



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Petar Pejić

**SISTEM PREZENTACIJE
TRODIMENZIONALNIH MODELA
ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM
PROŠIRENE STVARNOSTI**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, (2018.)



UNIVERZITET U NOVOM SADU • FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj, RBR :		
Identifikacioni broj, IBR :		
Tip dokumentacije, TD :	Monografska dokumentacija	
Tip zapisa, TZ :	Tekstualni štampani materijal	
Vrsta rada VR :	Doktorska disertacija	
Autor, AU :	Petar Pejić	
Mentor, MN :	Dr Vesna Stojaković	
Naslov rada, NR :	Sistem prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti	
Jezik publikacije, JP :	Srpski (latinica)	
Jezik izvoda, JL :	Srpski (latinica), Engleski	
Zemlja publikovanja, ZP :	Republika Srbija	
Uže geografsko područje, UGP :	AP Vojvodina, Novi Sad	
Godina, GO :	2018	
Izdavač, IZ :	Autorski reprint	
Mesto i adresa, MA :	Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad	
Fizički opis rada, FO : <small>(poglavlja/strana/citata/tabela/slika/grafika/priloga)</small>	7 poglavlja / 146 strane / 61 slika / 5 tabela / 240 referenci	
Naučna oblast, NO :	Arhitektura	
Naučna disciplina, ND :	Teorije i interpretacije geometrijskog prostora u arhitekturi i urbanizmu	
Predmetna odrednica, ključne reči, PO :	proširena stvarnost, sistem prezentacije, trodimenzionalni modeli, arhitektura, okluzija	
UDK :		
Čuva se, ČU :	Biblioteka Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu	
Važna napomena, VN :		
Izvod, IZ :	Metoda proširene stvarnosti omogućava prikaz stvarnog sveta dopunjenog virtuelnim objektima i nalazi primenu u prezentaciji virtuelnih 3D modela arhitektonskih objekata. U ovom istraživanju unapređen je konceptualni automatski sistem za prezentaciju trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Razvijen je novi algoritam za pravilan prikaz okluzije u sistemima prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Delovi ovog sistema su detaljnije razrađeni u cilju rešavanja određenih problema realističnosti prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata.	
Datum prihvatanja teme od strane Senata, DP :		
Datum odbrane, DO :		
Članovi komisije, KO :		
Predsednik:	dr Ratko Obradović, redovni profesor	Потпис ментора
Član:	dr Predrag Šiđanin, redovni profesor	
Član:	dr Sonja Krasić, vanredni profesor	
Član:	dr Taško Rizov, docent	
Član, mentor:	dr Vesna Stojaković, vanredni profesor	



UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed document
Contents code, CC :	PhD thesis
Author, AU :	Petar Pejić
Mentor, MN :	PhD Vesna Stojaković
Title, TI :	The System of Presentation of Three-Dimensional Models of Architectural Structures by the Method of Augmented Reality
Language of text, LT :	Serbian (Latin)
Language of abstract, LA :	Serbian (Latin), English
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Autonomous Province of Vojvodina, Novi Sad
Publication year, PY :	2018
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	7 chapters / 146 pages / 61 pictures / 5 tables / 240 ref.
Scientific field, SF :	Architecture
Scientific discipline, SD :	Theories and interpretation of geometric space in architecture and urbanism
Subject/Key words, S/KW :	Augmented Reality, presentation system, 3D model, architecture, occlusion
UC	
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences in Novi Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	The method of Augmented Reality enables a real world display, supplemented by virtual structures, and it finds its use in the presentation of virtual 3D models of architectural structures. In this research a conceptual automatic system for the presentation of three-dimensional models of architectural structures using the method of Augmented Reality is improved. Particular parts of this system are elaborated in more detail in order to solve particular problems regarding the realistic displays of the presentation. A new algorithm for correct occlusion handling in the presentation of 3D models of architectural structures by the method of Augmented Reality was developed.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: PhD Ratko Obradović, full professor
	Member: PhD Predrag Šidanin, full professor
	Member: PhD Sonja Krasić, associate professor
	Member: PhD Taško Rizov, assistant professor
	Member, Mentor: PhD Vesna Stojaković, associate professor
	Mentor's sign

Petar Č. Pejić

**SISTEM PREZENTACIJE TRODIMENZIONALNIH
MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM
PROŠIRENE STVARNOSTI**

Posvećeno Pejićima

Sažetak

Metoda proširene stvarnosti omogućava prikaz stvarnog sveta, dopunjenog virtuelnim objektima i nalazi primenu u prezentaciji virtuelnih 3D modela arhitektonskih objekata. U ovom istraživanju unapređen je konceptualni automatski sistem za prezentaciju trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Razvijen je novi algoritam za pravilan prikaz okluzije u sistemima prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Delovi ovog sistema su detaljnije razrađeni u cilju unapređenja realističnosti prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata.

Summary

The method of Augmented Reality enables a real world display, supplemented by virtual structures, and it finds its use in the presentation of virtual 3D models of architectural structures. In this research a conceptual automatic system for the presentation of three-dimensional models of architectural structures using the method of Augmented Reality is improved. Particular parts of this system are elaborated in more detail in order to solve particular problems regarding the realistic displays of the presentation. A new algorithm for correct occlusion handling in the presentation of 3D models of architectural structures by the method of Augmented Reality was developed.

Sadržaj

1 UVOD.....	8
1.1 PREDMET NAUČNOG ISTRAŽIVANJA.....	8
1.2 CILJ NAUČNOG ISTRAŽIVANJA.....	9
1.3 OČEKIVANI REZULTATI NAUČNOG ISTRAŽIVANJA.....	10
1.4 METOD ISTRAŽIVANJA	11
2 DEFINISANJE OSNOVNIH POJMOVA I ANALIZA AKTUELNIH ISTRAŽIVANJA I TEHNOLOGIJA.....	13
2.1 IZRADA TRODIMENZIONALNIH VIRTUELNIH MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA.....	13
2.1.1 <i>Kriterijumi za izbor odgovarajuće metode izrade 3D modela</i>	14
2.1.2 <i>Trodimenzionalni model novoprojektovanog objekta</i>	14
2.1.3 <i>Trodimenzionalni model realnog objekta</i>	15
2.1.3.1 <i>Uporedna analiza metoda za kreiranje 3D modela</i>	15
2.2 PREZENTACIJA TRODIMENZIONALNIH VIRTUELNIH MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA	16
2.2.1 <i>Digitalne slike</i>	17
2.2.2 <i>Animacija</i>	18
2.2.3 <i>Virtuelna stvarnost</i>	20
2.2.4 <i>Proširena stvarnost</i>	21
2.2.5 <i>Uporedna analiza metoda prezentacije 3D modela</i>	22
2.3 PREGLED RAZVOJA NAJZNAČAJNIJIH TEHNIKA I TEHNOLOGIJA VEZANIH ZA METODU PROŠIRENE STVARNOSTI.....	24
2.3.1 <i>Aktuelno stanje u oblasti</i>	26
2.3.2 <i>Nedostaci postojećih sistema</i>	29
2.4 PROŠIRENA STVARNOST	31
2.4.1 <i>Tehnologije sistema proširene stvarnosti</i>	33
2.4.2 <i>Praćenje</i>	34
2.4.2.1 <i>Senzori za praćenje</i>	36
2.4.3 <i>Registracija</i>	37
2.4.4 <i>Prikaz</i>	39
2.4.4.1 <i>Optičko - prozirni ekrani</i>	39
2.4.4.2 <i>Video-prozirni ekrani</i>	40
2.4.4.3 <i>Projekcioni ekrani</i>	40
2.4.4.4 <i>Konfiguracija ekrana</i>	41

3	SISTEM PREZENTACIJE TRODIMENZIONALNIH MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM PROŠIRENE STVARNOSTI	45
3.1	INTERPRETACIJA ELEMENATA	51
3.1.1	<i>Ulazni podaci</i>	51
3.1.2	<i>Dinamika prezentacije</i>	52
3.1.2.1	Vizuelno praćenje položaja	53
3.1.2.2	Lokacijsko praćenje položaja.....	53
3.1.2.3	Praćenje položaja na osnovu prethodnog položaja i orijentacije	54
3.1.3	<i>Geometrijska prezentacija</i>	55
3.1.4	<i>Vizuelna prezentacija</i>	59
3.2	VIZUELNO ZASNOVAN SISTEM PREZENTACIJE 3D MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM PROŠIRENE STVARNOSTI	61
3.2.1	<i>Studija slučaja - Projekat stana, Niš</i>	64
3.3	LOKACIJSKI ZASNOVAN SISTEM PREZENTACIJE 3D MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM PROŠIRENE STVARNOSTI	69
3.3.1	<i>Studija slučaja - Sahat kula, Niška tvrđava</i>	72
3.4	HIBRIDNI SISTEM PREZENTACIJE 3D MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM PROŠIRENE STVARNOSTI.....	76
3.4.1	<i>Studija slučaja - Spoljašnji omotač objekta, kuća u Babušnici</i>	79
3.5	ZAVRŠNE NAPOMENE O KONCEPTUALNIM MODELIMA	85
4	UNAPREĐENJE SISTEMA PREZENTACIJE 3D MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM PROŠIRENE STVARNOSTI	88
4.1	OKLUZIJA U SISTEMIMA PROŠIRENE STVARNOSTI.....	88
4.1.1	<i>Maskiranje prvog plana</i>	90
4.1.2	<i>Smanjenje stvarnosti</i>	93
4.2	SISTEMI PROŠIRENE STVARNOSTI SA TOF KAMEROM	94
4.2.1	<i>Dubinska detekcija korišćenjem TOF kamere</i>	95
4.2.2	<i>TSDF algoritam za proračun okluzije</i>	95
4.2.3	<i>RANSAC algoritam za proračun okluzije</i>	97
4.3	EPM ALGORITAM ZA PRAVILAN PRIKAZ OKLUZIJE U SISTEMIMA PROŠIRENE STVARNOSTI	98
4.3.1	<i>Segmentacija scene</i>	99
4.3.2	<i>Analiza matrice dubine</i>	100
4.3.3	<i>Optimizacija ravni okluzije</i>	101
4.3.4	<i>Prikaz kadra sa okluzijom</i>	103

4.4	UPOREDNA ANALIZA <i>EMP</i> , <i>TSDF</i> I <i>RANSAC</i> ALGORITAMA	104
4.4.1	<i>Rezultati testiranja EMP, TSDF i RANSAC algoritama</i>	107
5	DISKUSIJA I ZAKLJUČAK	111
5.1	PREPORUKE ZA BUDUĆA ISTRAŽIVANJA	114
6	SPISAK ILUSTRACIJA	115
6.1	SLIKE.....	115
6.2	TABELE	118
7	LITERATURA	119

1 UVOD

1.1 PREDMET NAUČNOG ISTRAŽIVANJA

Razvoj digitalne tehnologije uslovio je primenu savremenih načina prezentacije arhitektonskih objekata. Savremen proces prezentacije arhitektonskog objekta najčešće podrazumeva izradu trodimenzionalnog, virtuelnog, digitalnog modela. Kreiran trodimenzionalni model objekta moguće je prezentovati u formi: digitalne slike, video animacije, virtuelne stvarnosti ili proširene stvarnosti¹. Kada se kreiraju ovakve prezentacije, većina korisnika teži da postigne što veći stepen realističnosti, odnosno da što realnije kreira iluziju stvarnog sveta.

Fotorealistična vizuelizacija prezentovana putem digitalne slike poseduje geometrijski² i vizuelni³ realizam, jer je kreirana za položaj očne tačke koji je statičan. Video animacija pored geometrijskog i vizuelnog realizma poseduje i dinamički⁴, zbog promene položaja očne tačke u toku vremena. Putanja kretanja očne tačke je unapred određena od strane autora animacije i korisnik nema uticaj na odabir sadržaja koji će videti. Virtuelna stvarnost uvodi mogućnost slobodnog kretanja korisnika kroz virtuelni svet i mogućnost samostalnog odabira položaja očne tačke u realnom vremenu i, samim tim, povećan stepen dinamičkog realizma prezentacije. Međutim, potreba za generisanjem kompletnog virtuelnog okruženja u realnom vremenu dovodi do nemogućnosti maksimalnog stepena geometrijske i vizuelne realističnosti prezentacije, zbog velike količine podataka koje je potrebno obraditi. Metoda proširene stvarnosti omogućava maksimalan dinamički realizam, uz geometrijski i vizuelni. Problem koji se javlja kod virtuelne stvarnosti u vezi sa kompleksnošću realnog prikaza kompletne okoline objekta, u proširenoj stvarnosti je prevaziđen prikazom stvarnog okruženja u koje je umetnut virtuelni objekat. Na kvalitet jedne arhitektonske prezentacije ne utiče samo realističnost objekta, već i realističnost okoline u kojoj se nalazi. Korišćenjem proširene stvarnosti moguće je prikazati virtuelni trodimenzionalni model arhitektonskog objekta unutar realnog okruženja.

¹ Proširena stvarnost predstavlja metodu dopune korisnikove percepcije stvarnog sveta digitalnim virtuelnim sadržajem

² Geometrijski realizam – stepen geometrijske istovetnosti digitalne prezentacije i stvarnog sveta

³ Vizuelni realizam – stepen vizuelne istovetnosti digitalne prezentacije i stvarnog sveta

⁴ Dinamički realizam – stepen dinamičke slobode kretanja kroz kreiranu digitalnu vizuelizaciju

Problem postojećih, komercijalnih sistema proširene stvarnosti za prezentaciju trodimenzionalnih modela je neprilagođenost arhitektonskoj prezentaciji, zbog nedovoljnog stepena geometrijske i vizuelne realističnosti, kao i nedovoljnog stepena automatizacije u postojećim sistemima.

Predmet ovog istraživanja jeste sistem prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti sa stepenom realističnosti što približnijom percepciji stvarnog sveta, kreiranjem konceptualnog modela u cilju unapređenja postojećih sistema prezentacije metodom proširene stvarnosti, kroz kreiranje i implementaciju algoritma za realističan prikaz okluzije.

1.2 CILJ NAUČNOG ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog rada je **kreiranje i unapređenje sistema za prezentaciju trodimenzionalnih virtuelnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti** sa težnjom postizanja većeg stepena realističnosti. Sistem koncipiran u ovom radu primarno treba da bude prilagođen prezentaciji trodimenzionalnih modela u oblasti arhitekture. Kreiranje konceptualnog sistema podrazumeva osmišljavanje postupka za prezentaciju trodimenzionalnih virtuelnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti.

Sistem za prezentaciju trodimenzionalnih virtuelnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti treba da omogući da:

- segmenti, komponente i veze u sistemu budu u skladu sa geometrijskim i vizuelnim karakteristikama arhitektonskih objekata,
- priprema i upotreba sistema treba da bude jasna i pristupačana arhitektama,
- omogućava intuitivan pregled prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata unutar stvarnog okruženja.

Kreirani sistem treba da bude jezgro prilagođeno za dalje nadogradnje. Prema tome, koncept sistema treba da ima izdvojene segmente i definisane veze, kako bi predstavljao adekvatnu podlogu za dalje nadogradnje i istraživanja. Sistem treba da bude osmišljen tako da je moguće usložnjavanje korišćenjem obrazaca i dodavanjem komponenata.

U cilju unapređenja sistema kreiran je algoritam za **pravilan prikaz okluzije** u sistemima prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Kreiranje algoritma podrazumeva njegovu integraciju unutar funkcionalnog sistema prezentacije zasnovanog na metodi proširene stvarnosti. Ovaj sistem mora biti testiran i njegova funkcionalnost verifikovana na primerima prezentacije trodimenzionalnih arhitektonskih modela.

1.3 OČEKIVANI REZULTATI NAUČNOG ISTRAŽIVANJA

U okviru ove disertacije se istražuje primena metode proširene stvarnosti u cilju kreiranja što realnije prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata. Očekivani rezultat istraživanja je konceptualni model automatskog sistema prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti i unapređenje sistema kreiranjem novog algoritma za pravilan prikaz okluzije.

Kreiranje konceptualnog modela uzima u obzir da on treba da sadrži funkcionalnost praćenja stvarnog sveta: vizuelno, lokacijski ili hibridno. Kreirani dijagrami konceptualnog modela će sadržati elemente, prilagođene prezentaciji arhitektonskih objekata.

Na bazi kreiranog konceptualnog modela, biće izvršena analiza postojećih sistema, da bi se pronašle mogućnosti za unapređenje sistema. Unapređenje koje je moguće izvršiti sa dostupnim tehnološkim alatima je u domenu problema okluzije. U ovom radu biće kreiran algoritam za pravilan prikaz okluzije, koji je moguće implementirati unutar sistema prezentacije trodimenzionalnih arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti i biće izvršeno njegovo testiranje.

1.4 METOD ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je podeljeno u sledeće faze:

- **Analiza dosadašnjih istraživanja**

Radi pravilne sistematizacije različitih pristupa i alata za prikaz putem proširene stvarnosti, u ovom radu će prvo biti izvršena analiza aktuelnih istraživanja i metoda za kreiranje virtuelnih trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata. Sastavni deo analize je istraživanje ključnih tehnologija i principa neophodnih za implementaciju metode proširene stvarnosti, u cilju prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata, sa posebnim osvrtom na dosadašnja istraživanja vezana za problem pravilnog prikaza okluzije u sistemima proširene stvarnosti.

- **Razvoj konceptualnog modela**

Na osnovu dosadašnjih istraživanja i specifičnosti prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata biće izdvojeni elementi neophodni za realističnu prezentaciju metodom proširene stvarnosti. Elementi i veze će biti podeljeni u četiri grupe i moraju zadovoljiti sledeće kriterijume:

- Baza podataka, u kojoj će se naći statični podaci, koji se definišu unapred, poput 3D modela ili markera;
- Praćenje stvarnog sveta, u kojoj će se naći svi neophodni elementi sistema za prikupljanje relevantnih podataka o stvarnom okruženju;
- Registracija, u kojoj će se naći logički elementi i veze neophodne za kalkulaciju finalnog prikaza 3D modela iz baze podataka unutar detektovanog stvarnog okruženja;
- Prikaz, u kome će se naći različiti tipovi ekrana, na kojima se vrši prikaz finalne vizuelizacije.

Na osnovu ovih elemenata će biti kreirani vizuelno, lokacijski i hibridno zasnovani konceptualni modeli prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Kompleksnost problema zahteva poznavanje, upotrebu i proučavanje više oblasti kao što su geometrija, vizuelizacija, arhitektura, računarske tehnologije.

U izučavanju postojećih sistema za prezentaciju metodom proširene stvarnosti analiziran je razvoj savremenog hardvera i njegova upotreba. Izdvojene su ključne komponente i izvršena je adekvatna klasifikacija i sistematizacija. Raščlanjivanjem delova sistema za prezentaciju trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti i analizom njegovih delova, određena je suština funkcionalnih uticaja svakog od elemenata na realizam prezentacije.

Uzajamnim povezivanjem delova sistema, sintetizovan je proces kreiranja automatske prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Definisan je sistem koji polazi od trodimenzionalnog modela arhitektonskog objekta i podataka sa senzora kao ulaznih podataka, a finalni izlazni rezultat je arhitektonska prezentacija metodom proširene stvarnosti sa stepenom realističnosti, što približnijom percepciji stvarnog sveta.

- Unapređenje sistema za prikaz trodimenzionalnog modela arhitektonskog objekta metodom proširene stvarnosti

Kreiranjem i analizom sistema omogućen je jasan uvid u potencijalne načine unapređenja sistema. U skladu sa analiziranim tehnološkim mogućnostima, odabrano je da unapređenje sistema bude fokusirano na kreiranje algoritma za pravilan prikaz okluzije. Rezultati istraživanja su testirani preko primera sistema prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti, kreiranjem prezentacija trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti, korišćenjem komercijalnih sistema i razvojem sopstvenih. Testiranje metode je izvršeno pomoću studija slučaja proširene stvarnosti za prezentaciju postojećih, nekadapostojećih i novoprojektovanih trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata. Svaki od sistema upoređen je sa kreiranim konceptualnim modelom, uz naglašavanje komponenti koje nedostaju za prikaz koji je jednak percepciji stvarnog sveta.

2 DEFINISANJE OSNOVNIH POJMOVA I ANALIZA AKTUELNIH ISTRAŽIVANJA I TEHNOLOGIJA

U ovom poglavlju dat je prikaz metoda kreiranja digitalnih trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata. Prilikom posmatranja 3D modela kao polazne tačke, izvršena je analiza metoda njihove prezentacije. Posebna pažnja posvećena je metodi proširene stvarnosti i detaljnoj analizi najznačajnijih otkrića vezanih za nju.

2.1 IZRADA TRODIMENZIONALNIH VIRTUELNIH MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA

Osnovni preduslov za kreiranje prezentacije virtuelnog arhitektonskog objekta je postojanje odgovarajućeg digitalnog 3D modela. Kreiranje trodimenzionalnog modela može biti izvršeno različitim metodama, u zavisnosti od tipa objekta, dostupne opreme, predznanja, raspoloživog vremena i namene prezentacije. Kako je za uspešnu prezentaciju korišćenjem proširene stvarnosti veoma bitan rad u realnom vremenu, neophodno je voditi računa o kompleksnosti 3D modela. On treba biti optimizovan kako bi sistem proširene stvarnosti registraciju obavljao bez kašnjenja, ali, u isto vreme, i dovoljno realan kako bi korisnički doživljaj bio što uverljiviji. To znači da je za uspešnu prezentaciju metodom proširene stvarnosti potrebno napraviti balans između kvaliteta 3D modela i njegove kompleksnosti. Zato je neophodno poznavati sve metode za kreiranje 3D modela objekata kako bi se, u zavisnosti od namene prezentacije, metodom proširene stvarnosti odabrala odgovarajuća. Odabir odgovarajuće metode direktno je uslovljen od vrste i dostupnosti podataka neophodnih za kreiranje prostornog 3D modela. Zbog toga razlikujemo trodimenzionalne virtuelne modele nastale na osnovu:

- novoprojektovanog objekta
- realnog objekta iz stvarnog sveta

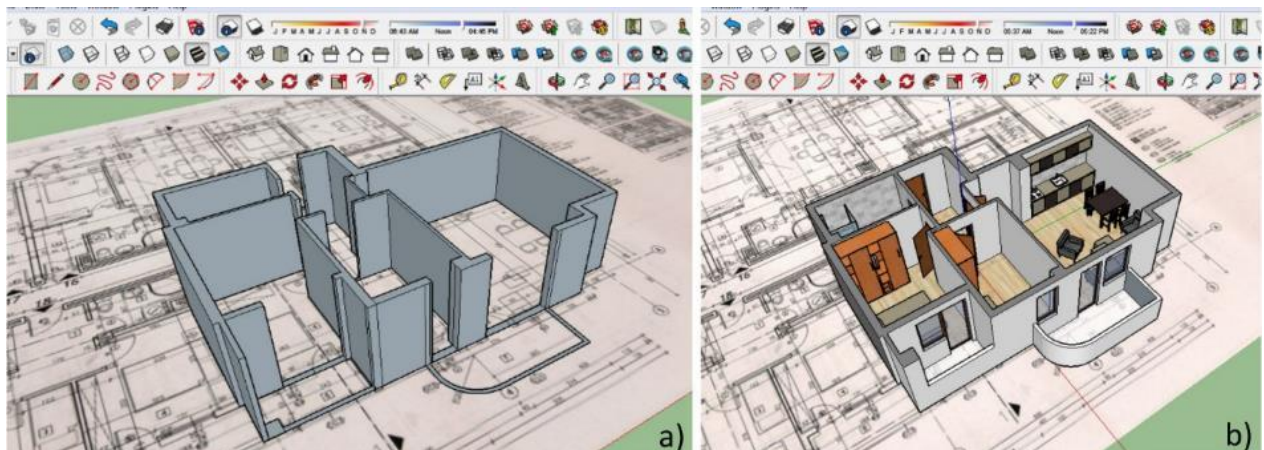
2.1.1 Kriterijumi za izbor odgovarajuće metode izrade 3D modela

Zbog raznovrsnosti objekata koji se beleže, postoje i različiti metodološki i tehnološki pristupi u procesu izrade trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata. Odabir odgovarajuće metode zavisi od sledećih parametara (Krašić & Pejić, 2014):

- Cilj studije
- Tražena geometrijska preciznost i vizuelni kvalitet
- Dostupni podaci
- Fizičke karakteristike objekta i okruženja
- Raspoloživ budžet

2.1.2 Trodimenzionalni model novoprojektovanog objekta

Kreiranje trodimenzionalnog modela novoprojektovanog arhitektonskog objekta podrazumeva korišćenje odgovarajućih podataka o njegovim dimenzijama, obliku i izgledu. Ova metoda podrazumeva izradu 3D modela na osnovu dostupne projektne dokumentacije (tehničkih crteža: osnova, preseka, detalja..) (slika 1 – a i b) ili skica (sa dimenzijama), ukoliko projekat ne postoji. Na osnovu dostupnih podataka se, korišćenjem softverskih paketa za trodimenzionalno modelovanje, kreira trodimenzionalni model (Pejić, et al., 2014).



Slika 1: Kreiranje 3D modela stana na osnovu izvođačkog projekta (Pejić, et al., 2014)

2.1.3 Trodimenzionalni model realnog objekta

U zavisnosti od zahteva u vezi sa automatizacijom, nivoom preciznosti, realizmom u prezentaciji, detaljima, lakoćom obrade, efikasnošću, ekonomičnošću i fleksibilnošću, ponekad je teško odabrati adekvatan pristup za generisanje digitalnih prostornih modela (Remondino & Sabry, 2006). Najčešće jedan pristup ne zadovoljava sve zahteve i najbolje rezultate pruža kombinovanje različitih metoda (Sabry, et al., 2002; Stojaković & Tepavčević, 2009; Stojaković, 2011). U procesu kreiranja virtuelnih trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata mogu se odvojiti dva osnovna tipa generisanja modela. Metode kreiranja 3D modela objekata će se u potpunosti razlikovati, u zavisnosti od toga da li (Stojaković, 2011):

- objekat ne postoji ili
- objekat postoji.

Ukoliko objekat ne postoji, nije moguće generisanje modela metodama merenja fizičkih struktura u stvarnom svetu, već je za izradu virtuelnog 3D modela potrebno koristiti druge, dostupne podatke. Kod objekata koji su postojali, ali su vremenom nestali i više ne postoje, 3D model je moguće kreirati na osnovu fotografija ili tehničke dokumentacije. Trodimenzionalni virtuelni modeli objekata koji fizički postoje, mogu biti kreirani korišćenjem većeg broja metoda. Osnovna podela ovih metoda je na (Pavlidis, et al., 2007):

- empirijsku ili direktnu metodu,
- topografske i geodetske metode,
- fotogrametriju,
- lasersko skeniranje i
- proceduralno modelovanje

2.1.3.1 Uporedna analiza metoda za kreiranje 3D modela

Upoređivanjem prethodno opisanih metoda za kreiranje virtuelnih 3D modela, izdvojeni su zajednički i različiti elementi ovih metoda. Na osnovu činioca i bitnih elemenata u opisanim procesima u tabeli 1, dat je uporedni prikaz metoda sa istaknutim pozitivnim (+) i negativnim (-) činiocima prema proceni autora.

Tabela 1: uporedni prikaz činioca metoda za kreiranje 3D modela (viđenje autora)

Metode kreiranja 3D modela		Empirijska ili direktna metoda	Topografske i geodetske metode	Fotogrametrija				Lasersko skeniranje	
				Zemaljska		Vazдушna		Zemaljsko	Vazdušno
				Polu-automatska	Automatska	Polu-automatska	Automatska		
Činioci	Prikupljanje podataka	-	+	+	-	+	-	-	-
	Fotorealističnost modela	-	-	+	+	+	+	-	-
	Detaljnost modela	-	-	-	+	-	+	+	+
	Veličina fajla	+	-	+	-	+	-	-	-
	Softver	+	-	+	+	+	-	-	-
	Hardver	+	-	+	+	+	-	-	-
	Ljudski faktor, stručnost	+	-	-	+	-	+	-	-
	Utrošak vremena	-	-	-	+	-	+	+	+
Objekat	Nekada postojeći	+	-	+	+/-	+	+/-	-	-
	Postojeći	+	+	+	+	+	+	+	+
	Projekti	+	-	-	-	-	-	-	-

2.2 PREZENTACIJA TRODIMENZIONALNIH VIRTUELNIH MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA

Istorijski posmatrano, evolucija metoda prezentacije arhitektonskih objekata počinje razvojem geometrije (prvi poznati primer je iz 4600. godine pre nove ere, grobnica „Den-Setui“ u Egiptu). Oko 1000. godine nove ere dolazi do prve ispravne teorijske postavke optike i perspektive u knjizi „Perspectiva“, autora Ibn al-Haytham (Smith, 1981). Prve slike sa pravilnim prikazom perspektive prostora nastaju u 15. veku. Pojavljuju se slike koje imaju visok stepen realnosti geometrijske i vizuelne prezentacije. Vizuelna prezentacija (pod kojom podrazumevamo prikaz boja, tekstura, osvetljenja itd.) razvijala se paralelno sa geometrijskom, ali je njen razvoj bio direktno uslovljen tehnologijom proizvodnje boja. Početak razvoja dinamične prezentacije vezuje se za nastanak pokretnih slika, krajem 19. veka. Do naglog razvoja svih komponenti prezentacije dolazi sa razvojem kompjuterske grafike i metoda virtuelne i proširene stvarnosti krajem 20. veka.

Razvoj savremene digitalne tehnologije omogućio je kreiranje i prezentaciju trodimenzionalnih virtuelnih modela arhitektonskih objekata. Osnovna podela metoda za digitalno predstavljanje arhitektonskih objekata je na:

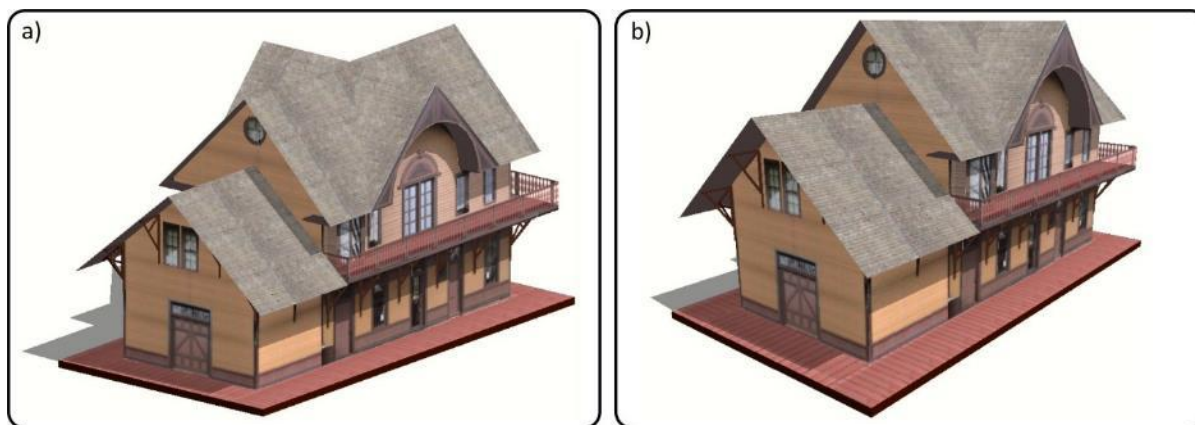
- digitalne slike,
- animaciju,
- virtuelnu stvarnost i
- proširenu stvarnost.

