класу стрмине. Резултат класификације приказан је на другој слици (Слика 93), где су зеленом бојом приказани објекти слике који припадају класи Стрмине, браон бојом објекти слике који припадају класи Земља и љубичастом бојом објекти слике који припадају класи Зграде. На слици која следи (Слика 94) приказан је резултат класификације само за класе Зграде.



Слика 94 Резултат класификације – класа Зграде

5.2.2.5 Оцена тачности

Током самог бирања узорка за оцену тачности, врло је важно бити непристрасан према бирању подручја које ће ући као референти узорак. Најбоље је да се референтни узорци узимају са терена, али могуће је и референтне узорке прикупити визуелном анализом, ово је само случај ако су у питању снимци високе резолуције. Може се рећи да је препоручљиво да један аналитичар ради класификацију док други ради оцену тачности.

Овако ће непристрасност оцене тачности бити обезбеђена. Поступак оцене тачности се састоји из више корака који ће сада бити укратко објашњени.

Прво је потребно одабрати довољан број референтних тачака за оцену тачности. У овом случају за оцену тачности узето је 256 тачака равномерно насумично распоређених на целом снимку. На слици која следи (Слика 95.) приказан је део снимка заједно са резултатом класификације (црвена боја) и референтним тачкама. На слици се могу приметити тачне и нетачне класификације једноставном визуелном анализом.



Слика 95. Резултат класификације преклопљен са делом оригиналног снимка. На класификованој мапи се налазе равномерно распоређене тачке за анализу тачности.

Након избора броја и распореда референтних тачака који ће ући у анализу тачности потребно је за сваку класу проверити и потврдити да ли одређени пиксел припада или не припада референтној класи. На наредној слици (Слика 96.) приказана је нетачна класификација јер тачка 130 не припада класи зграда, а класификована је као зграда, односно визуелном анализом се примети да је тачка 130 пиксел који припада вегетацији, а не згради. Оваква провера се извршава за сваку од 256 тачака и на крају се може генерисати извештај укупне тачности само за класу зграда.



Слика 96. Приказ поступка оцене тачности. Провера тачности за тачку 130.

На овај начин спроведена је оцена тачности, а добијена укупна тачност је 93.75 % што представља задовољавајуће резултате с обзиром да је снимак без инфрацрвених бендова. Од 256 референтних пиксела, 240 је класификовано као зграда (тачне класификације). Осталих 16 пиксела (нетачне класификације) припадају углавном вегетацији, а класификовани су такође као зграда.

5.2.3 Студија случаја Суботица – велике зграде

У претходном поглављу су детаљно описани сви кораци модела у класификацији зграда мање површине. Да би модел био успешно верификован, потребно је да се изврши провера на другом снимку који је сличних географских карактеристика. Основна разлика између података у овој и претходној студији случаја је у висини и величини зграда.

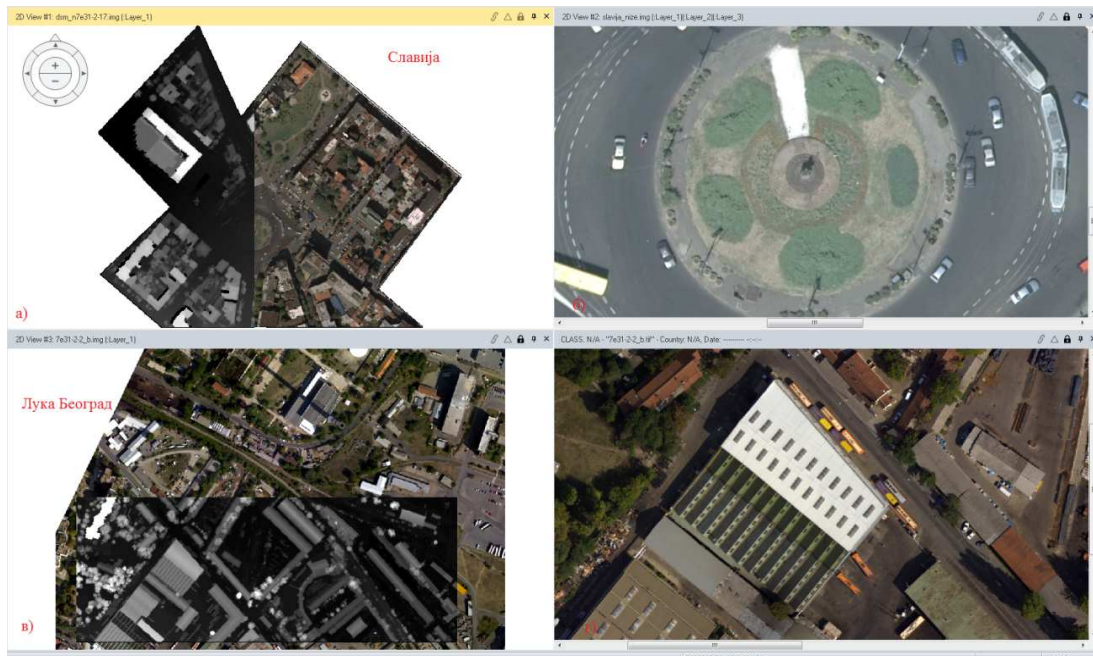
На Слика 72 приказано је друго демо-подручје у Суботици, а на Слика 97 приказан је резултат класификације за класу зграде на овом демо-подручју. Основна разлика између модела који је примењен на првом и другом снимку, односно првој и другој верификацији модела је у опису класификационог проблема. Минимална површина мапирања је повећана на 1000 пиксела, односно у опису класификационог проблема дефинисано је да не постоје објекти који су мањи од 8x8 метара, што за просторну резолуцију од 25 cm/пиксел даје укупно 1024 пиксела, па је изабрана прва мања округла вредност за број пиксела.

Сви остали делови модела су остали исти, само су одређени параметри које треба да одреди аналитичар промењени у складу са подацима.



Слика 97 Поступак и резултат класификације – класа Зграде

Основна разлика између једног и другог подручја, студија случаја Суботице и Београда, је у висинским разликама како терена тако и самих објеката. Минимална висина за студију случаја на Славији је 93 метра, а максимална 213 метара, док је на студијама случаја у Суботици ова разлика била мања (105 метара минимална, и 128 односно 135 максимална). Друга разлика је просторна резолуција. Просторна резолуција *DSM*-а у Суботици је 1 метар, а у Београду 50 центиметара, дакле, дупло боља (виша) резолуција *DSM*-а. Просторна резолуција ортофото снимка у Суботици је 25 центиметара, а за подручје Славије у Београду опет већа и износи 10 центиметара/пиксел. Пример подручја за студију случаја је приказан на слици која следи (Слика 99), где су у преклопу приказани ортофото снимци подручја Славије са преклопом *DSM*-а (Слика 99 а и б) и ортофото снимци Луке Београд са преклопом *DSM*-а (Слика 99 в и г).

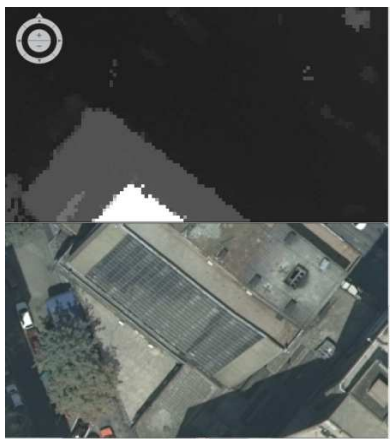


Слика 99 Студија случаја зграде - Славија и Лука Београд

У претходном поглављу су детаљно описани сви кораци модела у класификацији зграда мање површине. Верификација модела је извршена на снимцима са различитим резолуцијама ортофото снимка и *DSM*-а у односу на подручје Суботице, а затим је ту и разлика у типу зграда, њиховим висинама, облицима и висинама самог терена.

У складу са тиме, модел који је коришћен за подручје Суботице је претрпео одређене измене у смислу параметара као што су величине објеката односно број пиксела. Код студије случаја у Суботици минимална површина је била 200 и 1000 пиксела, док је у случају Београда, због просторне резолуције која је виша, тај број пиксела повећан на 10000 пиксела што одговара објекту величине 10 пута 10 метара. Због разлике у висинама терена такође је потребно променити параметре за разлике у висинама објеката и терена

где је та разлика у случају Суботице била 10 и 30, а у случају Славије 100 и Луке Београд 3. Исто тако, потребно је променити параметре који се односе на спектралне карактеристике и то раздаљину између суседних објеката (пошто је мера за раздаљину број пиксела), која је повећана на 50, као и праг за спектралне карактеристике вегетације, која је минимално промењена са 0.35 на 0.345 (снимци су из истог временског периода и имају само видљиви део спектра, па су стога промене минималне).



Слика 100 Проблем преклопа дигиталног модела површина и високих зграда

На претходној слици (Слика 100) приказан је проблем до којег је дошло на подручју Славије, услед јако високих објеката. Недостатак правог ортофото снимка (*true orthophoto*), доводи до погрешног преклопа *DSM*-а и ортофот снимка, што као резултат има лошије резултате класификације у одређеним деловима са високим зградама. Због тога је верификација модела на подручју Славије извршена за цело подручје и један мањи део где овај проблем није био толико изражен, и верификација је извршена на оба снимка. На следећој слици (Слика 101) приказани су резултати класификације зграда као геопросторних објеката на подручју Славије на оба снимка.



Слика 101 Резултат класификације зграда – Славија

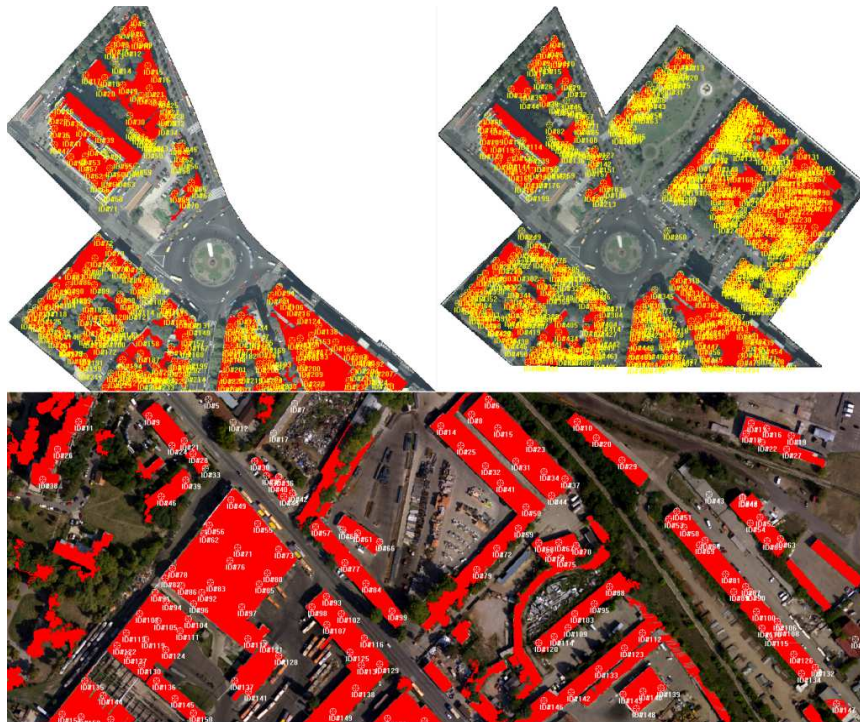
На подручју Луке Београд не постоје јако високи објекти, па стога није било већих проблема. Потпуно исти модел који је коришћен за подручје Славије је коришћен за подручје Луке, а резултат је приказан на следећој слици (Слика 102).



Слика 102 Резултат класификације зграда – Лука Београд

5.2.4.1 Оцена тачности

Као и у претходном случају, класе као што су вегетација, земља и стрмине представљају позадину чија тачност се не разматра. На наредној слици (Слика 103) приказане су контролне тачке које су коришћене у процесу оцене тачности класификације зграда као геопросторних објеката.



Слика 103 Преклоп контролних тачака, резултата класификације и ортофот снимка за Славију и Луку Београд

За оцену тачности, за снимак целе Славије, коришћено је укупно 480 контролних тачака, а резултат је био задовољавајући са тачношћу од 83.72%. У овом делу је уочен проблем преклопа ортофото снимка и *DSM*-а (не постојање поменутог *true ortophoto*), па је изабран део Славије са делом *DSM*-а који има мање вредности. За идентичан модел класификације са 230 контролних тачака добијена је тачност од 88.74%. На крају је, за подручје Луке Београд где су висине објеката и терена мање, са мањим међусобним разликама, за оцену тачности коришћено 150 контролних тачака и добијена је тачност од 94.70%.

У прилогу је дата матрица оцене тачности за обе студије случаја у Београду.

5.3 Верификација модела у поступку класификације различитих типова вегетације

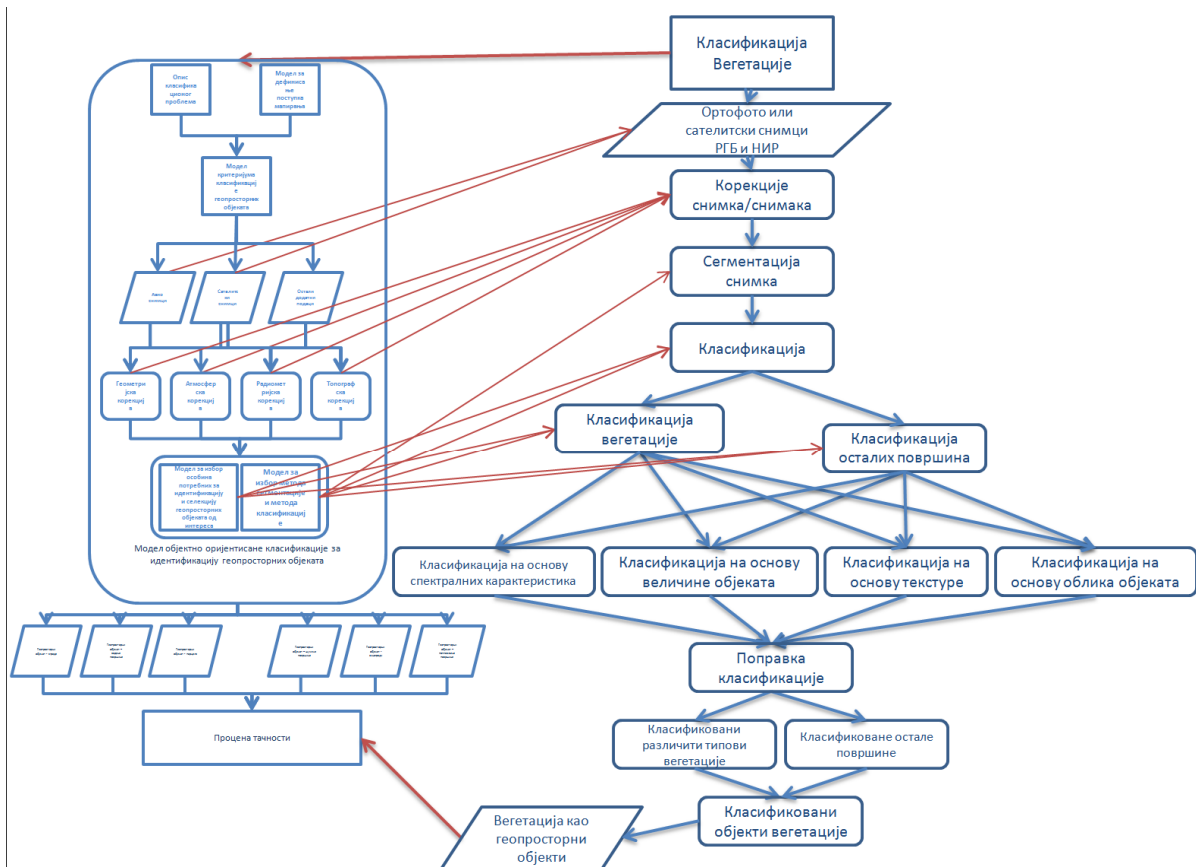
На основу преложеног модела приказаног на Слика 68, креиран је модел за класификацију различитих типова вегетације као геопросторних објекта који је приказан на слици која следи (Слика 104). Црвеном бојом су приказане везе предложеног модела и његове имплементације у поступку идентификовања вегетације као геопросторних објеката.

Појам вегетације у овом случају верификације се посматра као уопштен појам, односно као надкласа у хијерархији класа. Овај модел ће бити верификован на две студије случаја. Прва студија случаја се односи на идентификовање различитих пољопривредних гајених биљака, а други на површине под шумама. С обзиром на овакав опис класификационог задатка, модел показан на поменутој слици (Слика 104) је општег типа, али са јасно дефинисаним корацима који се могу применити на обе студије случаја.

У оквиру верификације модела за потребе класификације различитих типова вегетације као геопросторних објекта, као што је наведено, изабрана су два географска подручја различитих тополошких карактеристика, односно два подручја са различитим врстама објеката. Први је подручје националног парка Фрушке горе са изразитим разликама у надморским висинама терена и различитим типовима вегетација на којем је задатак да се идентификују површине под шумом, а други је пољопривредно добро "Сава Ковачевић" поред Врбаса, са малим разликама у надморским висинама терена, на којем је задатак да се идентификују различите пољопривредне гајене биљке.

На основу приказаног модела (Слика 104) дефинисано је да су за ову врсту идентификације потребни мултиспектрални снимци, ортофото или сателитски снимци високе просторне резолуције. Након избора снимака потребно је извршити неопходне корекције над њима. Затим следи избор битних особина и типа сегментације, односно типа класификације. Идентификација вегетације подразумева присутност инфрацрвеног опсега због особина рефлексије вегетације [50], тако да је, поред осталих, то једна од

најзначајнијих класификација на основу спектралних карактеристика. И у овој студији случаја поступак након класификације подразумева евентуалну поправку класификације, након чега следи оцена тачности.



Слика 104 Модел за класификацију вегетације као геопросторних објеката

Пољопривредно предузеће "Сава Ковачевић" А.Д. је основано 1946. године. Од момента оснивања до данас, пролазило је кроз разне организационе облике. Од првобитног оснивања више сељачких радних задруга, до њиховог каснијег спајања у једну целину које је завршено 1959. године. Временом је вршена арондација и комасација ради бољег концентрисања производње, као и искоришћавања производних потенцијала. У претходним годинама дошло је до извесног смањења површине услед враћања земље бившим власницима, као и изградњом ауто-пута. Основна делатност предузећа је гајење жита и других усева и засада. Ратарска производња одвија се на преко 4.400 хектара земљишта најбољег квалитета у овом делу Европе, од којих се, за сада, наводњава преко 85% површина у високом систему наводњавања чиме се осигуравају бољи приноси.

Друго демо-подручје је источни део Фрушке горе. Фрушка гора заузима северни део Срема. Простире се дужином од око 75 километара и ширином од 12 до 15 километара и захвата површину од око 255 km². Проглашена је за национални парк 1960. године и тиме је постала први национални парк у Србији. Убраја се у ниске планине са највишим врхом од 539 m (Црвени чот). Остали значајни врхови су Стражилово (321 m), Иришки Венац (451 m), Велики Градац (471 m).

Долине и падине Фрушке горе су прекривене ливадама, пашњацима и житним пољима. На падинама су воћњаци и виногради. Делови планине који су виши од 300 метара су обрасли густом листопадном шумом. На Фрушкој гори је највећа концентрација липове шуме у југоисточној Европи, а поред ње појављују се шуме храста, букве, граба, тополе и врбе које се могу наћи као монодоминантне шуме или у мешовитом саставу. Фрушка гора је климатско и педолошко поднебље погодно за узгој винове лозе и воћњака и представља чувену винску регију.

5.3.1 Студија случаја пољопривредно добро "Сава Ковачевић"

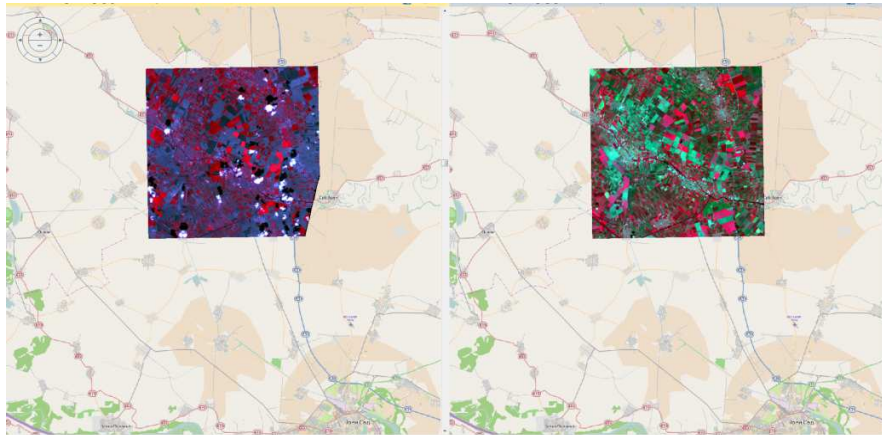
Верификација модела у овој студији случаја се односи на приказ резултата идентификовања различитих врста гајених биљака. На основу описа класификационог проблема циљ је извршити идентификовање различитих типова вегетација, односно идентификацију различитих гајених биљака – на којим парцелама су оне засејане и под којим површинама. На основу тога, према моделу за дефинисање поступка мапирања и модела за критеријум класификације геопросторних објеката, одлучено је да се верификација предложеног модела изврши над *RapidEye* сателитским снимцима са просторном резолуцијом од 5 метара и пет опсега чије су спектралне карактеристике дате у табели (Табела 4).

Избор ове сателитске платформе је због добре просторне резолуције од 5 m, велике покривености подручја и доступности снимака. Поред ових карактеристика најзначајнија одлика ове платформе је опсег који се налази између црвеног и блиско инфрацрвеног, а то је опсег *Red Edge*. Овај опсег са својим спектралним карактеристикама које се односе на вегетацију, покрива подручје електромагнетног спектра где се рефлексија нагло повећава [87]. Управо ова карактеристика је одлучујућа у избору ове платформе.

Опсег	Таласна дужина опсега	Просторна резолуција
<i>Blue</i>	440 – 510 nm	5 метара
<i>Green</i>	520 – 590 nm	
<i>Red</i>	630 – 685 nm	
<i>Red Edge</i>	690 – 730 nm	
<i>Near-Infrared</i>	760 – 850 nm	

Табела 4 Спектралне карактеристике *Rapid Eye* сателитских снимака

Верификација предложеног модела је вршена на два снимка истог подручја. Аквизиција првог снимка је извршена 15. 4. 2013. године, а аквизиција другог снимка 17. 6. 2013. године. Подручје од интереса које се налази на снимцима је област око Врбаса и обухвата пољопривредно добро "Сава Ковачевић". Оба снимка обухватају површину од 625 км², координате снимака су у *WGS84* систему, *UTM* пројекција, зона 34 север. На слици (Слика 105) је приказана област где се налази подручје од интереса.



Слика 105 Преклоп оба снимка са *Open Street Map*

У поступку верификације модела предмет посматрања су биле само оне гајене биљке које су у фази бујне вегетације у том тренутку у ком датира снимак. Анализе се рађене на два снимка, из априла месеца и из јуна. У априлу месецу су у фази бујне вегетације озиме културе, што у условима садње који постоје у Војводини представљају житарице. У јуну месецу су у фази бујне вегетације оне повртарске културе које су сађене у пролеће и имају краћи вегетациони период. Гајене биљке за које је вршена класификација су пшеница, уљана репица, шећерна репа и грашак.

На основу модела за избор особина потребних за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса и модела за избор метода сегментације и метода класификације, одлучено је да се класификација врши на основу ламбда сегментационог алгоритма. Овај алгоритам је као што је описано у поглављу 3.3.6.3 добар управо за овакве врсте сегментација, јер омогућава избор не само спектралних особина, него и величине, облика и текстуре. Након сегментације извршена је класификација која подразумева метричке и геометријске особине објеката слике. Након тога следи корак поправке резултатат класификације и на крају процена тачности добијених резултата.

Сам поступак се огледао у подешавању основних параметара у свим набројаним корацима. Изабрани Ламбда алгоритам сегментације се базира на томе да се, на основу вредности пиксела и њихових положаја, подели растер на мање сегменте који представљају целине и који у даљој анализи постају кандидати за објекат од интереса. Фактор размере и тежински параметри за карактеристике сегмента дати су у наредној

табели (Табела 5) за оба снимка. Након сегментације у поступку класификације, коришћена су три оператора, „*Dilate*“, „*Segment Merge*“ и „*Probability Filter*“. *Dilate* оператор проширује објекат тако што све пикселе који се налазе на рубу објекта припоји објекту, при чему се задаје величина појаса која ће бити припојена. *Segment Merge* оператор спаја суседне растер објекте из скупа растер објеката који имају велику вредност вероватноће припадности одређеној класи у један растер објекат. За такав објекат се рачуна нова вредност вероватноће која представља средњу вредност од свих припојених сегмената, а поступак спајања се врши рекурзивно. Последњи је *Probability Filter* оператор који уклања све објекте који имају вредност средње вероватноће мању од задате минималне вредности.

Снимак датума аквизиције 15. 4. 2013		Снимак датума аквизиције 17. 6. 2013	
segmentation	pixel segmet ratio : 500	segmentation	pixel segmet ratio : 500
	spectral : 0.80		spectral : 0.80
	texture: 0.70		texture: 0.80
	size: 0.60		size: 0.60
	shape : 0.60		shape : 0.60
dilate	kernal size : 3	dilate	kernal size : 3
segment merge	number of recursions : 1	segment merge	number of recursions : 1
	pixel probability weight : 0.50		pixel probability weight : 0.50
	probability treshold : 0.10		probability treshold : 0.10
	pixel probability start treshold : 0.90		pixel probability start treshold : 0.90
probability filter	minimum probability : 0.70	probability filter	minimum probability : 0.70
generalize	tolerance 0.50 m	generalize	tolerance 0.50 m
island filter	maximum object size 50 000 sqm	island filter	maximum object size 50 000 sqm
geometry	area : pixel probability weight 0.50	geometry	area : pixel probability weight 0.50
	distribution type : Gaussian		distribution type : Gaussian
probability filter	minimum probability : 0.70	probability filter	minimum probability : 0.70

Табела 5 Параметри коришћени у моделу верификације за оба снимка

Након тога су сви растерски објетки преведени у векторски облик како би се исправиле евентуалне неправилности и добио реалнији облик објеката. У овом поступку класификације коришћена су два векторска оператора, оператор за генерализацију и „*Island Filter*“. Генерализација је једноставан оператор који отклања непотребне прегибе и кривине како би граница објекта била што јаснија и једноставнија, док *Island Filter* отклања сва усамљена острва или рупе унутар објекта. Острва или рупе могу настати због

грешака у пикселима или због нехомогености терена и објеката. Након овог дела могуће је користити векторске операторе који користе геометрију за даљу анализу резултата.

За потребе овог рада коришћена су два објектна показатеља која су оријентисана на геометријска својства, а то су:

- Површина (Area) и
- Однос обима и површине векторског објекта ($PerimSqr/Area$).

Први показатељ, који се односи на површину (Area), је неопходан у овом поступку јер израчунава површину сваког полигона. Други наведени метрички показатељ ($PerimSqr/Area$) рачуна обим и површину сваког полигона, што значи да ће савршен круг имати најмањи резултат овог показатеља: 4π . Остали прости полигони као што је квадрат, имаће релативно мале резултате. Сложени полигони или полигони са великим острвима имаће веће вредности користећи ову метрику, што је приказано на наредној слици (Слика 106).

Објекат	Површина	O^2/P
1. Круг	6010.2	12.8
2. Квадрат	6804.0	16.0
3. Полигон	797.3	131.0
4. Круг са острвима	6016.5	98.1

Слика 106 Површине појединих објеката

Сви параметри коришћени у овом верификационом моделу у случају првог и другог снимка из априла месеца су приказани у претходној табели (Табела 5).

Резултати идентификације гајених биљака, на основу предложеног модела идентификације, приказани су на наредној слици (Слика 107). Са леве стране и у средини плавом бојом приказан је резултат класификације уљане репице преко целог снимка и део где се налази пољопривредно добро "Сава Ковачевић" у односу на цео снимак, а са десне стране резултат класификације за све гајене биљке у преклопу са таблама пољопривредног добра "Сава Ковачевић".



Слика 107 Пример резултата за класификацију Уљане репице и свих остали гајених биљака

Резултати класификације приказани су у наредној табели (Табела 6), где је у првој колони дата површина која је добијена од стране пољопривредног добра "Сава Ковачевић" са посејаним површинама за дату годину, а друга колона представља површине које су добијене као резултат класификације.

Површина	"Сава Ковачевић" [Ha]	Резултат класификације[Ha]
Пшеница	822.37	746.16
Грашак	457.28	389.56
Уљана репица	419.82	389.23
Шећерна репа	670.95	414.72

Табела 6 Резултати класификације гајених биљака у хектарима

Оцена тачности се код ове студије случаја разликовала у односу на остале. Због тога што се ради о снимцима из 2013. године, није постојала могућност одласка на терен ради узорковања и оцене тачности на тај начин. Поред тога снимци су просторне резолуције 5 метара, па није могућа ни визуелна анализа контролних тачака. Из тог разлога оцена тачности је подразумевала поређење добијених површина са рефрентним подацима добијених од пољопривредног добра "Сава Ковачевић" за сетвену годину 2012/13 који су збирно приказани у табели (Табела 6).

На основу добијених резултата, може се закључити да тачност класификације површина под пшеницом од 91% и уљаном репицом од 93% представља одличне резултате, грашак са тачношћу од 86% се може посматрати као задовољавајући резултат, а шећерна репа од 62% се може сматрати као просечан резултат. Може се приметити да се, иако су спектралне карактеристике, величина, тесктура и облик парцела које су под уљаном и шећерном репом сличне, појављује велика разлика у тачности класификације ове две гајене биљке. Основни разлог лоших резултата класификације за шећерну репу је парцела под бројем 56, за коју на основу скица (скица је дата у прилогу) и сателитског снимка није било могуће тачно утврдити површину (која по прилозима износи 201 хектар). Ова парцела својом површином уноси велики грешку у рачун резултата тачности, али због

значаја резултата није изостављена. У прилогу је дата пољопривредна карта структуре сетве за 2013. годину, као и структура сетве у табеларном приказу, које су коришћене у поступку класификације. Оригинални подаци су добијени од пољопривредног предузећа "Сава Ковачевић" из Врбаса, уз сарадњу са професором Бранком Маринковићем са Пољопривредног факултета из Новог Сада.

5.3.2 Студија случаја Национални парк Фрушка Гора

Као што је речено у претходном поглављу, верификација модела кроз обе студије случаја се односе на приказ резултата идентификовања различитих врста гајених биљака. Претходна верификацији модела циљано се односила на одређене врсте вегетационих покривача, тј. пољопривредне гајене биљке, пре свега због великог значаја даљинске детекције у пољопривреди и великог значаја класификовања снимка управо у тој области. Значајан број радова се такође бави начином класификовања шумских површина. Због тога се друга студија случаја односи управо на идентификовање површина под шумским покривачем.

Ова верификација модела (Слика 104) ће се односити на идентификацију шумских покривача односно површина под шумом у складу са правилником за израду топографске карте размере 1:25000, при чему су ове одредбе преузете као опис класификационог задатка. Топографска карта је графички приказ неког дела Земљине површине, који је пропорционално умањен и ортогонално пројектован на хоризонталну раван на којој су утврђеним знацима приказани природни и вештачки објекти. Бројчана размера 1:25 000 означава да су на карти све дужи 25 000 пута мање него одговарајуће дужи у природи. Подела топографских карти се може извршити на основу неколико критеријума, а најчешћи од њих су: размера, садржај и начин израде. По начину израде, топографске карте могу бити:

- Класичне топографске карте, базиране на подацима непосредно мереним на терену,
- Фотограметријске топографске карте, урађене на основу аеро или терестричких стерео снимака уз неопходне контролне тачке на терену [88].

На топографској карти размере 1:25 000 шуме се приказују по свом спољашњем облику почевши од површине од 5625 m^2 . Под шумом се подразумевају оне површине које су покривене разним врстама дрвећа (осим воћњака), чија је висина 3 и више метара, а покривеност (посматрајући пројекцију крошњи) већа од 50% површине која се класификује као шума. По густини, шуме се деле на:

- Густе шуме (крошње дрвећа преплићу се међусобно, старо дрвеће је често измешано младим, ниским растињем које отежава кретање и смањује видљивост испод 50 метара).

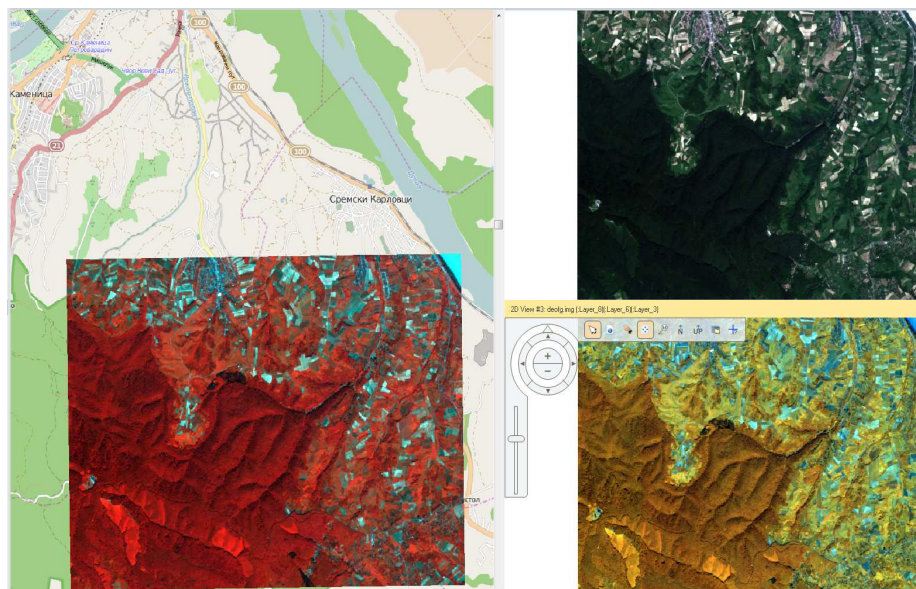
- Средње густе шуме (крошње дрвећа се додирују, а пролазност за пешаке је добра и ван путева, уколико то дозвољава рељеф и врста тла. Прегледност се креће око 100 метара. То су углавном одржаване шуме, које се нормално експлоатишу и обнављају).
- Ретке шуме (крошње дрвећа се не додирују, а стабла су на различитим међусобним растојањима. Границе тих шума су обично неодређене) и
- Шикаре које су млађе обично самоникле шуме висине до 3 метра, велике густине, те се видљивост смањује и на 10 метара, а кретање је отежано. Неједнородног су састава и преовлађује ниско растиње – закржљало дрвеће и жбуње, које се неће развити у нормалну шуму. Местимично постоји и понеко високо, нормално развијено дрво [88].

На основу описа класификационог проблема циљ је извршити идентификовање површине под шумом при чему треба да се узме у обзир да је минимална површина мапирања 5625 m². На основу предложеног модела, избор је да се користе сателитски снимци високе резолуције са опсезима који поред видљивог дела спектра имају и део из инфрацрвеног дела спектра. У складу са тим изабрана је сателитска платформа *WorldView-2*, чије су основне карактеристике дате у табели (Табела 7) и који поред *RapidEye* сателитске платформе представља једину платформу која поред осталих има у себи и *Red Edge* опсег.

Опсег	Таласна дужина опсега	Просторна резолуција
Panchromatic	450 - 800 nm	0.5 m
<i>Coastal</i>	400 - 450 nm	2 m
<i>Blue</i>	450 - 510 nm	
<i>Green</i>	510 - 580 nm	
<i>Yellow</i>	585 - 625 nm	
<i>Red</i>	630 - 690 nm	
<i>Red Edge</i>	705 - 745 nm	
<i>NIR1</i>	770 - 895 nm	
<i>NIR2</i>	860 - 1040 nm	

Табела 7 Спектралне и просторне карактеристике *World View-2* сателитских снимака [11]

Верификација предложеног модела је вршена на снимку приградског подручја града Новог Сада, датума аквизиције 10. јуна 2010. године. Подручје од интереса које се налази на снимку је област јужно од насеља Буковац, површине 48 км², координате снимка су у *WGS84* систему, *UTM* пројекција, зона 34 север. На слици која следи (Слика 108) је приказана област на којој је подручје од интереса и цео снимак у природној комбинацији боја и лажној комбинацији боја (*NIR2* опсег пропуштен кроз црвену боју, *Red Edge* опсег пропуштен кроз зелену боју и *Blue* опсег пропуштен кроз плаву боју).



Слика 108 Преклоп снимка са Open Street Map, приказ природних боја и приказ 863RGB

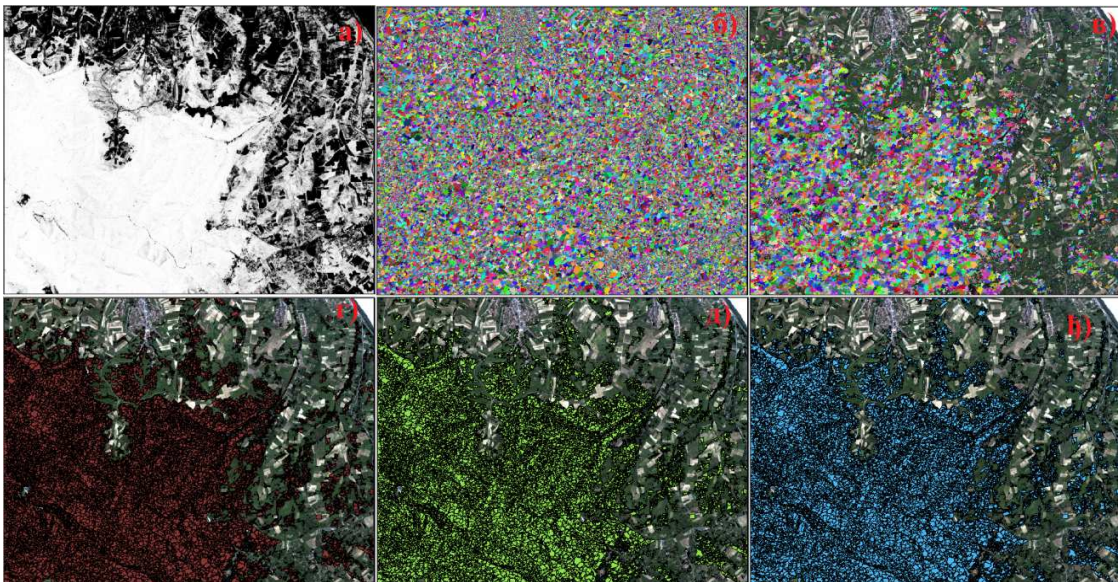
У поступку верификације модела предмет посматрања су биле само површине под шумама које су у фази бујне вегетације у том тренутку, а то су у ствари све шумске површине описане кроз опис класификационог проблема.