Nakon kreiranja virtuelnog trodimenzionalnog modela arhitektonskog objekta nekom od prikazanih metoda, vrši se njegova vizuelizacija sa ciljem:

- sagledavanja vizuelnih karakteristika (Popkonstantinović, et al., 2012) ili
- analize fizičkih karakteristika (Vasel, et al., 2008.; Pless, et al., 2012).

2.2.1 Digitalne slike

Ovo je najstarija digitalna metoda prezentacije 3D modela i ujedno predstavlja osnovu iz koje su razvijene i ostale, znatno kompleksnije metode. Prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata korišćenjem slika podrazumeva kreiranje dvodimenzionalnih digitalnih vizuelizacija (slika 2).



Slika 2: Digitalne slike arhitektonskog objekta: a) paralelno projiciranje i b) centralno projiciranje
(Sopstvena istraživanja)

Ova metoda razvijena je iz tehničke potrebe da se lik predmeta grafički predstavi onako kako izgleda u ljudskoj svesti, što iziskuje proučavanje procesa dobijanja tog lika. Oponašanjem

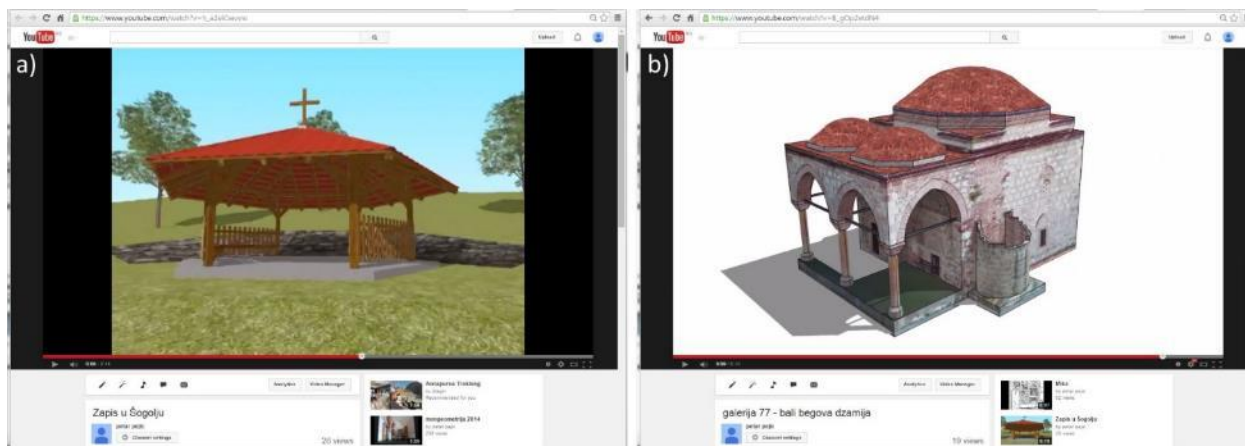
očnog mehanizma došlo se do čisto geometrijskog postupka za grafičko predstavljanje lika objekta i taj postupak je nazvan projiciranje (Anđelković, 1991). Ova metoda razvijena je za projiciranje prostornih oblika (arhitektonskih objekata) na dvodimenzionalnu ravan papira, a kasnije su razvijeni softverski paketi za digitalno trodimenzionalno modelovanje, bazirani na analitičkoj geometriji.

Razvoj alata za kreiranje digitalnih slika pruža sve veće mogućnosti za realniji prikaz objekta, simulacijom dodatnih karakteristika stvarnog sveta. To podrazumeva korišćenje fotorealističnih tekstura površina, prikaz senki, refleksije i odsjaja površina. Težnja vizuelizacije je bila kreiranje što realističnijeg prikaza objekta i njegovog okruženja (Albourae, et al., 2017). Zbog toga su razvijeni softverski paketi sa veoma kompleksnim algoritmima za simulaciju realnosti i proračun parametara na slici. Zbog velike kompleksnosti kalkulacija, često je za izradu jedne fotorealistične slike potrebno više sati rada računara. U nekim slučajevima je rezultat toliko kvalitetan da je nemoguće utvrditi da je reč o virtuelno kreiranoj slici, a ne fotografiji. Međutim, za postizanje kvalitetnog rezultata je potrebno i predznanje i iskustvo u podešavanju velikog broja parametara. Prednost digitalnih slika ogleda se u njihovoj dostupnosti i jednostavnosti pregleda, koja su moguća na širokom spektru uređaja.

2.2.2 Animacija

Animacija predstavlja simulaciju kretanja, koja je kreirana od niza slika (kadrova⁵) za određeni vremenski period. Kako bi korisnik promenom kadrova imao iluziju kretanja, neophodno je da se u jednoj sekundi prikažu najmanje 24 slike. U arhitekturi se animacija koristi radi potpunije percepcije digitalnog 3D modela objekta uvođenjem kretanja u prezentaciju (slika 3). Ona omogućava simulaciju kretanja korisnika oko virtuelnog objekta ili simulaciju kretanja nekih elemenata unutar jedne scene. Na osnovu toga, animacije 3D modela arhitektonskih objekata prema položaju kamere delimo na one sa: statičnom kamerom (ugao gledanja se ne menja, već se u njemu animiraju određeni objekti) i dinamičnom kamerom (ugao gledanja se menja, može se javiti i kretanje objekata).

⁵ U filmskoj industriji kadar je osnovna jedinica filma, najmanja dinamička jedinica, deo između dva montažna spoja (reza), neprekinuti snimak od "uključenja" do "isključenja" kamere, sadržaj obuhvaćen vidnim poljem objektiva". U ovom radu termin kadar će podrazumevati pojedinačnu sliku.



Slika 3: Animacija 3D modela arhitektonskih objekata: a) Zapis u Šogolju (Pejić, 2014) i b) Galerija 77 u Nišu (Pejić, 2014)

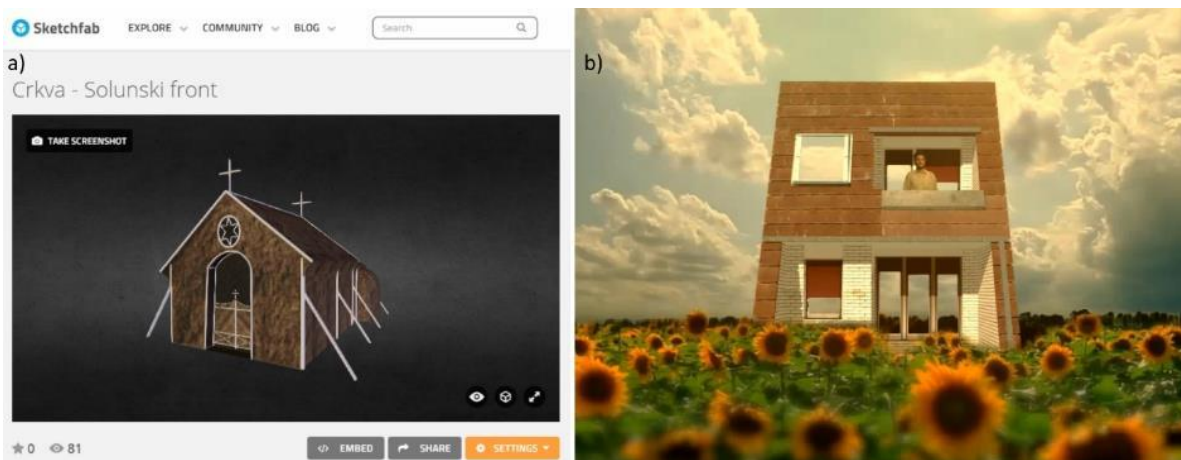
Grupa autora (Kuhlo & Eggert, 2010; Popkonstantinović, et al., 2012) na osnovu analiziranih primera zaključuje da se animacija u građevinarstvu i arhitekturi najčešće koristi:

- za prikazivanje funkcionisanja pokretnih delova objekta i konstrukcije,
- za prikazivanje ili objašnjavanje koncepta, načina na koji se došlo do idejnog rešenja,
- za prikazivanje građevina iz istorije arhitekture,
- za konkurse i prezentaciju finalnog rada, gde se uglavnom prikazuje „fly-through“ animacija.

Postoji veliki broj raznih programa za modelovanje, čiji je cilj da, pored toga što omogućavaju lakše projektovanje i oblikovanje različitih objekata, prikažu model što detaljnije, što realističnije i da budu razumljivi posmatraču. Većina savremenih softverskih paketa za 3D modelovanje ima mogućnost kreiranja animacije, za čiju kvalitetnu izradu je presudno predznanje i iskustvo autora (Zarin, et al., 2012). Prednost animacija ogleda se u njihovoj dostupnosti i jednostavnosti pregleda, koja su moguća na širokom spektru uređaja, korišćenjem odgovarajućih programa za pregled video sadržaja.

2.2.3 Virtuelna stvarnost

Trodimenzionalne virtuelne modele arhitektonskih objekata moguće je predstaviti i metodom virtuelne stvarnosti (VR). Virtuelna stvarnost predstavlja računarski simuliranu okolinu koja može da simulira fizičko prisustvo unutar virtuelnog ili imaginarnog sveta (Paesa, et al., 2017). Virtuelna stvarnost predstavlja evolutivni napredak digitalnih metoda prezentacije 3D modela objekata. Kao i kod animacije i dvodimenzionalnih slika, težnja autora je da se dobije što realniji prikaz virtuelnih objekata, što podrazumeva približavanje iskustva krajnjeg korisnika u virtuelnom svetu iskustvu iz stvarnog sveta (slika 4). Zbog toga virtuelna stvarnost omogućava korisniku interakciju u realnom vremenu i slobodu kretanja unutar njega. Za razliku od animacije i dvodimenzionalnih slika gde autor određuje položaje i uglove iz kojih korisnik sagledava virtuelni objekat, u virtuelnoj stvarnosti korisnik sam bira položaj i ugao gledanja. Na ovaj način doživljaj 3D modela je realniji, ali je zbog rada u realnom vremenu kvalitet i fotorealističnost prikaza smanjena. Pogotovo što je istovremeno potrebno procesuirati podatke za prikaz 3D modela objekta i 3D modela okruženja u kojem se nalazi.



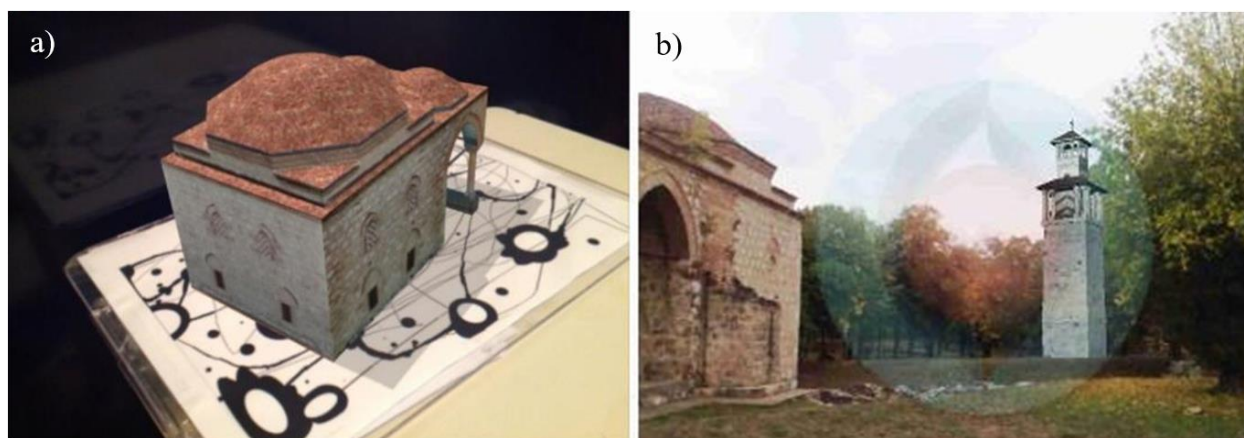
Slika 4: Prezentacija 3D modela arhitektonskih objekata korišćenjem virtuelne stvarnosti: a) web prezentacija (Pejić, 2014) i b) film (Po suncu hoda, 2015).

Savremeni sistemi virtuelne stvarnosti mogu biti implementirani kroz kompleksne sisteme specijalno namenjene za prikaz virtuelnih podataka u nekoj oblasti ili kroz upotrebu komercijalnih, široko rasprostranjenih uređaja, poput personalnih računara, mobilnih telefona ili tableta. U arhitekturi, primena virtuelne stvarnosti se odnosi uglavnom na prikaz objekata pomoću nekog od komercijalnih uređaja. Svaki od programa za trodimenzionalno kreiranje

modela istovremeno služi i za njihov prikaz u virtuelnoj stvarnosti. Međutim, postoje i programi specijalno namenjeni za prezentaciju. Poslednjih godina u arhitekturi postaju popularna *web* rešenja (slika 4a) za prezentaciju objekata korišćenjem virtuelne stvarnosti (Obradović, et al., 2013; Kohen, et al., 2016) i *HMD* sistemi poput *Oculus Rift*, *Samsung Gear VR*, *Google Cardboard* dogradnje koja mobilne telefone pretvara u *HMD* uređaje (Nihar & Sayalee, 2018).

2.2.4 Proširena stvarnost

Proširena stvarnost je do 1990. godine bila sastavni deo virtuelne stvarnosti. Nakon izdvajanja u posebnu oblast dolazi do njenog naglog razvoja. Ona predstavlja metodu kojom trodimenzionalne virtuelne modele arhitektonskih objekata predstavljamo unutar stvarnog okruženja (slika 5). U prikazu, korisnik percipira stvarni svet sa dodatkom virtuelnih podataka pozicioniranih na odgovarajućem mestu (Hughes, 2014). Kao i kod prethodnih metoda prezentacije, težnja je kreiranje što realnijeg i prirodnijeg prikaza. Glavne odlike ove metode su mogućnost odabira položaja očne tačke i ugla posmatranja virtuelnog objekta od strane korisnika. Korišćenje stvarnog sveta za praćenje i prikaz modela unutar njega, za razliku od virtuelne stvarnosti, postiže maksimum u realističnom prikazu okruženja. Problem ove metode je neophodnost velikog broja kalkulacija podataka u realnom vremenu, dobijenih od različitih senzora, što zahteva odgovarajući hardver i bitno utiče na realnost prikaza virtuelnog 3D modela arhitektonskog objekta.



Slika 5: Prezentacija 3D modela arhitektonskih objekata korišćenjem proširene stvarnosti: a) Model Galerije 77 (Pejić, et al., 2014) i b) Model sahat kule (Sopstvena istraživanja)

Kao i kod virtuelne stvarnosti, savremeni sistemi proširene stvarnosti mogu biti prikazani korišćenjem specijalnih istraživačkih sistema ili na komercijalnim uređajima. Softverski paketi za kreiranje prezentacije metodom proširene stvarnosti su dostupni kao dodaci za postojeće programe za 3D modelovanje, ali su dosta ograničeni ili su dostupni u vidu kompletnih softverskih paketa sa velikom slobodom kreiranja prezentacija. Kreiranje prezentacije u ovim softverskim paketima zahteva i predznanje programiranja, što ga čini komplikovanim za korišćenje od strane većine arhitekata. Sa druge strane, softverski paketi za pregled virtuelnog sadržaja su dostupni na svim operativnim sistemima. Pregled sadržaja je prilagođen svim korisnicima, jednostavan je i potpuno intuitivan (Hughes, 2014).

2.2.5 Uporedna analiza metoda prezentacije 3D modela

Prikazane metode za prezentacije virtuelnih 3D modela arhitektonskih objekata posmatrane su iz aspekta arhitekta, koji kreira aplikaciju i iz aspekta krajnjeg korisnika, koji eksploatiše prezentaciju. Pretpostavka je da arhitekta ima već pripremljen 3D model objekta i da je njegov jedini zadatak kreiranje prezentacije. Takođe, smatra se da arhitekta poseduje dovoljno predznanja i iskustva u podešavanju parametara za fotorealistični render.

Hardver, neophodan za kreiranje dvodimenzionalnih slika i animacija, je široko dostupan i eksploatisan od strane arhitekata u svrhu kreiranja digitalnih prezentacija 3D modela objekata. Ovaj hardver se može koristiti i za kreiranje prezentacija u virtuelnoj i proširenoj stvarnosti, ali kod određenih sistema je potrebno korišćenje i specifičnih hardverskih komponenti (HMD, različiti senzori...). Softver, neophodan za kreiranje prezentacija, je postao sastavni deo izrade svakog arhitektonskog projekta, dok su besplatne dogradnje ovih paketa dostupne u cilju kreiranja prezentacija u virtuelnoj ili proširenoj stvarnosti. U najvećem broju slučajeva, prezentaciju je moguće napraviti bez predznanja programiranja, ali ovakav pristup ima ograničenja. Kod proširene stvarnosti bez predznanja programiranja moguće je kreirati prezentacije koje će zahtevati korišćenje posebnih aplikacija za pregled, koje često nisu besplatne, ili u sebi poseduju reklame. Postoje i drugi pristupi u kojima nema reklama i pregled je besplatan, ali je neophodno platiti kreiranje prezentacije. Ove komercijalne aplikacije karakterišu i brojna ograničenja u smislu nemogućnosti korišćenja svih senzora i kreiranja dodatnog sadržaja u aplikaciji (tekst, slika, video ...).

Gledano sa stanovišta krajnjeg korisnika, pretpostavka je da korisnik, pregledač prezentacije virtuelnog trodimenzionalnog modela arhitektonskog objekta, poseduje osnovnu informatičku pismenost, kao i da je njegov jedini zadatak pregled prethodno pripremljene prezentacije.

Pregled većine prezentacija moguć je korišćenjem komercijalnog hardvera poput personalnih računara, mobilnih telefona ili tableta. U slučaju virtuelne i proširene stvarnosti, može biti potrebno korišćenje specifičnog hardvera za pregled sadržaja (HMD sistemi, dodatni senzori...). Softverski paketi za pregled slika i animacija su dostupni na svim platformama i operativnim sistemima, dok za pregled sadržaja u virtuelnoj i proširenoj stvarnosti može biti ograničenja u pogledu dostupnosti određenih aplikacija na određenim operativnim sistemima. Osnovna informatička pismenost podrazumeva dovoljno znanje za pregled slika i animacija, dok u nekim slučajevima pregled 3D modela u virtuelnoj stvarnosti zahteva određeno predznanje o manipulaciji 3D sadržajima. Kod proširene stvarnosti pregled je potpuno intuitivan i obavlja se fizičkim pomeranjem uređaja, te ne zahteva nikakvo dodatno predznanje korisnika.

Dvodimenzionalne slike i animacije su ograničene u pogledu mogućnosti kretanja korisnika i pregleda 3D modela, položaj očne tačke i ugao sagledavanja je definisan od strane arhitekta. Za razliku od njih, u metodama virtuelne i proširene stvarnosti korisnik ima slobodu kretanja i mogućnost odabira položaja očne tačke i ugla gledanja objekta. Kod dvodimenzionalnih slika i animacije, fotorealističnost može biti na mnogo većem nivou u odnosu na virtuelnu stvarnost, kod koje je potrebno svaki kadar isprocesuirati i renderovati u realnom vremenu. Današnja tehnologija omogućava visok stepen fotorealističnosti VR prikaza, ali je za to, pored adekvatne VR opreme, neophodno posedovanje i izuzetno snažnog računara. Kod proširene stvarnosti imamo najveći stepen realnosti okruženja objekta, jer se prikazuje stvarni svet, dok je prikaz 3D modela nedovoljno realan zbog rada u realnom vremenu i potrebe za obradom velike količine podataka. Stabilnost prikaza može biti problem kod prezentacije u proširenoj stvarnosti, ukoliko odnos između realnosti prikaza modela i mogućnosti hardvera nije usklađen. Ovo može dovesti do kašnjenja u prikazu virtuelnog 3D modela i nerealnog prikaza same scene. Za korisnike arhitektonskih prezentacija, metod koji daje najbolji prikaz trodimenzionalnog modela je proširena stvarnost. Međutim, kreiranje ovakvog tipa prezentacije je veoma kompleksno za prosečnog arhitektu.

2.3 PREGLED RAZVOJA NAJZNAČAJNIJIH TEHNIKA I TEHNOLOGIJA VEZANIH ZA METODU PROŠIRENE STVARNOSTI

Radi kreiranja preglednog razvoja najznačajnijih tehnika i tehnologija vezanih za metodu proširene stvarnosti prikazan je hronološki pregled najvažnijih istraživanja i otkrića do sada. Posebna pažnja je posvećena najvećim prekretnicama u razvoju koncepta funkcionisanja sistema proširene stvarnosti i razvoja hardversko-softverskih rešenja.

Istraživanja vezana za oblast proširene stvarnosti počela su 1968. godine, međutim, interesovanje za ovu oblast intenzivno raste tek u poslednjih desetak godina. Razlog za to je razvoj hardverskih mogućnosti, koji je zbog velike složenosti tehnologije proširene stvarnosti neophodan (Pejić, et al., 2014).

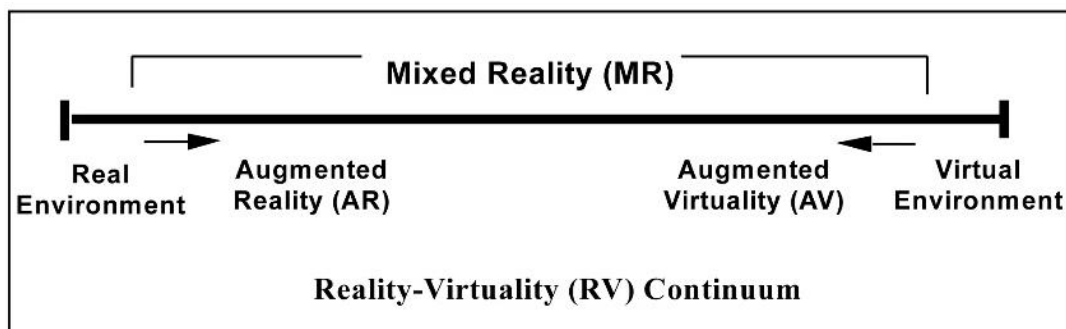
1968. - Prvi sistem virtuelne stvarnosti kreirao je Ivan Sutherland 1968. godine (Sutherland, 1968). Ovaj sistem istovremeno predstavlja i prvi sistem proširene stvarnosti. On koristi optičko prozirni ekran⁶, montiran na glavi, koji vrši praćenje pomoću ultrazvučnog senzora i jednog od dva mehanička senzora sa šest stepeni slobode. Zbog veoma ograničenih procesualnih mogućnosti računara tog doba, ovaj sistem je jedino omogućavao prikaz jednostavnih linijskih crteža u realnom vremenu.

1973. - Ministarstvo odbrane SAD-a je odpočelo projekat izrade globalnog sistema pozicioniranja (*GPS*, zvanično *NAVSTAR-GPS*). Međutim, *GPS* je prevashodno bio razvijen za vojnu upotrebu, dok ga danas koriste milioni ljudi svakog dana za navigaciju. *GPS* prijemnik proračunava poziciju na osnovu signala dobijenih od satelita, pozicioniranih u orbiti. Preciznost civilnog *GPS* sistema je obično oko 15m, a vojnog 0,5m. Veća preciznost se postiže korišćenjem *DGPS* sistema, koji koriste korekciju signala sa fiksnih referentnih stanica koji se nalaze na zemlji. Razvoj *GPS*-a omogućio je njegovu primenu u sistemima proširene stvarnosti.

⁶ Optičko prozirni ekran – prozirni ekran sa mogućnošću prikaza virtuelnih informacija

1992. - U svom naučnom radu, Tom Caudell i David Mizell prvi put u istoriji koriste termin „Proširena stvarnost“ (*Augmented reality*) (Caudell & Mizell, 1992). Proširenu stvarnost su definisali kao dodatni sloj kompjuterski generisanog materijala, postavljenog preko realnog prikaza. U ovom radu oni diskutuju o prednostima proširene stvarnosti u odnosu na virtuelnu, poput manje potrebe za procesualnom moći, zbog manjeg broja piksela koji se prikazuju. Oni su, takođe, istakli i potrebu za praćenjem stvarnog sveta kod proširene stvarnosti, kako bi se stvarni i virtuelni svet usaglasili.

1994. - Paul Milgram i Fumio Kishino su u svojim radovima (Milgram, et al., 1994) (Milgram & Kishino, 1994) definisali i predstavili „Reality-Virtuality Continuum“ (Slika 6). Njihov kontinuum razmatra prostor između virtuelnog i stvarnog, unutar kog se nalazi proširena stvarnost. Ovo njihovo istraživanje je opšte prihvaćeno i predstavlja nezaobilaznu osnovu svih savremenih istraživanja u oblasti proširene stvarnosti.



Slika 6: Stvarno - Virtuelno kontinuum (Milgram, et al., 1994.)

1997. - Ronald Azuma je u svom naučnom radu (Azuma, 1997) prikazao opšte prihvaćenu definiciju proširene stvarnosti, koja prepoznaje njene tri osnovne karakteristike:

- kombinuje stvarno i virtuelno,
- interaktivna je u realnom vremenu i
- ima 3D registraciju.

Dalja istraživanja i razvoj savremenog hardvera doprineo je da se u 2018. godini neke od najvećih svetskih kompanija, globalnih lidera u oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija, bave razvojem svojih sistema proširene stvarnosti.

2.3.1 Aktuelno stanje u oblasti

U ovom poglavlju predstavljen je pregled najznačajnijih rezultata istraživanja u oblasti prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Analizirani su naučni radovi objavljeni u relevantnim međunarodnim časopisima i naučnim konferencijama u proteklih deset godina.

Grupa autora Fernández i ostali su 2013. godine sproveli analizu kalkulacione zahtevnosti pojedinačnih procesa, koji se obavljaju prilikom funkcionisanja vizuelno zasnovanog sistema proširene stvarnosti na pametnim prenosnim uređajima (Fernández, et al., 2013). Celokupan test je obavljen za više android i iOS uređaja i došlo se do zaključka da je vizuelno praćenje okruženja najzahtevniji proces pri prikazu virtuelnog sadržaja unutar stvarnog sveta. Takođe, rezultati pokazuju i da uređaji sa android operativnim sistemom znatno lakše procesiraju praćenje u odnosu na uređaje sa iOS operativnim sistemom.

Poslednjih godina glavni fokus istraživanja u oblasti praćenja bio je usmeren na unapređenje preciznosti. Istraživanja vezana za vizuelno zasnovane sisteme proširene stvarnosti fokusirana su na praćenju trodimenzionalnog prostora, korišćenjem prirodnih markera koji su sastavni deo tog prostora (Siltanen, 2012; Huang, et al., 2016). U istraživanjima Koji Makite (Makita, 2014) testirana je mogućnost vizuelnog praćenja kompleksnog enterijera, korišćenjem prethodno definisanih fotografija tog prostora kao markera. Sličan pristup praćenju imala je i grupa autora (Chen, et al., 2015), koja u svom sistemu proširene stvarnosti vrši vizuelno praćenje mašinskih delova i korisniku daje uputstvo za sklapanje složenog mehanizma.

Zbog nedovoljne preciznosti lokacijski (GPS) zasnovanih sistema proširene stvarnosti, njihova upotreba u unutrašnjosti objekata je limitirana (Rizov, 2014; Liu & Seipel, 2018). Iz tog razloga su Ahn i Han (Ahn & Han, 2012), kreirali lokacijski zasnovan sistem proširene stvarnosti, namenjen evakuaciji ljudi. Radi poboljšanja preciznosti praćenja putanja unutar kompleksne poslovne zgrade, koristili su algoritam koji prati kretanje mobilnih telefona ljudi putem GPS-a unutar objekta kako bi precizno markirali putanje. U kombinaciji sa projektom zgrade uspeali su da, na ovaj način, značajno povećaju preciznost lokacijski zasnovanog praćenja i prikaza virtuelnog sadržaja. Sa istim ciljem preciznijeg praćenja kretanja unutar zatvorenog prostora, grupa autora (Ruiz, et al., 2013) je razvila hibridni sistem proširene stvarnosti. Ovaj

sistem kombinuje lokacijsko praćenje na osnovu jačine dostupnih WiFi signala, akcelerometra i analizira video signal sa kamere.

Nekoliko poslednjih godina jedna grupa istraživanja usmerena je ka rešavanju problema nepravilnog prikaza okluzije. Jedan od pristupa rešavanju ovog problema bio je upotreba stereoskopskih kamera (Jiejie, et al., 2010; Yuan, et al., 2012). Ovakvim pristupom je uspešno rešen problem pravilnog prikaza okluzije od statičnih predmeta, dok okluzija od dinamičkih ostaje problem. Još jedan pristup rešavanju statičke okluzije predstavlja rad grupe autora (Carozza, et al., 2014), koji svoj sistem zasnivaju na poluautomatskom vizuelnom sistemu proširene stvarnosti sa jednom kamerom. U njihovom sistemu potrebno je, osim modela koji se prikazuje, uneti i trodimenzionalni meš model okolnih objekata koji će stvarati okluziju. Sistem je, prilikom testiranja u urbanom okruženju, dao dobre rezultate u slučajevima okluzije od zgrada, dok okluzija od vegetacije, prethodno nedefinisanih okolnih objekata i dinamičkih objekata, predstavlja problem.

Bolje rezultate kod rešavanja problema dinamičke okluzije dali su sistemi sa mogućnošću laserskog skeniranja okruženja (Hansard, et al., 2012). Sistem ovog tipa kreirali su Behzadan i Vineet i uspešno testirali u kontrolisanoj sredini u slučajevima rada građevinskih mašina (Behzadan & Vineet, 2010). Njihov sistem pravilno prikazuje okluziju od statičnih i dinamičkih predmeta u kontrolisanoj sredini, dok određeni problemi postoje prilikom testiranja u realnim situacijama, zbog kompleksnosti prirodnog okruženja i vegetacije. Još jedan problem je veliki gabarit samog sistema, zbog čega je otežano njegovo korišćenje u realnim situacijama.

Jedan deo analiziranih radova odnosi se na povećanje stepena realističnosti prikaza virtuelnih modela u sistemima proširene stvarnosti (Pessoa, et al., 2010). Grupe autora (Aittala, 2010; Hoshang & Mohd, 2014; Hoshang, et al., 2013) su razvijale algoritme za realističnije prikazivanje senki virtuelnog objekta. Dok su (Sheng, et al., 2010) u svom radu rešavali problem odsjaja i nepravilnog prikaza boja u sistemima proširene stvarnosti sa projekcionim ekranima⁷.