На основу предложеног модела приказаног на Слика 104, односно, на основу модела за избор особина потребних за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса и модела за избор метода сегментације и метода класификације, одлучено је да се класификација врши на основу Ламбда сегментационог алгорита. Након сегментације извршена је класификација на основу битних карактеристика објеката који су добијени у поступку сегментације, а према предложеном моделу. Након тога следи корак поправке резултата класификације и на крају процена тачности добијених резултата, као што је то био случај и за претходну верификацију модела.

Први корак у објектно оријентисаној класификацији верификационог модела је процесирање пиксела самог растера. Ова функција врши класификацију пиксела на основу обучавајућих скупова који репрезентују одређену класу, у нашем случају класу шумска површина. Да би процес могао да препозна пикселе са сличним карактеристикама, коришћен је алгоритам SFP (*Single Feature Probability*), који рачуна вероватноћу сваког пиксела улазног снимка на основу обучавајућих узорака. Пиксели са вредностима сличним онима који репрезентују класу имаће већу вредност вероватноће. Нижа вредност вероватноће се додељује пикселима који се значајно разликују од пиксела који репрезентују класу шумске површине. Пиксели који имају вредности сличне пикселима који репрезентују шумско подручје светлији су у односу на пикселе који се знатно разликују од пиксела који репрезентују ову класу (Слика 109 а).

Након тога, добијени слој вероватноће пиксела се на основу алгоритма Ламбда сегментације трансформише у растер објекат. Параметри овог алгоритма, које је неопходно подесити, као и у претходној верификацији модела су просечна величина сегмента, минимална и максимална величина сегмента у пикселима, релативна спектрална тежина, релативна тежина текстуре, релативна тежина величине и релативна тежина облика, а резултат је приказан на слици која следи (Слика 109 б).

Параметар који значајно утиче на облик и површину сегмената је „*pixel segment ratio*“. У овом случају, овај параметар је подешен на 1000. Мања вредност би узроковала другачији облик сегмената, али би површина остала непромењена, а веће вредности би узроковале веће сегменте, што би у случајевима путева на подручју Фрушке горе, који су делом покривени шумом јер је у том периоду максимална вегетација, довело до погрешне класификације, тј. пут би био класификован као шума, што не одговара стварном стању на терену. Релативна спектрална тежина је дала најбоље резултате са вредношћу 0.80 као и у претходној верификацији модела. Мање вредности од 0.80 би повећале површину шумског подручја на рачун других пољопривредних култура док би веће вредности изоставиле значајан део површине који обухвата шумско подручје. Релативна тежина текстуре се мери као стандардно одступање *DN (Digital Number)* вредности пиксела у сегменту. У овом случају, параметар који се односи на релативну тежину текстуре је подешен на 0,70. Релативна тежина величине и релативна величина облика су у овом случају подешени на 0.50. Пошто је у питању класификација шумског подручја, сегменти су хомогенији у погледу величине и облика па је због тога изабрана оптимална релативна тежина величине и облика.



Слика 109 Кораци у класификацији

segmentation	pixel segmet ratio : 1000
	spectral : 0.80
	texture: 0.70
	size: 0.50
	shape : 0.50
dilate	kernal size : 3
segment merge	number of recursions : 1
	pixel probability weight : 0.50
	probability treshold : 0.10
	pixel probability start treshold : 0.90
probability filter	minimum probability : 0.80
generalize	tolerance 0.50 m
island filter	maximum object size 50 000 sqm
geometry	area : pixel probability weight 0.50
	distribution type : Gaussian
probability filter	minimum probability : 0.80
dissolve	0.5m

Табела 8 Параметри коришћени у моделу верификације

Након извршене сегментације слике, неопходно је добијени резултат побољшати употребом одговарајућих филтера. У ту сврху, као и у претходном случају коришћени су филтери *Dilate*, *Probability Filter* и *Segment Merge*. Први параметар (*Dilate*) је коришћен како би се објекти проширили додавањем пиксела који се налазе на рубовима објеката. Код овог параметра као облик изабран је квадрат, а величина је подешена на 3. Други параметар који је употребљен у сврху побољшања резултата сегментације је *Probability Filter*. Код овог филтера се задаје минимална вредност вероватноће. Објекти који имају средњу вредност вероватноће мању од задате минималне вредности су уклоњени. У овом случају, вредност вероватноће је подешена на 0.80. И на крају, како би се извршило спајање суседних растер објеката из скупа растер објеката са великом вероватноћом у један растер објекат, употребљен је *Segment Merge* алгоритам. Резултат ових корака је приказан на претходној слици (Слика 109 в).

Смисао објектно оријентисане анализе слике није само рад над растерима, него и рад над векторима, чиме су доступне многобројне могућности процесирања добијених резултата, па је стога извршена конверзија добијеног растера у векторски облик, што је, такође, приказано на претходној слици (Слика 109 г). Добијени вектор је побољшан одговарајућим алгоритмима, *Generalize* и *Island Filter*. Алгоритам генерализације је употребљен како би се отклонили сувишни прегиби и кривине и како би границе објеката биле што јасније. *Island Filter* је употребљен ради отклањања усамљених острва или рупа унутар објеката које настају због грешака у пикселима или нехомогености терена и објеката. Након тога, извршено је процесирање векторских објеката, у смислу једног или

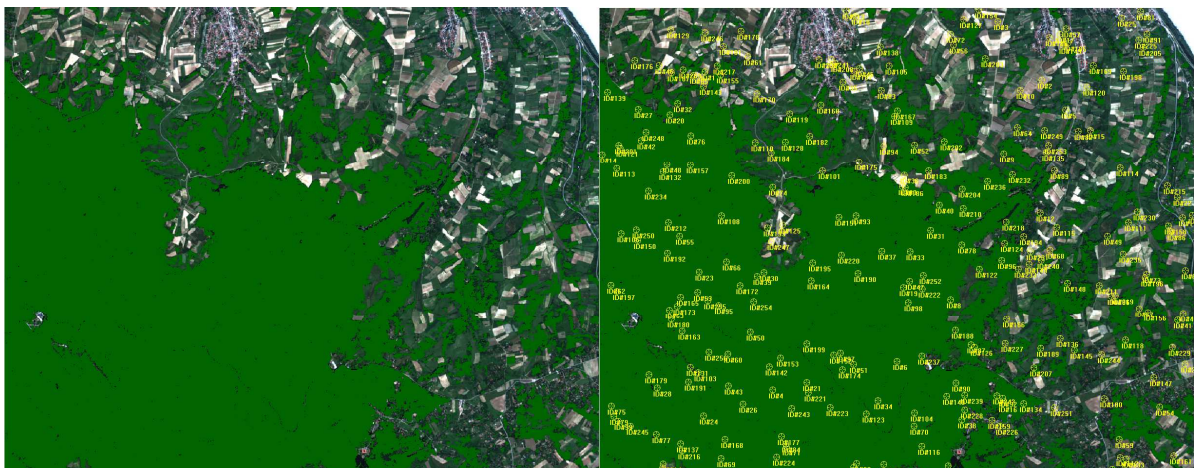
више метричких показатеља који мере својства векторских објеката. Ови објектни класификатори користе се за доделу вероватноће сваком објекту из групе векторских објеката. Такође, за потребе класификације шумског подручја на сателитском снимку употребљен је објектни показатељ који се односи на површину (*Area*), који је већ објашњен у претходном поглављу (Слика 109 д).

Завршни корак у објектно оријентисаној класификацији је последња исправка векторских објеката. За потребе класификације шуме на сателитском снимку у ту сврху су коришћена два алгорита а то су: *Probability Filter* и *Dissolve*. Минимална вероватноћа је подешена на 0,80. Други оператор (*Dissolve*) је употребљен да би уклонио границе између суседних објеката који припадају класи која репрезентује шуму. За уклањање граница овај оператор је користио растерски алгоритам који се много чешће користи, зато што је бржи. Растерски алгоритам претвара објекте у привремене растере, уклања границе између класа исте врсте и прави нове границе. Код овог оператора потребно је подесити величину пиксела. Овај параметар одређује резолуцију у јединицама мапе које су коришћене за привремени растер. Најбољи резултат се постиже када је величина пиксела иста као код било којег оригиналног улазног растера (у овом случају величина пиксела је 0.5 метара).

Резултат целокупног поступка класификације, односно површина под шумом приказан је, на наредној слици (Слика 110) тамно зеленом бојом.

5.3.2.1 Оцена тачности

Као и у претходном случају верификација модела, класе као што су пут, земља, вештачке површине и остало представљају позадину чија тачност се не разматра. На слици која следи (Слика 110) приказане су контролне тачке које су коришћене у процесу оцене тачности класификације шумске површине као геопросторног објекта.



Слика 110 Резултат класификације у преклопу са сателитским снимком и контролним тачкама

За оцену тачности за цело подручје коришћено је укупно 256 контролних тачака и добијена је тачност од 96.48%. У прилогу је дата матрица оцене тачности за студију случаја Националног парка Фрушка гора.

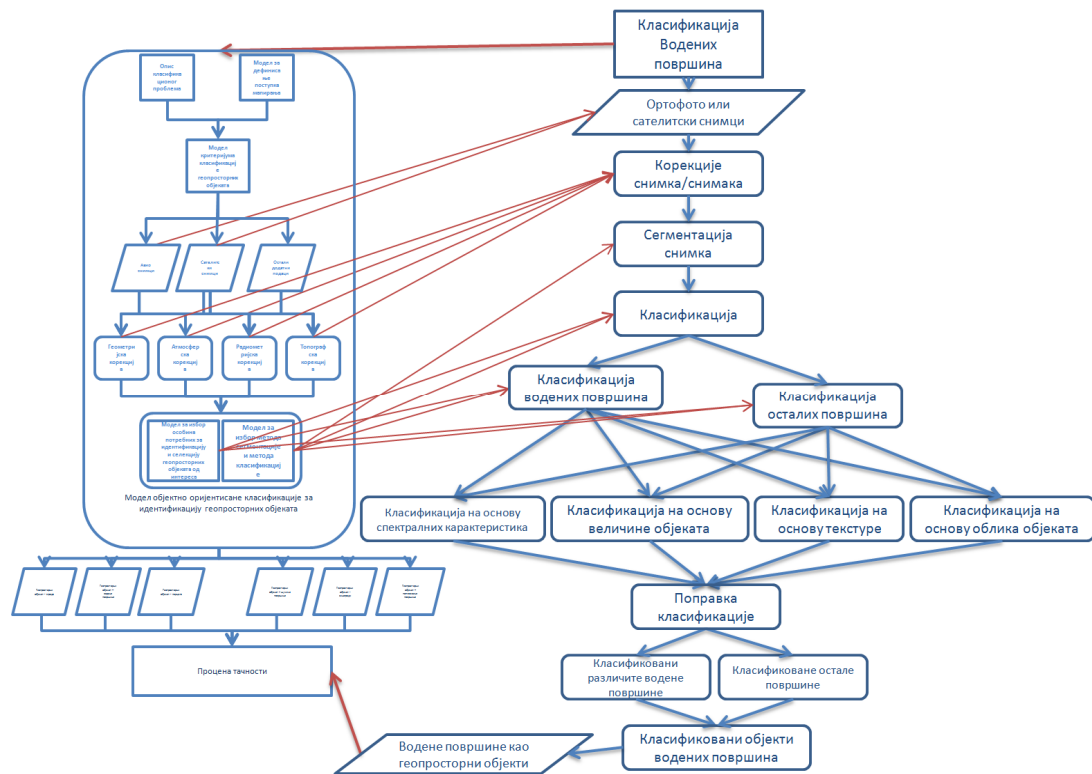
5.3.3 Студија случаја идентификација водених површина

Велик број радова из области даљинске детекције и обраде сателитских снимака посвећен је воденим површинама, поплавленим подручјима, праћењу стања водних површина и сличним темама које се односе на водене површине. Због општости модела, последња верификација модела ће се односити управо на детекцију водених површина. Ово поглавље ће уједно и дати предлог на који начин се понуђени модел може формализовати и публиковати преко *WPS*-а, тако да модели показани у овој дисертацији могу да буду доступни свим заинтересованим корисницима.

У овој студији случаја за верификацију модела приказаног на наредној слици (Слика 111) први корак је опис класификационог проблема и минималне површине мапирања. С обзиром да водене површине у инфрацрвеном делу електромагнетног спектра имају малу рефлексију односно велику апсорпцију инфрацрвених електромагнетних таласа [89], одлучено је да се за класификацију користе снимци који имају велик број опсега из дела инфрацрвеног електромагнетног спектра. Изабрани су они снимци односно оне платформе које поред осталих опсега имају и *Coastal* опсег који је најмање апсорбован у води и који се користи у батиметријским истраживањима [90], [91]. Ако се узму у обзир карактеристике доступних сателитских платформи, које имају велик број опсега из инфрацрвеног дела спектра и имају *Coastal* опсег, одлучено је да се користе два снимка.

Први снимак је са *WorldView-2* платформе за подручје Београда, чије су основне карактеристике приказане у Табела 7, а други снимак за шире подручје Београда је са *Landsat 8* сателитске платформе чије су основне карактеристике приказане у табели која следи (Табела 9).

Након избора снимака модела, као и у претходној студији случаја, препоручује се да се изврше одређене потребне корекције снимака, након чега следи сегментација и класификација. Што се тиче сегментације, с обзиром на задатак, могуће је користити оне методе сегментације које пре свега уважавају спектралне, али и остале карактеристике снимка. За ову студију случаја изабрана је Мултирезолуциона сегментација, иако би по свим параметрима Ламбда сегментација такође била добар избор.



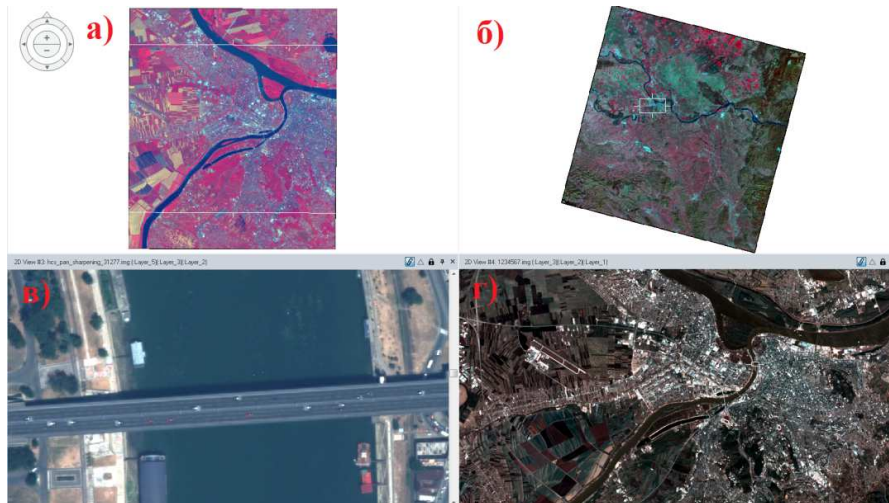
Слика 111 Модел за класификацију водених површина као геопросторних објеката

Датум аквизиције снимка WorldView-2 за подручје Београда је 14. јул 2012. године, координате снимка су у WGS84 систему, UTM пројекција, зона 34 север. На слици која следи (Слика 112 а и в) приказана је област – цео снимак у лажној комбинацији боја (NIR2 опсег пропуштен кроз црвену боју, Yellow опсег пропуштен кроз зелену боју и Coastal опсег пропуштен кроз плаву боју) и подручје моста Газела у Београду са размером 1:1 у природној комбинацији боја.

Опсег	Таласна дужина опсега	Просторна резолуција
Coastal aerosol	0.43 - 0.45 μm	30 m
Blue	0.45 - 0.51 μm	30 m
Green	0.53 - 0.59	30 m
Red	0.64 - 0.67	30 m
Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30 m
SWIR 1	1.57 - 1.65	30 m
SWIR 2	2.11 - 2.29	30 m
Panchromatic	0.50 - 0.68	15 m
Cirrus	1.36 - 1.38	30 m
Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * 30 m
Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 * 30 m

Табела 9 Спектралне и просторне карактеристике Landsat 8 сателитских снимка [11]

Други снимак је такође у *WGS84* систему, *UTM* пројекција, зона 34 север, са датумом аквизиције 21. март 2014. године, и приказан је на истим сликама (Слика 112 б) у неприродној комбинацији боја (Near Infrared опсег пропуштен кроз црвену боју, *Red* опсег пропуштен кроз зелену боју и *Green* опсег пропуштен кроз плаву боју) и (Слика 112 г) у природној комбинацији боја *321RGB* са размером 1:1.



Слика 112 *WV2* и *Landsat 8* снимак са неприродним приказима боја и природним приказима боја у размери 1:1

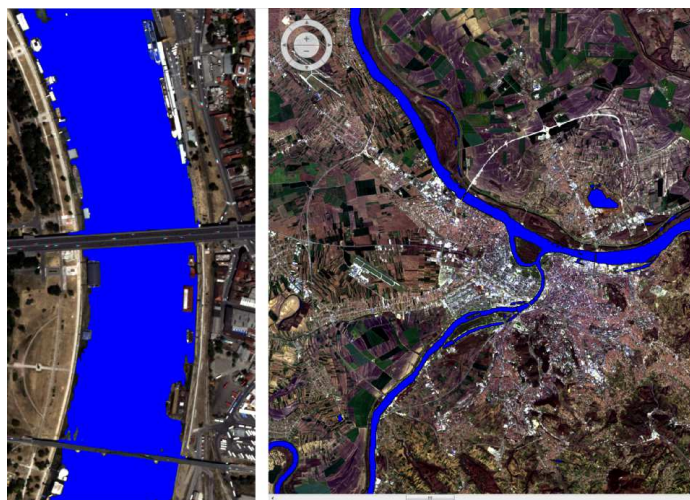
Иако су све верификације модела вршене са снимцима високе резолуције, због општости модела и обухвата веће површине, због тога што *Landsat* снимак задовољава услов што већег броја опсега из инфрацрвеног дела спектра, као и због тога што се *Landsat* снимци могу добити бесплатно и што је њихова употребна вредност изузетно велика [30], одлучено је да се верификација предложеног модела обави и уз помоћ овог снимка.

Што се тиче модела класификовања водених површина, коришћени су алгоритми мултирезолуционе сегментације са параметром размере 30 за *WV2* снимак и параметром размере 100 за *Landsat* снимак. Тежински фактори за облик и компактност су били исти у оба случаја са вредностима 0.3 за облик и 0.8 за компактност. Поред тога, коришћене су и спектралне карактеристике снимка, пре свега средња вредност објеката слике блиско инфрацрвеног опсега за оба снимка као и Нормализациони индекс воде (Normalized Difference Water Index) [92] објеката слике, чија је формула дата у изразу који следи (Израз 5-2).

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$$

Израз 5-2

Резултати класификације на оба снимка приказани су на датој слици (Слика 113).

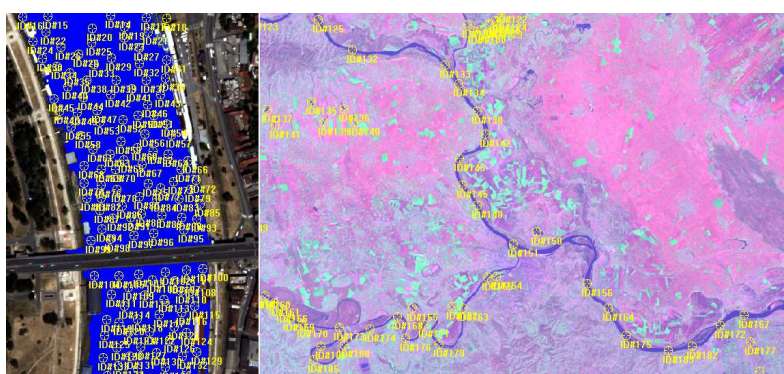


Слика 113 Резултат класификације водених површина на *WV2* и *Landsat 8* снимку.

5.3.3.1 Оцена тачности

Оцена тачности класификације извршена је за оба снимка. За *WV2* снимак високе резолуције извршена је контрола са укупно 185 тачака и високом тачношћу од 98.92%. Ова изузетно велика тачност је очекивана, с обзиром да се ради о снимку изузетно високе просторне резолуције, а изабрано подручје представља најурбанији део Београда, што узрокује немогућност појаве водених површина на другим местима осим у ограђеном делу корита реке Саве. Једине грешке које се појављују су у делу сенке високих објеката.

Што се тиче *Landsat* снимка генерисано је укупно 252 контролне тачке, а тачност класификације је такође висока и износи непуних 90%. На наредној слици (Слика 114) приказане су контролне тачке, а у прилозима су дати извештаји о оциени тачности за оба снимка.



Слика 114 Контролне тачке у преклопу са *WV2* и *Landsat 8* снимком

5.3.4 Дистрибуција геоинформација

Како би употреба модела из ове дисертације била могућа не само за кориснике из области даљинске детекције и ГИС-а, него и за оне кориснике којима би били

интересантни само резултати класификације снимака, а да не морају да имају потребна знања из области класификације снимака даљинске детекције, потребно је извршити дистрибуцију модела.

Због тога су у оквиру овог поглавља дате основне информације о имплементацији одређених делова предложених модела у оквиру ове дисертације. Приказан је део модела који се односи на одређене предкорак у обради сателитских снимака, затим део предложеног модела који се односи на Ламбда сегментацију, и на крају, део модела за детекцију водених површина. Приказан је, такође, начин публикувања овог модела употребом веб процесинг сервиса – *WPS*. Имплементација процеса и њихово публикување омогућује крајњим корисницима њихову употребу, без неопходности познавања области даљинске детекције и начина обраде сателитских снимака.

За потребе креирања и публикувања делова модела искоришћен је *Spatial Modeler*, који представља алат за просторно моделовање у склопу *ERDAS IMAGINE*. *Spatial Modeler* представља систем који је проширив и што се тиче типова података и што се тиче операција над типовима података, па поред традиционалних растерских функција, подржава и операције са векторима и облаком тачака [93].

Web Processing Service – *WPS* пружа стандардни интерфејс који поједностављује извршавање једноставних и сложених просторних процеса као веб сервиса [94]. Ови сервиси укључују просторне процесе који се могу наћи или направити у ГИС алатима, као и специјалне процесе за просторно моделовање и симулације. *WPS* обезбеђује интероперабилан протокол за извршавање процеса у оквиру веб сервиса. Основни *WPS* захтеви су *GetCapabilities* – који даје метаподатке о процесу (основни опис и начин приступа процесу), *DescribeProces* – који даје потпун опис процеса (шта су улази у процес и шта су излази) и *Execute* – само извршавање процеса.

WPS је *OGC* стандард који дефинише како да се имплементирају географски процеси или модели као веб сервис. *WPS* дефинише стандардизован интерфејс који олакшава објављивање геопросторних процеса. *WPS* нуди једноставну *online* методу за проналажење, приступ, и коришћење свих врста прорачуна и модела. Процеси могу да садрже било који алгоритам или модел који ради са просторним подацима. *Publishing* – значи објављивање информација и метаподатака што омогућава откривање и коришћење различитих услуга [95].

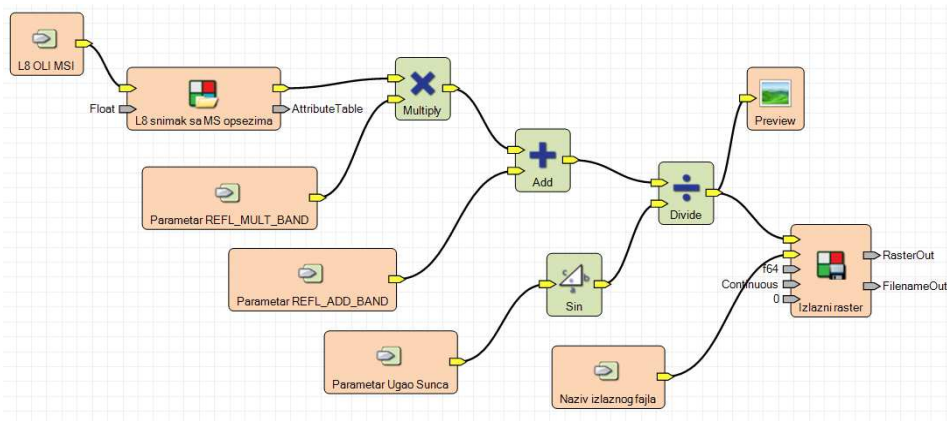
WPS не прецизира врсту процеса који би могао бити реализован као веб сервис. Уместо тога, он наводи генерички механизам који се може користити за описивање и који омогућава било какву врсту просторних процеса на вебу. *WPS* може да понуди било какву врсту *ГИС* функционалности клијентима преко мреже, укључујући приступ унапред програмираним процесима или прорачунима модела који раде са просторним подацима. Процес може бити изузетно једноставан или сложен са различитим бројем улаза и излаза.

Публиковање модела извршено је уз помоћ ERDAS APOLLO који представља свеобухватан систем за управљање, анализу и дистрибуцију података. ERDAS APOLLO сервер је решење базирано на *OGC/ISO* стандардима, и оно омогућава ефикасну организацију велике количине података (снимака, вектора, дигиталних модела терена, *LIDAR* података, веб сервиса и било којих дигиталних објеката). ERDAS APOLLO имплементира поменуту *OGC WPS* спецификацију. Радни процеси су дизајнирани тако да крајњим корисницима, са мало знања из области геопросторних информација, омогуће извршавање робусних и комплексних гео-процеса [96].

У наставку текста приказани су поједини процеси који представљају саставни део модела који је резултат ове дисертације.

5.3.4.1 Модели за атмосферску корекцију сателитских снимака

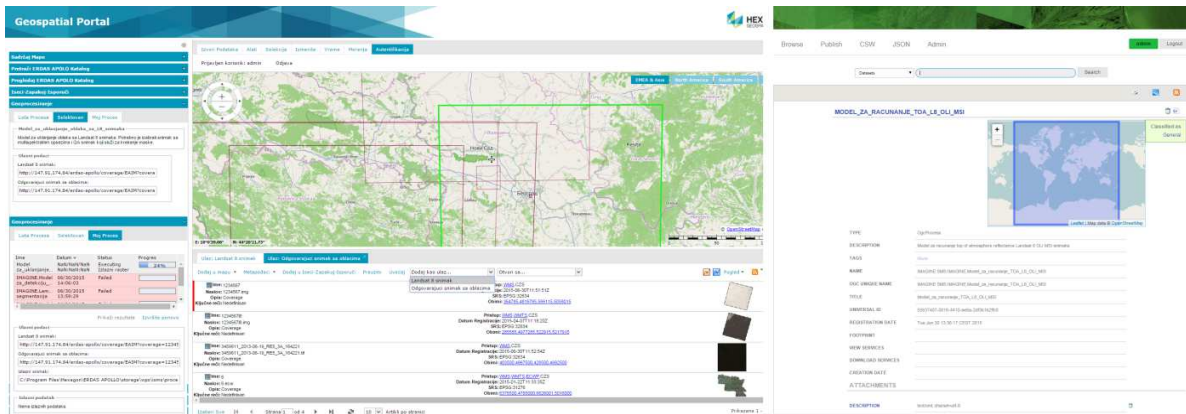
Уобичајено је да се након преузимања снимка од дистрибутера, добије снимак који није калибрисан. У оквиру модела приказаног на слици (Слика 68) и на свим осталим моделима у студијама случаја, један од неопходних корака у обради сателитских снимака је и атмосферска корекција. Овај део је неопходан поготово у ситуацијама када се користе два различита снимка. Да би се резултати обраде, настали над различитим снимцима, могли поредити, потребно је да се они изједначе, односно да се изврши атмосферска корекција, након чега су снимци спремни за издвајање квантитативних информација и могуће је поредити резултате настале над овако обрађеним снимцима. На наредној слици (Слика 115) приказан је модел за рачунање рефлексије на врху атмосфере за *Landsat* снимак коришћен у претходној студији случаја. Модел дефинише улазне и излазне податке, као и параметере потребне за корекцију који се добијају у оквиру метаподатака самог снимка, при чему је у моделу већ дефинисан сваки параметар. Овај модел је публикован на Аполо сервер употребом *WPS*.



Слика 115 Модел за атмосферску корекцију

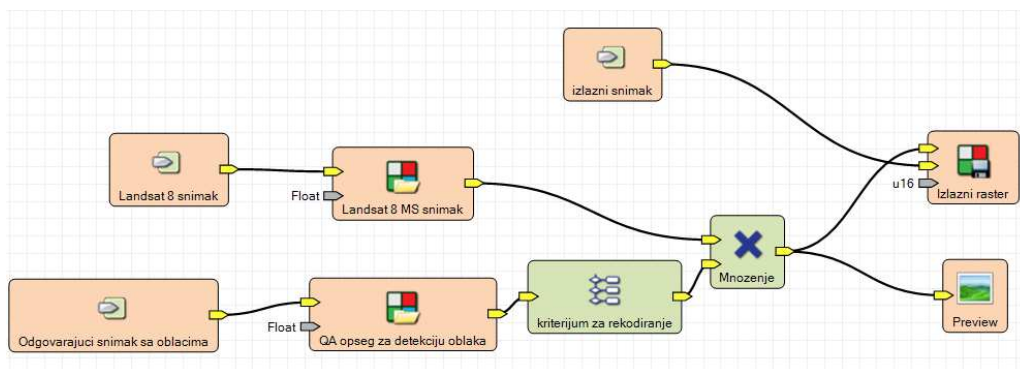
Након публиковања сам модел је доступан корисницима једноставним приступом серверу преко клијентске апликације. Корисник бира улазне податке и параметре, покреће

процес и на крају поступка добија одговор о извршеном процесу и месту на којем се налазе резултати. Ово је приказано на наредној слици (Слика 116).



Слика 116 Изглед клијентске веб апликације ERDAS APOLLO сервера и приступ публикованом моделу за атмосферску корекцију Landsat 8 MSI OLI сателитских снимака

Такође се често дешава да, због временских услова, снимци садрже облаке у неком проценту. Тада је за потребе обраде и класификације сателитских снимака потребно креирати маску за подручје снимка где се налазе облаци. На следећој слици (Слика 117) приказан је модел за креирање маске над Landsat 8 снимком који је коришћен у верификацији модела за идентификацију водених површина. У прилозима су дати листинзи за оба процеса.

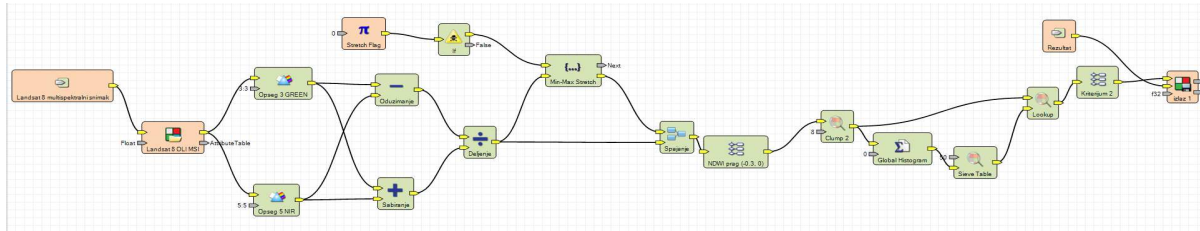


Слика 117 Модел за креирање маске над снимком који има облаци

5.3.4.2 Модел за детекцију водених површина употребом NDWI

Још један од процеса коришћен у поступку верификације модела за идентификацију водених површина је и идентификација водених површина употребом нормализационог индекса воде NDWI (Normalized Difference Water Index). Модел који је презетован тражи од корисника да обезбди улазни снимак, а након процесирања корисник добија информацију где му се налази растер који представља резултат идентификованих водених површина. На слици (Слика 118) је приказан модел креиран у оквиру *Spatial Modeler*-а, а у

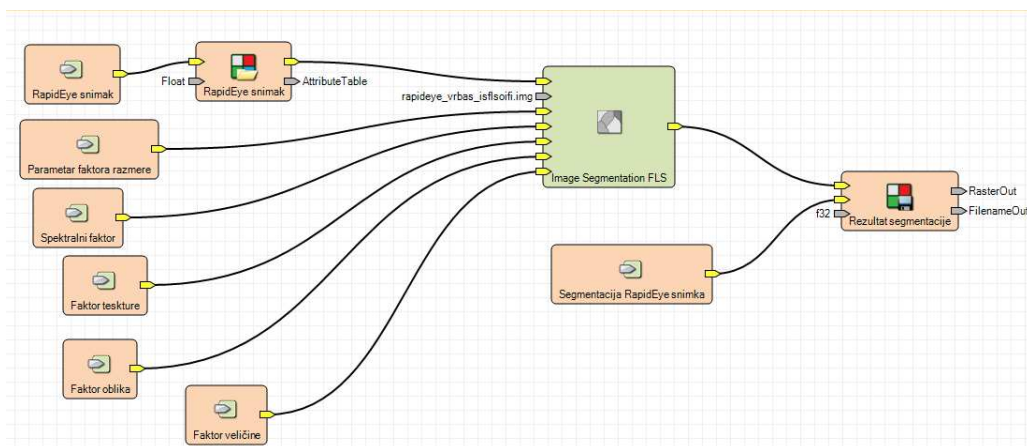
прилогу се налази листинг за наведени процес који је такође публикован на адреси (<http://147.91.174.84/apollo-portal/ApolloPro.aspx>).



Слика 118 Модел за идентификацију водених површина на основу Normalized Difference Water Index-a

5.3.4.3 Модел за Ламбда сегментацију

У оквиру поглавља које представља верификацију модела за идентификовање вегетационих површина, у којима се користе *RapidEye* сателитски снимци, један од основних процеса је Ламбда сегментација, на основу које се врши сегментација снимка на објекте који се користе у класификацији. На слици (Слика 119) је приказан модел за Ламбда сегментацију креиран у *Spatial Modeler*-а, који је такође публикован. Модел који је презетован тражи од корисника да обезбеди улазни снимак и зада тежинске факторе приказане у Табела 5 и Табела 8, који утичу на квалитет сегментације, а након процесирања корисник добија информацију где му се налази растер који представља резултат сегментације.



Слика 119 Модел за Ламбда сегментацију

Овај модел је такође публикован, а у прилогу се налази листинг за наведени процес.

5.4 Разматрања

У оквиру овог поглавља извршена је верификација модела који је презентован у поглављу *Формирање модела класификације*, и приказан на Слика 68 и Слика 69. На основу овог модела креирани су модели верификације за репрезентативне геопросторне

објекте. Креирани су модел за идентификацију зграда, вегетације и водених површина као геопросторних објеката, а они су приказани на сликама 71, 104 и 111.

За потребе верификације модела, коришћени су различити типови података настали на принципима даљинске детекције. Подаци који су коришћени долазе из серије сензора авио и сателитских платформи најновије генерације. За сваки поступак верификације дат је детаљан опис теоријских и практичних аспеката и извршена је оцена тачности. На основу резултата оцене тачности сваког од верификационих модела, може се закључити да је модел успешно верификован.

На крају поглавља презентован је начин дистрибуције и имплементације поједних процеса који су саставни део верификационих модела. Овим је омогућено да модели који су резултат ове дисертације буду доступни свим заинтересованим корисницима употребом наведених веб сервиса.

У прилозима који следе су дате све оцене тачности верификационих модела, подаци о структури сетве коришћени у моделу за класификацију вегетације и описи поједних процеса из верификационих модела у складу са ОГЦ стандардима.

6 Закључак

У оквиру уводног дела дисертације образложени су тема, предмет и оквир истраживања. У уводном делу дат је циљ истраживања, хипотезе и начин решавања постављеног задатка. Предочени су очекивани резултати као и њихов значај и могућности примене и на крају је дат научни допринос истраживању.

Предмет научног истраживања односио се на начине формирања модела који ће уважавати процес класификовања објеката слике настале на принципима даљинске детекције, на начин који је најсличнији људском визуелном начину интерпретације слике. Предмет научног истраживања у оквиру докторске дисертације је решавање проблема и задатака у успостављању модела који на ефикасан начин омогућава класификовање геопросторних објеката на основу објектно оријентисаних метода класификације.

Класификација геопросторних података насталих на принципима даљинске детекције данас се, пре свега, односе на класификацију мултиспектралних снимака и *LIDAR* података, а акценат је на томе да се прво препознају конкретни геопросторни објекти као што су грађевински објекти, пољопривредне парцеле, крошње дрвећа, зелена површина, водена површина или слично.

У складу са тим анализирани су начини класификације геопросторних објеката као и постојећи модели за класификовање конкретних геопросторних објеката. Извршена је анализа начина класификовања геопросторних објеката у зависности од података над којима се врши класификација. Извршена је комплетна анализа и описани су процеси у поступку класификације геопросторних објеката у зависности од карактеристике објеката слике. Уопштени модел за класификацију података даљинске детекције и Модел за дефинисање поступка мапирања геопросторних објеката искоришћен је као увод у проблем класификације геопросторних објеката.

У оквиру дисертације јасно су дефинисани модели који на ефикасан начин омогућавају класификовање геопросторних објеката на основу објектно оријентисаних метода класификације. Предложен је основни модел за идентификацију геопросторних објеката, уз ослонац на објектно оријентисану класификацију, и направљени су модел критеријума класификације геопросторних објеката, модел за избор особина потребних за идентификацију геопросторних објеката од интереса и модел за избор метода сегментације и метода класификације. На основу наведених модела, на крају је формиран један свеобухватан модел објектно оријентисане класификације за идентификацију геопросторних објеката. Предложени модели уважавају све особине интерпретације објеката са слике које користи човек, пре свега: боју (тон), текстуру, величину, облик, шаблон објекта, као и тополошке и метричке карактеристике и особине објекта. Такође,

поред ових, предложени модели уважавају и мерљиве особине објеката, као што су описи идентификованих објеката, мерљивост односа расподеле објеката унутар неких карактеристичних класа објеката или просторна повезаност идентификованих објеката.