Kako jedan od velikih problema sistema proširene stvarnosti predstavlja potreba za obavljanjem velikog broja kalkulacija u deliću sekunde, grupa autora (Zhang, et al., 2011) je radila na rešavanju ovog problema korišćenjem *cloud* tehnologije. Oni su performanse rada

⁷ Projekcioni ekrani – sistem prikaza sadržaja metodom projektovanja na površinu unutar stvarnog sveta

poboljšali korišćenjem mobilnog telefona isključivo kao uređaja za prenos podataka, dok su sve neophodne kalkulacije obavljane na eksternim uređajima. Problem kod ovakve konfiguracije može predstavljati nedovoljna brzina prenosa podataka između uređaja za prikaz i za kalkulaciju podataka.

Određen broj analiziranih radova odnosi se i na algoritme koji virtuelnim objektima dodeljuju fizičke karakteristike i omogućavaju realniju manipulaciju korišćenjem sistema proširene stvarnosti (Kim, et al., 2010; Imberta, et al., 2013). U drugim radovima kombinuju se sistemi proširene stvarnosti sa senzorskim sistemima, koji detektuju pokrete ruku radi manipulacije virtuelnih objekata unutar proširene stvarnosti (Lee, et al., 2010; Ng, et al., 2011; Bostanci, et al., 2015).

Istraživanja u domenu prikaza su fokusirana na razvoj i usavršavanje sistema proširene stvarnosti sa prozirnim ekranima (Vogel, et al., 2011). Druga grupa autora svoja istraživanja u ovom segmentu proširene stvarnosti fokusira na razvoj sistema sa projekcionim ekranima. Aksit i ostali su razvili sistem koji koristi piko projektore i polarizovane naočare radi prikaza trodimenzionalnih modela u proširenoj stvarnosti (Aksit, et al., 2013). Autori (Chan & Lau, 2012) koriste statične projektore i bežične kontrolere za pregled i uvećavanje 3D sadržaja. Projekcioni sistem proširene stvarnosti autora (Kai-Chen, et al., 2012) smešten je u šlemu i upotrebljava se za prikaz izvođačkih projekata i detalja, radi komfornijeg rada na gradilištu.

Analizom naučnih radova koji se bave prezentacijom trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti uočeno je da su radovi usmereni na sledeće:

- Istorijski značajne objekte ili urbane celine (Novotný, et al., 2013; Kang, 2013; Pejić, et al., 2014; Pejić, et al., 2015);
- Arheološke nalaze delova objekata i predmeta (Jimenez, et al., 2015);
- Novoprojektovane objekte (Kai-Chen, et al., 2012; Carozza, et al., 2014; Pejić, et al., 2014);
- Prikaze 3D modela u edukaciji, korišćenjem „pametnih“ knjiga (Cho, et al., 2011; Pejić, et al., 2015; Mota, et al., 2018).

2.3.2 Nedostaci postojećih sistema

Prethodno analizirana istraživanja ne prikazuju sistem proširene stvarnosti, koji je u potpunosti prilagođen prezentaciji trodimenzionalnih virtuelnih modela arhitektonskih objekata, sa stepenom realističnosti što približnijom percepciji stvarnog sveta. Većina aktuelnih istraživanja je usmerena ka rešavanju samo nekog od opštih problema prezentacije metodom proširene stvarnosti. Retka su istraživanja koja su direktno orijentisana ka arhitektonskoj struci (Kai-Chen, et al., 2012; Novotný, et al., 2013; Pejić, et al., 2014; Carozza, et al., 2014). Međutim, i ova istraživanja nemaju kao glavni cilj prilagođenost celokupnog sistema korisniku iz oblasti arhitekture, već samo unapređenje rada određenih delova sistema.

Većina istraživanja se odnosi na sisteme kreirane specijalno za potrebe rada i podrazumevaju integraciju trodimenzionalnog modela unutar razvojnog okruženja (Imberta, et al., 2013) i (Pejić, et al., 2015). Zbog toga nije moguće jednostavno prikazati drugi trodimenzionalni model korišćenjem istog sistema, već je potrebno predznanje iz programiranja.

Sa druge strane, postoje komercijalni sistemi za prezentaciju trodimenzionalnih modela poput *Augmented* i *AR-media* aplikacija za pametne prenosne uređaje, koji omogućavaju relativno jednostavnu integraciju trodimenzionalnog modela unutar sistema, bez potrebe za predznanjem programiranja. Ovi sistemi su kreirani za opštu upotrebu i prezentaciju trodimenzionalnih modela metodom proširene stvarnosti u različitim oblastima, zbog čega postoji problem realističnosti prezentacije (Pejić, et al., 2014).

Aktuelna istraživanja, koja se odnose na povećanje stepena realističnosti prikaza virtuelnih modela u sistemima proširene stvarnosti, bave se problemima realnijeg prikaza senki (Hoshang & Mohd, 2014). Međutim, ova istraživanja ne razmatraju kalkulaciju realnog prikaza pravca senki u odnosu na geografsku lokaciju, datum i vreme. U svojim istraživanjima autori (Sheng, et al., 2010) rešavaju generalni problem odsjaja i nepravilnog prikaza boja u sistemu proširene stvarnosti sa projekcionim ekranima. Ne postoje istraživanja koja se bave problemom realnog prikaza refleksije stvarnog sveta na površinama virtuelnog trodimenzionalnog modela ili obratno. Neki od komercijalnih sistema imaju mogućnost jednostavnog prikaza providnosti virtuelnih površina. Dok mogućnost realnog prikaza trodimenzionalnog modela kroz providne površine stvarnog sveta ne obrađuje ni jedno istraživanje.

Aktuelna istraživanja se bave i problemom realnog prikaza okluzije, primenom stereoskopskih kamera (Jiejie, et al., 2010; Yuan, et al., 2012); poluautomatskim korišćenjem jedne kamere (Carozza, et al., 2014); i laserskim skeniranjem (Behzadan & Vineet, 2010). Međutim, ni jedan od ovih sistema nema mogućnost pravilnog prikaza okluzije u svim slučajevima. Najbolje rezultate prilikom testiranja dao je pristup sa laserskim skenerima, ali problem se pojavljuje prilikom testiranja u realnim situacijama, zbog kompleksnosti prirodnog okruženja i vegetacije. Još jedan problem je veliki gabarit samog uređaja, zbog čega je otežano njegovo korišćenje u realnim situacijama.

Praćenje stvarnog sveta u sistemima proširene stvarnosti analiziranim u aktuelnim istraživanjima obavlja se: vizuelno (Fernández, et al., 2013; Makita, 2014; Chen, et al., 2015; Pejić, et al., 2015); lokacijski (Ahn & Han, 2012) i hibridno (Ruiz, et al., 2013; Pejić, et al., 2015). Većina primenjenih sistema bila je namenjena i specijalno prilagođena prikazu specifične vrste objekata u specijalnim situacijama. Nedostatak tih sistema se ogleda u nemogućnosti univerzalne upotrebe za prezentaciju svih vrsta arhitektonskih objekata.

U okviru ove doktorske disertacije se istražuje primena metode proširene stvarnosti u cilju kreiranja što realnije prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata. Očekivani rezultat istraživanja je konceptualni model automatskog sistema prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti i detaljnija razrada njegovih delova. Rezultati istraživanja su verifikovani preko praktičnih primera sistema prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Na taj način se doprinosi poboljšanju razumevanja metode proširene stvarnosti kao tehnologije i omogućava brže prihvatanje od strane arhitekata.

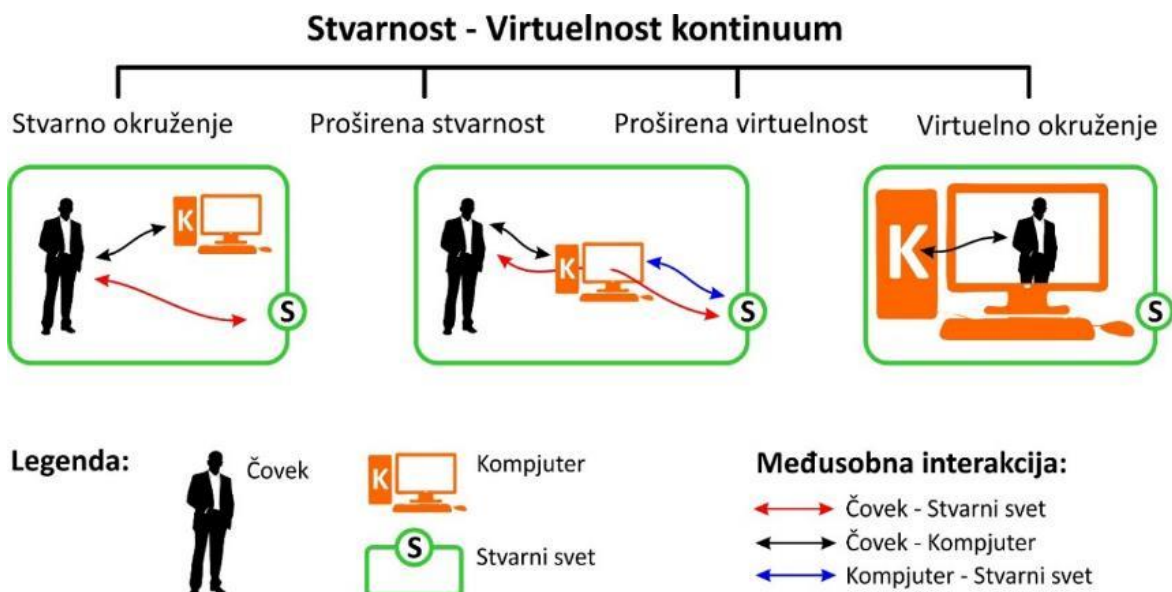
Doktorska disertacija donosi novo rešenje problema pravilnog prikaza okluzije, primenom pametnih prenosnih uređaja koji imaju integrisani laserski senzor, što predstavlja unapređenje u odnosu na postojeće metode rešavanja okluzije i poboljšava realističnost prikaza trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti.

2.4 PROŠIRENA STVARNOST

Kako ne postoji jedinstvena globalno usvojena definicija proširene stvarnosti, opšte je prihvaćena i najčešće interpretirana definicija autora Azuma Ronalda. Prema njemu, u proširenoj stvarnosti računar je transparentan i korisnik percipira svet putem računara. To znači da računar može mešati utiske o stvarnom svetu sa kompjuterski generisanim informacijama. Na ovaj način se postojeća stvarnost dopunjuje i proširuje novim informacijama. Kako je svet trodimenzionalan i interaktivan, to zahteva da sistem proširene stvarnosti mora imati sledeće karakteristike (Azuma, 1995):

- kombinuje stvarno i virtuelno,
- ima interakciju u realnom vremenu, i
- funkcionisanje je trodimenzionalno.

Kontinuum Stvarnost-Virtuelnost (slika 7) se kreće od stvarnog, odnosno fizičkog okruženja, pa sve do virtuelnog okruženja. Između ovih ekstrema postoji mešavina stvarnog i virtuelnog, takozvana pomešana stvarnost (Milgram & Kishino, 1994).



Slika 7: Kontinuum stvarnost-virtuelnost i odgovarajuće interakcije (Milgram & Kishino, 1994)

Kod stvarnog okruženja postoje interakcije čoveka isključivo sa kompjuterom ili sa stvarnim svetom. Interakcija u stvarnom okruženju zahteva prebacivanje fokusa korisnika sa računara na fizičko okruženje. U pomešanoj stvarnosti možemo imati proširenu stvarnost ili proširenu virtuelnost, gde se interakcije koje postoje u stvarnom okruženju superponiraju. U oba slučaja, prisutna je interakcija na relaciji: čovek – kompjuter i kompjuter – stvarni svet, tj. celokupna interakcija između čoveka i stvarnog sveta se ostvaruje preko računara. Kod virtuelnog okruženja, celokupna interakcija se odvija između čoveka i računara, odnosno čovek nema nikakvu interakciju sa stvarnim svetom. Virtuelna sredina ne dozvoljava nikakvu interakciju sa stvarnim svetom (Rekimoto & Nagao, 1995).

Koncept proširene stvarnosti primenjiv je za sva čula, moguće je stvarnost dopuniti slikom, zvukom, mirisom... Kako je tema ovog istraživanja vezana za arhitekturu, fokus je stavljen na vizuelno proširenje stvarnosti. Ovo znači da će sistem proširene stvarnosti superponirati pogled korisnika na stvarni svet sa trodimenzionalnom grafikom u realnom vremenu. Promena pravca gledanja korisnika automatski generiše novu virtuelnu scenu, kako bi odnosi između realnih i virtuelnih objekata bili očuvani. Na ovaj način, virtuelne slike se povezuju sa objektima iz stvarnog sveta.

Ilustrativno je poređenje proširene stvarnosti (PS) i virtuelne stvarnosti (VS) gde su predstavljene isključivo virtuelne informacije. Proširena stvarnost je blisko povezana sa virtuelnom stvarnošću, pošto su prikazi senzora delimično virtuelni. Dijagram stvarnost – virtuelnost, prikazan na slici 7, pokazuje ovu vezu. Desni deo na dijagramu pripada virtuelnom, gde je sve manje informacija iz stvarnog sveta prisutno. Sredinu dijagrama predstavlja pomešana stvarnost, koja uključuje proširenu stvarnost i proširenu virtuelnost, kod koje je većina podataka, često i pozadina kompjuterski generisana. Kontinuum stvarnost-virtuelnost ističe još jednu prednost proširene stvarnosti, u kojoj nije potrebno kreiranje skupe digitalne verzije scene stvarnog fizičkog okruženja kada se prikazuje novi objekat u postojećem okruženju (Henrysson, 2007).

Ono što čini istraživače zainteresovanim za proširenu stvarnost je njena mogućnost inteligentne dopune percepcije stvarnog sveta informacijama koje su povezane sa okruženjem (Azuma, 1997). Ovo se dalje može opisati kao povezivanje vizuelizacije virtuelnog objekta sa stvarnim objektom bez potrebe za bilo kakvim međukoracima. Međutim, referentne tačke

virtuelnog objekta moraju biti povezane sa odgovarajućim tačkama stvarnog sveta, što ponekad zahteva dosta vremena za kreiranje prezentacije metodom proširene stvarnosti (Henrysson, 2007).

U tradicionalnom „lice u lice“ zajedničkom radu, učesnici okružuju sto, na kojem se nalazi predmet interesovanja, na primer prototip proizvoda. Ljudi mogu da vide jedni druge i koriste neverbalne signale komunikacije. Ukoliko je predmet interesovanja 3D model kuće prikazan na vertikalnom ekranu, učesnici više nisu u mogućnosti da vide komunikacione signale poput pogleda, ili gestikulacije, jer sede jedan pored drugog i posmatraju ekran. Korišćenjem proširene stvarnosti moguće je dobiti najbolje iz oba sveta, stvarnog i virtuelnog. Moguće je paralelno postojanje i prezentacija digitalnog 3D modela i komunikacija među učesnicima. Ove mogućnosti čine proširenu stvarnost interesantnom za kompjuterski podržan kooperativni rad (Billinghurst, et al., 2000).

2.4.1 Tehnologije sistema proširene stvarnosti

Postoje tri ključne tehnologije na osnovu kojih je sistem proširene stvarnosti sagrađen:

- **Praćenje:** sistem mora da zna položaj (očnu tačku), da preuzme i prikaže odgovarajući virtuelni sadržaj. Tačnije, mora da zna položaj i orijentaciju sistemskog displeja u fizičkom koordinatnom sistemu sa poznatim mapiranjem ka virtuelnom. Uspostavljanje parametara položaja i orijentacije je poznato kao praćenje.
- **Registracija** je finalno usklađivanje stvarnih i virtuelnih informacija, koje se predstavljaju korisniku. Praćenje je samo sredstvo za postizanje registracije. Registracija mora biti napravljena sa preciznošću na nivou piksela i mogućnošću prikaza dovoljnog broja kadrova u sekundi, kako bi se sačuvala iluzija koegzistencije stvarnog i virtuelnog unutar istog polja prikaza.
- **Prikaz:** proširena stvarnost mora biti sposobna da, kao izlazni podatak, pruži mešavinu stvarnog i virtuelnog sveta. Iz tog razloga, ekran korisniku mora omogućiti da vidi stvaran svet sa dodatnim slojem trodimenzionalne grafike preko njega. On, takođe, mora omogućiti praćenje sa interaktivnim brojem kadrova u sekundi.

Svaka od tri prikazane ključne tehnologije podrazumeva upotrebu odgovarajućih hardverskih komponenti. Ove komponente delimo na (Craig, 2013):

- **Senzori:** služe za određivanje stanja fizičkog (stvarnog) sveta u kome se sistem proširene stvarnosti trenutno nalazi,
- **Procesor:** služi za evaluiranje podataka dobijenih od senzora, primenu specifičnih zakonitosti i pravila virtuelnog sveta za generisanje signala, koji je neophodno prikazati na ekranu,
- **Ekran:** prikladan za kreiranje utiska o koegzistenciji virtuelnog i stvarnog sveta i utiče na čula korisnika tako da on oseća kombinaciju stvarnog i virtuelnog sveta.

2.4.2 Praćenje

Proširena stvarnost zahteva primenu uređaja, koji moraju biti praćeni sa šeststepeni slobode u cilju ispravnog prikazivanja, odnosno preklapanja slika (realne i virtuelne). U uređajima sa video ekranima najčešće kamera služi za praćenje i pretpostavlja se da je dovoljno blizu ekranu, pa se udaljenje zanemaruje. Primena praćenja je generalni problem, ne samo u proširenoj stvarnosti, već i u virtuelnoj stvarnosti i robotici. Međutim, praćenje je znatno teže u proširenoj stvarnosti zbog zahteva za registracijom. Registracija je direktno zavisna od preciznosti praćenja u proširenoj stvarnosti. Zbog toga je praćenje veoma zahtevan zadatak. U idealnom slučaju, rezolucija podsistema za praćenje i ekrana treba da bude prilagođena ljudskom oku.

Postoje dve glavne strategije za praćenje (Hughes, 2014):

- **egocentrična** (unutra-napolje), sistem proširene stvarnosti je opremljen sensorima za određivanje parametara pozicije i orijentacije, i
- **ekocentrična** (napolje-unutra), odvija se u instrumentalizovanom okruženju, gde fiksirani senzori prate mobilni sistem proširene stvarnosti iz spoljašnjosti i dostavljaju mu podatke neophodne za registraciju.

U širem smislu, tehnologija za praćenje se može podeliti na: mehaničku, *Source-based* i optičku *Source-less* (Tabela 1.1). Mehanički sistem za praćenje izračunava finalnu orijentaciju i poziciju korišćenjem direktne mehaničke veze između referentne tačke i odredišta. Ovakvi sistemi su glomazni, veoma precizni, ali sa ograničenim opsegom pokreta.

Tabela 2: Primeri tehnologije za praćenje

Vrsta	Tehnologija	Primer
Mehanički	Mehanička veza	SensAble Phantom
Sa izvorom	Magnetski, Ultrazvučni	Polhemus FASTRAK
Bez izvora	Inercijalni: žiroskop, akcelerometar	InterSense InertiaCube
Optički	Marker, Praćenje prirodnog okruženja	A.R.T. ARTtrack, ARToolKit
Hibridni	Optičko-inertan	AR- media

Princip rada *Source-based* praćenja je zasnovan na merenju rastojanja između izvora i prijemnika. Za određivanje položaja mogu se koristiti elektromagnetni transmiteri, pozicionirani unutar kontrolisanog okruženja. Potrebno je postaviti tri elektromagnetna transmitera, koji generišu elektromagnetno polje u tri međusobno ortogonalna prostorna pravca. Predmet za koji je potrebno odrediti položaj unutar okruženja mora biti oprmljen elektromagnetnim prijemnikom. Prijemnik meri jačinu magnetnog polja u sva tri prostorna pravca, te je na taj način moguće odrediti položaj i orijentaciju. Prostorni položaj moguće je dobiti i korišćenjem akustičnih, ultrazvučnih emitera i mikrofona kao prijemnika. Problem ovakvog pristupa predstavljaju spoljašnji faktori poput fizičkih prepreka ili zvukova koji mogu poremetiti preciznost sistema.

Inercijalni pratioci su *Source-less* uređaji koji mere promene u inerciji i nisu im potrebni eksterni uređaji za funkcionisanje. Veliku prednost korišćenja ovakvog pristupa u praćenju položaja i orijentacije predstavlja stepen tehnološkog razvoja senzora. Veličina senzora je veoma mala i moguća je njihova primena u bilo kom prostoru bez prethodne pripreme. Ovu grupaciju senzora čine: akcelerometar (meri ubrzanje), žiroskop (meri ugaono kretanje) i kompas (daje apsolutnu orijentaciju u odnosu na zemljino magnetno polje).

Optičko praćenje je zasnovano na analizi video ulaza i proračunu apsolutne lokacije kamere u odnosu na poznatu geometriju ili proračune pomeranja kamere u odnosu na prethodni kadar i njegovu geometriju. Ova geometrija može biti trodimenzionalni objekat ili dvodimenzionalni marker. Optičko praćenje zahteva jasnu vidljivost, dok su primenjeni kompjuterski algoritmi veoma složeni. Postoji, međutim, nekoliko prednosti ovog načina praćenja: jeftin je, precizan, fleksibilan i jedan signalni senzor daje šest nivoa slobode praćenja.

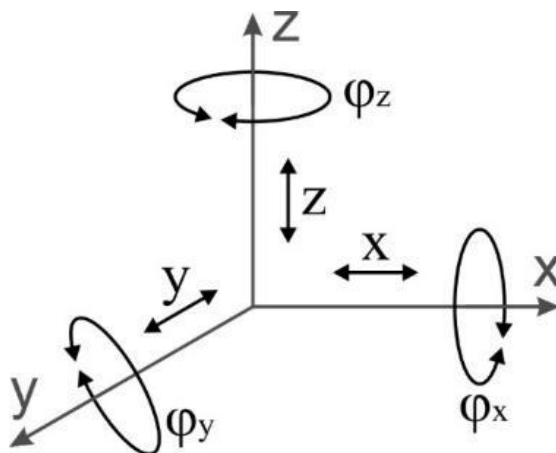
To je veoma pogodno za video prozirne ekrane⁸. Kamere su u današnje vreme postale sastavni deo većine prenosnih uređaja, gde zajedno sa procesorom pružaju moguću analizu slike. Optičko praćenje je takođe moguće korišćenjem nevidljivog spektra talasa, na primer, infra crvenih zraka. Veoma precizno merenje rastojanja moguće je dobiti korišćenjem i drugih oblika optičkog praćenja, na primer, laserskih zraka.

Izbor sistema za praćenje je kompromis između pokretljivosti, dometa praćenja, složenosti sistema itd. Većina šire primenjivanih sistema proširene stvarnosti zahtevaju upotrebu hibridnih sistema praćenja, koji kombinuju različite tehnologije i njihove prednosti. Detaljnije podatke o sistemima za praćenje moguće je pronaći u radu Jannick Ronalda (Rolland, et al., 2001).

2.4.2.1 Senzori za praćenje

Proširena stvarnost zavisi od prostorne orijentacije te zbog toga mora sadržati neki mehanizam za određivanje informacija o položaju i orijentaciji korisnika u stvarnom svetu. Za potpuno određivanje potrebno je imati informacije o šest stepeni slobode sistema (slika 8):

- x koordinata,
- y koordinata,
- z koordinata,
- rotacija oko x ose,
- rotacija oko y ose i
- rotacija oko z ose.



Slika 8: Dijagram šest stepena slobode sistema proširene stvarnosti (Sopstvena istraživanja)

⁸ Video prozirni ekran – ekran koji prikazuje uživo video snimak stvarnog okruženja obogaćen digitalnim sadržajem

To znači da je za funkcionisanje sistema minimalno neophodno imati podatke o položaju i orijentaciji korisnika u stvarnom svetu (ili njegovog uređaja: pametnog mobilnog telefona, tableta...) (Craig, 2013).

Senzori za praćenje u sistemima proširene stvarnosti su:

- **Kamera (računarska vizija)** – služi za vizuelno praćenje stvarnog sveta ili pojedinih njegovih delova (Craig, 2013; Grubert & Grasset, 2013).
- **Stereoskopska kamera** – omogućava vizuelno praćenje stvarnog sveta i ima mogućnost određivanja udaljenosti stvarnih predmeta od kamera (Kanbara, et al., 2000; Holzmann & Hochgatterer, 2012).
- **TOF (*Time-of-Flight*) kamera** – kamera koja ima sposobnost da detektuje prostorno udaljenje svakog piksela slike koju zabeleže u odnosu na nju (Fischer, et al., 2007; Dong & Kamat, 2010; Hansard, et al., 2012).
- **Sistem globalnog pozicioniranja (GPS)** – omogućava globalno praćenje stvarnog sveta (Parkinson, 1996; Rizov, 2014).
- **Magnetni kompas** – meri magnetno polje Zemljine kugle. Koristi se u procesu navigacije za određivanje i praćenje promene smera u realnom vremenu (Rizov, 2014).
- **Žiroskop** – uređaj za određivanje pravca kretanja ili relativan kompas (jer samo meri kretanje ravni kao rezultat uticaja sile i ne poklapa se sa pravcem severa) (Rizov, 2014). Napredniju verziju istog uređaja predstavlja žiroskop sa optičkim kablom.
- **Akcelerometar** – uređaj za merenje ubrzanja tela u pokretu.
- **MEMS (*Micro-Electro-Mechanical-System*)** – mikro čip za kompletan navigacioni sistem sa kompaktnom integracijom više senzora istovremeno (Rizov, 2014).

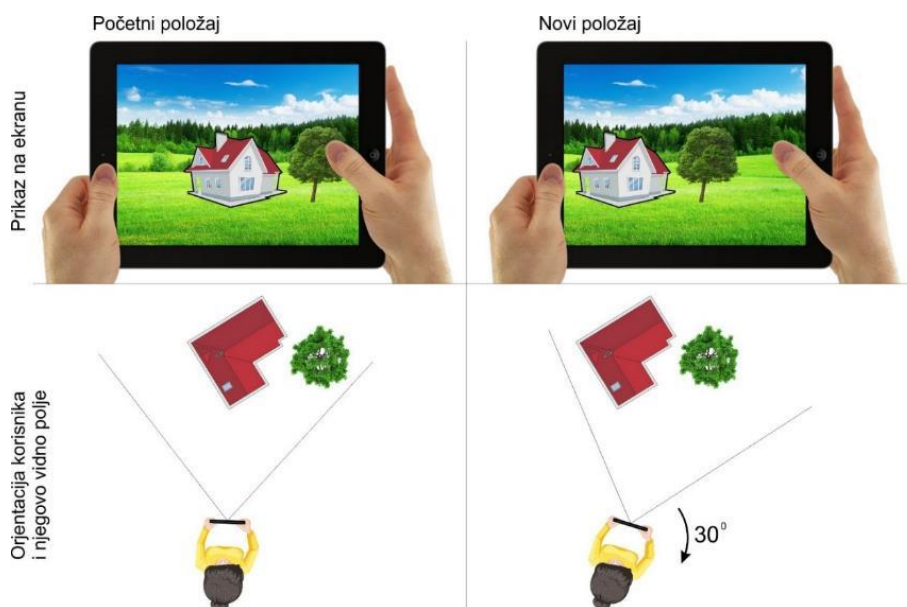
2.4.3 Registracija

Za razumevanje funkcionisanja proširene stvarnosti neophodni su detaljno obrazloženje i razrada osnovnog problema i možda najvećeg izazova za pravilno funkcionisanje ove tehnologije. Ovaj problem se zove registracija ili poravnanje, odnosno postizanje geometrijskog poravnanja skupa slika. Skup slika može da sadrži dve ili više digitalne slike unutar iste scene u

različitim vremenu, ili sa različitim sensorima ili različitom perspektivom (Hughes, 2014). Kako bi se u proširenoj stvarnosti, nakon uspešnog praćenja stvarnog sveta, precizno prikazali virtuelni elementi neophodno je pravilno funkcionisanje procesa registracije. Svrha procesa registracije je da se uspostavi geometrijski odnos između slika, kako bi mogle da se uporede, analiziraju i transformišu unutar zajedničkog referentnog okvira. Ovaj proces je od velikog praktičnog značaja u mnogim oblastima delovanja, uključujući senzorsku tehnologiju, tehnologiju signala i kompjutersku vizuelizaciju. Registracija je često neophodna prilikom:

- integrisanja informacija dobijenih od različitih senzora,
- pronalaženja razlika u slikama nastalim u različito vreme ili pod različitim okolnostima,
- očitavanja trodimenzionalnih informacija sa slike na kojoj kamera ili predmeti menjaju svoj položaj i
- prepoznavanja objekta koji se prati u bazi prethodno poznatih modela.

To, u suštini, znači da se virtuelni objekti dodaju u stvarno okruženje i moraju rezultirati međusobnim odnosom sa stvarnim predmetima. Mozak korisnika treba da percipira da oni zajedno koegzistiraju u stvarnosti (Slika 9). Moć percepcije čoveka, koja se ostvaruje pomoću sistema za vid, prenos i obradu podataka je ogromna. U nekoliko desetina milisekundi čovek odlučuje da li je ono što vidi stvarno ili ne.



Slika 9: Pravilno funkcionisanje procesa registracije sistema proširene stvarnosti (koegzistencija stvarnog sveta i virtuelne prezentacije kuće) (Sopstvena istraživanja)

2.4.4 Prikaz

Postoje tri vrste ekrana koje se koriste za superponiranje kompjuterske grafike i prikaza stvarnog sveta:

- optičko-prozirni,
- video-prozirni i
- projekcioni.