Предложени модел је формално специфициран у складу са *ISO* и *OGC* стандардима у области *ГИС*-а, као и на актуелним стандардима класификације геопросторних података добијених применом принципа даљинске детекције. Модел је заснован на стандардним методама класификације који побољшавају интерпретацију геопросторних података, заснован је на стандардним методама објектно оријентисане анализе слике геопросторних података и применљив је над различитим врстама геопросторних података добијених применом принципа даљинске детекције.

На основу предложених модела у оквиру верификације, односно студија случаја предложени су основни модели за идентификацију репрезентативних геопросторних објеката типа Зграде, Вегетација и Водене површине, а све уз ослонац на објектно оријентисану анализу слике. На основу резултата оцене тачности сваког од верификационих модела, може се закључити да је модел успешно верификован.

Предложен модел је реализован је кроз компоненте које се могу користити као проширење стандардног начина класификације геопросторних објеката и конфигурабилан је, чиме се омогућава прилагођавање конкретне имплементације потребама корисника. Сви процеси у моделу креирани су на начин који омогућава њихову дистрибуцију употребом веб сервиса, што омогућава доступност свим врстама корисника.

Допринос докторске дисертације се огледа у предложеном моделу за идентификацију геопросторних објеката уз ослонац на објектно оријентисану класификацију. Модел обезбеђује добру организацију података и корака који су неопходни у идентификацији геопросторних објеката. На овај начин јасно су прецизирани сви кораци који аналитичари морају да предузму у поступку идентификације геопросторних објеката. Предложени модели доприносе ефикасности у поступку класификације и на јасан начин говоре било ком аналитичару који подаци му требају ако жели да идентификује неки геопросторни објекат и које кораке треба да предузме како би добио задовољавајуће резултате.

Као даљи правац намеће се имплементација, тестирање и пуштање у рад свих процеса дефинисаних у оквиру модела кроз сервисе, како би се поступак идентификације изместио на особе које не морају да познају материју већ да само имају податке и желе резултат идентификације.

Истраживања ће, након имплементације већег броја сервиса, такође бити усмерена ка увођењу семантике у сервисе чиме би се обезбедио аутоматизам у претраживању сервиса за идентификацију геопросторних објеката.

Литература

- [1] Т. Е. Е. А. (ЕЕА), "CORINE Land Cover," [Online]. Доступно на: <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>. [Последњи приступ 01 03 2015].
- [2] Т. Lillesand, R. Kiefer and J. Chipman, Remote sensing and Image interpretation, Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA: Wiley, 2004.
- [3] J. B. Campbell and R. H. Wynne, Introduction to Remote Sensing, New York; London: THE GUILFORD PRESS, 2011.
- [4] N. E. S. Service, "THE TIROS-N/NOAA A-G SATELLITE SERIES," [Online]. Доступно на: <http://docs.lib.noaa.gov/rescue/TIROS/QC8795U4no95.pdf>. [Последњи приступ 20 01 2015].
- [5] Landsat 7 Science Data Users Handbook, National Aeronautics and Space Administration.
- [6] "THE BLUE MARBLE," [Online]. Доступно на: <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=57723>. [Последњи приступ 25 05 2015].
- [7] Fundamentals of Remote Sensing, A Canada Centre for Remote Sensing Remote Sensing Tutorial.
- [8] D. Globe, "DG_GeoEye1," [Online]. Доступно на: https://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_GeoEye1.pdf. [Последњи приступ 15 04 2015].
- [9] "IKONOS Satellite Imagery - Apollo Mapping _ The Image Hunters _," Apollo Mapping , [Online]. Доступно на: <https://apollomapping.com/imagery/high-resolution-imagery/ikonos>. [Последњи приступ 15 04 2015].
- [10] D. Globe, "QuickBird-DS-QB-Prod," [Online]. Доступно на: <https://www.digitalglobe.com/sites/default/files/QuickBird-DS-QB-Prod.pdf>. [Последњи приступ 15 04 2015].
- [11] D. Globe, "DG_WorldView2_DS_PROD," [Online]. Доступно на: https://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_WorldView2_DS_PROD.pdf. [Последњи приступ 01 04 2015].
- [12] A. Elsharkawy, M. Elhabiby and N. El-Sheimy, "A Modified Parallelepiped-Like Method for Supervised Classification for High Resolution Satellite Imagery," in *CGU Annual*

Scientific Meeting, Banff, Calgary, 2011.

- [13] J. L. MOIGNE, N. S. NETANYAHU and R. D. EASTMAN, *IMAGE REGISTRATION FOR REMOTE SENSING*, Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- [14] G. Miro, B. Ivana, J. Dušan and P. Dušan, "The Analysis Of Remote Sensing Technology And The Application Of Sattelite Imagery Of Worldview-2 Satellite Platform: Detection, Identification And Assessment Of Vegetation Quality In The Area Of The Special Nature Reserve Upper Danube," *International Academic And Professional Conference "Architecture And Urban Planning, Civil Engineering, Geodesy - Past, Present, Future"*, vol. 1, no. 1, pp. 767-778, 2011.
- [15] G. Miro, P. Dušan, S. Dubravka, R. Aleksandra, J. Dušan, P. Vladimir, V. Milan and R. Aleksandar, "Environmental Data in Serbian Spatial Data Infrastructure - Geoportal of Ecology," *Journal of Environmental Protection and Ecology*, vol. 13, no. 3A, pp. 1990-1997, 2012.
- [16] J. Dušan, G. Miro, B. Ivana and P. Vladimir, "Object Based Image Analysis In Forestry Change Detection," in *Ieee International Symposium On Intelligent Systems And Informatics (Sisy)*, Subotica, 2010.
- [17] I. Luković, V. Pajić, S. Popov and D. Jovanović, "A Classification of Surface Water Bodies According To WFD by Remote Sensing Methods," in *International Conference Planning and Management of Water Resources Systems*, Novi Sad, 2008.
- [18] J. Dušan, G. Miro and P. Đorđe, "Praćenje Promena Vodenih Površina Za Područje Vojvodine Korišćenjem Landsat ETM+ i TM Satelitskih Snimaka," *Vodoprivreda*, vol. 39, no. 229-230, pp. 337-340, 2007.
- [19] G. Miro, J. Dušan and S. Filip, "Corn Yield Estimation In Serbia Using Modis 13Q1 Product," in *Third International Conference On Remote Sensing And Geoinformation Of Environment "Remote Sensing And Geo-Information."*, Paphos , 2015.
- [20] J. Dušan, M. Govedarica and D. Rašić, "Remote Sensing As A Trend In Agriculture," *Research Journal Of Agricultural Science*, vol. 46, no. 3, pp. 32-37, 2014.
- [21] J. Dušan, Š. Srđan, G. Miro and B. Ivana, "Mapping Agricultural Crops Using Remote Sensing Techniques," *Land, Usage And Protection "Application Of Gis Technology In Protection And Usage Of Agricultural Land"*, vol. 1, no. 1, pp. 102-106, 2011.
- [22] J. Dušan, S. Filip, G. Miro and M. Branko, "Crop Yield Estimation in 2014 for Vojvodin Using Methods Of Remote Sensing," *Field and Vegetable Crops Research*, vol. 51, no. 3,

pp. 145-153, 2014.

- [23] J. Dušan, G. Miro, S. Filip, S. Dubravka and R. Aleksandar, "Spatial Analysis Of High-Resolution Urban Thermal Patterns In Vojvodina, Serbia," *Geocarto International* , vol. 30, no. 3-4, pp. 483-505, 2014.
- [24] B. Ivana, G. Miro and J. Dušan, "The Application of Remote Sensing Technology In Spatial Planning - A Case Study "Spatial Plan Of The Protected Property, Special Nature Reserve Upper Danube"," in *Srpski Geodetski Kongres "Pet Tematskih Celina: Gns Tehnologije, Inspire, Procena i Upravljanje Nepokretnostima, 3D Katastar, Daljinska Detekcija U Funkciji Regionalnog Razvoja"* , Beograd, 2011.
- [25] J. Dušan, G. Miro and P. Vladimir, "Spatial Data Infrastructure And Standards In Geographical Information Systems," *International Academic And Professional Conference "Architecture And Urban Planning, Civil Engineering, Geodesy - Past, Present, Future"*, vol. 1, no. 1, pp. 721-733, 2011.
- [26] B. Ivana, G. Miro, J. Dušan, P. Vladimir and R. Aleksandar, "GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF TERRAIN SLOPE DETECTION IN THE AREA OF FRUSKA GORA WITH REFERENCE TO POTENTIAL DEVELOPMENT OF SLOPE PROCESSES," *Glasnik Srpskog Geografskog Društva*, vol. 92, no. 4, pp. 51-62, 2012.
- [27] J. Dušan, M. Govedarica, D. Sladić and A. Radulović, "Geoportal Of The Republic Of Srpska," *International Conference On Methodologies, Technologies And Tools Enabling E-Government Metteg12*, vol. 1, pp. 23-33, 2012.
- [28] J. Dušan, G. Miro and B. Ivana, "Presenting And Comparing The Object Based Image Analysis And Standard Image Analysis For Change Detection Of Forest Areas, Using Low-Resolution Satellite Imagery," *Sgem*, vol. 2, no. 11, pp. 329-336, 2011.
- [29] J. Dušan, G. Miro, P. Vladimir, S. Dubravka and P. Srđan, "Monitoring Land-Use Change Area of Vojvodina, Serbia Using Landsat ETM+ and TM Data," in *Intergeo East Conference*, Belgrade, 2006.
- [30] J. Dušan, G. Miro, S. Filip and S. Dubravka, "Open Satellite Data For The Area Of Serbia," in *International Conference On Information Science And Technology (Icist 2015) "Special Session On: Open Data And Geographical Information System Applications (Odagis)"* , Kopaonik, 2015.
- [31] T. Whiteside and W. Ahmad, "A comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for mapping land cover in northern Australia," *Proceedings of*

SSC2005 Spatial intelligence, innovation and praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute, September 2005.

- [32] H. Matinfar, F. Sarmadian, S. A. Panah and R. Heck, "Comparisons of Object-Oriented and Pixel-Based Classification of Land Use/Land Cover Types Based on Landsat7, Etm+ Spectral Bands (Case Study: Arid Region of Iran)," *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, vol. 2, no. 4, pp. 448-456, 2007.
- [33] Y. Gao and J. Mas, "A comparison of the performance of pixel-based and object-based classifications over images with various spatial resolutions," in *GEOBIA 2008 - Pixels, Objects, Intelligence, GEOgraphic Object Based Image Analysis for the 21st Century*, ISPRS Conference 5-8 Aug Calgary, Canada.
- [34] D. C. Duro, S. E. F. and M. G. Dubé, "A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery," *Remote Sensing of Environment*, vol. 118, p. 259–272, 2012.
- [35] N. R. Jr. and J. R.C. Weih, "A Comparison of Pixel-based versus Object-based Land Use/Land Cover Classification Methodologies," *Journal of the Arkansas Academy of Science*, vol. 63, 2009.
- [36] G. Mitri and I. Gitas, "The development of an object-oriented classification model for operational burned area mapping on the Mediterranean island of Thasos using LANDSAT TM images," in *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Millpress, Rotterdam, 2002.
- [37] M. N. Giakoumakis, I. Z. Gitas and J. San-Miguel, "Object-oriented classification modelling for fuel type mapping in the Mediterranean, using LANDSAT TM and IKONOS imagery preliminary results, in Viegas," in *IV International Conference on Forest Fire Research: Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Millpress, Rotterdam, 2002.
- [38] S. W. Myint, P. Gober, A. Brazel, S. Grossman-Clarke and Q. Weng, "Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery," *Remote Sensing of Environment*, 2011.
- [39] N. Kamagata, Y. Akamatsu, M. Mori, Y. Q. Li, Y. Hoshino and K. Hara, "Comparison of pixel-based and object-based classifications of high resolution satellite data in urban fringe areas," [Online]. Доступно на: <http://www.ecognition.com>. [Последњи приступ 10 10 2014].
- [40] D. A. and H. R. J., "Comparison of object-based and pixel based infrared airborne image classification methods using DEM thematic layer," *Journal of Geography and Regional*

Planning, vol. 2, no. 4, pp. 086-096, April, 2009.

- [41] C. Cleve, M. Kelly, F. R. Kearns and M. Morit, "Classification of the wildland–urban interface: A comparison of pixel- and object-based classifications using high-resolution aerial photography," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 32, p. 317–326, 2008.
- [42] R. Attarzadeh and M. Momeni, "Object-Based Building Extraction from High Resolution Satellite Imagery," in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXII ISPRS Congress, Volume XXXIX-B4*, Melbourne, Australia, 2012.
- [43] T. Blaschke, S. Lang and G. J. Hay, *Object-Based Image Analysis, Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.
- [44] H. J. H. Kux and E. H. G. Araújo, "Object-based Image Analysis using QuickBird satellite images and GIS data, case study Belo Horizonte (Brazil)," in *Object-Based Image Analysis, Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag , 2008, pp. 571-587.
- [45] M. Förster and B. Kleinschmit, "Object-based classification of QuickBird data using ancillary information for the detection of forest types and NATURA 2000 habitats," in *Object-Based Image Analysis, Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag , 2008, pp. 275-290.
- [46] R. A. A. Nobrega, C. G. O'Hara and J. A. Quintanilha, "An object-based approach to detect road features for informal settlements near Sao Paulo, Brazil," in *Object-Based Image Analysis, Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2008, pp. 589-607.
- [47] A. Elsharkawy, M. Elhabiby and N. El-Sheimy, "New Combined Pixel/Object-Based Technique For Efficient Urban Classification Using Worldview-2 Data," in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B7*, Melbourne, Australia, 2012.
- [48] J. Jensen, *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*, Upper Saddle River: NJ: Prentice Hall, Third Edition., 2005.
- [49] L. S, *Image Objects and Landscape Objects – Interpretation, Hierarchical Representation and Significance*, 2005.

- [50] J. R. Jensen, *Remote Sensing of the Environment An Earth Resource Perspective*, London: PEARSON Prentice Hall, 2007.
- [51] Tutorial, Definiens, 2004.
- [52] D. Jovanović, *Poređenje objektno orijentisane klasifikacije i standardnih tehnika analize slike u detekciji promena šumskih površina*, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, 2010.
- [53] B. T. and S. J, "What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS," *GIS, Heidelberg: Huthig GmbH&Co*, vol. 6, pp. 12-17.
- [54] B. T, "Object-based contextual image classification built on image segmentation," *IEEE proceedings*, 2003.
- [55] H. G, T. Blaschke, D. Marceau and A. Bouchard, " A comparison of three imageobject methods for the multiscale analysis of landscape structure.," *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 57, pp. 327-345, 2003.
- [56] B. U, P. Hofmann, G. Willhauck, I. Lingenfelder and M. Heynen, "Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information.," *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* , vol. 58, pp. 239-258, 2004.
- [57] T. Documentation, eCognition Developer 8.9, User Guide, München, Germany, 2013.
- [58] S. Horowitz and T. Pavlidis, "Picture Segmentation by a Directed Split and Merge Procedure," *Proc. ICPR*, vol. 468, pp. 424-433, 1974.
- [59] D. M. Berbar, *Histogram-Based Image Segmentation*, Al Riyadh, Saudi Arabia: Faculty of Computer Sciences and Information, 2012.
- [60] M. Baatz and A. Schape, "Multiresolution Segmentation: An Optimization Approach for High Quality Multi-scale Image Segmantion," *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*, vol. 12, pp. 12-23, 2000.
- [61] M. Baatz, U. Benz, S. Dehghani, M. Heymen, A. Holtje, P. Hofmann, I. Ligenfelder, M. Mimler, .. M. Sohlbach, M. Weber and G. Willhauck, *eCognition User Guide.*, Munich: Definiens Imaging GmbH, 2001.
- [62] T. G. GmbH, *Trimble eCognition® Developer 8.9 Reference Book*, Arnulfstrasse 126, D-80636 München, Germany: Trimble, 2013.
- [63] T. Blaschke, S. Lang and G. Hay, *Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, Springer Science & Business Media,

2008.

- [64] L. S, F. Albrecht and T. Blaschke, OBIA-Tutorial – Introduction to Objectbased Image Analysis, Salzburg, 2006.
- [65] Bizagi, "Bizagi Process Modeler User's Guide," Bizagi , [Online]. Доступно на: <http://help.bizagi.com/processmodeler/en/>. [Последњи приступ 08 05 2015].
- [66] O. M. Group, "BPMN Specification - Business Process Model and Notation," Object Management Group, [Online]. Доступно на: <http://www.bpmn.org/>. [Последњи приступ 06 06 2015].
- [67] G. Marchisio, "An Overview of the WorldView-3 Sensor," DigitalGlobe, Geneve, 2014.
- [68] "Modis Web," [Online]. Доступно на: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>. [Последњи приступ 31 05 2015].
- [69] "MERIS - Earth Online - ESA," ESA, [Online]. Доступно на: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat/instruments/meris>. [Последњи приступ 31 5 2015].
- [70] "Meteosat — EUMETSAT," EUMETSAT, [Online]. Доступно на: <http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Meteosat/index.html>. [Последњи приступ 31 05 2015].
- [71] "Landsat," USGS, [Online]. Доступно на: <http://landsat.usgs.gov/>. [Последњи приступ 31 05 2015].
- [72] "Airbus Defence and Space _ Geo-Intelligence - Satellite Imagery & Maps, Geospatial Services, Geoinformation Products, Elevation data & 3D," [Online]. Доступно на: <http://www.geo-airbusds.com/>. [Последњи приступ 31 05 2015].
- [73] "CBERS - China-Brazil Earth Resources Satellite," [Online]. Доступно на: <http://www.cbears.inpe.br/ingles/>. [Последњи приступ 31 05 2015].
- [74] "BlackBridge __ Delivering the World," BlackBridge, [Online]. Доступно на: <http://blackbridge.com/rapideye/>. [Последњи приступ 02 06 2015].
- [75] "High Resolution Aerial Satellite Images & Photos _ DigitalGlobe," DigitalGlobe, [Online]. Доступно на: <https://www.digitalglobe.com/resources/case-studies>. [Последњи приступ 02 06 2015].

- [76] "Pléiades Satellite Imagery _ Airbus Defence and Space," Pléiades, [Online]. Доступно на: <http://www.geo-airbusds.com/pleiades/>. [Последњи приступ 02 06 2015].
- [77] R. Congalton and K. Green, *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*, Second Edition, Boca Rato: CRC Press., 2009.
- [78] G. Foody, "Status of land cover classification accuracy assessment.," *Remote Sensing of Environment*, no. 80, pp. 185-201, 2002.
- [79] W. Li and Q. Guo, "New Accuracy Assessment Method for One-Class Remote Sensing Classification," *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, vol. 52, no. 8, 2014.
- [80] M. Moller, L. Lymburner and M. Volk, "The comparison index: A tool for assessing the accuracy of image segmentation.," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 9, p. 311–321, 2007.
- [81] J. R. Anderson, E. E. Hardy, J. T. Roach and R. E. Witner., "A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data.," *USGS Professional Paper*, 1976.
- [82] M. Story and R. Congalton, "Accuracy assessment: A user's perspective," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 52, no. 3, p. 397–399, 1986.
- [83] Y. Bishop, S. Fienberg and P. Holland., *Discrete Multivariate Analysis: Theory and Practice*, MIT Press, Cambridge, , 1975.
- [84] A. P. F. O. USDA Farm Service Agency, "NAIP Imagery," National Agriculture Imagery Program, [Online]. Доступно на: <http://www.fsa.usda.gov/FSA/apfoapp?area=home&subject=prog&topic=nai>. [Последњи приступ 18 06 2015].
- [85] S. P. A. W. a. E. W. Robert Fisher, "Spatial Filters - Gaussian Smoothing," *HYPERMEDIA IMAGE PROCESSING REFERENCE*, [Online]. Доступно на: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>. [Последњи приступ 06 06 2015].
- [86] Z. L.W. and T. C.R., "Quantitative analysis of land surface topography," *Earth surface Processes and Landforms* , vol. 12, pp. 47-56 , 1987.
- [87] B. G.V.G. and J. Rokne, "A practical approach for estimating the red edge position of plant leaf reflectance," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 26, pp. 503-521, 2005.
- [88] В. институт, Упутство за израду дигиталне топографске карте размере 1:25 000,

Београд: Војногеографски институт.

- [89] P. S. Frazier and K. J. Page, "Water Body Detection and Delineation with Landsat TM Data," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 66, no. 12, pp. 1461-1467, 2000.
- [90] DigitalGlobe, THE BENEFITS OF THE EIGHT SPECTRAL BANDS OF WORLDVIEW-2, London: DigitalGlobe, 2010.
- [91] D. o. t. I. U. G. Survey, Landsat 8 Data Users Handbook, Sioux Falls, South Dakota: USGS, 2015.
- [92] B.-c. Gao, "NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space," *Remote Sensing of Environment*, vol. 58, no. 3, pp. 257-266, 1996.
- [93] "Erdas Imagine Overview," Hexagon Geospatial, [Online]. Доступно на: <http://www.hexagongeospatial.com/products/remote-sensing/erdas-imagine/overview>. [Последњи приступ 06 06 2015].
- [94] OGC, "Web Processing Service _ OGC," OGC, [Online]. Доступно на: <http://www.opengeospatial.org/standards/wps>. [Последњи приступ 28 06 2015].
- [95] O. G. C. Inc., OpenGIS® Web Processing Service, Open Geospatial Consortium, 2007.
- [96] D. Jovanović and M. Đurković, "ERDAS APOLLO," [Online]. Доступно на: <http://intergraph.vekom.com/proizvodi/ea.html>. [Последњи приступ 01 06 2015].
- [97] J. Radoux, R. Bogaert, D. Fasbender and P. Defourny, "Thematic accuracy assessment of geographic object-based image classification," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 25, no. 6, pp. 895-911, 2010.
- [98] M. G. MacLean and R. G. Congalton, "MAP ACCURACY ASSESSMENT ISSUES WHEN USING AN OBJECT-ORIENTED APPROACH.," in *ASPRS 2012 Annual Conference*, Sacramento, 2012.

Прилози

Оцена тачности Суботица – мале зграде

CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

Image File : D:/Nastava/DROPBOX NASTAVA/Dropbox/Dnevne
stvari/DR/Snimak/Subotica/mali_objekti/ecognition/sb_recode.img

User Name : Dule

Date : Thu Jun 11 05:23:49 2015

ERROR MATRIX

Classified Data Background		Reference Data	
		Class 1	Row Total
Background	0	0	0
Class 1	16	240	256
Column Total	16	240	256

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Class 0	16	0	0	---	---
Class 1	240	256	240	100.00%	93.75%
Totals	256	256	240		

Overall Classification Accuracy = 93.75%

----- End of Accuracy Totals -----

Оцена тачности Суботица – велике зграде

CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

Image File : D:/Nastava/DROPBOX NASTAVA/Dropbox/Dnevne
stvari/DR/Snimak/Subotica/mali_objekti/ecognition/sb_recode.img
User Name : Dule
Date : Thu Jun 11 11:46:13 2015

ERROR MATRIX

Classified Data	Reference Data	
	Background	Class 1
Background	418	8
Class 1	1	73
Column Total	419	81

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Class 0	419	426	418	---	---
Class 1	81	74	73	90.12%	98.65%
Totals	500	500	491		

Overall Classification Accuracy = 98.20%

----- End of Accuracy Totals -----

Оцена тачности Славија

CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

Image File : d:/nastava/dropbox nastava/dropbox/dnevne
stvari/dr/snimak/slavija/results/exportobjects/slavija_sve_ceomodelv1_recode.img
User Name : Dule
Date : Tue Jun 23 11:24:50 2015

ERROR MATRIX

Classified Data	Background	Reference Data	
		Class 1	Row Total
Background	0	70	70
Class 1	8	401	409
Column Total	8	471	479

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Class 0	8	70	0	---	---
Class 1	471	409	401	85.14%	98.04%
Totals	479	479	401		

Overall Classification Accuracy = 83.72%

----- End of Accuracy Totals -----

Оцена тачности део Славије

CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

Image File : d:/nastava/dropbox nastava/dropbox/dnevne
 stvari/dr/snimak/slavija/results/exportobjects/slavijadoleceomodelv1_recode.img
 User Name : Dule
 Date : Tue Jun 23 10:47:41 2015

ERROR MATRIX

Classified Data	Background	Reference Data	
		Class 1	Row Total
Background	0	26	26

Class 1	0	205	205
Column Total	0	231	231

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Class 0	0	26	0	---	---
Class 1	231	205	205	88.74%	100.00%
Totals	231	231	205		

Overall Classification Accuracy = 88.74%

----- End of Accuracy Totals -----

Оцена тачности Лука Београд

CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

Image File : D:/Nastava/DROPBOX NASTAVA/Dropbox/Dnevne stvari/DR/Snimak/luka/luka2/luka2_tema_ocena.img

User Name : Dule

Date : Tue Jun 23 18:45:21 2015

ERROR MATRIX

Classified Data	Background	Reference Data	
		Class 1	Row Total
Background	0	8	8
Class 1	0	143	143
Column Total	0	151	151

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
------------	------------------	-------------------	----------------	--------------------	----------------

Class 0	0	8	0	---	---
Class 1	151	143	143	94.70%	100.00%
Totals	151	151	143		

Overall Classification Accuracy = 94.70%

----- End of Accuracy Totals -----

Оцена тачности Национални парк Фрушка гора

CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

Image File : d:/posao/dr/objective/fg/rezultat1.img

User Name : Dule

Date : Fri Jun 26 11:12:24 2015

ERROR MATRIX

Classified Data	Background	Reference Data		Row Total
		Class 1		
Background	99	3		102
Class 1	6	148		154
Column Total	105	151		256

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Class 0	105	102	99	---	---
Class 1	151	154	148	98.01%	96.10%
Totals	256	256	247		

Overall Classification Accuracy = 96.48%

----- End of Accuracy Totals -----

Оцена тачности водене површине *WV2* снимак

CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

Image File : d:/nastava/dropbox nastava/dropbox/dnevne stvari/dr/snimak/bg_reka/reka_tma.img
 User Name : Dule
 Date : Mon Jun 29 15:11:45 2015

ERROR MATRIX

Classified Data	Background	Reference Data	
		Class 1	Row Total
Background	1	2	3
Class 1	0	182	182
Column Total	1	184	185

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Class 0	1	3	1	---	---
Class 1	184	182	182	98.91%	100.00%
Totals	185	185	183		

Overall Classification Accuracy = 98.92%

----- End of Accuracy Totals -----

Оцена тачности водене површине *Landsat 8* снимак

CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

Image File : d:/nastava/dropbox nastava/dropbox/dnevne stvari/dr/snimak/bg_reka/landsat_reka222.img
 User Name : Dule
 Date : Mon Jun 29 16:04:13 2015

ERROR MATRIX

Classified Data	Background	Reference Data	
		Class 1	Row Total

Background	0	27	27
Class 1	0	225	225
Column Total	0	252	252

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Class 0	0	27	0	---	---
Class 1	252	225	225	89.29%	100.00%
Totals	252	252	225		

Overall Classification Accuracy = 89.29%

----- End of Accuracy Totals -----

Опис процеса модела за уклањање облака са *Landsat 8* снимака

```
<ProcessDescription xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1" xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0"
xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0" xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
storeSupported="true" statusSupported="true" wps:processVersion="1">
  <ows:Identifier>IMAGINE SMS:IMAGINE.Model_za_uklanjanje_oblaka_sa_L8_snimaka</ows:Identifier>
  <ows:Title>Model_za_uklanjanje_oblaka_sa_L8_snimaka</ows:Title>
  <ows:Abstract>Model za uklanjanje oblaka sa Landsat 8 snimaka. Potrebno je izabrati snimak sa multispektralnim opsezima i
QA snimak koji služi za kreiranje maske.</ows:Abstract>
  <ows:Metadata xlink:role="urn:ogc:def:role:isms:1.0:ProcessCategory" xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0" xlink:title="Category" xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1"
xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0">
    <isms:Category xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0"
xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1" xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0">General</isms:Category>
  </ows:Metadata>
  <DataInputs>
    <Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <ows:Identifier>Landsat 8 snimak</ows:Identifier>
      <ows:Title>Landsat 8 snimak</ows:Title>
      <ows:Abstract>Landsat 8 snimak koji ima oblake</ows:Abstract>
      <ComplexData>
        <Default>
          <Format>
            <MimeType>image/img</MimeType>
          </Format>
        </Default>
        <Supported>
          <Format>
            <MimeType>image/img</MimeType>
          </Format>
          <Format>
            <MimeType>image/tiff</MimeType>
          </Format>
        </Supported>
      </ComplexData>
    </Input>
    <Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <ows:Identifier>Odgovarajuci snimak sa oblacima</ows:Identifier>
      <ows:Title>Odgovarajuci snimak sa oblacima</ows:Title>
      <ows:Abstract>Odgovarajuci snimak sa oblacima</ows:Abstract>
      <ComplexData>
        <Default>
          <Format>
            <MimeType>image/img</MimeType>
          </Format>
        </Default>
        <Supported>
          <Format>
            <MimeType>image/img</MimeType>
          </Format>
          <Format>
            <MimeType>image/tiff</MimeType>
          </Format>
        </Supported>
      </ComplexData>
    </Input>
  </DataInputs>
  <ProcessOutputs>
```

```

<Output>
  <ows:Identifier>izlazni snimak</ows:Identifier>
  <ows:Title>izlazni snimak</ows:Title>
  <StructuredOutput dataType="application/x-data-view">
    <Item>
      <ows:Identifier>izlazni snimak</ows:Identifier>
      <ows:Title>izlazni snimak</ows:Title>
      <ComplexOutput>
        <Default>
          <Format>
            <MimeType>image/img</MimeType>
          </Format>
        </Default>
        <Supported>
          <Format>
            <MimeType>image/img</MimeType>
          </Format>
          <Format>
            <MimeType>image/tiff</MimeType>
          </Format>
        </Supported>
      </ComplexOutput>
    </Item>
    <Item>
      <ows:Identifier>izlazni snimak1</ows:Identifier>
      <ows:Title>Dataset</ows:Title>
      <StructuredOutput dataType="application/x-eaim-dataset-reference">
        <Item>
          <ows:Identifier>url</ows:Identifier>
          <ows:Title>Transient Dataset URL</ows:Title>
          <LiteralOutput>
            <ows:DataType>string</ows:DataType>
          </LiteralOutput>
        </Item>
        <Item>
          <ows:Identifier>name</ows:Identifier>
          <ows:Title>Transient Dataset Name</ows:Title>
          <LiteralOutput>
            <ows:DataType>string</ows:DataType>
          </LiteralOutput>
        </Item>
        <Item>
          <ows:Identifier>type</ows:Identifier>
          <ows:Title>Transient Dataset Service Type</ows:Title>
          <LiteralOutput>
            <ows:DataType>string</ows:DataType>
          </LiteralOutput>
        </Item>
        <Item>
          <ows:Identifier>fileUri</ows:Identifier>
          <ows:Title>Path Of File On FileSystem</ows:Title>
          <LiteralOutput>
            <ows:DataType>string</ows:DataType>
          </LiteralOutput>
        </Item>
      </StructuredOutput>
    </Item>
  </StructuredOutput>
</Output>
</ProcessOutputs>
</ProcessDescription>

```

Опис процеса модела за рачунање ТОА над Landsat 8 снимцима

```
<ProcessDescription xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1" xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0"
xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0" xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
storeSupported="true" statusSupported="true" wps:processVersion="1">
  <ows:Identifier>IMAGINE SMS:IMAGINE.Model_za_racunanje_TOA_L8_OLI_MSI</ows:Identifier>
  <ows:Title>Model_za_racunanje_TOA_L8_OLI_MSI</ows:Title>
  <ows:Abstract>Model za racunanje top of atmosphere reflectance Landsat 8 OLI MSI snimaka</ows:Abstract>
  <ows:Metadata xlink:role="urn:ogc:def:role:iSMS:1.0:ProcessCategory" xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0" xlink:title="Category" xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1"
xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0">
  <isms:Category xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0"
xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1" xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0">General</isms:Category>
</ows:Metadata>
  <DataInputs>
  <Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
    <ows:Identifier>L8 OLI MSI</ows:Identifier>
    <ows:Title>L8 OLI MSI</ows:Title>
    <ows:Abstract>Multispektralni Landsat 8 OLI snimak</ows:Abstract>
    <ows:Metadata>
      <isms:Constraint xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0"
xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1" xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0">
        <Query typeNames="Coverage" xmlns="http://www.opengis.net/cat/csw/2.0.2">
          <ElementSetName typeNames="Coverage">full</ElementSetName>
          <Constraint version="1.0.0">
            <ogc:Filter xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc">
              <ogc:Or>
                <ogc:Or>
                  <ogc:PropertyIsLike wildCard="" singleChar="_" escape="@"
matchCase="false">
                    <ogc:PropertyName>/Coverage/Name/LocalizedString/@value</ogc:PropertyName>
                    <ogc:Literal>% landsat%</ogc:Literal>
                  </ogc:PropertyIsLike>
                  <ogc:PropertyIsLike wildCard="" singleChar="_" escape="@" matchCase="false">
                    <ogc:PropertyName>/Coverage/Description/LocalizedString/@value</ogc:PropertyName>
                    <ogc:Literal>% landsat%</ogc:Literal>
                  </ogc:PropertyIsLike>
                </ogc:Or>
                <ogc:PropertyIsLike wildCard="" singleChar="_" escape="@" matchCase="false">
                    <ogc:PropertyName>/Coverage/Slot[@name='Keywords']/ValueList/Value[1]</ogc:PropertyName>
                    <ogc:Literal>% landsat%</ogc:Literal>
                  </ogc:PropertyIsLike>
                </ogc:Or>
                <ogc:Or>
                  <ogc:PropertyIsLike wildCard="" singleChar="_" escape="@"
matchCase="false">
                    <ogc:PropertyName>/Coverage/Name/LocalizedString/@value</ogc:PropertyName>
                    <ogc:Literal>% multi-spectral%</ogc:Literal>
                  </ogc:PropertyIsLike>
                  <ogc:PropertyIsLike wildCard="" singleChar="_" escape="@" matchCase="false">
                    <ogc:PropertyName>/Coverage/Description/LocalizedString/@value</ogc:PropertyName>
                    <ogc:Literal>% multi-spectral%</ogc:Literal>
                  </ogc:PropertyIsLike>
                </ogc:Or>
                <ogc:PropertyIsLike wildCard="" singleChar="_" escape="@" matchCase="false">
                    <ogc:PropertyName>/Coverage/Slot[@name='Keywords']/ValueList/Value[1]</ogc:PropertyName>
                    <ogc:Literal>% multi-spectral%</ogc:Literal>
                  </ogc:PropertyIsLike>
                </ogc:Or>
              </ogc:Filter>
            </Constraint>
          </Query>
        </ows:Metadata>
      </Input>
    </DataInputs>
  </ProcessDescription>
```

```

</isrms:Constraint>
</ows:Metadata>
<ComplexData>
  <Default>
    <Format>
      <MimeType>image/img</MimeType>
    </Format>
  </Default>
  <Supported>
    <Format>
      <MimeType>image/img</MimeType>
    </Format>
    <Format>
      <MimeType>image/tiff</MimeType>
    </Format>
  </Supported>
</ComplexData>
</Input>
<Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
  <ows:Identifier>Parametar REFL_MULT_BAND</ows:Identifier>
  <ows:Title>Parametar REFL_MULT_BAND</ows:Title>
  <ows:Abstract>Molimo Vas unesite parametar REFLECTANCE_MULT_BAND za ovaj snimak. Podatak se nalazi u
metapodacima snimka.</ows:Abstract>
  <LiteralData>
    <ows:DataType>double</ows:DataType>
    <ows:AnyValue/>
    <DefaultValue>2.0000000000000002e-005</DefaultValue>
  </LiteralData>
</Input>
<Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
  <ows:Identifier>Parametar REFL_ADD_BAND</ows:Identifier>
  <ows:Title>Parametar REFL_ADD_BAND</ows:Title>
  <ows:Abstract>Molimo Vas unesite parametar REFLECTANCE_ADD_BAND za ovaj snimak. Podatak se nalazi u
metapodacima snimka.</ows:Abstract>
  <LiteralData>
    <ows:DataType>double</ows:DataType>
    <ows:AnyValue/>
    <DefaultValue>-0.10000000000000001</DefaultValue>
  </LiteralData>
</Input>
<Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
  <ows:Identifier>Parametar Ugao Sunca</ows:Identifier>
  <ows:Title>Parametar Ugao Sunca</ows:Title>
  <ows:Abstract>Molimo Vas unesite parametar ugla sunca za ovaj snimak. Podatak se nalazi u
metapodacima
snimka.</ows:Abstract>
  <LiteralData>
    <ows:DataType>double</ows:DataType>
    <ows:AnyValue/>
    <DefaultValue>42.245199999999997</DefaultValue>
  </LiteralData>
</Input>
</DataInputs>
<ProcessOutputs>
  <Output>
    <ows:Identifier>Naziv izlaznog fajla</ows:Identifier>
    <ows:Title>Naziv izlaznog fajla</ows:Title>
    <ows:Abstract>Odredite izlaz</ows:Abstract>
    <StructuredOutput dataType="application/x-data-view">
      <Item>
        <ows:Identifier>Naziv izlaznog fajla</ows:Identifier>
        <ows:Title>Naziv izlaznog fajla</ows:Title>
        <ows:Abstract>Odredite izlaz</ows:Abstract>