2.4.4.1 Optičko - prozirni ekrani

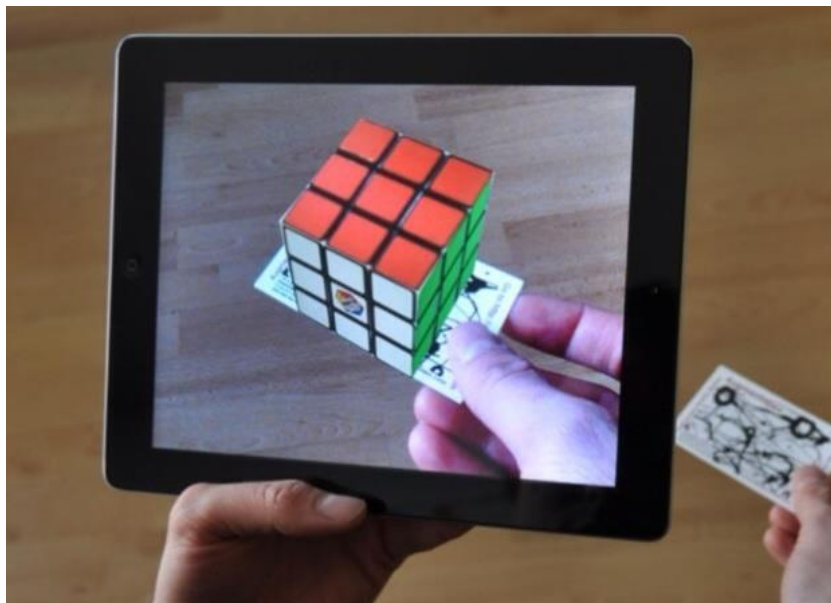
Optičko – prozirni ekrani (slika 10) su delimično transparentni i sastoje se od optičkog kombinatora za vizuelno mešanje stvarnog i virtuelnog. Glavna prednost je što korisnik stvarni svet vidi direktno, međutim, zbog potrebe za prikazom određene grafike oni smanjuju količinu ulaza svetlosti. Drugi problem proističe iz postojanja dve različite ravni projekcije, stvarna i virtuelna. Zbog potrebe za procesuiranjem velike količine podataka može doći i do kašnjenja u prikazivanju virtuelne grafike.



Slika 10: Optičko – prozirni ekran (Treskunov, 2012.)

2.4.4.2 Video-prozirni ekrani

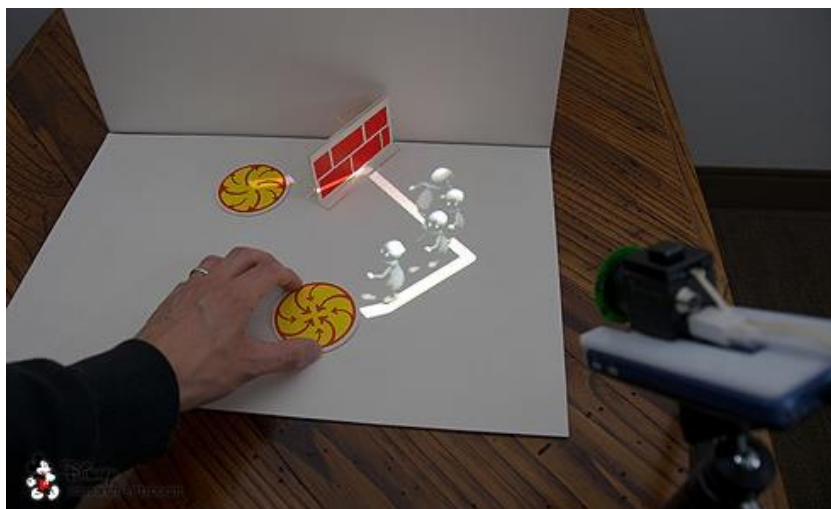
Video-prozirni ekrani (slika 11) se sastoje od neprozirnog ekrana usklađenog sa video kamerom. Prikazujući slike sa kamere ovaj ekran postaje transparentan. Prednost ovih ekrana je da računar procesira sliku koju korisnik vidi, tako da eventualno kašnjenje prikaza virtuelnog sadržaja podrazumeva i odgovarajuće kašnjenje prikaza stvarnog sveta. Virtuelni i realni sadržaj se prikazuje bez gubitka intenziteta svetlosti. Primena analize slike prilikom snimanja video kadrova omogućava postizanje ispravne registracije, čak i kada su podaci za praćenje oštećeni. Loša strana ovih displeja je da su parametri oka i kamere različiti.



Slika 11: Video – prozirni ekran (Sopstvena istraživanja)

2.4.4.3 Projekcioni ekrani

Projekcioni ekrani (slika 12) koriste stvarni svet kao ekran projektujući sliku na njega. Ovo ih čini povoljnim za obezbeđivanje širokog vidnog polja. Oni postavljaju sliku na istom rastojanju kao i objekte stvarnog sveta, pri čemu je lakše prilagođavanje oka korisnika. Veliki nedostatak je što oni zahtevaju pozadinu na kojoj se projektuje slika. Zbog toga objekat može biti prikazan u proširenoj stvarnosti samo u okviru konture pozadine, može zahtevati specifičnu pozadinu, ili zahteva specifične uslove osvetljenja kako bi virtuelni sadržaji bili prikazani. Kako većina projektoru može fokusirati sliku samo na jednu ravan, ovo ograničava broj i lokaciju objekata koji mogu biti prikazani u proširenoj stvarnosti.

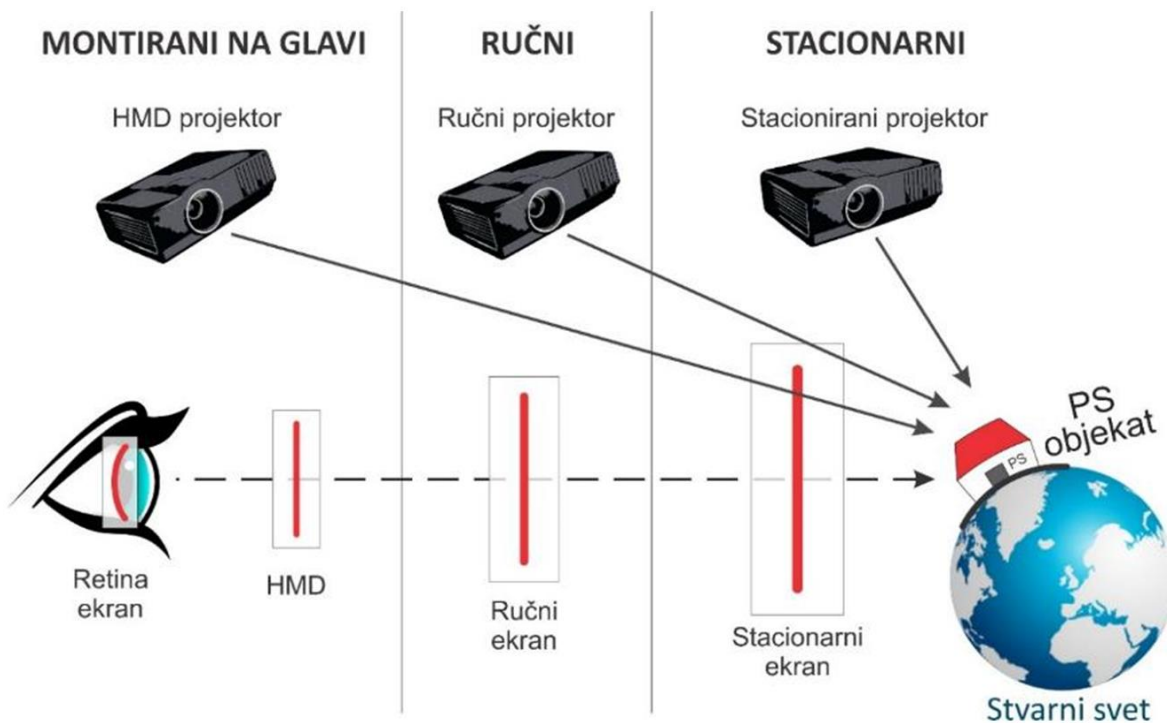


Slika 12: Projekcioni sistem (Willis, et al., 2012.)

2.4.4.4 Konfiguracija ekrana

Postoje tri strategije konfiguracije ekrana za navedene kategorije prikaza (slika 13):

- montirani na glavi,
- ručni i
- stacionarni.



Slika 13: Strategije za konfiguraciju ekrana (Sopstvena istraživanja)

Montirani na glavi

Ekрани montirani na glavi korisnika (*head-mounted display* ili skraćeno *HMD*) se nose kao par naočara. Ovo omogućava da obe ruke korisnika budu slobodne, što ovakve ekrane čini pogodnim, čak i nezamenljivim u mnogim granama industrijske i vojne upotrebe. Ovakva vrsta ekrana je jedna od najdominantnijih u oblasti prenosnih sistema proširene stvarnosti. Iako postoje određeni tehnički izazovi za optičke *see-throug* i video *see-throug HMD* ekrane, njihovi glavni problemi su socijalne i komercijalne prirode. Nošenje tradicionalno glomaznih *HMD* sistema (slika 14) u javnosti nije društveno prihvaćeno i većina postojećih sistema su komplikovani i skupi. Međutim, razvoj hardvera i softvera omogućio je značajno smanjivanje veličine ovih uređaja, tako da su danas u fazi razvoja znatno manji i neupadljivi sistemi (slika 14).



Slika 14: primeri HMD sistema (Tiki-toki, 2016.)

Tradicionalni *HMD* sistemi su prvenstveno razvijeni za potrebe virtuelne stvarnosti, pa nisu doživeli veliku popularnost na tržištu. Preostaje da se vidi kako će se novi talas značajno manjih prenosnih *HMD* sistema, koje je pokrenuo *Google Glass* pokazati na tržištu. Pretpostavlja se da će ovi sistemi imati znatno veći uspeh, jer su od početka razvijani za potrebu proširene stvarnosti. Svi *HMD* sistemi su trenutno na eksperimentalnom nivou, dok pojedini koji su postali komercijalni imaju previsoku cenu i nisu povoljni za širu upotrebu.

Ručni ekrani

Ručni ekran (Slika 15) se koristi kao čarobno sočivo (Bier, et al., 1993) ili „lupa“, koja uveličava, ističe sadržaj. Kao takvi, oni imaju ograničeno vidno polje i trenutno ne postoji podrška za stereo ekrane, što dovodi do lošijeg prikaza dubine perspektive koja se posmatra. Uprkos ovim nedostacima, ručni ekrani predstavljaju glavnu alternativu HMD ekranima. Glavni razlog njihove široke upotrebe leži u tome što su prenosni uređaja postali dovoljno snažni za proširenu stvarnost. Korišćenje pametnog mobilnog telefona za ručnu simulaciju proširene stvarnosti je postalo socijalno prihvaćena aktivnost, kao i fotografisanje pomoću istog. Ručni sistemi proširene stvarnosti su pre dopuna nego zamena za HMD sisteme. Razumno je verovati da će se proširena stvarnost razvijati na način koji je analogan virtuelnoj stvarnosti, gde se od početnih primena u industriji i akademskim institucijama sve prenelo na komercijalne 3D igre, koje funkcionišu na komercijalnom hardveru, dostupnom korisniku. Aktuelan je i razvoj tehnologije minijaturnih projekcijskih sistema, koja može imati veliki uticaj na proširenu stvarnost (Henrysson, 2007). Ideja je da se unutar prenosnog uređaja ugradi mali projektor i da se koristi za potrebe proširene stvarnosti kao baterijska lampa koja osvetljuje dopunjuje stvarni svet digitalnim informacijama.



Slika 15: Ručni ekran sistema proširene stvarnosti (ARArat, 2016.)

Stacionarni ekrani

Stacionarni ekrani (Slika 16) se ponašaju kao „prozor“ kroz koji se gleda svet proširene stvarnosti (Henrysson, 2007). Pošto su ekrani stacionarni, njihovo praćenje nije potrebno. Stacionarni ekrani mogu biti od monitora računara, pa sve do naprednih trodimenzionalnih prostornih ekrana. Jednostavan pristup proširenoj stvarnosti je da se *web* kamera poveže sa kompjuterom i da se video prikaz dopuni virtuelnim elementima. Projektori mogu poslužiti za simulaciju proširene stvarnosti na velikim površinama bez potrebe da korisnici nose bilo kakvu opremu. Problem je jedino postojanje jedne projekcione ravni, što može biti prevaziđeno korišćenjem tehnike više projektora (Bimber & Emmerling, 2006).



Slika 16: Stacionarni ekran (Knauf, 2011.)

3 SISTEM PREZENTACIJE TRODIMENZIONALNIH MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM PROŠIRENE STVARNOSTI

Konceptualni model sistema kreiran u ovom radu unapređuje postojeće stanje u oblasti svojom potpunom prilagođenošću prezentaciji trodimenzionalnih modela svih vrsta arhitektonskih objekata, uz maksimalnu realističnost prikaza. Svrha kreiranog sistema prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata je generisanje prezentacije zasnovane na metodi proširene stvarnosti na osnovu trodimenzionalnih modela i podataka prikupljenih od senzora uređaja. Fokus rada je kreiranje sistema proširene stvarnosti za prezentaciju isključivo vizuelnog virtuelnog sadržaja. Sistem je primarno organizovan da odgovara podacima, koji su bitni za realnu prezentaciju trodimenzionalnih modela: postojećih, nekadapostojećih i novoprojektovanih arhitektonskih objekata. Kreirani sistem omogućava vizuelno i lokacijsko praćenje položaja objekta i prezentaciju korišćenjem uređaja sa video-prozirnim ekranima. Predloženi sistem je osmišljen u formi procedura i postupaka koje se daljim razvojem hardvera i softvera mogu implementirati, a sama implementacija izlazi iz okvira ovog istraživanja.

Kako bi se sistem pravilno strukturirao, neophodno je definisati:

- očekivane karakteristike ulaznih podataka i
- željene karakteristike izlaznih podataka.

Ulazni podaci neophodni za uspešno funkcionisanje sistema se dele na:

- podatke vezane za *virtuelni model* koji se prikazuje i
- podatke o *stvarnom okruženju* unutar kog se virtuelni model prikazuje.

Podaci vezani za *virtuelne modele* koji se prikazuju, u sistem se unose preko baze podataka. Ova baza sadrži podatke o virtuelnom trodimenzionalnom modelu: prostornu geometriju i karakteristike svake od površina (tekstura, neravnine, refleksija, providnost, refrakcija, difrakcija,...). Svaki od 3D modela je unutar baze podataka povezan sa geografskim koordinatama, koje određuju njegov globalni položaj, omogućavaju lokacijsko praćenje položaja i kalkulaciju realnih senki. Opcioni podatak, povezan sa 3D modelom unutar baze podataka predstavlja marker, koji omogućava vizuelno praćenje položaja virtuelnog modela. Marker može biti dvodimenzionalni ili trodimenzionalni objekat sa sistemski prepoznatljivom šarom/slikom na njemu.

Podaci o *stvarnom okruženju* unutar kog se virtuelni model prikazuje su promenljivi, zbog čega sistem mora posedovati mogućnost njihovog prikupljanja u realnom vremenu. Ovi ulazni podaci se dobijaju od senzora koji se većinom mogu naći u svim savremenim pametnim prenosnim uređajima (mobilni telefoni ili tableti). Ove senzore delimo u četiri osnovne grupe:

- **video senzori** (kamere), sistemu obezbeđuju video signal okruženja koje se posmatra (fotografiju ukoliko se posmatra na nivou jednog kadra),
- **senzori daljinske detekcije** (stereoskopske kamere, TOF kamere, itd), sistemu obezbeđuju matricu dubine posmatranog prostora, koja je od velikog značaja za realno prikazivanje virtuelnog modela unutar stvarnog sveta,
- **senzori položaja i orijentacije** (senzori globalnog pozicioniranja, kompas, žiroskop, akcelerometar, itd), sistemu pružaju podatke o globalnoj poziciji sistema i pružaju podatke o relativnoj promeni položaja i orijentacije,
- **senzori detekcije karakteristika prostora** (daljim naučno-tehnološkim razvojem očekuje se nastanak senzora ovog tipa), sistemu pružaju podatke o karakteristikama okruženja, u kome se virtuelni model prikazuje. Detektuju karakteristike površina stvarnog sveta (refleksija, providnost, itd) kako bi sistem pravilno prikazao uticaj stvarnog okruženja na virtuelni model i obratno.

Izlazni podaci treba da budu u formi prezentacije virtuelnog 3D modela arhitektonskog objekta metodom proširene stvarnosti unutar stvarnog okruženja. Celokupan sistem funkcioniše

kao „magični ram“ (Fiala & Roth, 2007) koji korisniku prikazuje iluziju koegzistencije virtuelnog i stvarnog sveta. Realističnost ovakve prezentacije zavisi od tri komponente:

- geometrijske preciznosti,
- vizuelnog kvaliteta i
- dinamike prezentacije.

Geometrijska preciznost podrazumeva da su sve geometrijske karakteristike objekata u stvarnom svetu preslikane na sistem, a da korisnik ne primećuje razliku. Geometrijski prikaz trodimenzionalnog modela arhitektonskog objekta mora biti na odgovarajućoj lokaciji, a perspektiva prilagođena ulaznim karakteristikama video signala. Kako bi koegzistencija stvarnih i virtuelnih objekata bila realna, sistem mora pravilno izvršiti registraciju i prikazati geometriju, uzimajući u obzir okluziju, refleksiju i senke od virtuelnog objekta po stvarnom svetu i obratno.

Vizuelni kvalitet prikaza podrazumeva da je stepen prikazane vizuelizacije na ekranu na nivou jednakom prikazu istovetnog stvarnog sveta. Sistem mora generisati prikaz u kome su virtuelni 3D model arhitektonskog objekta i stvarno okruženje vizuelno uklopljeni u koegzistentnu celinu. To podrazumeva fotorealističnu vizuelizaciju svih vidljivih površina prikazanog 3D modela, zajedno sa uticajima stvarnog sveta. Vizuelna realnost zahteva i pravilan prikaz uticaja virtuelnog 3D modela na stvarni svet (refleksija, providnost, itd).

Dinamika prezentacije podrazumeva da su sve fizičke karakteristike kretanja korisnika u stvarnom svetu preslikane na sistem i da korisnik nije u stanju da primeti razliku. To znači da sistem proširene stvarnosti sa šest stepeni slobode mora konstantno pratiti položaj i orijentaciju uređaja, kalkulisati i prikazivati sadržaj na ekranu u realnom vremenu, bez kašnjenja. Na ovaj način se korisniku omogućava intuitivno fizičko kretanje kroz stvarno okruženje i pregled virtuelnih 3D modela arhitektonskih objekata bez primetne razlike u prikazu između virtuelnih i stvarnih objekata.

Kada su postavljene osobine ulaznih podataka, koji mogu biti na raspolaganju i željena forma izlaznih podataka, preostaje da se odrede procedure i elementi sistema za generisanje prezentacije arhitektonskih 3D modela objekata metodom proširene stvarnosti. Primarna odlika ovog sistema je efikasnost. To podrazumeva prezentaciju svih vrsta modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti potpuno realno ili, ukoliko to nije moguće, sa što većim

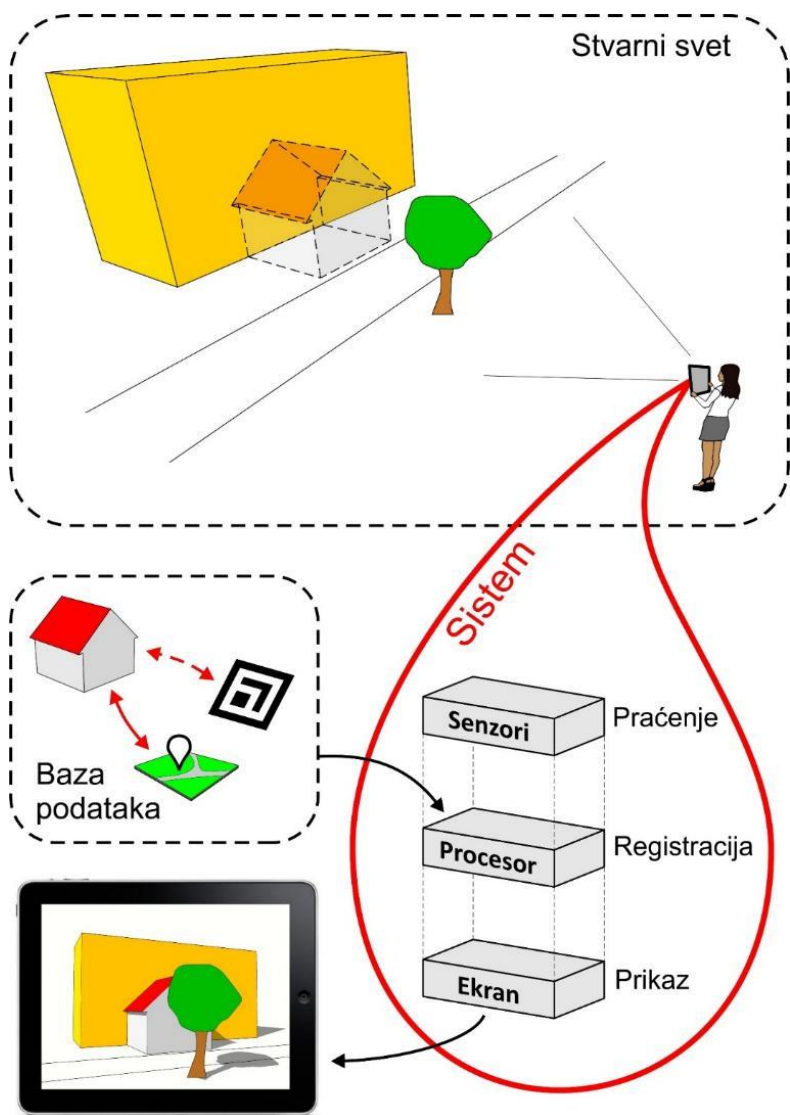
stepenom realnosti. Sistem mora imati mogućnost prikaza svih vrsta virtuelnih arhitektonskih modela objekata (postojećih, nekada postojećih i novoprojektovanih).

Trodimenzionalni modeli arhitektonskih objekata mogu biti prikazani u različitim razmerama. Iz tog razloga sistem mora omogućiti dve konfiguracije prikaza modela:

- u stvarnoj veličini (razmera 1:1) ili
- kao maketu (razmera nije 1:1)

Sistem za prikaz 3D modela arhitektonskih objekata podeljen je na četiri osnovne celine (slika 17):

- baza podataka,
- praćenje,
- registraciju i
- prikaz.



Slika 17: Šema funkcionisanja sistema za prikaz 3D modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti (Sopstvena istraživanja)

Baza podataka sadrži podatke o arhitektonskom objektu koji se prikazuje. Korisnik sam unosi ove podatke u sistem u vidu trodimenzionalnog modela, kreiranog u nekom od softverskih paketa za 3D modelovanje sa svim neophodnim podacima o geometriji i materijalima. Ovaj model mora biti i geografski lociran i opciono povezan sa vizuelnim markerom.

Praćenje se vrši kako bi 3D modeli arhitektonskih objekata na prezentaciji bili pravilno pozicionirani unutar stvarnog sveta. Na osnovu ulaznih podataka sa senzora sistem vrši praćenje stvarnog sveta unutar koga se prikazuje željeni objekat. Praćenje može biti vršeno na tri načina (što je ranije pomenuto u prikazu aktuelnih istraživanja, poglavlje 2,3):

- vizuelno (koriste se podaci dobijeni sa video senzora),
- lokacijsko (koriste se podaci dobijeni sa senzora položaja i orijentacije) i
- hibridno (koriste se podaci dobijeni sa video senzora i senzora položaja i orijentacije)

Registracija, srž celokupnog sistema u kome se obavljaju sve neophodne kalkulacije za prikaz trodimenzionalnih arhitektonskih modela objekata metodom proširene stvarnosti. U ovom delu se, na osnovu podataka dobijenih sa senzora i podataka iz baze, vrši kreiranje izlaznog video signala na nivou kadra.

Prikaz video signala se obavlja na „video prozirnom“ ekranu sistema, u vidu realistične prezentacije 3D modela arhitektonskog objekta unutar stvarnog okruženja.

Sistem vrši prezentaciju virtuelno generisanog trodimenzionalnog modela objekta unutar stvarnog okruženja, te je neophodno obezbediti njegovu realističnu vizuelizaciju. Realističnost prezentacije će zavistiti od stepena realističnosti koegzistencije virtuelnog modela u stvarnom svetu, odnosno realnosti prikaza međusobnih uticaja okruženja i modela. Zbog toga sistem mora imati mogućnost generisanja realistične vizuelizacije: uticaja stvarnog sveta na virtuelni model i uticaja virtuelnog modela na stvarni svet. Problem za kreiranje potpuno realne automatske prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti predstavlja ograničena kalkulatorna moć hardvera i nepostojanje određenih senzora. U ovom radu postavljanje sistema je osnova za dalji razvoj hardvera i softvera neophodnog za realističnu prezentaciju arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Zbog ovih ograničenja i budućih istraživanja i razvoja neophodno je definisati kriterijume i procedure za ocenu jednog

sistema. Na taj način će biti moguće izvršiti kvalitativnu klasifikaciju postojećih i budućih sistema za prezentaciju 3D modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti.

Problemi koje je potrebno posebno uzeti u obzir prilikom kreiranja sistema za prezentaciju trodimenzionalnih arhitektonskih modela objekata metodom proširene stvarnosti se mogu izraziti sledećim pitanjima:

- Kako izvršiti konstantno praćenje stvarnog okruženja, tako da sistem omogućava prikaz trodimenzionalnih modela svih vrsta arhitektonskih objekata unutar stvarnog sveta: vizuelnolokacijski ili hibridno:
 - Koji su elementi i veze relevantni za sisteme sa vizuelnim praćenjem?
 - Koji su elementi i veze relevantni za sisteme sa lokacijskim praćenjem?
 - Koji su elementi i veze relevantni za sisteme sa hibridnim praćenjem?
- Kako izvršiti pravilno geometrijsko pozicioniranje virtuelnog objekta u kadru, tako da se realno prikaže odnos geometrije stvarnih i virtuelnih elemenata, koji se prikazuju uz pravilan prikaz okluzije
- Kako kreirati realističnu vizuelizaciju 3D modela objekta, tako da stepen realističnosti prikazanog modela bude na istom nivou kao i kod prikaza realnog objekta?
 - Koji su elementi i veze relevantni za kalkulaciju uticaja stvarnog sveta na virtuelni model?
 - Koji su elementi i veze relevantni za kalkulaciju uticaja virtuelnog modela na stvarni svet?
- Kako oceniti stepen realističnosti prezentacije sistema?

U narednim odeljcima su detaljno prikazani delovi sistema koji ga grade tako što postupno rešavaju prethodno navedena pitanja. Prednosti ovog sistema su:

- prilagođenost prezentaciji arhitektonskih objekata,
- realistična prezentacija i
- jednostavno korišćenje:
 - nije neophodno predznanje programiranja,
 - automatski rad,
 - intuitivni način pregleda

3.1 INTERPRETACIJA ELEMENATA

Elementi koji čine jednu prezentaciju metodom proširene stvarnosti se dele u tri osnovne grupe:

- elementi dinamike prezentacije,
- elementi geometrijske prezentacije i
- elementi vizuelne prezentacije.

Elementi dinamike prezentacije omogućavaju sistemu praćenje stvarnog okruženja u realnom vremenu i pružaju podatke neophodne za pozicioniranje virtuelnog objekta. Elementi geometrijske prezentacije vrše kalkulaciju geometrije virtuelnog objekta na osnovu podataka iz baze i podataka o stvarnom svetu dobijenim sa senzora. Koristeći podatke iz baze i sa senzora, elementi vizuelne prezentacije vrše kalkulaciju za prikaz vizuelnih elemenata virtuelnog objekta unutar stvarnog sveta. Kako sistem mora funkcionisati u realnom vremenu, svi elementi i njihove međusobne veze su u narednim poglavljima razmatrane na nivou jednog kadra.

3.1.1 Ulazni podaci

Ulazni podaci neophodni za funkcionisanje sistema prezentacije trodimenzionalnih arhitektonskih modela metodom proširene stvarnosti su isti u svim slučajevima. Ovi ulazni podaci sistemu pružaju podatke o stvarnom okruženju unutar kog se virtuelni model prikazuje. Neophodni ulazni podaci za funkcionisanje sistema proširene stvarnosti na nivou jednog kadra se dobijaju sa:

- kamere, koja obezbeđuje trenutni kadar (fotografiju),
- senzora (kompas, žiroskop, akcelerometar...), koji detektuju promenu položaja i orijentacije sistema za vremenski period između dva kadra i određuju trenutni globalni položaj i orijentaciju uređaja,
- senzora daljinske detekcije, koji obezbeđuju matricu dubine,
- senzora detekcije prostora, koji registruju karakteristike fizičkog okruženja i
- kalendara i sata, koji obezbeđuju podatke o datumu i vremenu trenutnog kadra.

3.1.2 Dinamika prezentacije

Jedna od karakterističnih osobina sistema proširene stvarnosti u odnosu na druge sisteme za prikaz arhitektonskih objekata je dinamičnost prezentacije. Komponenta dinamike prezentacije omogućava korisniku intuitivan pregled trodimenzionalnih virtuelnih modela arhitektonskih objekata u stvarnom okruženju, omogućavajući stalni prikaz virtuelnog modela na odgovarajućem mestu unutar stvarnog sveta. Kako bi se obezbedila stalnost prikaza, komponenta dinamike prezentacije mora u realnom vremenu pratiti položaj i orijentaciju sistema unutar realnog okruženja. Cilj praćenja je određivanje relativnog položaja i orijentacije virtuelnog modela objekta u odnosu na sistem. Relativni položaj se određuje na osnovu podataka iz baze, povezanih sa odgovarajućim modelom (globalna lokacija ili marker). Relativni položaj virtuelnog objekta unutar prezentacije je potrebno znati u svakom trenutku, odnosno za svaki od kadrova koji se prikazuju. Nakon početnog određivanja relativnog položaja i orijentacije, dalje praćenje promena na nivou kadra je moguće na tri načina:

- vizuelno,
- lokacijsko i
- na osnovu prethodnog položaja i orijentacije.

Krajnji rezultat komponente dinamike prezentacije je relativni položaj i orijentacija virtuelnog modela arhitektonskog objekta u odnosu na sistem, unutar stvarnog sveta, dat u skladu sa principima sistema sa šeststepeni slobode, sa tri koordinate (x , y i z) položaja i tri ugla (φ_x , φ_y i φ_z) rotacije oko svake od koordinatnih osa sistema, gde koordinate x , y i z označavaju udaljenje koordinatnog početka virtuelnog objekta od koordinatnog početka sistema duž svake od osa. Uglovi φ_x , φ_y i φ_z označavaju rotaciju koordinatnog početka virtuelnog objekta oko svake od koordinatnih osa sistema.

3.1.2.1 Vizuelno praćenje položaja

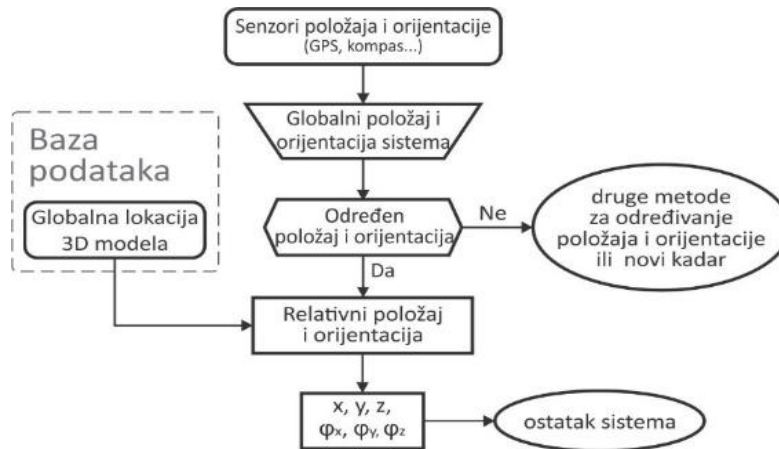
Struktura elemenata i veza dinamike prezentacije koji služe za određivanje položaja i orijentacije vizuelnim putem data je na slici 18.

Slika 18: Šematski prikaz elemenata i veza za određivanje položaja i orijentacije vizuelnom metodom (Sopstvena istraživanja)

Vizuelno određivanje položaja i orijentacije podrazumeva korišćenje vizuelnog ulaznog podatka u vidu kadra dobijenog od video kamere sistema. Unutar kadra sistem vrši detekciju vizuelnog markera, koji je u bazi podataka povezan sa 3D modelom objekta. Ukoliko se unutar kadra ne detektuje marker, položaj i orijentacija se određuju nekom drugom metodom koja je implementirana u sistem, ili se prelazi na sledeći kadar u kome se ponavlja procedura. U slučaju da je marker detektovan u kadru, na osnovu podataka u bazi se vrši proračun relativnog položaja i orijentacije u odnosu na sistem. Završni podaci dobijeni ovom procedurom predstavljaju relativni položaj (koordinate x , y i z) i relativnu orijentaciju (uglovi rotacije φ_x , φ_y i φ_z), nakon čega se vrši dalja kalkulacija prikaza virtuelnog modela arhitektonskog objekta.

3.1.2.2 Lokacijsko praćenje položaja

Struktura elemenata i veza dinamike prezentacije koji služe za određivanje položaja i orijentacije lokacijskim putem data je na slici 19.

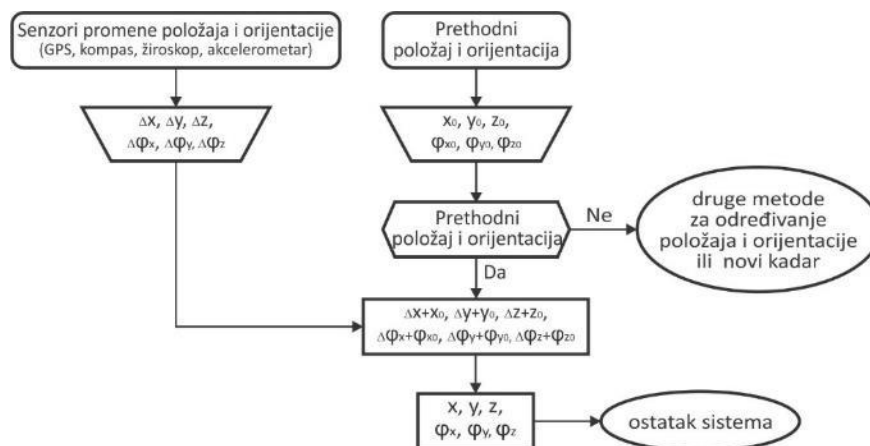


Slika 19: Šematski prikaz elemenata i veza za određivanje položaja i orijentacije lokacijskom metodom (Sopstvena istraživanja)

Lokacijsko određivanje položaja i orijentacije podrazumeva korišćenje lokacijskih podataka o globalnom položaju i orijentaciji sistema. Globalni položaj je definisan u odnosu na referentnu tačku na planeti Zemlji i zadaje se geografskom širinom, dužinom i nadmorskom visinom. Orijentacija se zadaje sa tri vrednosti koje označavaju ugao rotiranja u odnosu na površinu Zemlje i strane sveta. Sistem podataka o globalnom položaju dobija od integrisanih senzora poput GPS ili GLONASS prijemnika. Za podatke o globalnoj orijentaciji potrebno je koristiti druge senzore poput kompasa, žiroskopa i akcelerometra. Sve ove operacije je, kao i kod vizuelno zasnovanog praćenja, potrebno posmatrati na nivou jednog kadra zbog dinamičkog završnog prikaza objekta u proširenoj stvarnosti. Ukoliko se unutar vremenskog perioda jednog kadra ne detektuje globalni položaj i orijentacija, oni se određuju nekom drugom metodom koja je implementirana u sistem, ili se prelazi na sledeći kadar u kojem se ponavlja procedura. U slučaju da su globalni položaj i orijentacija sistema detektovani, na osnovu podataka u bazi o globalnom položaju i orijentaciji 3D modela arhitektonskog objekta, vrši se proračun relativnog položaja i orijentacije. Završni podaci, dobijeni ovom procedurom predstavljaju relativni položaj (koordinate x , y i z) i relativnu orijentaciju (uglovi rotacije φ_x , φ_y i φ_z), nakon čega se vrši dalja kalkulacija prikaza virtuelnog modela arhitektonskog objekta.

3.1.2.3 Praćenje položaja na osnovu prethodnog položaja i orijentacije

Struktura elemenata i veza dinamike prezentacije koji služe za određivanje položaja i orijentacije na osnovu prethodnog položaja i orijentacije data je na slici 20.



Slika 20: Šematski prikaz elemenata i veza za određivanje položaja i orijentacije na osnovu prethodnog položaja i orijentacije (Sopstvena istraživanja)

Kao i kod vizuelne i lokacijske metode određivanja relativnog položaja i orijentacije i ovde je neophodno posmatrati elemente i veze na nivou jednog kadra. Početni podatak dostupan sistemu kod ove metode jeste relativni položaj (x_0 , y_0 i z_0) i orijentacija (φ_{x0} , φ_{y0} i φ_{z0}) iz prethodnog kadra. U slučaju da relativni položaj i orijentacija iz prethodnog kadra postoje onda se na osnovu promene položaja (Δx , Δy i Δz) i orijentacije ($\Delta\varphi_x$, $\Delta\varphi_y$ i $\Delta\varphi_z$) detektovane na sensorima određuju novi položaj i orijentacija u aktuelnom kadru. Ukoliko ne postoji relativni položaj i orijentacija iz prethodnog kadra prelazi se na određivanje nekom drugom metodom koja je implementirana u sistem, ili na sledeći kadar, u kome se ponavlja procedura. Završni podaci dobijeni ovom procedurom predstavljaju relativni položaj (koordinate x , y i z) i relativnu orijentaciju (uglovi rotacije φ_x , φ_y i φ_z), nakon čega se vrši dalja kalkulacija prikaza virtuelnog modela arhitektonskog objekta.

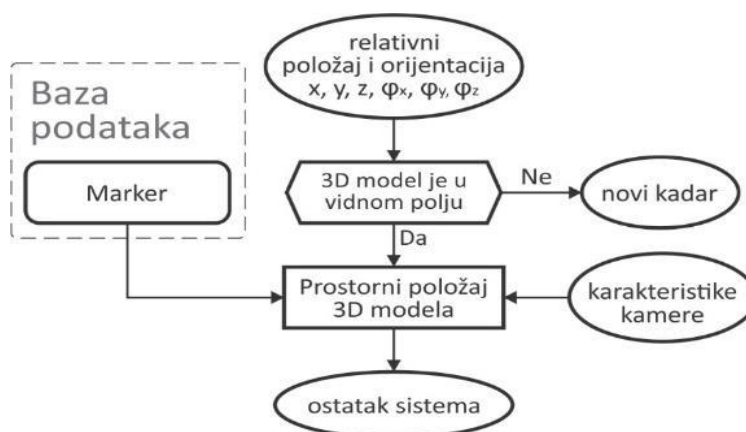
3.1.3 Geometrijska prezentacija

Primarni zadatak geometrijske prezentacije je da obezbedi realan prikaz virtuelne geometrije modela arhitektonskih objekata unutar stvarnog sveta u prezentaciji metodom proširene stvarnosti. Zbog dinamike prezentacije, komponenta geometrijske prezentacije sistemu mora obezbediti neophodne podatke o geometriji na nivou jednog kadra. Dostupni podaci koji se koriste su oni dobijeni od senzora, iz baze podataka i iz komponente dinamike prezentacije. Sve komponente i veze treba da budu strukturane tako da na osnovu ovih podataka na nivou jednog

kadra kreiraju svu virtuelnu geometriju koja je neophodna za dalje kreiranje realnog prikaza virtuelnog objekta.

Prvi korak geometrijske prezentacije podrazumeva utvrđivanje vidljivosti virtuelnog modela arhitektonskog objekta u kadru koji se prikazuje (slika 21). Ovo je moguće odrediti na osnovu prethodno određenog relativnog položaja i orijentacije modela u odnosu na sistem. Ukoliko se virtuelni model ne nalazi unutar vidnog polja sistema u datom kadru, onda se prelazi na sledeći kadar. Ukoliko se 3D model nalazi unutar vidnog polja, onda sistem kreira njegovu prostornu geometriju za trenutni kadar na osnovu:

- perspektive prezentacije (koja zavisi od karakteristika kamere),
- relativnog položaja i orijentacije 3D modela u odnosu na sistem i
- geometrije 3D modela iz baze podataka.

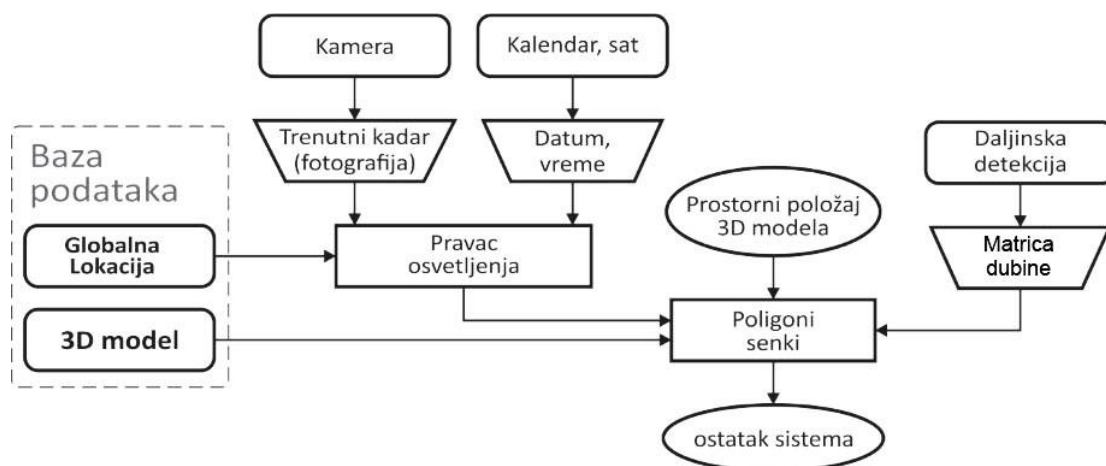


Slika 21: Šematski prikaz elemenata i veza za utvrđivanje vidljivosti i određivanje geometrijskog prikaza 3D modela (Sopstvena istraživanja)

Nakon kreiranja prostornog položaja geometrije u datom kadru, vrši se dalja kalkulacija prikaza virtuelnog 3D modela arhitektonskog objekta. Sistem mora realno prikazati međusobni uticaj geometrija stvarnog i virtuelnog sveta unutar zajedničke prezentacije metodom proširene stvarnosti. Potrebno je da sistem u svakom kadru realno prikaže geometriju senki i geometriju koja se reflektuje na određenim površinama u sceni.

Elementi i veze potrebni za realan, automatski prikaz geometrije senki 3D modela arhitektonskog objekta metodom proširene stvarnosti dati su na slici 22. Za realan prikaz senki neophodno je, najpre, odrediti pravac svetlosnih zraka na osnovu kojih se formira neophodna geometrija. Virtuelni arhitektonski modeli, metodom proširene stvarnosti, mogu biti prikazani

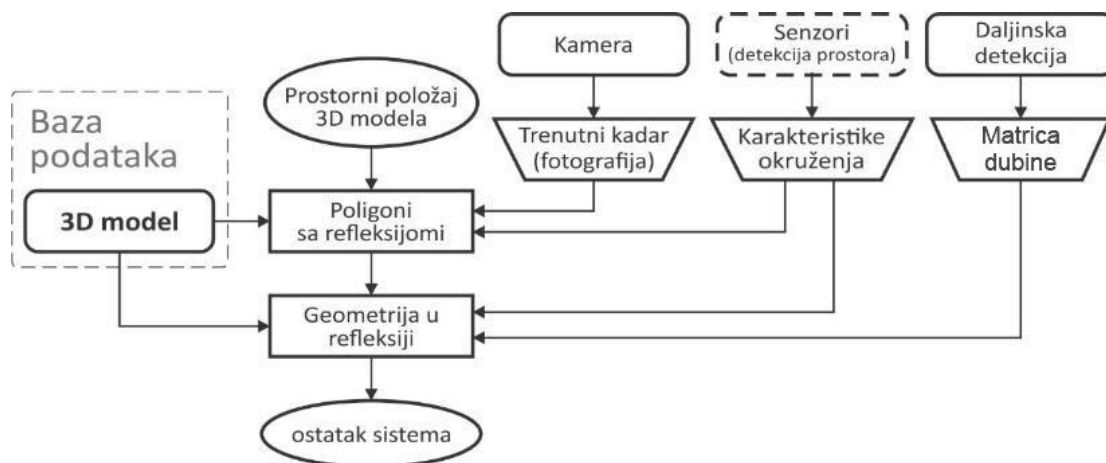
spolja (najčešće na realnoj lokaciji u realnoj veličini) ili unutra (kao maketa u manjoj razmeri). U slučaju prikaza spolja na realnoj lokaciji, svetlosni zraci koji formiraju senke u prezentaciji će biti od sunca. Kako bi se odredio pravac sunčevih zraka, potrebno je iskoristiti globalnu lokaciju 3D modela arhitektonskog objekta, koji se prikazuje iz baze podataka, trenutni datum i vreme. Ukoliko se radi o prikazu u zatvorenom prostoru, pravac senke se određuje na osnovu analize video signala dobijenog od kamere. Sa poznatim pravcem svetlosti, prostornim položajem 3D modela i poznatom geometrijom stvarnog okruženja, kreira se poligon senki, nakon čega se vrše dalje kalkulacije za formiranje finalnog prikaza.



Slika 22: Šematski prikaz elemenata i veza za određivanje geometrijskog prikaza senki u trenutnom kadru (Sopstvena istraživanja)

Elementi i veze potrebni za realan, automatski prikaz geometrije 3D modela arhitektonskog objekta na površinama sa refleksijom, metodom proširene stvarnosti dati su na slici 23. Površine na kojima će se videti geometrija u refleksiji mogu biti na virtuelnom 3D modelu ili u stvarnom svetu. Reflektujuće površine na prikazu virtuelnog 3D modela su poznate na osnovu podataka iz baze, dok je za određivanje površina sa refleksijom u stvarnom svetu potrebno analizirati video signal ili koristiti specijalne senzore. Kada se odrede površine sa refleksijom, potrebno je izvršiti kalkulaciju geometrije koja će biti vidljiva u njima. Kako bi kalkulaciju bilo moguće sprovesti, potrebno je imati geometriju celokupnog kako virtuelnog tako i stvarnog sveta. Kompletna geometrija virtuelnog 3D modela je unapred poznata, dok se geometrija stvarnog okruženja sistema određuje u realnom vremenu. Problem kod određivanja geometrije stvarnog sveta predstavlja tehnološko ograničenje na detekciju geometrije stvarnog

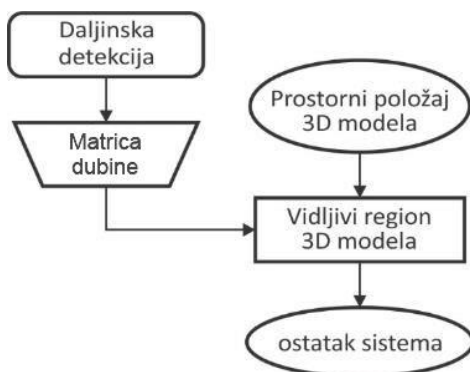
sveta, vidljive samo iz tačke posmatranja prostora u kome se sistem trenutno nalazi. Zbog toga je za realan prikaz refleksije potrebno koristiti dodatne senzore koji mogu detektovati celokupnu geometriju stvarnog prostora scene koja se prikazuje. Princip rada i karakteristike ovih senzora nisu predmet ove doktorske disertacije i o njima neće biti detaljnije diskutovano. Kada je celokupna geometrija virtuelnog i realnog prostora, relevantna za kadar koji se prikazuje poznata, vrši se kalkulacija geometrije vidljive na površinama sa refleksijom, nakon čega se vrše dalje kalkulacije za formiranje finalnog prikaza.



Slika 23: Šematski prikaz elemenata i veza za određivanje geometrijskog prikaza refleksije u trenutnom kadru (Sopstvena istraživanja)

Realan prikaz koegzistencije virtuelnog 3D modela i okruženja u kom se prikazuje zahteva određivanje prostornog odnosa geometrije stvarnog i virtuelnog sveta, koji se kombinuju u jedinstvenu prezentaciju metodom proširene stvarnosti. Jednostavni prikaz geometrije virtuelnog 3D modela preko prikaza okruženja može često biti pogrešan, ukoliko između vidljive geometrije 3D modela i kamere sistema postoji stvarni objekat koji delimično ili u celini zaklanja prikaz virtuelne geometrije. Kako bi prikaz bio realan, sistem mora imati mogućnost pravilnog prikaza okluzije koja se u ovakvim slučajevima javlja. Rešenje problema okluzije, pored poznavanja geometrije prikaza virtuelnog 3D modela, zahteva i poznavanje geometrije okruženja. Geometriju okruženja za određeni kadar sistem dobija od senzora za daljinsku detekciju. Izlazni podatak ovih senzora je matrica dubine, koja prikazuje daljinu svake od tačaka u kadru u odnosu na sistem, čime se dobija geometrija stvarnog sveta u kojoj je sistem. Upoređivanjem geometrije stvarnog sveta i geometrije prostornog položaja 3D modela dobija se

vidljivi region virtuelne geometrije za trenutni kadar. Finalni prikaz arhitektonskog objekta će podrazumevati da je vidljivi deo virtuelne geometrije samo onaj koji se nalazi unutar dobijenog regiona (slika 24). Nakon određivanja vidljivog regiona geometrije u datom kadru, vrši se dalja kalkulacija prikaza virtuelnog 3D modela arhitektonskog objekta.



Slika 24: Šematski prikaz elemenata i veza za utvrđivanje vidljivog dela 3D modela u trenutnom kadru (Sopstvena istraživanja)

3.1.4 Vizuelna prezentacija

Vizuelna prezentacija predstavlja završnu fazu sistema prezentacije 3D modela arhitektonskog objekta metodom proširene stvarnosti. Elementi i veze vizuelne prezentacije imaju za cilj kreiranje fotorealističnog virtuelnog sloja koji je u potpunosti uklopljen u prikaz stvarnog okruženja koje sistem beleži preko kamere. Kako bi ovo bilo moguće, potrebno je kreirati fotorealističnu vizuelizaciju virtuelne geometrije. Vizuelna prezentacija je usko povezana sa geometrijskom, ona predstavlja njenu nadogradnju i celu prezentaciju čini realističnijom. Iz tog razloga, vizuelna prezentacija će biti posmatrana kao dopuna elemenata i veza geometrijske prezentacije uz određene dodatne elemente. Kao i ostatak sistema, elementi i veze u vizuelnoj prezentaciji će biti razmatrani na nivou jednog kadra.

Izlazni podatak vizuelne prezentacije je grafički sloj koji se postavlja preko video signala kamere u posmatranom kadru i zajedno kreira finalni prikaz 3D modela arhitektonskog objekta u proširenoj stvarnosti. Kako bi finalni prikaz izgledao realno u vizuelnoj prezentaciji, vrši se analiza video signala sa kamere i dobijene karakteristike (osvetljenje, kontrast, balans boja...) se koriste za generisanje dodatnog grafičkog sloja. Grafički sloj sačinjavaju svi elementi

geometrijske prezentacije, dopunjeni elementima vizuelne prezentacije. Elementi vizuelne prezentacije moraju omogućiti fotorealističnu vizuelizaciju 3D modela arhitektonskog objekta i promena na stvarnom okruženju koje nastaju kao posledica umetanja novog objekta u stvarni prostor.

Nakon određivanja prostornog položaja geometrije 3D modela arhitektonskog objekta u trenutnom kadru, neophodno je izvršiti fotorealističnu vizuelizaciju. Vizuelizaciju je potrebno izvršiti na osnovu:

- podataka iz baze o karakteristikama površina 3D modela,
- osvetljenju okruženja,
- karakteristikama okruženja i
- karakteristikama ulaznog video signala sistema.

Baza podataka sadrži 3D model sa karakteristikama svake od površina na njemu (teksture, neravnine, refleksija, providnost, refrakcija, difrakcija) na osnovu kojih se vrši vizuelizacija. Ova vizuelizacija mora biti usklađena sa realnim osvetljenjem prostora i karakteristikama ulaznog video signala, kako na finalnom prikazu ne bi postojala razlika između stvarnih i virtuelnih objekata. Ukoliko je određena površina reflektujuća, vizuelna prezentacija ima za cilj pravilan prikaz stepena refleksije prethodno određene geometrije i njene materijalizacije. Kod površina koje su providne potrebno je prikazati, u skladu sa njihovim karakteristikama, prostor koji se nalazi iza njih, bio on stvaran ili virtuelan. Poligoni senki određeni u geometrijskoj prezentaciji moraju imati odgovarajuće osobine vizuelizacije koje se pojavljuju u vizuelnoj prezentaciji, pri čemu se vodi računa i o indirektnom osvetljenju.

Vizuelizacija okruženja podrazumeva kreiranje fotorealistične vizuelizacije uticaja virtuelnog 3D modela na stvarno okruženje. U delu geometrijske prezentacije određuju se površi u stvarnom svetu sa refleksijom i virtuelna geometrija, koja će biti vidljiva u refleksiji. Za te površi je potrebno odrediti i stepen refleksije, kako bi u vizuelnoj prezentaciji bilo moguće na realan način prikazati materijalizaciju površi u refleksiji. Pored detekcije površi sa refleksijom, od velike je važnosti i detekcija providnih površi u stvarnom svetu koje zaklanjaju virtuelni 3D model. Bitno je detektovati njihove karakteristike i realno prikazati virtuelne elemente iza njih. Ukoliko se ove površi ne detektuju kao providne, sistem ih može prepoznati kao okluziju. To podrazumeva da se deo trodimenzionalnog modela iza providne površi neće prikazati.

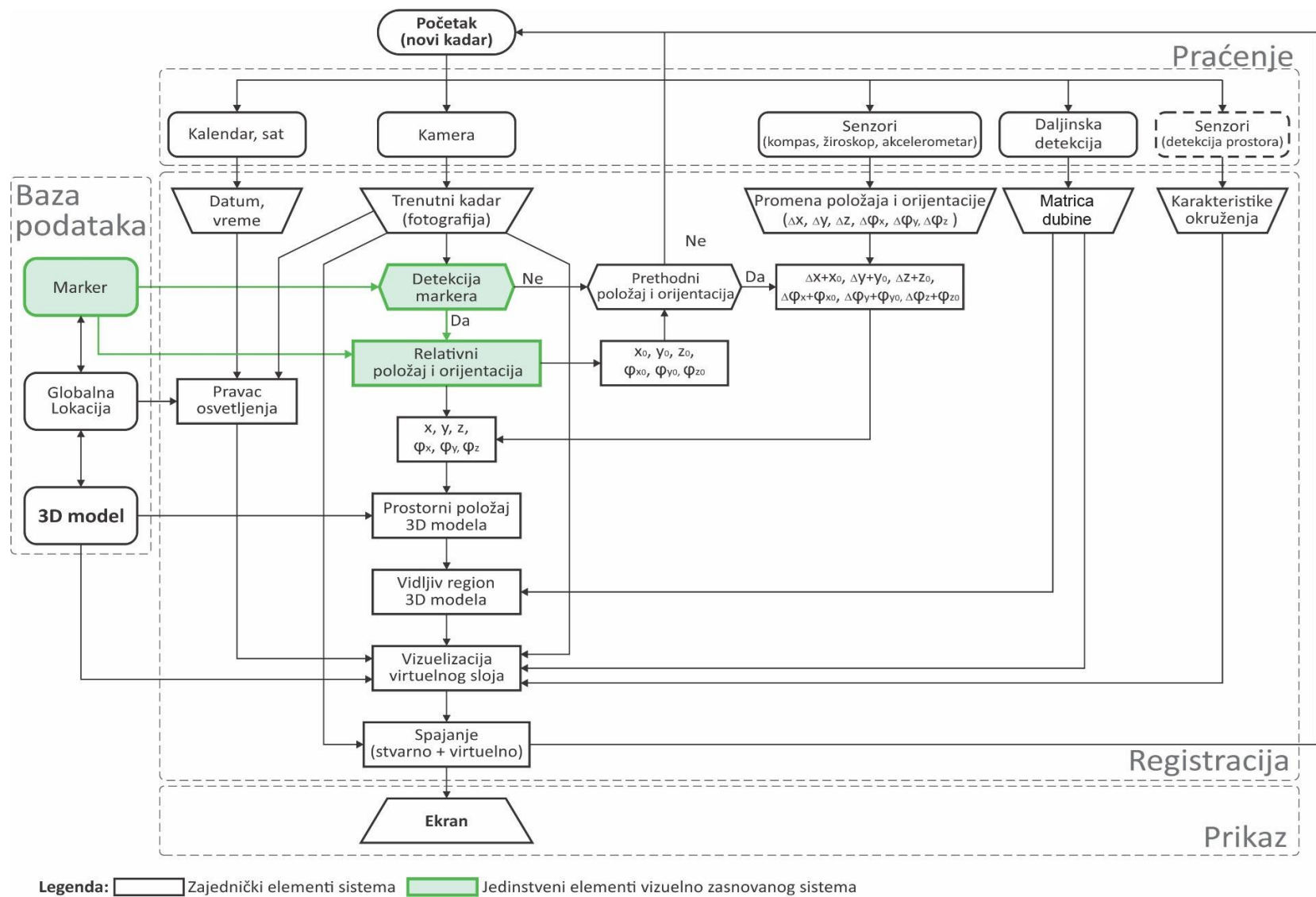
U ovom poglavlju prikazane su grupe elementa, povezanih u celine koje definišu način funkcionisanja zasebnih delova sistema. Njihovom kombinacijom moguće je definisati tri tipa sistema prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti koji će biti prikazani u celini u narednim poglavljima.

3.2 VIZUELNO ZASNOVAN SISTEM PREZENTACIJE 3D MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM PROŠIRENE STVARNOSTI

Automatski, vizuelno zasnovan sistem prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata u osnovi podrazumeva da su početni položaj i orijentacija sistema u stvarnom svetu određeni vizuelno, odnosno da se relativni položaj i orijentacija sistema određuje na osnovu položaja vizuelnog markera unutar kadra zabeleženog kamerom. Šematski prikaz elemenata i veza vizuelno zasnovanog konceptualnog modela sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata dat je na slici 25.

Baza podataka vizuelno zasnovanog sistema mora sadržati:

- virtuelni trodimenzionalni model arhitektonskog objekta koji se prikazuje,
- njegovu globalnu lokaciju pomoću koje se određuje geometrija senki i
- marker povezan sa 3D modelom pomoću kojeg se određuje relativni položaj i orijentacija sistema.



Slika 25: Šematski prikaz elemenata i veza vizuelno zasnovanog konceptualnog modela sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata (Sopstvena istraživanja)

Početni podatak vizuelno zasnovanog sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti predstavlja trenutni kadar. Na osnovu markera u bazi podataka vrši se analiza trenutnog kadra, u cilju njegove detekcije. Ukoliko je marker detektovan, vrši se kalkulacija relativnog položaja i orijentacije sistema na osnovu podataka o markeru iz baze podataka. Ukoliko marker nije detektovan unutar kadra, proverava se da li postoje podaci o relativnom položaju i orijentaciji sistema u prethodnom kadru, ukoliko ne postoje, prelazi se na sledeći kadar. Ukoliko ovi podaci u prethodnom kadru postoje, onda se na osnovu njih vrši kalkulacija relativnog položaja i orijentacije sistema u trenutnom kadru.

Na osnovu podataka o relativnom položaju i orijentaciji sistema u odnosu na marker, 3D modela arhitektonskog objekta iz baze podataka kao i geometrijskog odnosa markera i virtuelnog objekta, vrši se kalkulacija prostornog položaja objekta unutar trenutnog kadra. Kako unutar kadra može doći do okluzije, potrebno je na osnovu matrice dubine i prostornog položaja virtuelnog objekta odrediti vidljiv region 3D modela. Nakon toga se vrši vizuelizacija virtuelnog sloja trenutnog kadra na osnovu podataka o: 3D modelu iz baze podataka, prostiranju senki, trenutnom kadru, matrici dubine i karakteristikama okruženja. Vizuelizacija virtuelnog sloja podrazumeva kreiranje realne geometrije i fotorealistične vizuelizacije uticaja stvarnog sveta na virtuelni 3D model i obratno. Poslednji korak predstavlja spajanje trenutnog kadra sa kreiranim virtuelnim slojem i prikaz na ekranu, nakon čega se prelazi na sledeći kadar.

Vizuelno zasnovan sistem prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti je moguće koristiti za različite tipove objekata i različite razmere. Pregled pogodnih (+) i nepogodnih (-) slučajeva primene vizuelno zasnovanog sistema proširene stvarnosti je dat u tabeli 3.

Tabela 3: Primenljivost vizuelno zasnovanog sistema proširene stvarnosti u zavisnosti od tipa objekta i razmere u kojoj se virtuelni 3D model prikazuje

Razmera 3D modela	Lokacija testa	Objekti		
		Postojeći	Nekada postojeći	Novoprojektovani
Realna (1:1)	Izgrađena	-	+/-	+/-
	Neizgrađena	-	-/+	-/+
Manja (maketa)	Enterijer	+	+	+
	Eksterijer	+	+	+

+ : pogodno
- : nepogodno

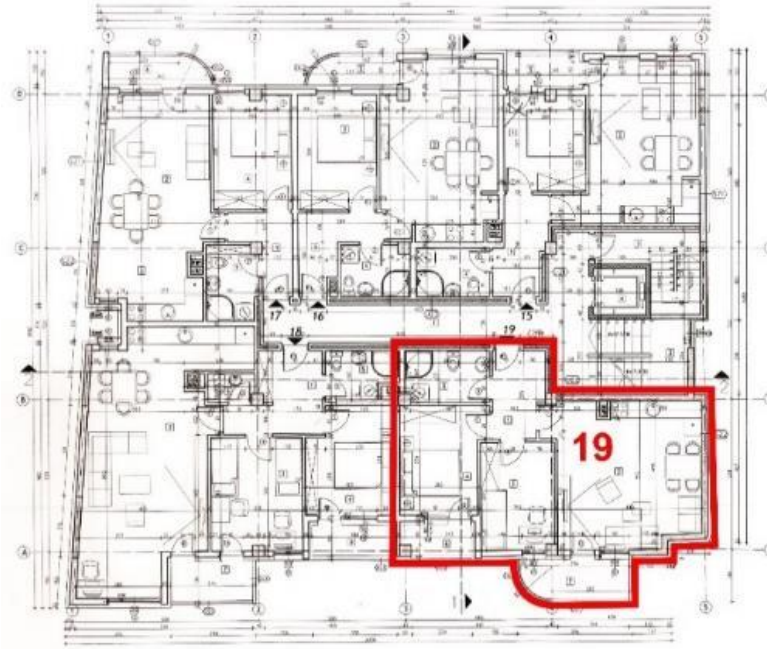
Vizuelno zasnovani sistemi koji koriste markere su posebno pogodni za prezentaciju svih tipova objekata (postojeći, nekada postojeći i novoprojektovani) u formi maketa (manjor razmeri od 1:1). Prezentacija postojećih objekata u realnoj veličini nema nikakvog smisla na realnoj lokaciji, može imati smisla jedino ukoliko se ne prezentuje na stvarnoj lokaciji. Primena ovog sistema na slobodnostojeće postojeće, nekada postojeće i novoprojektovane objekte je problematična zbog neophodnosti postojanja markera. Ovakav pristup pogodniji je za postojeće objekte u urbanom okruženju, gde kao markeri mogu poslužiti susedni objekti.