```

```

<ComplexOutput>
  <Default>
    <Format>
      <MimeType>image/img</MimeType>
    </Format>
  </Default>
  <Supported>
    <Format>
      <MimeType>image/img</MimeType>
    </Format>
    <Format>
      <MimeType>image/tiff</MimeType>
    </Format>
  </Supported>
</ComplexOutput>
</Item>
<Item>
  <ows:Identifier>Naziv izlaznog fajla</ows:Identifier>
  <ows:Title>Dataset</ows:Title>
  <StructuredOutput dataType="application/x-eaim-dataset-reference">
    <Item>
      <ows:Identifier>url</ows:Identifier>
      <ows:Title>Transient Dataset URL</ows:Title>
      <LiteralOutput>
        <ows:DataType>string</ows:DataType>
      </LiteralOutput>
    </Item>
    <Item>
      <ows:Identifier>name</ows:Identifier>
      <ows:Title>Transient Dataset Name</ows:Title>
      <LiteralOutput>
        <ows:DataType>string</ows:DataType>
      </LiteralOutput>
    </Item>
    <Item>
      <ows:Identifier>type</ows:Identifier>
      <ows:Title>Transient Dataset Service Type</ows:Title>
      <LiteralOutput>
        <ows:DataType>string</ows:DataType>
      </LiteralOutput>
    </Item>
    <Item>
      <ows:Identifier>fileUri</ows:Identifier>
      <ows:Title>Path Of File On FileSystem</ows:Title>
      <LiteralOutput>
        <ows:DataType>string</ows:DataType>
      </LiteralOutput>
    </Item>
  </StructuredOutput>
</Item>
</StructuredOutput>
</Output>
</ProcessOutputs>
</ProcessDescription>

```

Опис процеса модела за детекцију водених површина над *Landsat 8* снимцима

```

<ProcessDescription xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1" xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0"
xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0" xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0"

```

```

xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
storeSupported="true" statusSupported="true" wps:processVersion="1">
<ows:Identifier>IMAGINE SMS:IMAGINE.Model_za_detekciju_vodenih_površina_L8_OLI_MSI</ows:Identifier>
<ows:Title>Model_za_detekciju_vodenih_površina_L8_OLI_MSI</ows:Title>
<ows:Abstract>Model za detekciju vodenih površina L8 OLI MSI. Vodene površine se računaju na osnovu NDWI (normalized
difference water index) indeksa.</ows:Abstract>
<ows:Metadata xlink:role="urn:ogc:def:role:SMS:1.0:ProcessCategory" xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0" xlink:title="Category" xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1"
xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0">
<isms:Category xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0"
xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1" xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0">General</isms:Category>
</ows:Metadata>
<DataInputs>
<Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
<ows:Identifier>Landsat 8 multispektralni snimak</ows:Identifier>
<ows:Title>Landsat 8 multispektralni snimak</ows:Title>
<ows:Abstract>Landsat 8 OLI MSI snimak za detekciju vodenih površina</ows:Abstract>
<ComplexData>
<Default>
<Format>
<MimeType>image/img</MimeType>
</Format>
</Default>
<Supported>
<Format>
<MimeType>image/img</MimeType>
</Format>
<Format>
<MimeType>image/tiff</MimeType>
</Format>
</Supported>
</ComplexData>
</Input>
</DataInputs>
<ProcessOutputs>
<Output>
<ows:Identifier>Rezultat</ows:Identifier>
<ows:Title>Rezultat</ows:Title>
<ows:Abstract>Rezultat detekcije vodnih površina</ows:Abstract>
<StructuredOutput dataType="application/x-data-view">
<Item>
<ows:Identifier>Rezultat</ows:Identifier>
<ows:Title>Rezultat</ows:Title>
<ows:Abstract>Rezultat detekcije vodnih površina</ows:Abstract>
<ComplexOutput>
<Default>
<Format>
<MimeType>image/img</MimeType>
</Format>
</Default>
<Supported>
<Format>
<MimeType>image/img</MimeType>
</Format>
<Format>
<MimeType>image/tiff</MimeType>
</Format>
</Supported>
</ComplexOutput>
</Item>

```



```

<Item>
  <ows:Identifier>Rezultat1</ows:Identifier>
  <ows:Title>Dataset</ows:Title>
  <StructuredOutput dataType="application/x-eaim-dataset-reference">
    <Item>
      <ows:Identifier>url</ows:Identifier>
      <ows:Title>Transient Dataset URL</ows:Title>
      <LiteralOutput>
        <ows:DataType>string</ows:DataType>
      </LiteralOutput>
    </Item>
    <Item>
      <ows:Identifier>name</ows:Identifier>
      <ows:Title>Transient Dataset Name</ows:Title>
      <LiteralOutput>
        <ows:DataType>string</ows:DataType>
      </LiteralOutput>
    </Item>
    <Item>
      <ows:Identifier>type</ows:Identifier>
      <ows:Title>Transient Dataset Service Type</ows:Title>
      <LiteralOutput>
        <ows:DataType>string</ows:DataType>
      </LiteralOutput>
    </Item>
    <Item>
      <ows:Identifier>fileUri</ows:Identifier>
      <ows:Title>Path Of File On FileSystem</ows:Title>
      <LiteralOutput>
        <ows:DataType>string</ows:DataType>
      </LiteralOutput>
    </Item>
  </StructuredOutput>
</Item>
</StructuredOutput>
</Output>
</ProcessOutputs>
</ProcessDescription>

```

Опис процеса модела Ламбда сегментације над *RapidEye* снимцима

```

<ProcessDescription xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1" xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0"
xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0" xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
storeSupported="true" statusSupported="true" wps:processVersion="1">
  <ows:Identifier>IMAGINE SMS:IMAGINE.Lambda_segmentacija</ows:Identifier>
  <ows:Title>Lambda_segmentacija</ows:Title>
  <ows:Abstract>Lambda segmentacija nad RapidEye snimkom. Ukoliko želite možete promeniti težinske faktore koji utiču na
rezultat segmentacije.</ows:Abstract>
  <ows:Metadata xlink:role="urn:ogc:def:role:iSMS:1.0:ProcessCategory" xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0" xlink:title="Category" xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1"
xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0">
    <isms:Category xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0"
xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1" xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0">General</isms:Category>
  </ows:Metadata>
  <DataInputs>
    <Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <ows:Identifier>RapidEye snimak</ows:Identifier>
      <ows:Title>RapidEye snimak</ows:Title>
    </Input>
  </DataInputs>

```

```

<ows:Abstract>Molim vas izaberite jedan snimak sa RapidEye satelitske platforme</ows:Abstract>
<ows:Metadata>
  <isms:Constraint xmlns:isms="http://www.erdas.com/isms/1.0" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns="http://www.opengis.net/wps/1.0.0"
xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1" xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0">    <Query
typeNames="Coverage" xmlns="http://www.opengis.net/cat/csw/2.0.2">    <ElementSetName
typeNames="Coverage">full</ElementSetName>
    <Constraint version="1.0.0">    <ogc:Filter xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc">    <ogc:Or>
<ogc:Or>    <ogc:Or>    <ogc:PropertyIsLike wildCard="% " singleChar="_ "
escape="@ " matchCase="false">
<ogc:PropertyName>/Coverage/Name/LocalizedString/@value</ogc:PropertyName>
    <ogc:Literal>%FLS%</ogc:Literal>
</ogc:PropertyIsLike>
    <ogc:PropertyIsLike wildCard="% " singleChar="_ " escape="@ " matchCase="false">
<ogc:PropertyName>/Coverage/Description/LocalizedString/@value</ogc:PropertyName>
    <ogc:Literal>%FLS%</ogc:Literal>
</ogc:PropertyIsLike>
</ogc:Or>
    <ogc:PropertyIsLike wildCard="% " singleChar="_ " escape="@ " matchCase="false">
<ogc:PropertyName>/Coverage/Slot[@name='Keywords']/ValueList/Value[1]</ogc:PropertyName>
    <ogc:Literal>%FLS%</ogc:Literal>
</ogc:PropertyIsLike>
</ogc:Or>
    <ogc:Or>    <ogc:Or>    <ogc:PropertyIsLike wildCard="% " singleChar="_ " escape="@ "
matchCase="false">    <ogc:PropertyName>/Coverage/Name/LocalizedString/@value</ogc:PropertyName>
    <ogc:Literal>%segmentacija%</ogc:Literal>
</ogc:PropertyIsLike>
    <ogc:PropertyIsLike wildCard="% " singleChar="_ " escape="@ " matchCase="false">
<ogc:PropertyName>/Coverage/Description/LocalizedString/@value</ogc:PropertyName>
    <ogc:Literal>%segmentacija%</ogc:Literal>
</ogc:PropertyIsLike>
</ogc:Or>
    <ogc:PropertyIsLike wildCard="% " singleChar="_ " escape="@ " matchCase="false">
<ogc:PropertyName>/Coverage/Slot[@name='Keywords']/ValueList/Value[1]</ogc:PropertyName>
    <ogc:Literal>%segmentacija%</ogc:Literal>
</ogc:PropertyIsLike>
</ogc:Or>
</ogc:Or>
    <ogc:Or>    <ogc:Or>    <ogc:PropertyIsLike wildCard="% " singleChar="_ " escape="@ "
matchCase="false">    <ogc:PropertyName>/Coverage/Name/LocalizedString/@value</ogc:PropertyName>
    <ogc:Literal>%RapidEye%</ogc:Literal>
</ogc:PropertyIsLike>
    <ogc:PropertyIsLike wildCard="% " singleChar="_ " escape="@ " matchCase="false">
<ogc:PropertyName>/Coverage/Description/LocalizedString/@value</ogc:PropertyName>
    <ogc:Literal>%RapidEye%</ogc:Literal>
</ogc:PropertyIsLike>
</ogc:Or>
    <ogc:PropertyIsLike wildCard="% " singleChar="_ " escape="@ " matchCase="false">
<ogc:PropertyName>/Coverage/Slot[@name='Keywords']/ValueList/Value[1]</ogc:PropertyName>
    <ogc:Literal>%RapidEye%</ogc:Literal>
</ogc:PropertyIsLike>
</ogc:Or>
</ogc:Filter>
</Constraint>
</Query>
</isms:Constraint>
</ows:Metadata>
<ComplexData>
  <Default>
    <Format>
      <MimeType>image/img</MimeType>

```

```

</Format>
</Default>
<Supported>
  <Format>
    <MimeType>image/img</MimeType>
  </Format>
  <Format>
    <MimeType>image/tiff</MimeType>
  </Format>
</Supported>
</ComplexData>
</Input>
<Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
  <ows:Identifier>Parametar faktora razmere</ows:Identifier>
  <ows:Title>Parametar faktora razmere</ows:Title>
  <ows:Abstract>Unesite Parametar faktora razmere. Trenutna vrednost je 500.</ows:Abstract>

  <LiteralData>
    <ows:DataType>int</ows:DataType>
    <ows:AnyValue/>
    <DefaultValue>500</DefaultValue>
  </LiteralData>
</Input>
<Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
  <ows:Identifier>Spektralni faktor</ows:Identifier>
  <ows:Title>Spektralni faktor</ows:Title>
  <ows:Abstract>Unesite težinski spektralni faktor . Trenutna vrednost je 0.8.</ows:Abstract>
  <LiteralData>
    <ows:DataType>double</ows:DataType>
    <ows:AnyValue/>
    <DefaultValue>0.80000000000000004</DefaultValue>
  </LiteralData>
</Input>
<Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
  <ows:Identifier>Faktor oblika</ows:Identifier>
  <ows:Title>Faktor oblika</ows:Title>
  <ows:Abstract>Unesite težinski faktor oblika. Trenutna vrednost je 0.6.</ows:Abstract>

  <LiteralData>
    <ows:DataType>double</ows:DataType>
    <ows:AnyValue/>
    <DefaultValue>0.59999999999999998</DefaultValue>
  </LiteralData>
</Input>
<Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
  <ows:Identifier>Faktor teskture</ows:Identifier>
  <ows:Title>Faktor teskture</ows:Title>
  <ows:Abstract>Unesite težinski faktor teskture. Trenutna vrednost je 0.7.</ows:Abstract>
  <LiteralData>
    <ows:DataType>double</ows:DataType>
    <ows:AnyValue/>
    <DefaultValue>0.69999999999999996</DefaultValue>
  </LiteralData>
</Input>
<Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
  <ows:Identifier>Faktor veličine</ows:Identifier>
  <ows:Title>Faktor veličine</ows:Title>
  <ows:Abstract>Unesite težinski faktor veličine. Trenutna vrednost je 0.6.</ows:Abstract>
  <LiteralData>
    <ows:DataType>double</ows:DataType>
    <ows:AnyValue/>
    <DefaultValue>0.59999999999999998</DefaultValue>

```

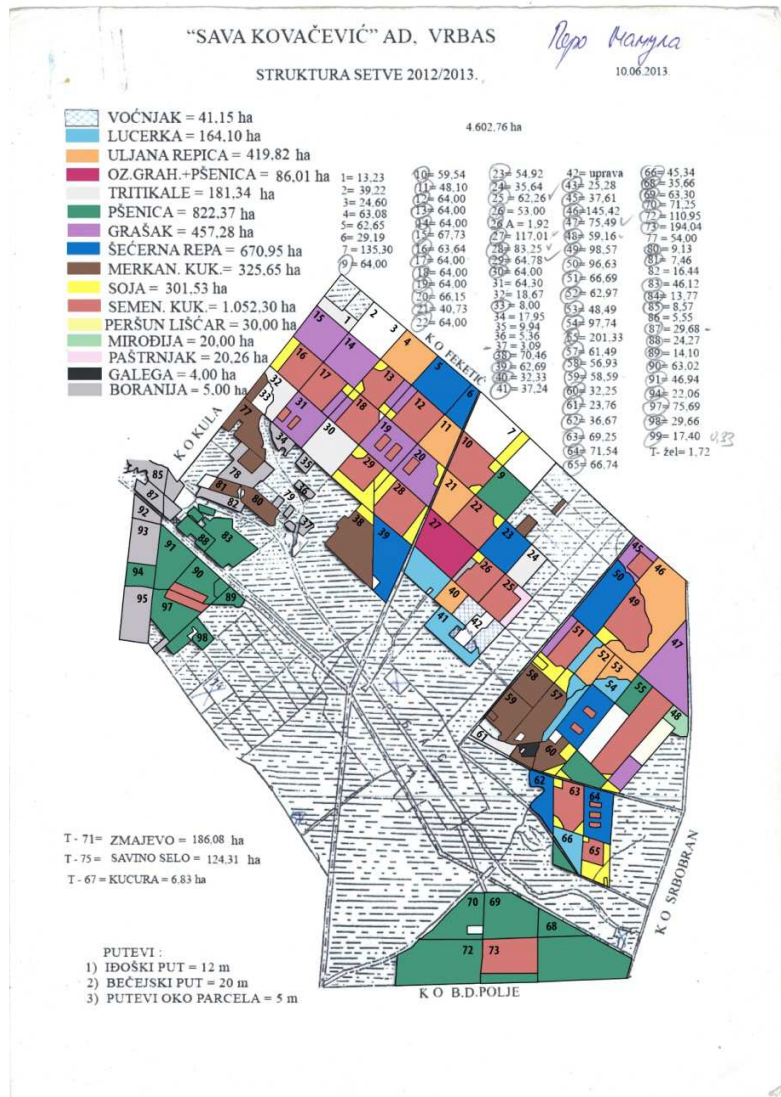
```

</LiteralData>
</Input>
</DataInputs>
<ProcessOutputs>
  <Output>
    <ows:Identifier>Segmentacija RapidEye snimka</ows:Identifier>
    <ows:Title>Segmentacija RapidEye snimka</ows:Title>
    <ows:Abstract>Na osnovu snimka i upotrebom FLS segmentacije izvršena je segmentacija snimka prema zadatim težinskim
parametrima</ows:Abstract>
    <StructuredOutput dataType="application/x-data-view">
      <Item>
        <ows:Identifier>Segmentacija RapidEye snimka</ows:Identifier>
        <ows:Title>Segmentacija RapidEye snimka</ows:Title>
        <ows:Abstract>Na osnovu snimka i upotrebom FLS segmentacije izvršena je segmentacija snimka prema zadatim
težinskim parametrima</ows:Abstract>
        <ComplexOutput>
          <Default>
            <Format>
              <MimeType>image/img</MimeType>
            </Format>
          </Default>
          <Supported>
            <Format>
              <MimeType>image/img</MimeType>
            </Format>
            <Format>
              <MimeType>image/tiff</MimeType>
            </Format>
          </Supported>
        </ComplexOutput>
      </Item>
      <Item>
        <ows:Identifier>Segmentacija RapidEye snimka1</ows:Identifier>
        <ows:Title>Dataset</ows:Title>
        <StructuredOutput dataType="application/x-eaim-dataset-reference">
          <Item>
            <ows:Identifier>url</ows:Identifier>
            <ows:Title>Transient Dataset URL</ows:Title>
            <LiteralOutput>
              <ows:DataType>string</ows:DataType>
            </LiteralOutput>
          </Item>
          <Item>
            <ows:Identifier>name</ows:Identifier>
            <ows:Title>Transient Dataset Name</ows:Title>
            <LiteralOutput>
              <ows:DataType>string</ows:DataType>
            </LiteralOutput>
          </Item>
          <Item>
            <ows:Identifier>type</ows:Identifier>
            <ows:Title>Transient Dataset Service Type</ows:Title>
            <LiteralOutput>
              <ows:DataType>string</ows:DataType>
            </LiteralOutput>
          </Item>
          <Item>
            <ows:Identifier>fileUri</ows:Identifier>
            <ows:Title>Path Of File On FileSystem</ows:Title>
            <LiteralOutput>
              <ows:DataType>string</ows:DataType>
            </LiteralOutput>
          </Item>
        </StructuredOutput>
      </Item>
    </StructuredOutput>
  </Output>
</ProcessOutputs>

```

```
</Item>  
</StructuredOutput>  
</Item>  
</StructuredOutput>  
</Output>  
</ProcessOutputs>  
</ProcessDescription>
```

Пољопривредна карта структуре сетве за 2013. годину



Struktura setve po vrstama gaјenih biљaka za 2013. godinu

		STRUKTURA SETVE 2012/2013. <i>Ретро Манула</i>				7.06.2013.
13-23	1) tritikale ha "amarilo - 105" (13-23)					
39-22	2)					
24-60	3)					
63-08	4) u. repica ha "neptun" (63-08)					
62-65	5 s.repa "victor" ha (62-65)					
29-19	6 s.repa ha "marianka" (29-19)					
135-30	7 soja ha "dukat" (15-00)					
64-00	9 s. pšenica ha "basmati" (60-00)	9/1 m. pšenica "rapsodija" (4-00)				
59-54	10 soja ha "novosadanka" (7-00)	10/1 sem. kukuruz "zeros" (52-54)				
48-10	11 u. repica ha "neptun" (48-10)					
64-00	12 s.kukuruz ha SY "novatop" (56-00)	12/1 grašak "wolf - 407" (2-00)	12/2 grašak "skinado" (4-50)	12/3 soja "novosadanka" (1-50)		
64-00	13 grašak ha "wolf" (5-50)	13/1 grašak "wolf- 407" (1-00)	13/2 soja "novosadanka" (5-50)	13/3 soja "galeb" (0-40)	13/4 sem. kukuruz "dian" (37-00)	13/5 sem.kukuruz "blast" (14-60)
64-00	14 grašak ha "favorit" (64-00)					
67-73	15 grašak ha "tiara" (61-40)	15/1 grašak "korvin" (6-33)				
63-64	16 s.kukuruz NK ha "thermo" (47-00)	16/1 soja "novosadanka" (16-64)				
64-00	17 grašak ha "wolf" (6-50)	17/1 soja "novosadanka" (1-50)	17/2 sem. kukuruz NK "thermo" (56-00)			
64-00	18 grašak ha "wolf" (6-50)	18/1 soja "novosadanka" (1-50)	18/2 sem.kukuruz "blast" (55-00)			1-00
64-00	19 grašak ha "mastin" (54-00)	19/1 sem. kukuruz "muro" (5-00)	19/2 sem. kukuruz "izabeta" (5-00)			
66-15	20 grašak ha "mastin" (16-00)	20/1 grašak "favorit" (28-50)	20/2 grašak "wolf - 301" (4-00)	20/3 grašak "joff" (10-00)	20/4 grašak "wolf" (2-65)	20/5 soja "galeb" (3-00)
	20/8 s. kukuruz - linije "ZXL 134" (2-00)					
40-73	21 u. repica ha "neptun" (40-73)					
64-00	22 soja ha "galeb" (2-00)	22/1 soja "novosadanka" (1-00)	22/2 sem. kukuruz SY "sincero" (61-00)			
54-92	23 s.repa ha "begonia" (54-92)					