3.2.1 Studija slučaja - Projekat stana, Niš

Prezentacija arhitektonskih projekata podrazumeva izradu dvodimenzionalnih tehničkih crteža (osnova, presek, detalj) i trodimenzionalnih vizuelizacija (perspektivne slike, video animacije). Tradicionalni način podrazumeva prezentaciju svakog od priloga na papiru. Savremeni načini prezentacije podrazumevaju korišćenje računara i digitalnih resursa (video, animacija, proširena stvarnost). Savremeni načini prezentacije, korišćenjem digitalne tehnologije, omogućavaju bolju prezentaciju arhitektonskih projekata. To je od velikog značaja za prezentaciju projekata osobama van arhitektonske i građevinske struke.

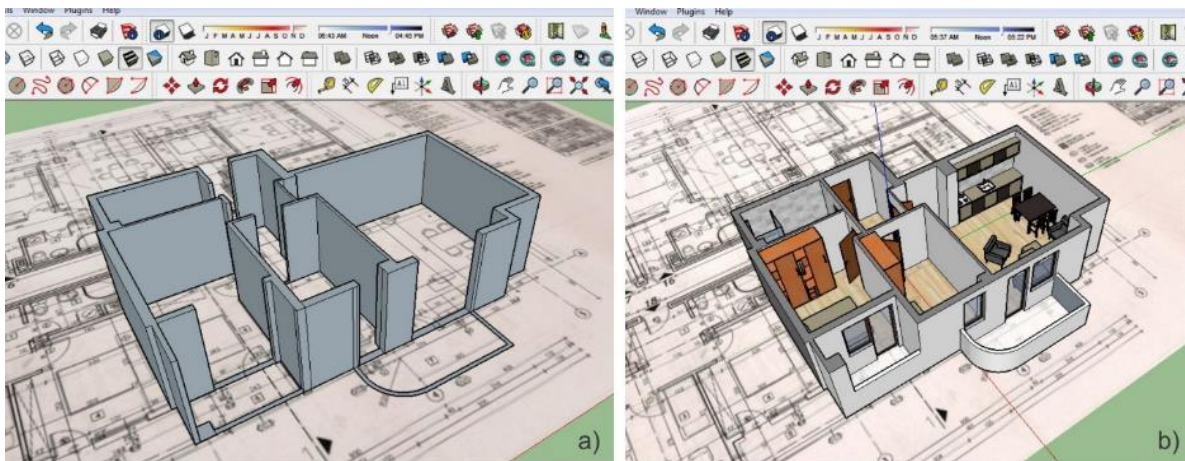
Cilj investitora je da potencijalnim kupcima, prilikom prodaje, na što bolji način prikaže izgled stanova. Ukoliko je objekat u procesu izgradnje, nije moguće fizički videti njegov izgled. Iz tog razloga se klijentima prezentuju 2D crteži osnova stanova, trodimenzionalni modeli, makete. Kao jedan od mogućih načina prezentacije projekata potencijalnim kupcima je i metoda prezentacije 3D modela metodom proširene stvarnosti. Pomoću ove metode je moguće kombinovati prezentaciju dvodimenzionalnih osnova i digitalnih 3D modela objekta.

Mogućnost upotrebe proširene stvarnosti u prezentovanju prostorne organizacije stana u višeporodičnoj stambenoj zgradi dat je kroz studiju slučaja projekta objekta u izgradnji u ulici Vojvode Tankosića 40-42 u Nišu (Pejić, et al., 2014). Kao izvor informacija na osnovu kojih je kreirana kompletna prezentacija korišćen je izvođački projekat višeporodičnog stambenog objekta. Za prezentaciju je odabran stan broj 19 (slika 26) na jugozapadnom uglu objekta, na četvrtom spratu, površine 65,43 m².



Slika 26: Osnova 4. sprata sa pozicijom analiziranog stana broj 19 (Pejić, et al., 2015.).

Iz izvođačkog projekta izdvojena je osnova 4. sprata, koja je digitalizovana i importovana u softverski paket *SketchUp*. Slika osnove je proporcijalno povećana, kako bi bila u odgovarajućoj razmeri. Nakon toga je izvršeno iscrtavanje gabarita zidova, korišćenjem osnovnih programskih alata (Slika 27a). Radi detaljnijeg prikaza koncepta uređenja prostora ovog stana kreiran je detaljan trodimenzionalni model. Pored zidova, prozora i vrata u modelu su postavljani i 3D modeli nameštaja na mestu na kome se nalaze i u 2D osnovi (Slika 27b).



Slika 27: a) Proces kreiranja zidova stana broj 19 i b) Prikaz finalnog 3D modela stana (Pejić, et al., 2015.).

Osnova 4. sprata je, osim za potrebe kreiranja 3D modela, iskorišćena i kao marker. Unutar softverskog dodatka je trodimenzionalni model stana, povezan sa 2D slikom osnove 4. Sprata, kako bi po pokretanju aplikacije na prenosnom uređaju model bio prikazan na papirnoj verziji osnove 4. sprata, na odgovarajućem mestu. Nakon toga, pokrenuta je konverzija digitalnog 3D modela u cilju njegovog prezentovanja na prenosnim uređajima.

Testiranje prezentacije izvršeno je na iPad 4 uređaju uz korišćenje softverskog paketa *Augmented*. Kao marker je korišćen papir A3 formata sa osnovom 4. sprata višeporodične stambene zgrade u ulici Vojvode Tankosića 40-42. Pokretanjem programa na prenosnom uređaju aktivira se kamera koja prikazuje stvarni svet. Kada program putem kamere detektuje marker na njegovom mestu prikazuje se 3D model stana (Slika 28a). Promenom položaja markera u odnosu na prenosni uređaj menja se ugao gledanja modela u realnom vremenu. U slučaju da program ne detektuje marker, određivanje položaja modela enterijera preuzimaju senzori prenosnog uređaja (žiroskop, kompas...).

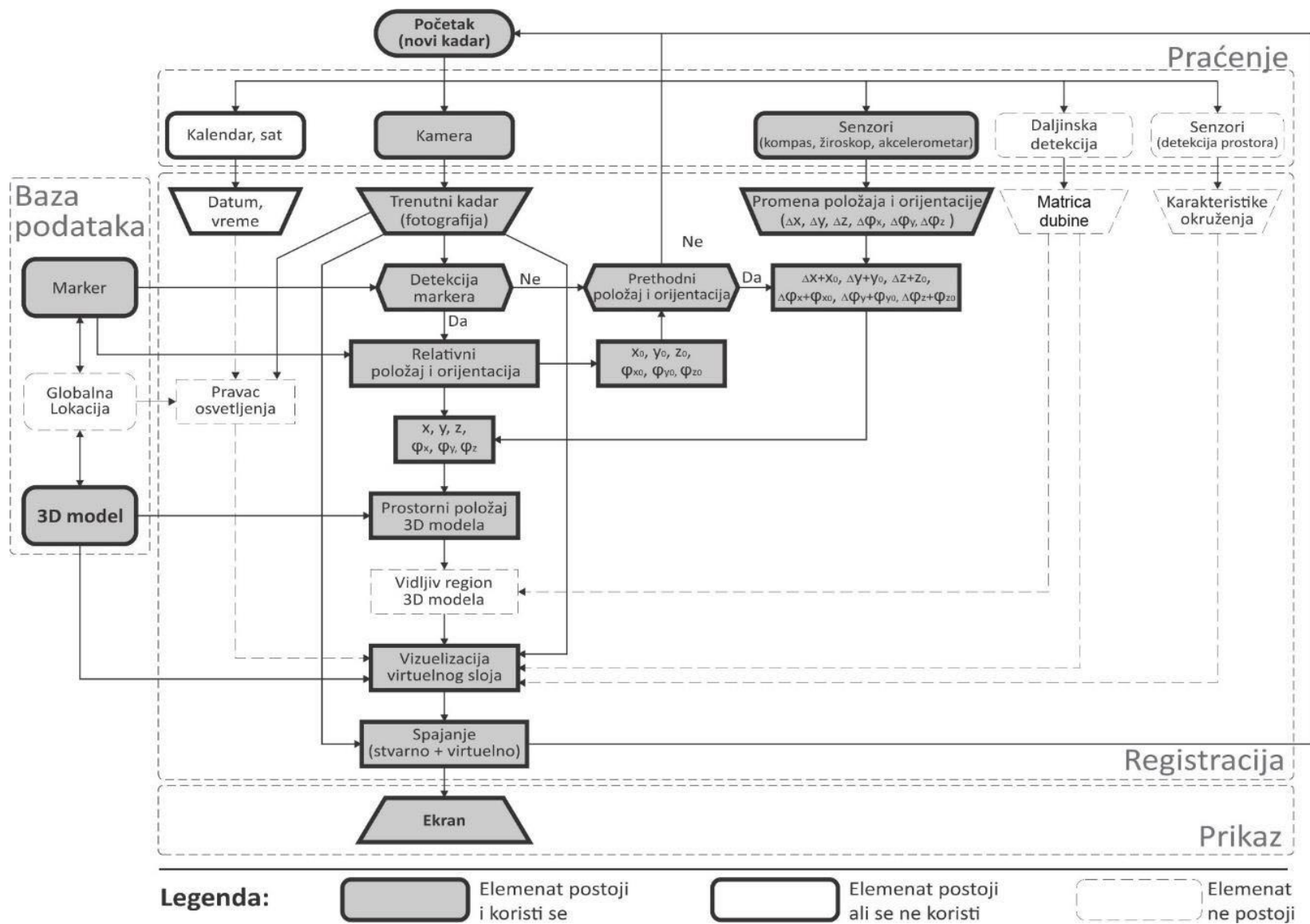


Slika 28: a) prikaz ekrana uređaja tokom testiranja rada aplikacije i b) fotografija odabranog prikaza trodimenzionalnog modela (Pejić, et al., 2015).

Klijent ovim putem može istovremeno sagledati 2D prikaz osnove stana na odštampanom papiru sa osnovom 4. sprata i 3D model na ekranu tableta. Time korisnik može istovremeno videti sve podatke koje nudi tehnički crtež osnove (dimenzije prostorija, površine...), kao i detaljan trodimenzionalni prikaz enterijera stana. Korišćenjem ove aplikacije

klijent može sagledati sve detalje željenog stana i fotografisati model iz bilo kog ugla, čime se omogućava kasniji pregled modela u formi tradicionalnih digitalnih fotografija (Slika 28b).

Vizuelno zasnovani sistem prezentacije korišćenjem komercijalno dostupnih prenosnih uređaja i komercijalno dostupnog softverskog paketa *Augmented* primenjen je u prezentaciji novoprojektovanog stana u Nišu. Primenjeni sistem je upoređen sa vizuelno zasnovanim konceptualnim modelom sistema prezentacije trodimenzionalnih arhitektonskih modela metodom proširene stvarnosti. Na slici 29 šematski su prikazani elementi i veze sistema korišćenog za prezentaciju trodimenzionalnog modela novoprojektovanog stana u kontekstu konceptualnog modela vizuelno zasnovanog sistema kreiranog u disertaciji. U prikazanoj šemi razlikuju se elementi koji ne postoje u korišćenom sistemu, elementi koji postoje, ali se ne koriste za prezentaciju i elementi koji postoje i koriste se.



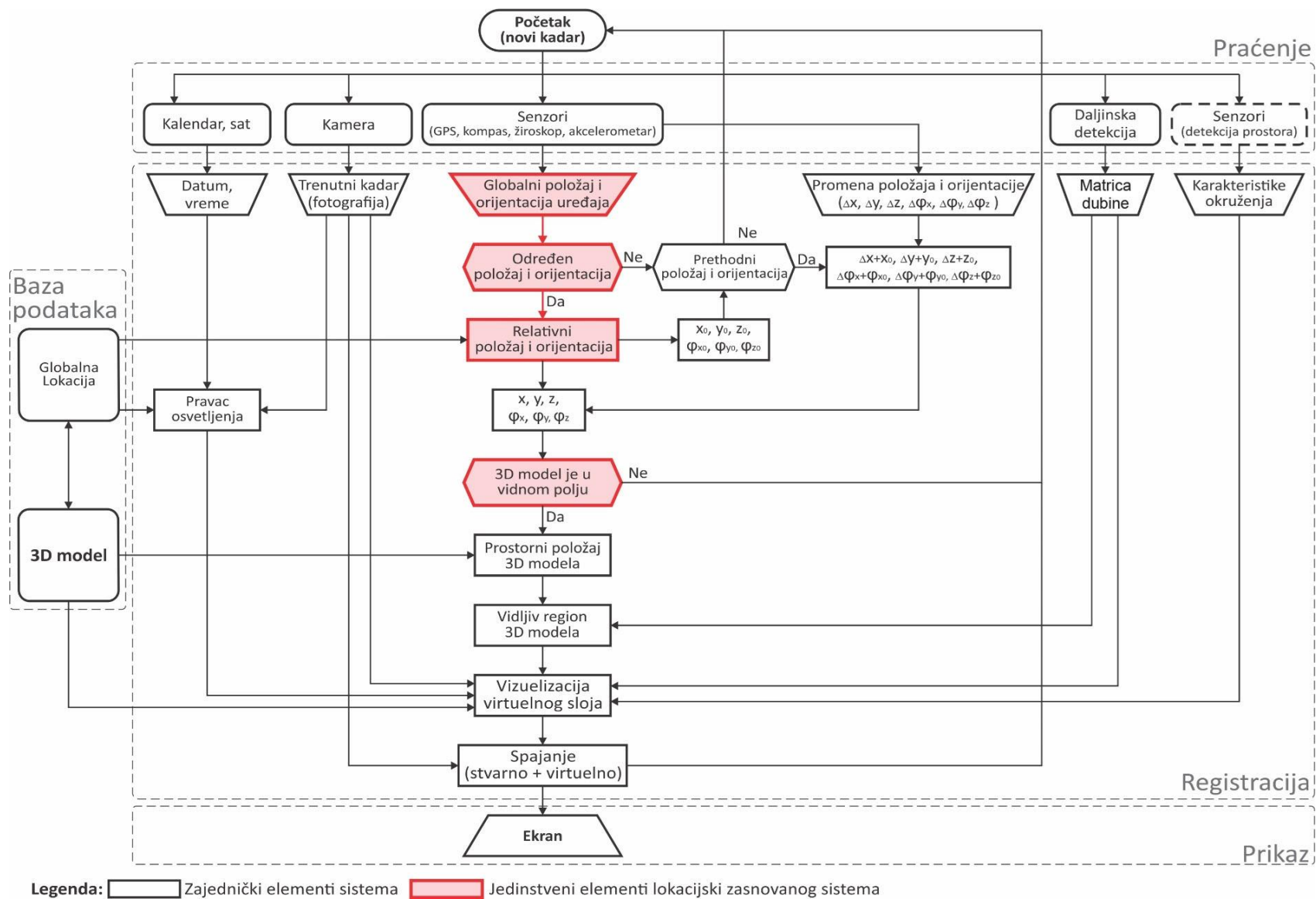
Slika 29: Šematski prikaz elemenata i veza vizuelno zasnovanog sistema korišćenog za prezentaciju stana u Nišu (Sopstvena istraživanja)

3.3 LOKACIJSKI ZASNOVAN SISTEM PREZENTACIJE 3D MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM PROŠIRENE STVARNOSTI

Automatski, lokacijski zasnovan sistem prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata u osnovi podrazumeva da su početni položaj i orijentacija sistema u stvarnom svetu određeni lokacijski. Odnosno, da se relativni položaj i orijentacija sistema određuju na osnovu globalnog položaja i orijentacije sistema u odnosu na globalni položaj i lokaciju virtuelnog objekta. Šematski prikaz elemenata i veza lokacijski zasnovanog konceptualnog modela sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata dat je na slici 30.

Baza podataka lokacijski zasnovanog sistema mora sadržati:

- virtuelni trodimenzionalni model arhitektonskog objekta koji se prikazuje i
- njegovu globalnu lokaciju, pomoću koje se određuje relativni položaj i orijentacija sistema i geometrija senki



Slika 30: Šematski prikaz elemenata i veza lokacijski zasnovanog konceptualnog modela sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata (Sopstvena istraživanja)

Početni podatak lokacijski zasnovanog sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti predstavlja globalni položaj i orijentaciju uređaja. Ukoliko je određen globalni položaj i orijentacija uređaja, vrši se kalkulacija relativnog položaja i orijentacije sistema, na osnovu globalne lokacije virtuelnog objekta iz baze podataka. Ukoliko globalni položaj i orijentacija uređaja nisu detektovani, proverava se da li postoje podaci o relativnom položaju i orijentaciji sistema u prethodnom kadru, ukoliko ne postoje, prelazi se na sledeći kadar. Ukoliko podaci o relativnom položaju i orijentaciji sistema postoje u prethodnom kadru, onda se na osnovu njih vrši kalkulacija relativnog položaja i orijentacije sistema u trenutnom kadru.

Na osnovu podataka o relativnom položaju i orijentaciji sistema proverava se da li je virtuelni 3D model arhitektonskog objekta u vidnom polju, odnosno, da li će biti vidljiv u kadru, ukoliko nije, prelazi se na sledeći kadar. Ukoliko je virtuelni 3D model objekta vidljiv, onda se u odnosu na 3D model iz baze podataka i njegovog geometrijskog odnosa sa globalnom lokacijom vrši kalkulacija prostornog položaja objekta unutar trenutnog kadra. Eventualna okluzija se određuje na osnovu matrice dubine i prostornog položaja virtuelnog objekta, koji određuju vidljiv region 3D modela. Nakon toga se vrši vizuelizacija virtuelnog sloja, trenutnog kadra kreiranjem realne geometrije i fotorealistične vizuelizacije uticaja stvarnog sveta na virtuelni 3D model i obratno. Koriste se podaci o 3D modelu iz baze podataka, prostiranju senki, trenutnom kadru, matrici dubine i karakteristikama okruženja. Nakon toga se na ekranu vrši prikaz trenutnog kadra spojenog sa kreiranim virtuelnim slojem. Po završetku vizuelizacije trenutnog kadra se prelazi na sledeći kadar.

Lokacijski zasnovan sistem prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti je moguće koristiti za različite tipove objekata i različite razmere. Pregled pogodnih (+) i nepogodnih (-) slučajeva primene lokacijski zasnovanog sistema proširene stvarnosti je dat u tabeli 4.

Tabela 4: primenljivost lokacijski zasnovanog sistema proširene stvarnosti, u zavisnosti od tipa objekta i razmere u kojoj se virtuelni 3D model prikazuje

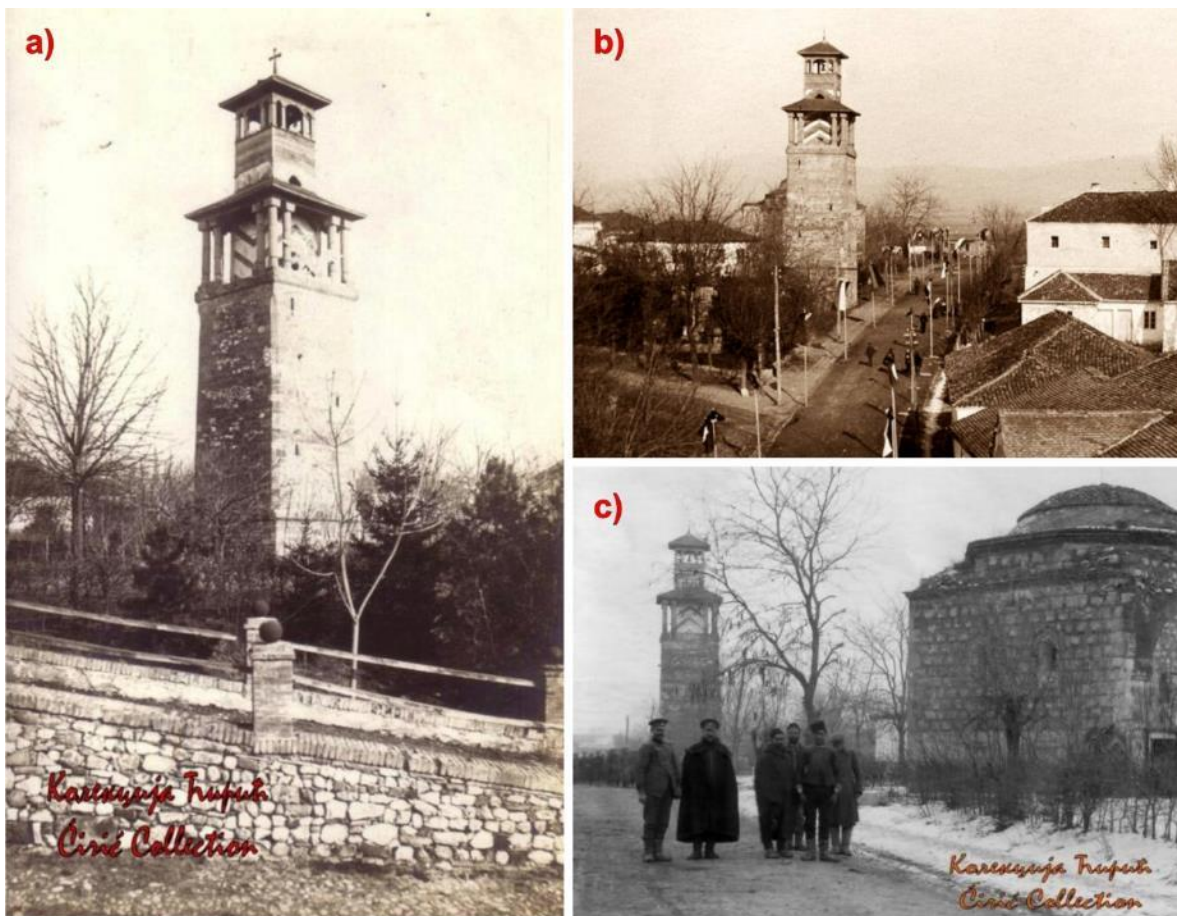
Razmera 3D modela	Lokacija testa	Objekti		
		Postojeći	Nekada postojeći	Novoprojektovani
Realna (1:1)	Izgrađena	-	+/-	+/-
	Neizgrađena	-	+	+
Manja (maketa)	Enterijer	-	-	-
	Eksterijer	-/+	-/+	-/+

+ : pogodno
 - : nepogodno

Lokacijski zasnovani sistemi su prevashodno namenjeni za prezentaciju objekata u realnoj veličini, na realnim lokacijama. Iz tog razloga, prezentacija u manjoj razmeri u vidu maketa nema smisla, ali je moguća. Zbog nedovoljne preciznosti trenutnih sistema globalnog pozicioniranja, primena ovog sistema u urbanim okruženjima na nekada postojećim i novoprojektovanim objektima je problematična. Ovakav pristup pogodniji je za slobodnostojeće objekte bez visokih objekata ili rastinja u neposrednoj okolini, koje može ometati GPS signal.

3.3.1 Studija slučaja - Sahat kula, Niška tvrđava

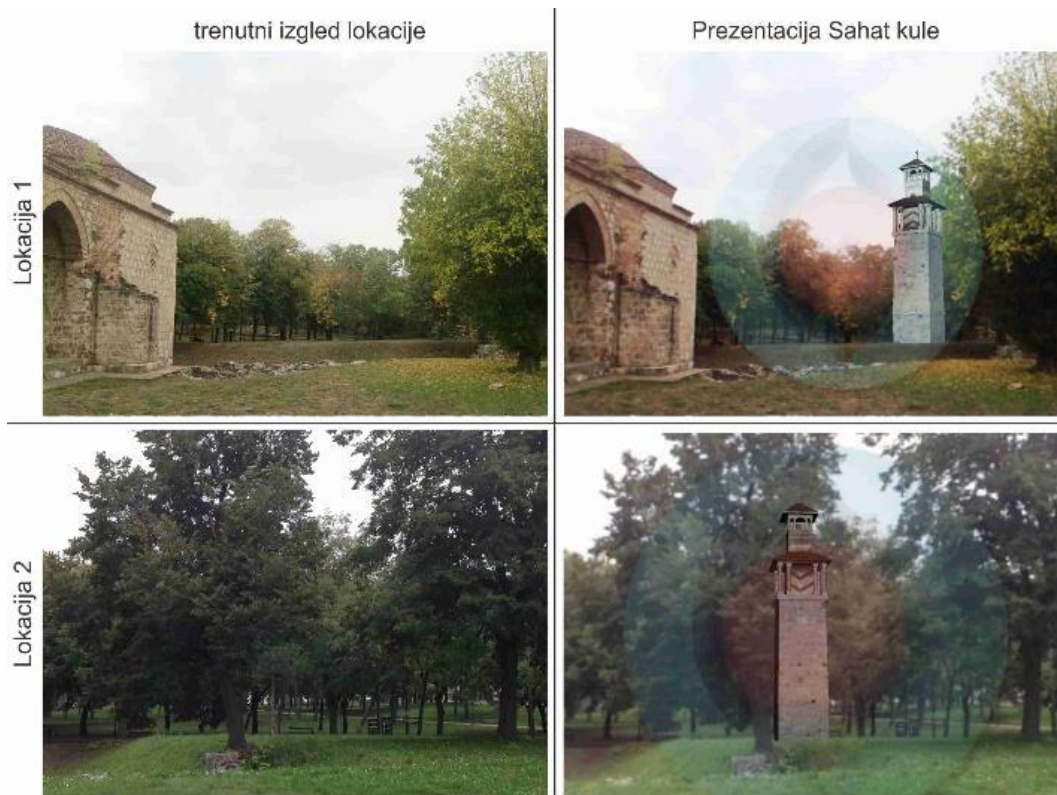
Primer primene metode proširene stvarnosti za prezentaciju nekadapostojećeg arhitektonskog objekta predstavlja studija slučaja Sahat kule iz Niške tvrđave. Ne postoje tačni podaci kada je Sahat kula izgrađena, ali postoje pretpostavke o tome na osnovu načina formiranja urbane gradske strukture unutar zidina Niške tvrđave. Pretpostavlja se da je ona nastala početkom 19. veka. Objekat Sahat kule imao je višestruku namenu. Predstavljao je jedan od glavnih gradskih repera tog doba, a zbog svoje visine i položaja objekat je služio kao protivpožarna kula. Sa nje se mogla nadzirati kompletna urbana struktura unutar tvrđave, kao i deo grada sa leve obale Nišave. Objekat je porušen početkom 20. veka. Unutar današnje tvrđave jedino je moguće pronaći temelj i mali deo osnove Sahat kule. Veoma bitan resurs za digitalnu rekonstrukciju i izradu 3D modela Sahat kule jesu sačuvane fotografije, dostupne na internetu (Slika 31).



Slika 31: Fotografije Sahat kule iz Niške tvrđave (Sopstvena istraživanja)

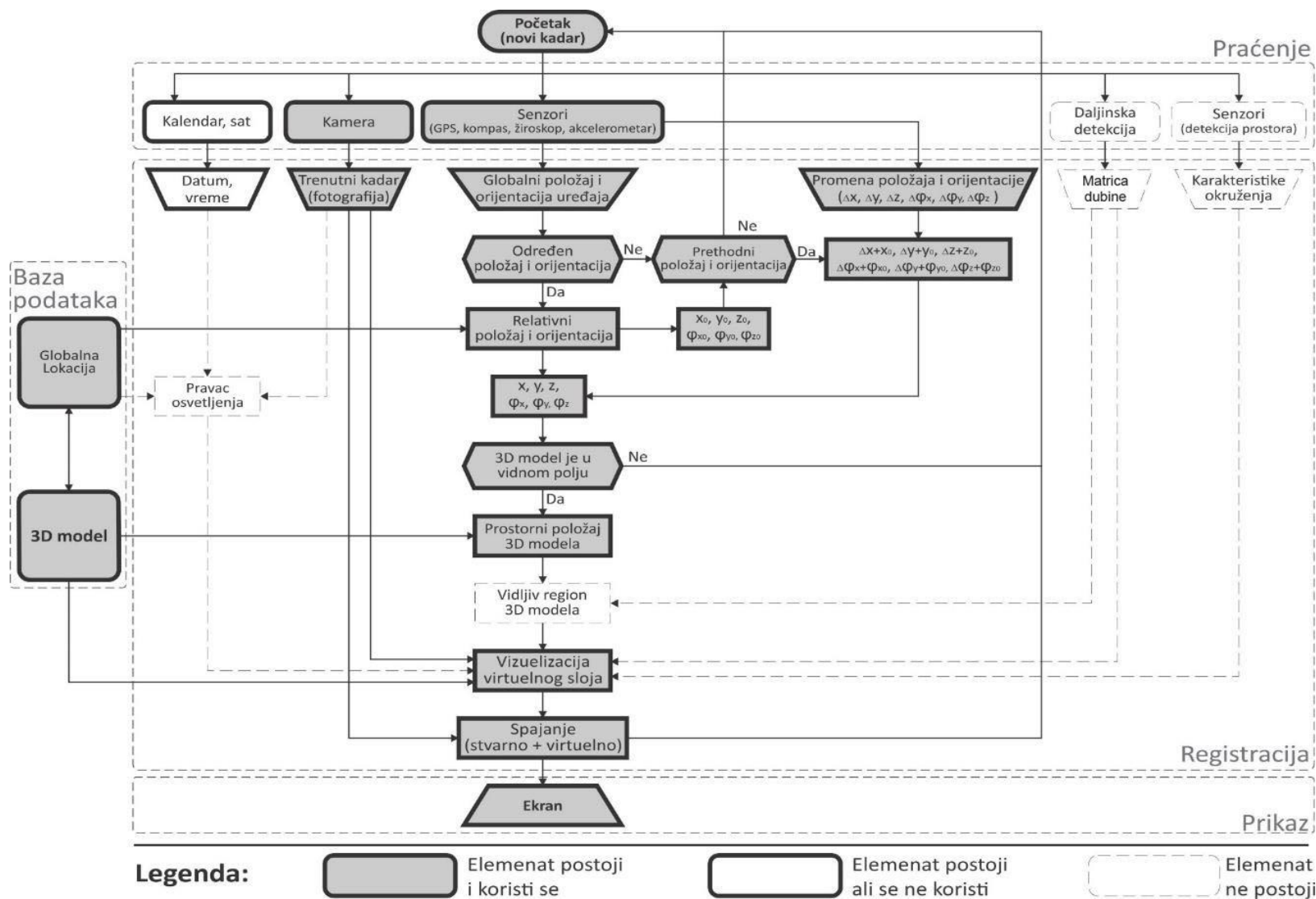
Trodimenzionalni model Sahat kule kreiran je na osnovu dostupnih fotografija, poluautomatskom fotogrametrijom jednog snimka, korišćenjem besplatnog softverskog paketa *SketchUp* (Krašić & Pejić, 2014). Trodimenzionalni model Sahat kule je geolociran, korišćenjem *Google maps* servisa i povezan sa odgovarajućim markerom, korišćenjem softverskog dodatka *AR-media*.