35-64	24 tritikale ha "amarilo-105" (35-64)	24/1 post.r.boranija "nirvana" (9-00)				
62-26	25 pastrnak ha "sr.dugi molski" (20-26)	25/1 s. kukuruz KWS "mikado" (42-00)				
54-92	26 soja ha "dukat" (4-00)	26/1 s. kukuruz KWS "mikado" (44-00)	26/2 boranija "sonesta" (5-00)	aerodrom (1-92)		
117-01	27 lucerka ha "banat" (31-00)	27/1 o.grahor.+oz.pšen. "neoplan.+sim." (86-01)	27/2 post. boranija "sonesta" (29-00)			
83-25	28 soja ha "novosadanka" (15-25)	28/1 sem.kukuruz "pp 67" (68-00)				
64-78	29 soja ha "novosadanka" (23-00)	29/1 soja "dukat" (4-78)	29/2 s. kukuruz "zona" (37-00)			
64-00	30 tritikale ha "amarilo-105" (64-00)	30/1 post.boranija "sonesta" (12-50)	30/2 uijana rotkva "cassius" (4-00)	30/3 uijana rotkva "apoll" (10-00)		
64-30	31 grašak ha "wolf" (60-80)	31/1 sem. kukuruz "dandi" (2-50)	31/2 sem. kukuruz "zita" (1-00)			
18-67	32 tritikale ha "amarilo-105" (18-67)					
25-09	33 m. kukuruz ha "mikado" (8-00)					
17-95	34					
9-94	35					
5-36	36					
3-09	37					
70-46	38 soja ha "novosadanka" (4-46)	38/1 m. kukuruz "mikado" (64-00)	38/2 m. kukuruz ogled (2-00)			
62-69	39 s.repa ha "prestige" (25-69)	39/1 s. repa "tibor" (37-00)				
32-33	40 jabuka ha (12-33)	40/1 u. repica "neptun" (20-00)				
37-24	41 lucerka ha "banat" (34-70)	41/1 kajsija (1-84)	41/2 kajsija+orah (0-70)			
25-28	43 šljivica ha (2-25)	43/1 dunja (2-25)	43/2 kajsija (8-78)	43/3 višnja (12-00)		
37-61	45 grašak ha "skinado" (22-61)	45/1 sem. kukuruz "kalina" (15-00)				
145-42	46 u. repica ha "neptun" (15-00)	46/1 u. repica "hydromel" (130-42)				
75-49	47 grašak "korvin" ha (49-00)	47/1 grašak "tiara" (26-49)				
59-16	48 mirodija ha "dukat" (20-00)	48/1 persun list "domači lišcar" (30-00)	48/2 grašak "skinado" (7-00)	48/3 soja "dukat" (2-16)		
98-57	49 s. kukuruz KWS ha "kermes" (93-00)	49/1 soja "galeb" (5-57)				

96-63	50 š.repa "orginal" (9-00)	50/1 š.repa "boomerang" (87-63)				
66-69	51 lucerka "banat" (11-69)	51/1 grašak "skinado" (18-50)	51/2 sem. kukuruz "rabina" (36-50)			
62-97	52 lucerka "banat" (8-97)	52/1 u. repica "neptun" (54-00)				
48-49	53 u. repica "neptun" (48-49)					
97-74	54 lucerka "banat" (37-74)	54/1 š.repa "begonia" (51-00)	54/2 š.repa "orginal" (8-00)	54/3 s. kukuruz - linije "ZXL 127" (0-50)	54/4 s. kukuruz - linije "ZXL 129" (0-50)	
201-33	55 tritikale "amarilo 105" (36-80)	55/1 m. pšenica "rapsodija" (48-20)	55/2 soja "dukat" (1-85)	55/3 s. kukuruz NK "lucius" (114,48)	55/4 pos.sem. kukuruz NK "lucius" (60-00)	
61-49	57 lucerka "banat" (47-49)	57/1 soja "galeb" (4-00)	57/2 m. kukuruz "kermes" (10-00)	57/3 mer.kukuruz "mikado" (47-49)		
56-93	58 soja "novosadanka" (2-40)	58/1 soja "galeb" (11-00)	58/2 soja OGLED (3-60)	58/3 m. kukuruz "kermes" (31-50)	58/4 s. kukuruz selek. polje (4-00)	58/5 m. kukuruz ogled (4-43)
58-59	59 m. kukuruz "kermes" (54-77)	59/1 m. kukuruz ogled agrimax (2-50)	59/2 herbicidni ogled galenika (1-32)			
32-25	60 soja "galeb" (5-95)	60/1 m. kukuruz "kermes" (26-30)				
23-76	61 tritikale "amarilo 105" (13-00)	61/1 galega "galega" (4-00)	61/2 livadska travna smeša (13-00)			6-76
36-67	62 š.repa "western" (36-67)					
69-25	63 soja "galeb" (3-25)	63/1 sem. kukuruz "PR 35 F 38" (66-00)				
71-54	64 š.repa "western" (68-36)	64/1 s. kukuruz - linije "ZXL 122" (2-00)	64/2 s. kukuruz - linije "ZXL 125" (1-00)	64/3 s. kukuruz syngenta ogled (0-18)		
66-74	65 soja "novosadanka" (39-34)	65/1 sem. kukuruz "nina" (27-00)	65/2 m. kukuruz ogled (0-40)			
45-34	66 lucerka "banat" (40-00)	66/1 m. pšenica "rapsodija" (5-34)				
6-83	67 š.repa "tibor" (6-83)					
35-66	68 s. pšenica "nikol" (30-00)	68/1 m. pšenica "rapsodija" (5-66)				
63-30	69 m. pšenica "rapsodija" (63-30)					
71-25	70 m. pšenica "rapsodija" (71-25)					
186-08	71 š.repa "wapiti" (69-70)	71/1 soja "gorštak" (105-00)	71/2 soja "galeb" (10-88)	71/3 s. kukuruz - linije "ZXL 141" (0-10)	71/4 s. kukuruz - linije "ZXL 130" (0-10)	71/5 s. kukuruz - linije "ZXL 123" (0-10)
110-95	72 m. pšenica "rapsodija" (110-95)					
194-04	73 s. pšenica "MV suba" (20-00)	73/1 m. pšenica "rapsodija" (114-04)	73/2 m. pšenica "simonida" (4-00)	73/3 s.kukuruz KWS "ronaldinio" (56-00)		

129-01	74					
128-53	75 š.repa "wapiti" (38-10)	75/1 š.repa "bikini" (24-78)	75/2 š.repa "tibor" (61-43)	(4-22 ha) neplodno zemljište		
54-00	77 m. kukuruz "mikado" (54-00)					
9-13	80 m. kukuruz "mikado" (9-13)					
11-20	81 m. kukuruz "mikado" (7-46)					
16-44	82					
46-12	83 m. pšenica "simonida" (46-12)					
13-77	84 m. pšenica "simonida" (13-77)					
27-79	85					
5-55	86					
29-68	87					
24-27	88 m. pšenica "simonida" (24-27)					
14-10	89 m. pšenica "simonida" (14-10)					
63-02	90 m. pšenica "simonida" (40-02)	90/1 s.kukuruz KWS "silvinio" (23-00)				
46-94	91 m. pšenica "simonida" (46-94)					
12-55	92					
46-20	93					
46-14	94 m. pšenica "simonida" (22-06)					
67-02	95					
75-69	97 m. pšenica "simonida" (48-69)	97/1 s.kukuruz KWS "silvinio" (27-00)				
29-66	98 m. pšenica "simonida" (29-66)					
17-40	99 m. kukuruz "mikado" (0-33)	99/1 lešnik (1-00)	99/2 drugi obraduje (10-16)	99/3 mer.kukuruz "mikado" (5-91)		

Додаци

Списак слика

Слика 1 Идеалан систем даљинске детекције (у пракси не постоји) [2]	9
Слика 2 <i>Blue marbell</i> [6]	11
Слика 3 Основни елементи даљинске детекције.....	12
Слика 4 Електромагнетни спектар са издвојеним таласним дужинама видљиве светлости	16
Слика 5 Панхроматске и мултиспектралне таласне дужине за различите сателитске платформе [12].....	17
Слика 6 Дигитална слика – пиксел – дигитални број	19
Слика 7 Методологија [36]	29
Слика 8 Приказ методологије и модела класификације [37]	30
Слика 9 Модел класификације а) траве, жбуња и дрвећа, б) белих и сивих зграда, в) друге вештачке површине,.....	31
Слика 10 Предложена метода [42].....	34
Слика 11 Хијерархијска класа и правила припадности класама [44].....	35
Слика 12 Ток процесирања снимка, пример модела класификације и параметри коришћени у класификацији [46].....	36
Слика 13 Модел класификације и прагови за односе опсега који се користе у класификацији[47].....	37
Слика 14 Модел генералних корака класификације података даљинске детекције.....	41
Слика 15 Пиксел базирана класификација <i>Landsat</i> снимака за подручје Новог Сада	42
Слика 16 Категоризација пиксел базиране класификације	43
Слика 17 Класификација са надзором и без надзора [7]	43
Слика 18 Пример "тврде" и "меке" - фази класификације [48].....	45
Слика 19 Различите размере приказа истог снимка - Суботица.....	45
Слика 20 Нумеричке вредности пиксела који представљају људски лик	46
Слика 21 Кодирани приказ претходне слике.....	47
Слика 22 Пример контекста у анализи слике	48
Слика 23 а) Београд <i>Landsat 7 432RGB</i> , б) Ортофото Слатине 321 <i>RGB</i> , в) Фотографија Слатине, г) <i>WV2</i> Слатине 123 <i>RGB</i>	49
Слика 24 Резултати класификације [51]	50
Слика 25 Резултат класификације <i>Landsat 7</i> и <i>IRS LISS 4</i> - Нови Сад	51
Слика 26 Лево: <i>Landsat 8</i> у природном приказу боја, Горње десно: <i>Landsat 8 543RGB</i> комбинација боја и Доле десно: Виноград поред Новог Сада.....	52
Слика 27 Резултат класификације винограда - Нови Сад	53
Слика 28 Сателитске платформе са различитим резолуцијама	54
Слика 29 Хијерархија објеката слике [57]	56

Слика 30 Ламбда сегментација са различитим размерама.....	57
Слика 31 Пример семантичког презентовања у анализи слике аквапарка Бачки Петровац	58
Слика 32 Концептуални оквир мреже (са)знања.....	59
Слика 33 Кораци у разумевању слике.....	60
Слика 34 Хистограм базирана сегментација	62
Слика 35 <i>Quadtree</i> сегментација	63
Слика 36 Сегментација базирана на ивицама - Београд.....	64
Слика 37 Резултат мултирезолуционе сегментације са параметрима размере 10, и тежнским факторима облика 0.1 и компактности 0.5 [62].....	65
Слика 38 Техника спајања региона и размера код мултирезолуционог алгоритма [64].....	66
Слика 39 Начин одлучивања [6]	66
Слика 40 Критеријум хомогености.....	67
Слика 41 Подешавање параметера сегментације.....	69
Слика 42 Резултат сегментације базиране на вредностима и локацији пиксела - подручје Београда.....	70
Слика 43 Подешавање параметера ламбда сегментације.....	70
Слика 44 Резултат Ламбда сегментације – подручје Београда	71
Слика 45 Chessboard сегментација са фактором велеичине објекта 50 – ортофото Суботице	72
Слика 46 <i>Quadtree</i> сегментација	72
Слика 47 Резултат <i>Quadtree</i> сегментације – ортофото Суботице, фактор размере 60	73
Слика 48 Сегментација базирана на подели контраста – ортофото Суботице	74
Слика 49 Резултат сегментација базираних на подели контраста и након тога извршене сегментације спектралних разлика	75
Слика 50 Сегментација филтрирањем контраста.....	76
Слика 51 Критеријум облика	77
Слика 52 Резултат сегментације базиране на основу филтрирања контраста – ортофот Суботица	77
Слика 53 Пример класификације ширег подручја Београда.....	79
Слика 54 а) Дводимензиони простор особина четвртог и петог опсега <i>Landsat</i> сцене, б, в) паралелопипед класификација са минималном раздаљином четврти и пети опсег, г) четврти и седми опсег, д) пети и седми опсег [48]	82
Слика 55 Пример припадности особине фази скупу – фудбалски терени	83
Слика 56 Класа "фудбалски терени" дефинисана са две особине објеката X и Y.....	84
Слика 57 Хијерархија класа	85
Слика 58 Пример утицаја односа између класа.	85
Слика 59 Уопштени модел класификације података даљинске детекције.....	89
Слика 60 Основни модел за идентификацију геопросторних објеката уз ослонац на објектно оријентисану класификацију.....	90
Слика 61 Модел за дефинисање поступка мапирања	93
Слика 62 Однос спектралне и просторне резолуције и њихова примена.....	95

Слика 63	Значај просторне резолуције и њена улога у анализи.....	95
Слика 64	Модел критеријума класификације геопросторних објеката.....	96
Слика 65	Модел за избор особина потребних за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса.....	100
Слика 66	Приказ везе реалног света и дела особина које су аналитичару потребна за идентификацију и селекцију геопросторних објеката од интереса.....	101
Слика 67	Модел за избор метода сегментације и метода класификације.....	103
Слика 68	Модел објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката.....	105
Слика 69	Модел објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката.....	106
Слика 70	Пример оцене тачности.....	108
Слика 71	Модел за класификацију зграда као геопросторних објеката.....	113
Слика 72	Студија случаја зграде - Суботица велике зграде.....	114
Слика 73	Студија случаја зграде – Суботица мале зграде.....	115
Слика 74	Графички приказ основне карактеристике зграда – висине објеката.....	115
Слика 75	Разлике у резолуцијама проузрокују да одређени пиксели немају нагиб.....	116
Слика 76	Гладак <i>DSM</i> омогућава да сви пиксели имају нагибе.....	117
Слика 77	Ортофото Суботице – мали објекти, <i>DSM</i> и Нагиб.....	118
Слика 78	Резултат прве и друге сегментације.....	119
Слика 79	Класификација стрмих објеката слике.....	120
Слика 80	Пример одређивања максималних и минималних висина на основу <i>DSM</i> -а и <i>DEM</i> -а.....	121
Слика 81	Резултат класификације тла (класа земља) приказан је браон бојом.....	121
Слика 82	Поређење висине зграда са средњом вредношћу висине тла.....	122
Слика 83	Приказ резултата алгоритма и класификације.....	123
Слика 84	Пример рачунања раздаљине између објеката [61].....	125
Слика 85	Пример рачунања раздаљине између објеката [61].....	125
Слика 86	Пример суседних објеката.....	125
Слика 87	Пример разлике спектралних карактеристика објеката слике.....	126
Слика 88	Класификовање у привремену класу.....	126
Слика 89	Пример објеката слике приказане као средња вредност осветљености свих опсега ортофота.....	127
Слика 90	Резултат "ширења" објеката зграде на суседне спектрално сличне објекте кандидат зграде.....	127
Слика 91	Пример "проширења" класе зграде на суседне класе "стрмине".....	128
Слика 92	Однос зеленог и осталих опсега ортофотоа.....	128
Слика 93	Резултат класификације.....	129
Слика 94	Резултат класификације – класа Зграда.....	129
Слика 95.	Резултат класификације преклопљен са делом оригиналног снимка. На класификованој мапи се налазе равномерно распоређене тачке за анализу тачности.....	130

Слика 96. Приказ поступка оцене тачности. Провера тачности за тачку 130.....	130
Слика 97 Поступак и резултат класификације – класа Зграде.....	131
Слика 98 Резултат класификације великих објеката заједно са тачкама за анализу тачности.	132
Слика 99 Студија случаја зграде - Славија и Лука Београд.....	133
Слика 100 Проблем преклопа дигиталног модела површина и високих зграда	134
Слика 101 Резултат класификације зграда – Славија	134
Слика 102 Резултат класификације зграда – Лука Београд.....	135
Слика 103 Преклоп контролних тачака, резултата класификације и ортофот снимка за Славију и Луку Београд	135
Слика 104 Модел за класификацију вегетације као геопросторних објеката	137
Слика 105 Преклоп оба снимка са Open Street Map.....	139
Слика 106 Површине појединих објеката.....	141
Слика 107 Пример резултата за класификацију Уљане репице и свих остали гајених биљака	142
Слика 108 Преклоп снимка са Open Street Map, приказ природних боја и приказ 863RGB	145
Слика 109 Корази у класификацији.....	146
Слика 110 Резултат класификације у преклопу са сателитским снимком и контролним тачкама	148
Слика 111 Модел за класификацију водених површина као геопросторних објеката.....	150
Слика 112 WV2 и Landsat 8 снимак са неприродним приказима боја и природним приказима боја у размери 1:1	151
Слика 113 Резултат класификације водених површина на WV2 и Landsat 8 снимку.....	152
Слика 114 Контролне тачке у преклопу са WV2 и Landsat 8 снимком	152
Слика 115 Модел за атмосферску корекцију.....	154
Слика 116 Изглед клијентске веб апликације ERDAS APOLLO сервера и приступ публикованом моделу за атмосферску корекцију Landsat 8 MSI OLI сателитских снимака	155
Слика 117 Модел за креирање маске над снимком који има облаке	155
Слика 118 Модел за идентификацију водених површина на основу Normalized Difference Water Index-a.....	156
Слика 119 Модел за Ламбда сегментацију	156

Списак табела

Табела 1 Преглед кориштених података.....	38
Табела 2 Списак различитих метрика које се могу израчунати на основу појединачних објеката слике	82
Табела 3 Табеларни приказ основног модела за идентификацију геопросторних објеката уз ослонац на објектно оријентисану класификацију	91
Табела 4 Спектралне карактеристике Rapid Eye сателитских снимака.....	138
Табела 5 Параметри коришћени у моделу верификације за оба снимка	140
Табела 6 Резултати класификације гајених биљака у хектарима	142
Табела 7 Спектралне и просторне карактеристике World View-2 сателитских снимака [11]	144
Табела 8 Параметри коришћени у моделу верификације	147
Табела 9 Спектралне и просторне карактеристике Landsat 8 сателитских снимака [11]	150