Testiranje je sprovedeno na lokaciji na kojoj se Sahat kula nekad nalazila, unutar Niške tvrđave. Prenosni uređaj na osnovu svog GPS prijemnika određuje korisnikovu trenutnu geografsku lokaciju. A nakon toga na ekranu prikazuje izgled geolociranog modela Sahat kule u odnosu na GPS koordinate uređaja (slika 32). Na ovaj način, korisnik ima mogućnost obilaska Niške tvrđave i sagledavanja Sahat kule iz svih uglova u pravoj veličini i u realnom okruženju.



Slika 32: uporedni prikaz postojećeg izgleda lokacije i prezentacije Sahat kule metodom proširene stvarnosti (Sopstvena istraživanja)

Lokacijski zasnovan sistem prezentacije korišćenjem komercijalnog dostupnog prenosnog uređaja i komercijalno dostupnog softverskog paketa *AR-media* primenjen je u prezentaciji nekada postojećeg objekta Sahat kule u Niškoj tvrđavi. Primenjeni sistem prezentacije upoređen je sa dijagramom lokacijski zasnovanog konceptualnog modela sistema prezentacije trodimenzionalnih arhitektonskih modela metodom proširene stvarnosti. Na slici 33 šematski su prikazani elementi i veze sistema korišćenog za prezentaciju trodimenzionalnog modela Sahat kule u kontekstu konceptualnog modela lokacijski zasnovanog sistema, kreiranog u disertaciji. U prikazanoj šemi razlikuju se elementi koji ne postoje u korišćenom sistemu, elementi koji postoje, ali se ne koriste za prezentaciju i elementi koji postoje i koriste se.



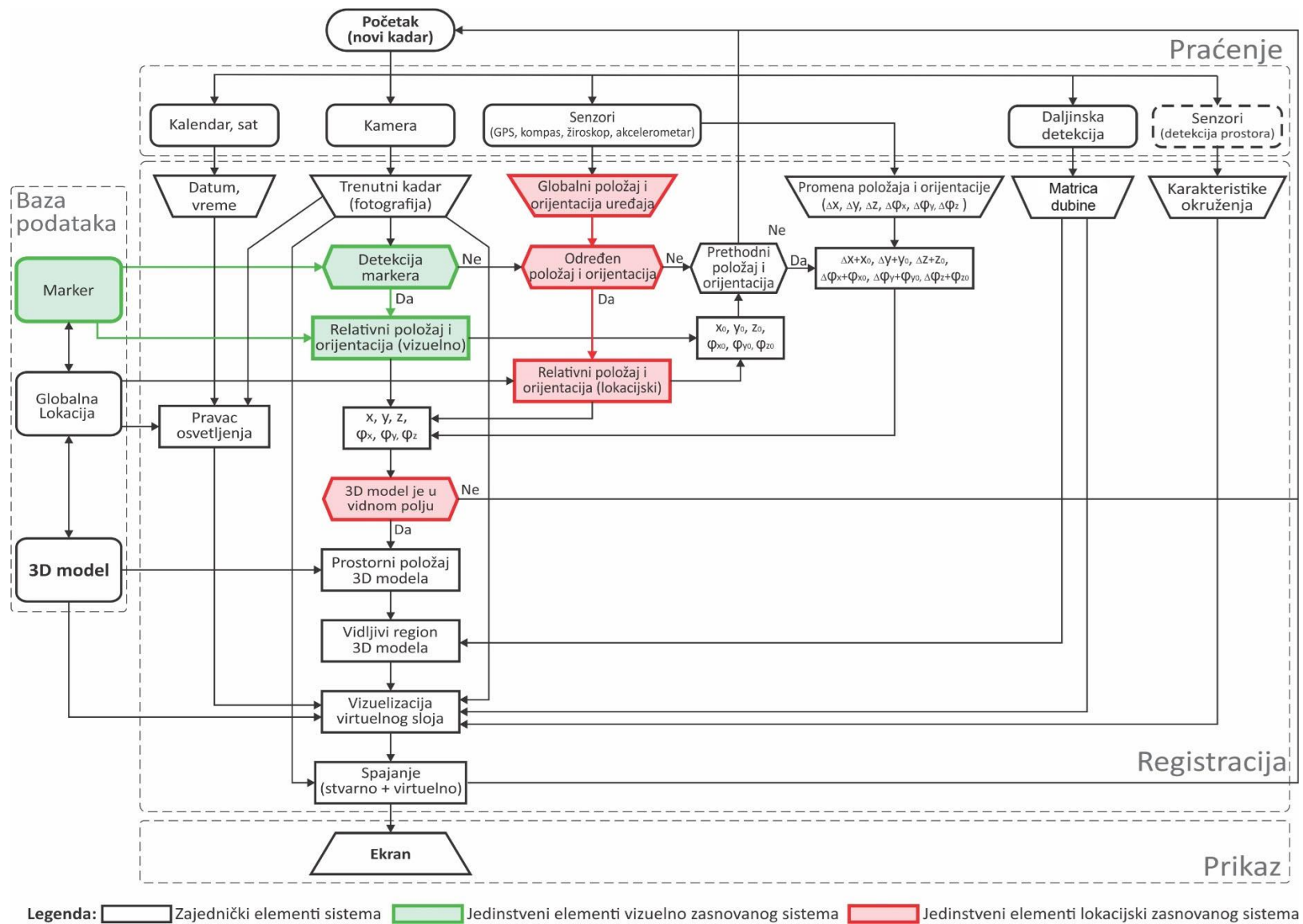
Slika 33: Šematski prikaz elemenata i veza lokacijski zasnovanog sistema korišćenog za prezentaciju nekadašnjeg izgleda Šahat kule (Sopstvena istraživanja)

3.4 HIBRIDNI SISTEM PREZENTACIJE 3D MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM PROŠIRENE STVARNOSTI

Automatski, hibridni sistem prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti kombinuje vizuelni i lokacijski sistem u jedan. Podrazumeva da je početni položaj i orijentaciju sistema u stvarnom svetu moguće odrediti vizuelno ili lokacijski. Relativni položaj i orijentacija sistema određuju se na osnovu položaja vizuelnog markera unutar kadra zabeleženog kamerom ili na osnovu globalnog položaja i orijentacije sistema u odnosu na globalni položaj i lokaciju virtuelnog objekta. Šematski prikaz elemenata i veza hibridnog konceptualnog modela sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata dat je na slici 34.

Baza podataka hibridnog sistema mora sadržati:

- virtuelni trodimenzionalni model arhitektonskog objekta koji se prikazuje,
- njegovu globalnu lokaciju, pomoću koje se određuje relativni položaj i orijentacija i geometrija senki i
- marker povezan sa 3D modelom, pomoću kojeg se određuje relativni položaj i orijentacija sistema.



Slika 34: Šematski prikaz elemenata i veza hibridnog, konceptualnog modela sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata (Sopstvena istraživanja)

Početni podatak hibridnog sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti predstavlja trenutni kadar. Na osnovu markera u bazi podataka vrši se analiza trenutnog kadra u cilju njegove detekcije. Ukoliko je marker detektovan, vrši se kalkulacija relativnog položaja i orijentacije sistema na osnovu podataka o markeru iz baze podataka. Ukoliko marker nije detektovan unutar kadra, proverava se da li je određen globalni položaj i orijentacija uređaja. Ukoliko je globalni položaj određen, vrši se kalkulacija relativnog položaja i orijentacije sistema na osnovu globalne lokacije virtuelnog objekta iz baze podataka. Ukoliko globalni položaj i orijentacija uređaja nisu detektovani, proverava se da li postoje podaci o relativnom položaju i orijentaciji sistema u prethodnom kadru, ukoliko ne postoje, prelazi se na sledeći kadar. Ukoliko ovi podaci iz prethodnog kadra postoje, onda se na osnovu njih vrši kalkulacija relativnog položaja i orijentacije sistema u trenutnom kadru.

Na osnovu podataka o relativnom položaju i orijentaciji sistema, proverava se da li će virtuelni 3D model arhitektonskog objekta biti vidljiv u kadru. Ukoliko nije vidljiv, prelazi se na sledeći kadar. U slučaju da je virtuelni 3D model objekta vidljiv, onda se u odnosu na 3D model iz baze podataka i njegovog geometrijskog odnosa sa globalnom lokacijom vrši kalkulacija prostornog položaja objekta unutar trenutnog kadra. Matrica dubine i prostorni položaj virtuelnog objekta omogućavaju određivanje vidljivog regiona 3D modela i, samim tim, pravilan prikaz okluzije. Nakon toga se na osnovu podataka o 3D modelu iz baze podataka, prostiranju senki, trenutnom kadru, matrici dubine i karakteristikama okruženja vrši vizuelizacija virtuelnog sloja trenutnog kadra. Vizuelizacija podrazumeva kreiranje realne geometrije i fotorealistične vizuelizacije uticaja stvarnog sveta na virtuelni 3D model i obratno. Spajanje trenutnog prikaza stvarnog sveta sa kreiranim virtuelnim slojem i prikaz na ekranu predstavlja poslednji korak, nakon čega se prelazi na sledeći kadar.

Hibridni sistem prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti kombinuje vizuelni i lokacijski sistem u jedan i time omogućava veću fleksibilnost u prezentaciji. Hibridni sistem omogućava prikaz svih vrsta objekata (postojeći, nekada postojeći i novoprojektovani) u svim razmerama (1:1 ili manja).

3.4.1 Studija slučaja - Spoljašnji omotač objekta, kuća u Babušnici

Česti su slučajevi u kojima je na postojećim objektima potrebno sprovesti radove rekonstrukcije postojećeg ili izrade novog fasadnog omotača. Rekonstrukcija postojeće fasade objekta može biti potrebna zbog bezbednosti (loše stanje) ili estetike (nema odgovarajuću estetsku vrednost). Izrada novog fasadnog omotača može biti potrebna u slučajevima kada građevinski radovi na fasadi objekta nisu završeni. U oba slučaja potrebno je izraditi tehničke crteže i trodimenzionalnu prezentaciju objekta sa novom fasadom. Kako je u ovom slučaju potrebno kombinovati prikaz virtuelnog trodimenzionalnog modela objekta sa novim fasadnim omotačem sa stvarnim okruženjem, primena metode proširene stvarnosti je moguća.

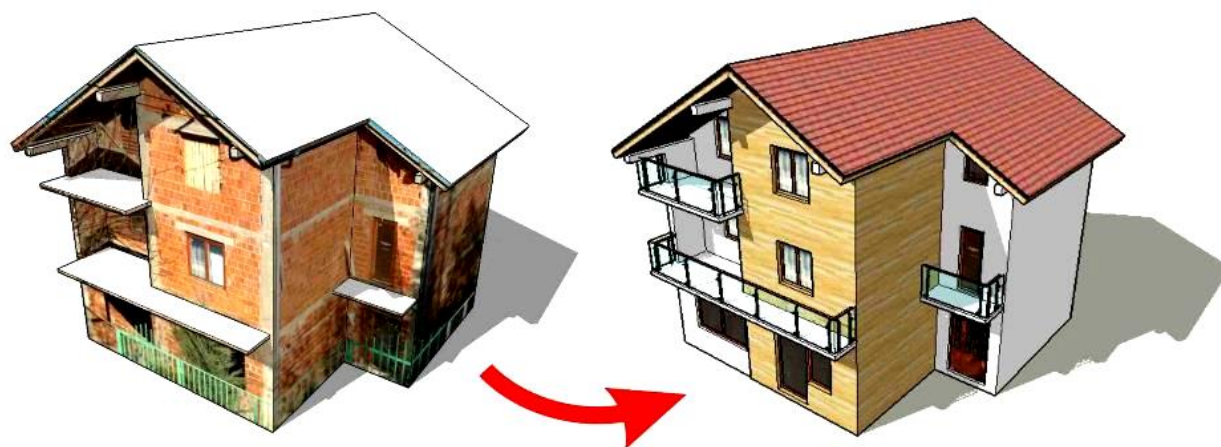
Primena metode proširene stvarnosti za prezentaciju trodimenzionalnog modela objekta sa novoprojektovanom fasadom dat je kroz studiju slučaja kuće u Babušnici. Kompletna analiza je sprovedena za jednoporođičnu kuću, spratnosti P+1+Pk prikazanom na slici 35. Građevinski radovi na kući nisu kompletno završeni. U eksterijeru objekta je potrebno izvršiti finalne radove na fasadnim ravnima i terasama (Pejić, et al., 2015).



Slika 35: Kuća u Babušnici. (Pejić, et al., 2015)

Kako je neophodno kreirati prezentaciju trodimenzionalnog modela objekta sa novoprojektovanom fasadom, potrebno je poznavati sve dimenzije postojećeg objekta. Zbog toga je metodom poluautomatske, zemaljske fotogrametrije jednog snimka, a korišćenjem softverskog paketa *SketchUp*, izvršeno kreiranje trodimenzionalnog modela postojećeg objekta (Pejić, et al., 2015).

Dobijeni trodimenzionalni model je iskorišćen za dalju analizu i kreiranje arhitektonskog predloga dizajna nove fasade. Korišćenjem osnovnih *SketchUp* alata izvršeno je modifikovanje modela postojećeg objekta i kreiran je fotorealistični trodimenzionalni model novog fasadnog omotača (Slika 36). Fasada je dizajnirana u skladu sa savremenim arhitektonskim aspiracijama, postojećim okruženjem i željama vlasnika objekta.



Slika 36: Trodimenzionalni model kuće u Babušnici. (Pejić, et al., 2015).

Kreirani trodimenzionalni model je geolociran korišćenjem veze *SketchUp*-a i *Google maps* servisa. Korišćenjem AR media softverskog dodatka za *SketchUp*, geolocirani trodimenzionalni model je povezan sa dvodimenzionalnim markerom i eksportovan u formi fajla, namenjenog prezentaciji na hibridnom sistemu, metodom proširene stvarnosti.

Testiranje prethodno pripremljene prezentacije je izvršeno na stvarnoj lokaciji u Babušnici u realnoj razmeri (Slika 37a) i u enterijeru u manjoj razmeri (Slika 37b). Sistem na kome je testiranje izvršeno sastoji se od *iPad 4* tableta i *AR-media* plejera za *iOS*.



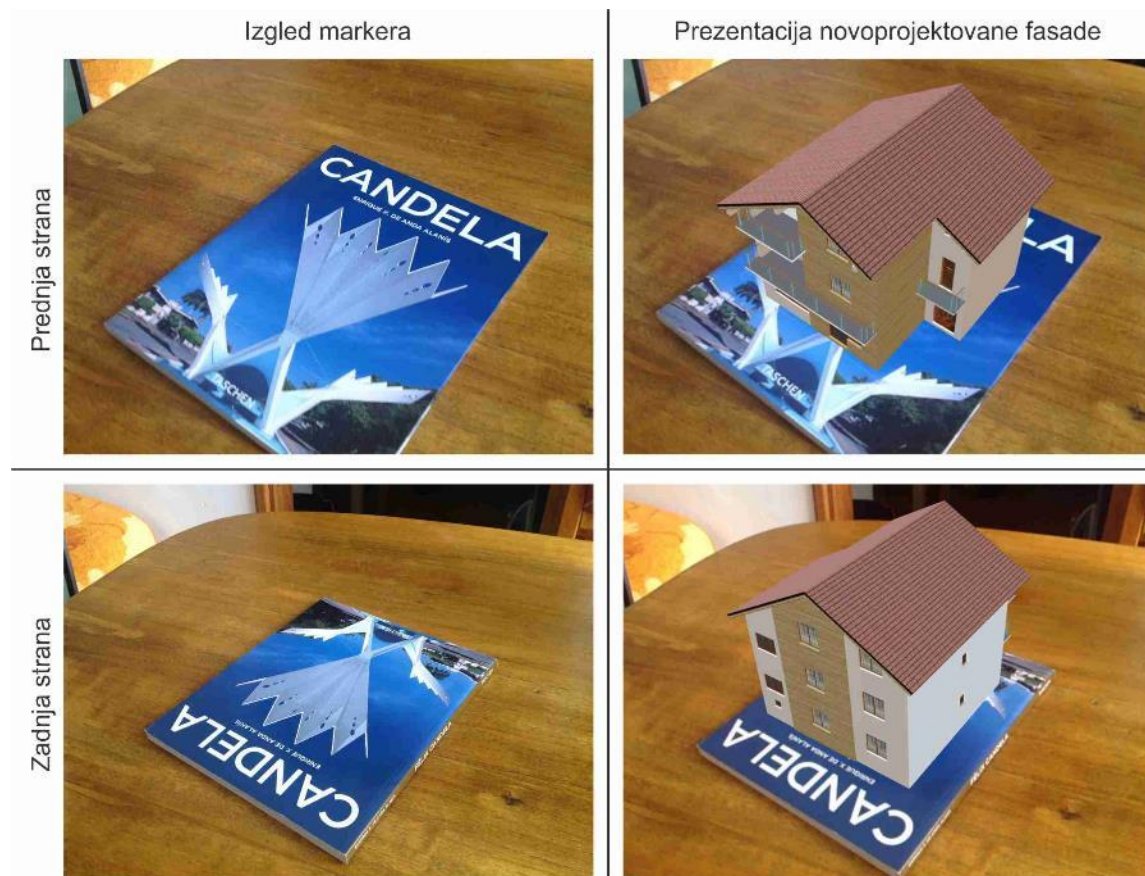
Slika 37: Testiranje rada sistema: a) na stvarnoj lokaciji i b) u enterijeru (Pejić, et al., 2015).

Postojeći objekat se nalazi u urbanoj sredini, okružen je drugim objektima i visokim rastinjem. Zbog takvog okruženja i oblačnog dana, prilikom testiranja rada prezentacije, GPS pozicioniranje nije bilo dovoljno precizno. Zbog ovoga se kuća i virtuelni trodimenzionalni model nove fasade u prezentaciji nisu savršeno poklapali, pa je bilo potrebno utrošiti dodatno vreme radi ručnog podešavanja. Nakon toga, bilo je moguće sagledati novu fasadu objekta iz svih uglova, kretanjem oko postojeće kuće. Uporedni prikaz trenutnog izgleda kuće i prikaza novoprojektovane fasade sa istih položaja u blizini objekta dat je na slici 38.



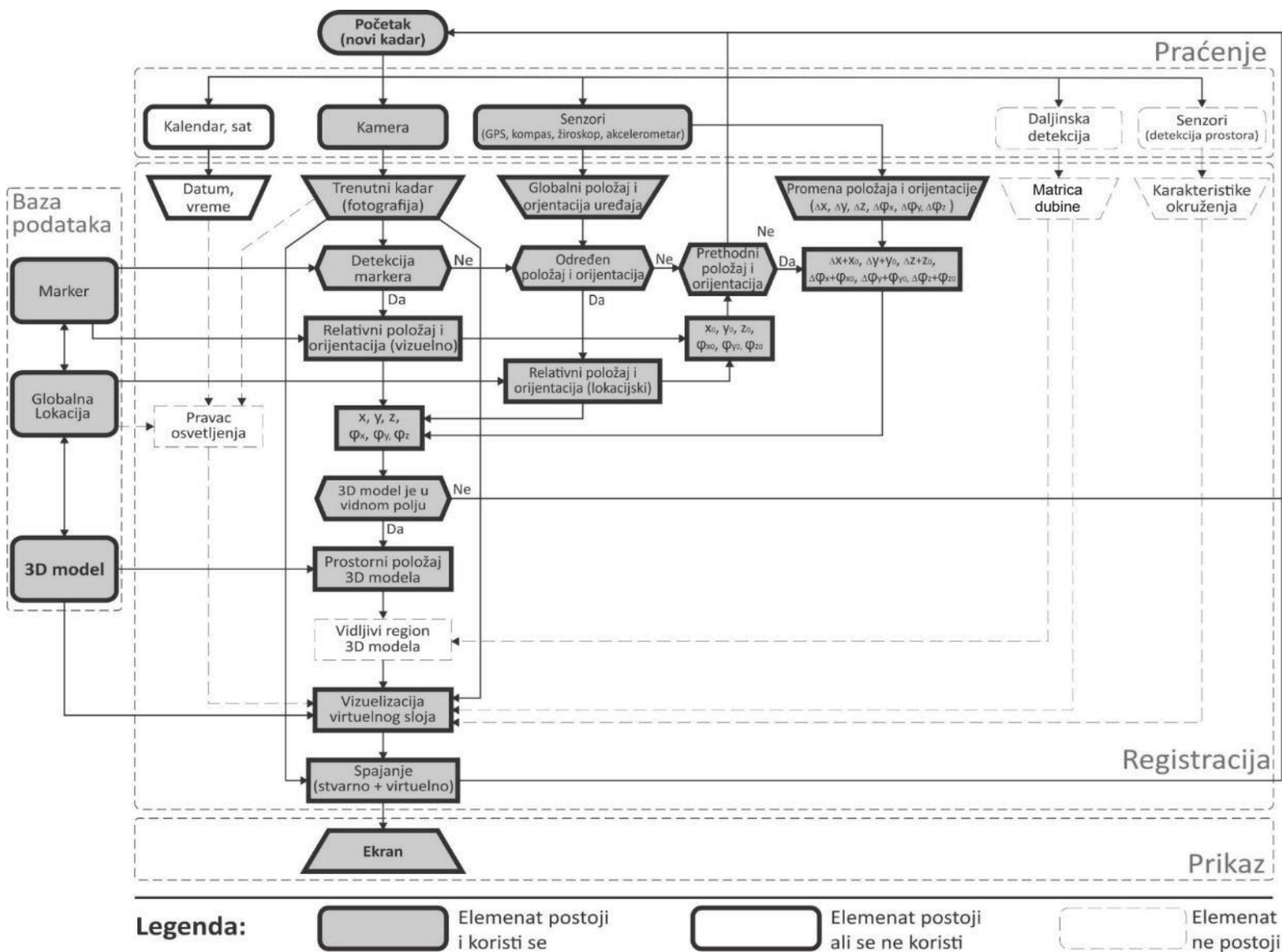
Slika 38: Uporedni prikaz postojećeg objekta i prezentacije novoprojektovane fasade metodom proširene stvarnosti (Pejić, et al., 2015).

Testiranje funkcionisanja sistema je izvršeno i u enterijeru korišćenjem markera. Trodimenzionalni model novoprojektovane fasade kuće u Babušnici na ovaj način je moguće sagledati iz svih uglova u manjoj razmeri. Uporedni prikaz istog kadra stvarnog sveta i prikaza trodimenzionalnog modela novoprojektovane fasade u vidu makete dat je na slici 39.



Slika 39: Uporedni prikaz istog kadra bez i sa prikazom novoprojektovane fasade metodom proširene stvarnosti (Pejić, et al., 2015).

Hibridni sistem prezentacije, korišćenjem komercijalno dostupnih prenosnih uređaja i komercijalno dostupnog softverskog paketa *AR-media*, primenjen je u prezentaciji novoprojektovane fasade kuće u Babušnici. Primenjeni sistem prezentacije upoređen je sa hibridnim konceptualnim modelom sistema prezentacije trodimenzionalnih arhitektonskih modela metodom proširene stvarnosti. Na slici 40 šematski su prikazani elementi i veze sistema korišćenog za prezentaciju trodimenzionalnog modela fasade kuće u Babušnici u kontekstu konceptualnog modela hibridnog sistema, kreiranog u disertaciji. U prikazanoj šemi razlikuju se elementi koji ne postoje u korišćenom sistemu, elementi koji postoje, ali se ne koriste za prezentaciju i elementi koji postoje i koriste se.



Slika 40: Šematski prikaz elemenata i veza hibridnog sistema korišćenog za prezentaciju nekada postojećeg objekta Sahat Kule i novoprojektovane fasade kuće u Babušnici (Sopstvena istraživanja)

3.5 Završne napomene o konceptualnim modelima

U ovom poglavlju prikazan je nov, konceptualni model automatskog sistema za prezentaciju trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Rezultati istraživanja se odnose na unapređenje kvaliteta prezentacije trodimenzionalnih arhitektonskih modela unutar realnog okruženja metodom proširene stvarnosti sa različitih aspekata.

Nedostaci svih sistema (vizuelnog, lokacijskog i hibridnog) su:

- nerealne senke, nepostojanje algoritma za kalkulaciju realnih senki;
- nepostojanje senzora daljinske detekcije, što rezultira nepravilnim prikazom okluzije,
- nepostojanje senzora detekcije prostora, što rezultira nerealnim prikazom refleksije i providnosti.

Ovi nedostaci su direktno uslovljeni nepostojanjem algoritma za kalkulaciju realnog pravca senke unutar komercijalno dostupnih sistema proširene stvarnosti i nepostojanjem senzora za daljinsku detekciju i detekciju realnog okruženja u komercijalno dostupnim uređajima.

U odnosu na postojeće pristupe ovoj tematici, kod novokreiranog konceptualnog modela mogu se uočiti sledeća teoretska poboljšanja:

- Bolja prilagođenost sistema oblasti arhitekture.
 - Dovoljno je da korisnik poseduje znanje za korišćenje programa za 3D modelovanje, dok predznanje iz programiranja nije neophodno.
 - Nov način izbora i obrade elemenata koji čine sistem.
- Bolja prilagođenost korisnicima.
 - Arhitektama je olakšan način kreiranja prezentacije zbog potpune automatizacije sistema. Svi procesi pripreme sistema za prezentaciju trodimenzionalnog modela arhitektonskog objekta su maksimalno prilagođeni prosečnom arhitekti.
 - Korisnicima prezentacije nije potrebno predznanje, već je proces pregleda trodimenzionalnog modela intuitivan i automatizovan.

- Značajno unapređenje konceptualnog modela sistema, elementima i vezama za veću realnost prezentacije.
 - Prikaz realne geometrije senki virtuelnog objekta, kalkulacijom pravca senki na osnovu geografske lokacije, datuma i vremena ili analizom trenutnog kadra.
 - Realan prikaz refleksije stvarnog sveta na površinama virtuelnog trodimenzionalnog modela.
 - Realan prikaz refleksije trodimenzionalnog modela na površinama u stvarnom svetu.
 - Realan prikaz providnosti površina trodimenzionalnog modela.
 - Realan prikaz trodimenzionalnog modela kroz providne površine stvarnog sveta.
 - Realan prikaz okluzije.

- Sveobuhvatnost pristupa prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti.
 - U hibridnom konceptualnom modelu sistema prezentacije trodimenzionalnih arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti su objedinjene sve metode praćenja.
 - Sistem je potpun i konzistentan i omogućava prikaz svih vrsta arhitektonskih objekata.

Ovako kreirani konceptualni model prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti predstavlja teorijsku osnovu za kreiranje sistema sa stepenom realističnosti prezentacije, jednakom ljudskoj percepciji stvarnog sveta. Za kreiranje funkcionalnog sistema na bazi konceptualnog i dalje postoje tehnička ograničenja ili su oblasti nedovoljno istražene da bi se neka od naučnih rešenja našla i u komercijalnim sistemima proširene stvarnosti. Glavni problemi realistične prezentacije jesu:

- nerealne senke;
- nepravilan prikaz okluzije,
- nerealan prikaz refleksije i providnosti.

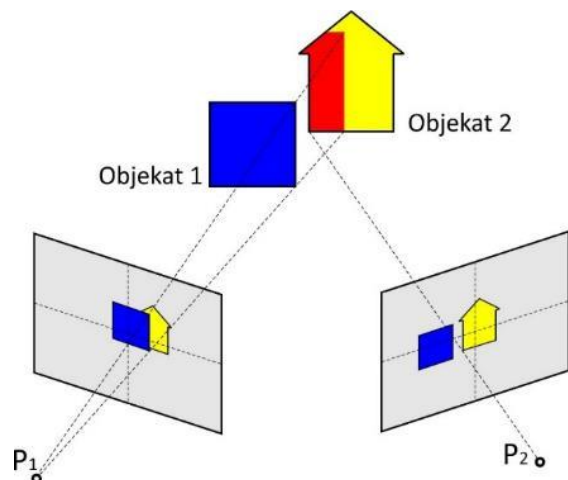
Kako bi osim teoretskih osnova sistem prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti bio i praktično unapređen, u poglavlju 4 ove disertacije je adresiran problem pravilnog prikaza okluzije. Razvijen je jedinstven algoritam za pravilan prikaz okluzije, korišćenjem TOF kamere i testiran na realnim primerima.

4 UNAPREĐENJE SISTEMA PREZENTACIJE 3D MODELA ARHITEKTONSKIH OBJEKATA METODOM PROŠIRENE STVARNOSTI

Prikazana analiza predloženih unapređenja sistema prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti, pokazuju nedostatak komponente koja bi se bavila pravilnim prikazom okluzije. Ova komponenta je veoma bitna za prikaz koji odgovara percepciji stvarnog sveta i nedovoljno je istražena u oblasti prezentacije arhitektonskih objekata. U ovom poglavlju izvršena je analiza postojećih naučnih pristupa problemu pravilnog prikaza okluzije u sistemima proširene stvarnosti. Razvijen je i prikazan novi *EPM* algoritam za pravilan prikaz okluzije u sistemima prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti, čiji rad je na realnim primerima upoređen sa radom postojećih *TSDf* i *RANSAC* algoritama.

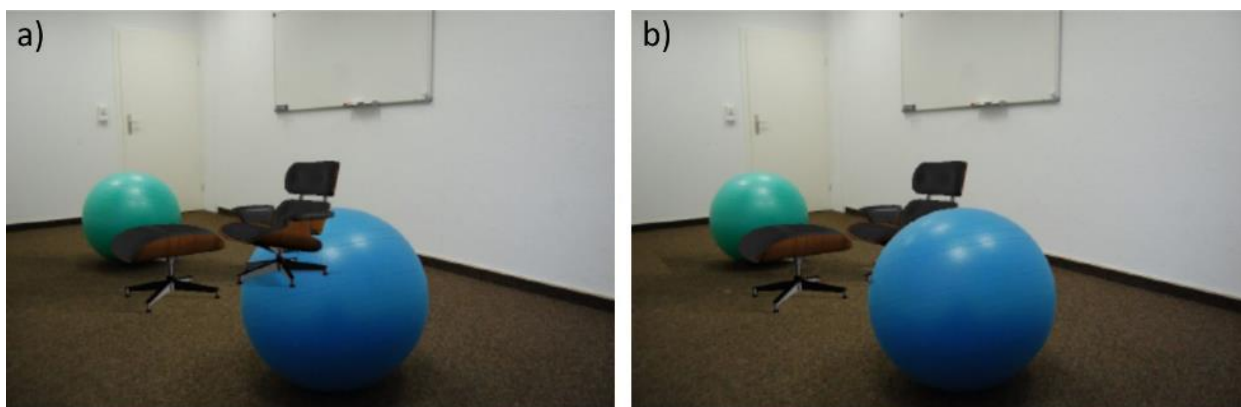
4.1 Okluzija u sistemima proširene stvarnosti

Okluzija označava situaciju u kojoj se deo objekta na scene ne vidi, zato što se drugi objekat nalazi ispred njega (zaklanja ga). Ukoliko jedan isti prostor posmatramo sa dve različite lokacije (slika 41) P_1 i P_2 , međusobni odnos objekata unutar scene percipiramo na različite načine. U prvoj sceni (posmatrano iz položaja P_1) objekat 1 se nalazi ispred objekta 2 i delimično ga zaklanja, odnosno, može se reći da postoji okluzija. U drugoj sceni (posmatrano iz položaja P_2) objekat 1 ne zaklanja objekat 2, te se može reći da ne postoji okluzija.



Slika 41: Šematsko objašnjenje okluzije (Sopstvena istraživanja)

U kontekstu proširene stvarnosti, postojanje okluzije znači da se nešto nalazi između kamere i prostorne lokacije virtuelnog objekta. Odnosno, da se objekat iz stvarnog sveta nalazi između kamere i položaja virtuelnog objekta unutar scene proširene stvarnosti. Ukoliko se virtuelni sadržaj prikaže preko video snimka okruženja, može doći do nepravilne okluzije (slika 42a), koja rezultira nerealnim prikazom scene. Iz tog razloga je zbog što boljeg korisničkog doživljaja u sistemu proširene stvarnosti posebnu pažnju potrebno posvetiti pravilnom rešenju problema okluzije (slika 42b).



Slika 42: Okluzija kod video sistema proširene stvarnosti: a) nepravilan prikaz okluzije i b) pravilan prikaz okluzije (Wolka & Anderson, 1995)

U praksi, kod aplikacija na bazi proširene stvarnosti, mora se u velikoj meri brinuti o situacijama u kojima stvarni objekat zaklanja virtuelni. Ovakva aplikacija mora imati mogućnost

da prikaže virtuelni objekat iza postojećeg. Uobičajeni pristupi za rešavanje problema okluzije su (Siltanen, 2012):

- maskiranje prvog plana: stvarni objekat je maskiran i samo vidljivi delovi virtuelnog objekta su prikazani i
- smanjenje stvarnosti: stvarni objekat je uklonjen virtuelno i celokupan virtuelni objekat je prikazan.

Ove metode za rešavanje okluzije su prevashodno namenjene sistemima proširene stvarnosti sa video ekranima, dok je primena kod providnih i projekcionih ekrana veoma ograničena. Rešenje problema okluzije može biti poluautomatsko (Lepetit & Berger, 2000) ili automatsko (Tian, et al., 2010). Za svaki od sistema proširene stvarnosti ključna stavka u rešavanju problema okluzije je njena detekcija, koja zavisi od situacije (Siltanen, 2012). Zbog toga su tokom dosadašnjih istraživanja razvijeni brojni pristupi detekcije okluzije. Svaki od pristupa odlikuje se određenim karakteristikama, ali istraživači kao jedan od ključnih nedostataka ističu nedovoljnu kalkulacionu sposobnost hardvera za kvalitetniji rad. Međutim, tehnološki napredak u razvoju procesora i specijalnih senzora i optimizacija složenih algoritama za rešavanje problema okluzije doprinose sve kvalitetnijem i realnijem prikazu u sistemima proširene stvarnosti.

4.1.1 Maskiranje prvog plana

Pretpostavka da se u najvećem broju slučajeva korišćenja sistema proširene stvarnosti scena neće menjati je nerealna, jer je njena osnovna funkcija interakcija korisnika sa stvarnim svetom (Wolka & Anderson, 1995). Za rešavanje problema okluzije Walka i Anderson su razvili algoritam, koji funkcioniše optimalnom brzinom pri kreiranju baze sa dubinama piksela, dobijenih korišćenjem stereo kamere. U ovakvom sistemu svaki od piksela u kadru dobija određenu vrednost koja označava udaljenje od kamere (*z-bafera*), koja se kasnije koristi za realnu vizuelizaciju. Kada se jedan 3D objekat renderuje, svaki piksel se prvo upoređuje sa vrednošću *z-bafera*. Ako piksel koji treba da bude renderovan ima veću vrednost od one dobijene kamerom, tada se piksel zanemaruje. U suprotnom, piksel se renderuje i vrednost *z-bafera* se ažurira (Klein, 2006). Autori su ovaj algoritam isprobali na mnogim primerima, dokazavši njegovu brzinu, ali

ne i visoku preciznost. Greške, odnosno loš kvalitet slike koji se dobija kao rezultat ovog algoritma ograničava njegovu primenu (Rizov, 2014).

U slučaju kada je kamera statična i postoje objekti koji se kreću između korisnika i virtuelnog objekta, sistem može detektovati okluziju od objekata koji se kreću na osnovu pokreta i metode pozadinske detekcije (Chen, et al., 2010). Ovde se poligonalna mapa sa dubinama ne generiše za svaku sliku (kadar), već jednom za datu postavku kamere. Ova mapa postaje nevažeća u slučaju pomeranja kamere (Breen, et al., 1996). Autori ove studije tvrde da će kod jednostavne scene za koju može da se generiše 3D model, bolji rezultati biti ostvareni registracijom modela u prethodno kalibrisanom 3D okruženju. Nakon toga se zaklonjeni delovi virtuelnog modela renderuju kao crni, jer se crna boja u ovom sistemu kompozicije video signala smatra prozirnom. Na taj način, na mestu crnih delova virtuelnih 3D objekata, korisnik može videti video signal stvarnog sveta, na osnovu čega se postiže pravilna okluzija.

Metoda predstavljena u istraživanjima grupe autora (Boun, et al., 2010) deli sliku na dva dela: prvi plan i pozadinu, određivanjem dubine i pokreta uz pomoć sferne kamere. Ova metoda deli pozadinske objekte na stvarne objekte i senku. Objekti u prvom planu su, nakon toga, maskirani i virtuelni objekti su renderovani iza njih. Takođe, određivanje pozadinskih objekata omogućava kalkulaciju prostiranja senki virtuelnih objekata po njima, što dodatno doprinosi realnijem prikazu.

Postoje metode koje se bave okluzijom sa stanovišta monokularnog pristupa (jedna kamera). U ovakvom pristupu ne postoji procena dubine stvarnog sveta i upotreba 3D modela realnih objekata. Umesto toga, detekcija okluzije se vrši praćenjem 2D kontura koje se javljaju od realnih objekata na slici (Berger, 1997; Rizov, 2014).

Određena istraživanja su usmerena na problem rešavanja okluzije u realnom vremenu nastale od delova tela (posebno ruke korisnika) koji dinamički vrše okluziju virtuelnih objekata (Klein, 2006). Kod ovih sistema, okluzija se rešava detekcijom ruku korisnika i oduzimanjem površine koja nije deo pozadine, pri čemu se za maskiranje koristi *z-bufer*. Ovaj pristup je moguć pri korišćenju homogene pozadine i pretpostavke da je kamera statična (Stricker, et al., 1998). Postoje i tehnike bazirane na ovoj, koje istovremeno nadomešćuju njene nedostatke, najviše ograničenje upotrebe homogene pozadine. Umesto da se koristi statička slika kao pozadina,

koristi se model sa trodimenzionalnom teksturom scene. Za svaki kadar pozadina se renderuje ponovo, korišćenjem podataka za položaj kamere dobijene pomoću algoritma za praćenje (poput *ARToolKit* (Alvarez, et al., 2012)). Renderovana verzija scene se potom upoređuje sa video signalom, kako bi se odredila pozicija stvarnih objekata koji zaklanjaju virtuelne. Kako se ovo upoređivanje vrši na nivou pojedinačnih piksela, preklapanje pomoću renderovane i snimljene scene mora da bude veoma precizno. Zbog toga se cela scena deli na individualne površine sa unikatnim teksturama, a pozicija svake površine se poboljšava poravnanjem tačaka objekata pre renderovanja. Kompleksnost algoritma za upoređivanje stvarnih i virtuelnih objekata ograničava brzinu, ali se njegovom optimizacijom i razvojem hardverskih komponenti ovaj nedostatak zanemaruje (Fischer, et al., 2003).

Nove tendencije u razvoju sistema proširene stvarnosti uključuju implementiranje TOF kamera, koje kreiraju matricu dubine. Ovaj pristup je veoma dobar za detekciju objekata u prvom planu, koji zaklanjaju virtuelni objekat. Nekoliko komercijalnih hardverskih rešenja su integrisala TOF kameru i video kameru u jedan sistem, poput *Microsoft Kinect* uređaja. Prva igra namenjena ovom uređaju bila je *Fantastic Pets*, koja se pojavila 2011. godine (Siltanen, 2012).

Prilikom korišćenja *Kinect*-a za prikaz 3D modela u proširenoj stvarnosti (slika 43) dolazi do male greške u prikazu. Razlog za to je što se u *Kinect*-u TOF kamera i video kamera nalaze jedna pored druge na malom odstojanju. Naime, poligon koji TOF kamera prepoznaje kao stvaran objekat u prvom planu je veći u odnosu na stvarni poligon koji prepoznaje video kamera (slika 43a). Zbog ove neusaglašenosti dolazi do nepotpunog prikazivanja virtuelnog objekta (slika 43b) (Siltanen, 2012).



Slika 43: Funkcionisanje *Kinect*-a pri rešavanju problema okluzije (Siltanen, 2012)

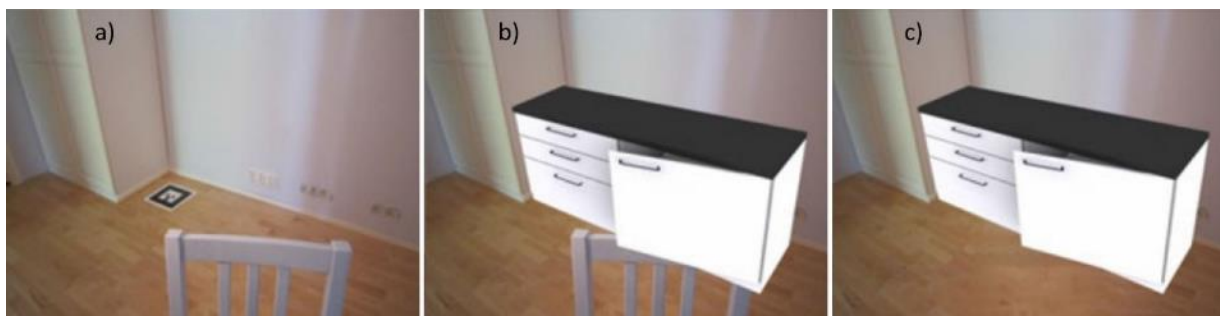
Iako TOF kamere omogućavaju dodatnu funkcionalnost sistemima proširene stvarnosti, u praksi one nisu primenjive u većini slučajeva zbog brojnih ograničenja. Sistemi sa TOF kamerama imaju ograničenje u kvalitetu prikazanih slika zbog veoma male rezolucije ovih kamera. Ukoliko se podaci sa TOF kamere kombinuju sa podacima sa video kamere znatno bolje rezolucije, dolazi do grešaka i nerealnog prikazivanja okluzije. Pored veoma male rezolucije, upotreba TOF kamera iziskuje i veliku kalkulacionu moć samog sistema. Što znači da je za upotrebu sistema proširene stvarnosti sa TOF kamerama potreban veoma zahtevan procesor kojeg je do skoro bilo nemoguće pronaći u prenosnim uređajima (Siltanen, 2012). Takođe, TOF kamere omogućavaju detekciju objekata, koji se nalaze u prvom planu, što je sa povećanjem udaljenosti sve teže i zahtevnije.

Pored toga što za rešavanje problema okluzije postoji više različitih pristupa, ona i dalje predstavlja veliki problem u prikazu objekata pomoću sistema proširene stvarnosti. Postojeća rešenja zahtevaju dodatne ili specijalne uređaje, čija upotreba ograničava korišćenje. Kao i kod jednostavnih sistema proširene stvarnosti, potrebno je pronaći kompromis između kvaliteta i brzine. Većina metoda koje su istraživači prezentovali za maskiranje stvarnih objekata iz prvog plana se ne mogu primeniti u realnom vremenu. Na primer, sistem grupe autora (Boun, et al., 2010) može obraditi 2 – 5 kadrova u sekundi, drugoj grupi autora (Pilet, et al., 2007) je potrebno 6 – 7 minuta za proračun, dok deo proračuna treće grupe autora (Chen, et al., 2010) zahteva veoma složene kalkulacije na statičnim serverima.

4.1.2 Smanjenje stvarnosti

Ukoliko prilikom okluzije stvarni objekat iz prvog plana nije značajan za scenu, aplikacija može koristiti princip smanjene stvarnosti. Na ovaj način se stvarni objekat koji stvara okluziju u potpunosti uklanja i virtuelni objekat se prikazuje u celini. Ovakav pristup nije moguće primeniti kod providnih i projekcionih sistema proširene stvarnosti, već isključivo kod video sistema.

Princip rada smanjene stvarnosti podrazumeva da se unutar stvarnog sveta koji se beleži (slika 44a), identifikuje površina kadra u kome je objekat koji stvara okluziju. Nakon toga se, da ne bi došlo do nepravilnog prikaza scene proširene stvarnosti (slika 44b) i prekrivanja stvarnog objekta koji se nalazi u prvom planu virtuelnim koji je iza njega, primenjuje princip smanjene stvarnosti. To znači da se objekat iz prvog plana u video kadru zamenjuje teksturama koje se nalaze u njegovoj neposrednoj blizini i nakon toga se virtuelni objekat prikaže kompletno (slika 44-c). Detaljan princip zamene objekta iz prvog plana odgovarajućim teksturama može se naći u istraživanjima autora Siltenen-a (Siltanen, 2012).



Slika 44: Smanjena stvarnost: a) prikaz stvarnog okruženja, b) nepravilan prikaz virtuelnog objekta u proširenoj stvarnosti i c) prikaz scene po uklanjanju prikaza objekta koji stvara okluziju (Siltanen, 2012)

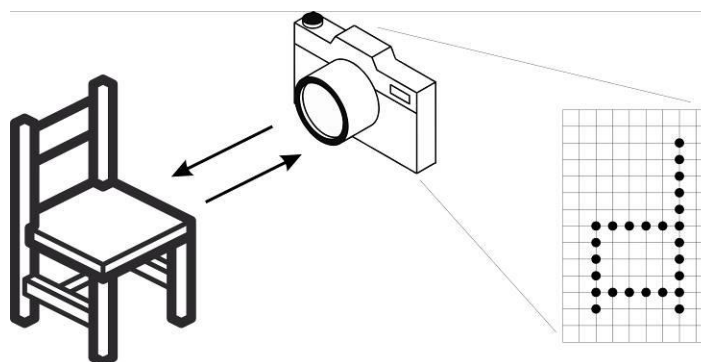
Prednost ovakvog pristupa u odnosu na pristup maskiranja objekata iz prvog plana je brzina rada. Princip smanjene stvarnosti može obraditi 30 – 50 kadrova u sekundi, što njegov rad u realnom vremenu u sistemima proširene stvarnosti čini mogućim. Međutim, u slučaju da je prikaz objekta iz prvog plana neophodan ili da ne koristimo video sistem proširene stvarnosti, ovaj princip je u potpunosti neprimenjiv.

4.2 Sistemi proširene stvarnosti sa TOF kamerom

Na osnovu prethodnih istraživanja (Hansard, et al., 2012; Siltanen, 2012), zaključuje se da najbolje rezultate prilikom rešavanja problema pravilnog prikaza okluzije daju sistemi sa mogućnošću daljinske detekcije okruženja u kome se nalaze. U radu je prikazan princip rada TOF kamere, koja ima mogućnost kreiranja matrice dubine okruženja. Prikazani su najčešće primenjivani algoritmi: *TSDf* i *RANSAC* za kalkulaciju okluzije u sistemima proširene stvarnosti.

4.2.1 Dubinska detekcija korišćenjem *TOF* kamere

Pravilan prikaz okluzije u sistemima prezentacije metodom proširene stvarnosti baziranim na *TOF* kamerama je određen korišćenjem *z-buffer* algoritma, pomoću kojeg se kreira matrica dubine okruženja. Na ovaj način kreirana je matrica dubine, sa vrednostima koje prikazuju distancu između objekata iz okruženja i uređaja sa *TOF* kamerom (slika 45). Vrednost svakog polja matrice dubine predstavlja kalkulaciju daljine na osnovu brzine svetlosti, mereći vreme svetlosnog signala od kamere do okruženja i nazad za svaku tačku matrice (Brunet, 2010; Schuon, et al., 2008).



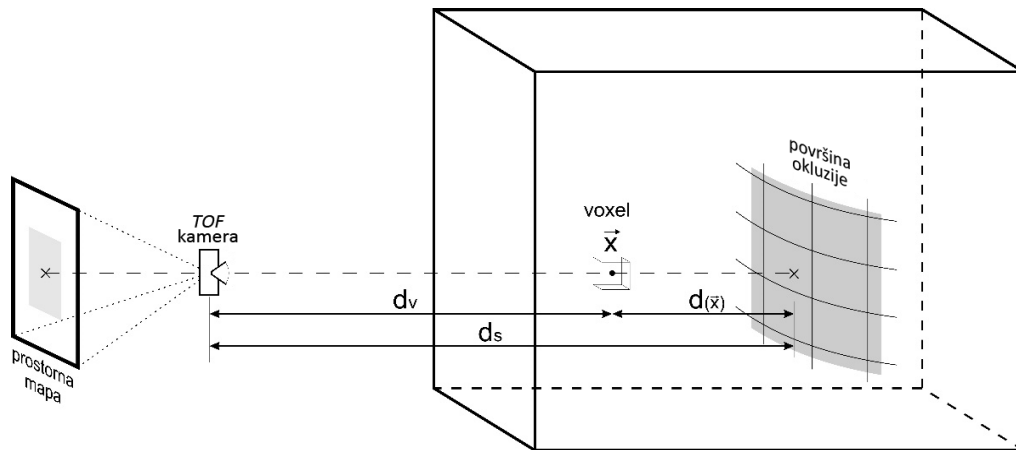
Slika 45: *TOF* kamera – šema rada

Na osnovu matrice dubine, moguće je kreirati ravan okluzije korišćenjem *TSDF* algoritam rekonstrukcije (M. Klingensmith, 2015) i metode marširajuće kocke (marching cube) kako bi se dobila poligonalna površina. Drugi pristup kreiranja ravni okluzije predstavlja *RANSAC* algoritam (M. Y. Yang, 2010), gde je svaka ravan okluzije proračunata korišćenjem principa konveksnog omotača.

4.2.2 *TSDF* algoritam za proračun okluzije

Algoritam *TSDF* deli prostor na mrežu prostornih kocki istih veličina, koje se nazivaju *Voxel* (slika 46). Svakom od *Voxel*-a se dodeljuju dve vrednosti: distanca ($d_{(x)} = d_s - d_v$) do najbliže površine u stvarnom svetu i težinski faktor ($w_{(x)}$) koji definiše uticaj ove distance, gde je d_s rastojanje od *TOF* kamere do ravni, odnosno najbliže površine u stvarnom svetu, dobijene triangulacijom vrednosti iz matrice dubine, a d_v rastojanje od *TOF* kamere do *Voxel*-a. Ukoliko je distanca upisana u *Voxel* pozitivna to označava da se nalazi ispred površine koja stvara

okluziju (bliže *TOF* kameri), ukoliko je negativna to znači da se nalazi iza površine. Dakle, d_x je pozitivno ako se meri levo od površine okluzije (Slika 46), a negativno, ako se meri desno od površine okluzije. Oni *Voxel*-i koji nisu u blizini površine okluzije u stvarnom svetu ne daju neku poseban doprinos u kasnijoj obradi podataka. Zbog toga se definiše granična vrednost distance u pozitivnom i u negativnom smeru, nakon koje se *Voxel*-i ne razmatraju u daljoj obradi podataka. Ovo znači da se u slučaju *TSDF* algoritma čuvaju vrednosti samo onih *Voxel*-a u neposrednoj blizini površine okluzije (Morgan, 2014).



Slika 46: *TSDF* – princip rad

Vrednosti distance i težinskog faktora svakog od *Voxel*-a se stalno koriguju korišćenjem podataka dobijenih iz novih matrica dubine, dobijenih za drugačije položaje *TOF* kamere. Za *TSDF* algoritam ovo se svodi na održavanje prosečne daljine površina okluzije iz okruženja od svakog od *Voxel*-a.

$$D_{i+1}(v) = \frac{W_i(v)D_i(v) + w_{i+1}(v)d_{i+1}(v)}{W_i(v) + w_{i+1}(v)}$$

$$W_{i+1}(v) = W_i(v) + w_{i+1}(v)$$

Gde su D_i i W_i kumulativne distance i težinski faktori, dok su d_i i w_i respektivno, trenutna distanca i težinski faktor. Finalni 3D model moguće je generisati korišćenjem poligonalne tehnike marširajuće kocke (Lorenzen & Cline, 1987), (Korczyk, 2011).

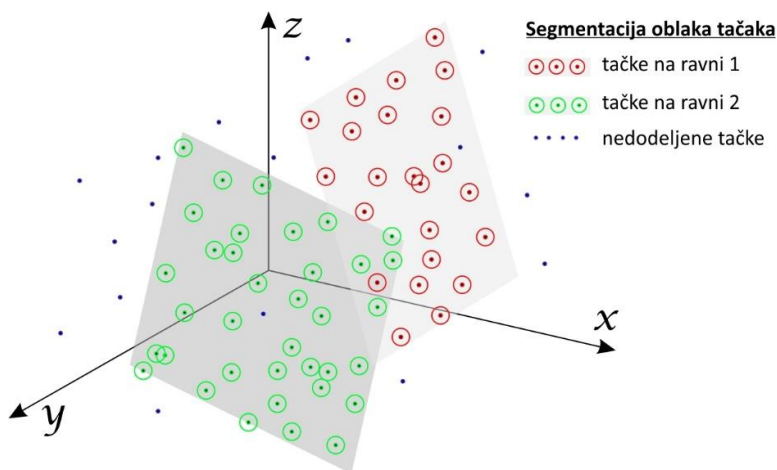
4.2.3 RANSAC algoritam za proračun okluzije

RANSAC je kreiran od strane (Fischler & Bolles, 1980) 1981. godine i primenjivan za detekciju oblika (Nguyen & Le, 2013), (Xu, et al., 2015). Princip rada RANSAC algoritma podrazumeva stalnu pretragu oblaka tačaka u cilju pronalaženja digitalnih 3D ravni koje odgovaraju ravnima okluzije iz stvarnog sveta (slika 47). U isto vreme, algoritam redukuje broj iteracija, čak i u slučaju velikog oblaka tačaka. RANSAC slučajnim izborom odabira tri tačke iz oblaka tačaka i proračunava parametre ravni koju formiraju. Zatim, algoritam detektuje sve tačke iz oblaka koje su na rastojanju od formirane ravni koje je manje od definisane vrednosti. Ukoliko T ili više tačaka zadovoljava ovaj kriterijum, smatra se da je ravan uspešno detektovana. Celokupan proces se ponavlja N puta:

$$N = \frac{\log(1 - \alpha)}{\log(1 - (1 - e)^s)}$$

- α – željena verovatnoća dobijanja dobrog uzorka, $\alpha \in [0,1]$
- e – verovatnoća da tačka ne pripada ravni, $e \in [0,1]$
- s – najmanji broj potrebnih tačaka, $s=3$ (minimalan broj tačaka koji određuje jednu ravan)

U svakom ponavljanju, algoritam upoređuje dobijenu ravan sa prethodno sačuvanim rezultatima. Ukoliko nova ravan sadrži većinu tačaka neke prethodno kreirane ravni i ima ukupno veći broj tačaka koje pripadaju ravni (nova ravan sadrži skoro sve tačke prethodne ravni, i određeni broj novih tačaka, tako da je ukupan broj tačaka u novoj ravni zapravo veći od broja tačaka u prethodnoj ravni), onda se prethodno kreirana briše i čuvaju se samo novi rezultati (M. Y. Yang, 2010).



Slika 47: RANSAC princip detekcije ravni

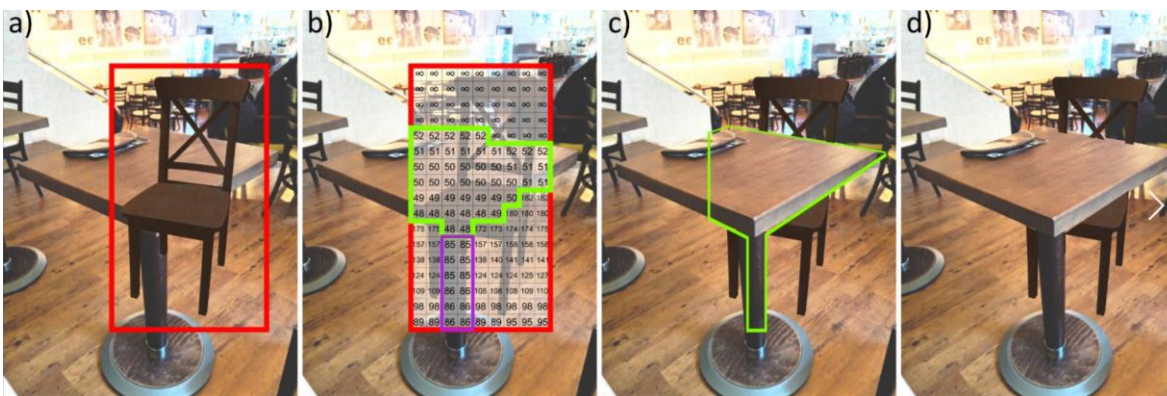
4.3 EPM algoritam za pravilan prikaz okluzije u sistemima proširene stvarnosti

U ovom radu je razvijena nova metoda za pravilan prikaz okluzije u sistemima prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti, bazirana na podacima dobijenim od TOF kamere. Razvijen je jedinstveni algoritam *EPM* (*Edge Prediction Method*), prilagođen pravilnom prikazu okluzije. Sistem prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti razvijen za potrebe disertacije ima za cilj pravilan prikaz okluzije. Posebna pažnja posvećena je geometrijskoj preciznosti detekcije ivica objekata iz okruženja i pravilnom prikazu okluzije.

Kreirani sistem vizuelno prati okruženje korišćenjem RGB i TOF kamere. Preko svakog frejma stvarnog okruženja, sistem dodaje sloj virtuelnih elemenata. Kako bi iluzija koherentnog prostora bila kreirana, sistem vrši kompleksno procesuiranje okluzije. Proračun određuje delove virtuelnih objekata, koji su zaklonjeni objektima iz stvarnog okruženja. Ovim se postojanje stvarnih i virtuelnih objekata unutar iste scene proširene stvarnosti čini prirodnim.

EPM algoritam za pravilan prikaz okluzije radi u realnom vremenu i procesuiranje svakog frejma se deli na sledeće korake (Slika 48), koji će u sledećim poglavljima biti detaljno prikazani:

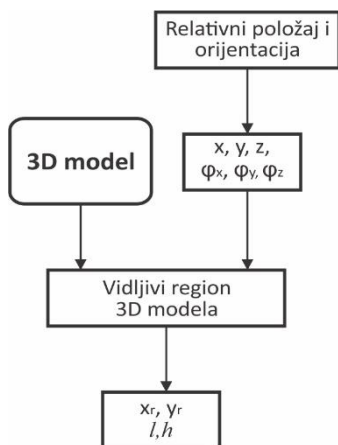
- Segmentacija scene. (Slika 48a)
- Analiza matrice dubine. (Slika 48b)
- Optimizacija ivica ravni. (Slika 48c)
- Prikaz. (Slika 48d)



Slika 48: EPM algoritam – koraci

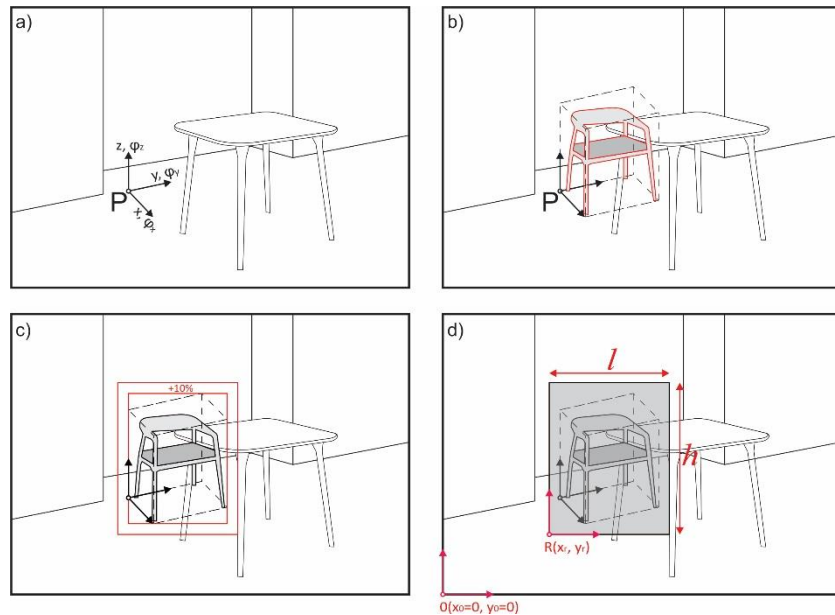
4.3.1 Segmentacija scene

Pravilan prikaz okluzije u sistemima proširene stvarnosti sa TOF kamerama je veoma kompleksan proces i zahteva mogućnost obrade velike količine podataka u deliću sekunde. Iz tog razloga je neophodno celokupan proces optimizovati, kako bi rad bio moguć u realnom vremenu. Prvi korak jeste segmentacija scene, čiji su elementi i veze dati na slici 49.



Slika 49: Šematski prikaz elemenata i veza za proces segmentacije scene (Sopstvena istraživanja)

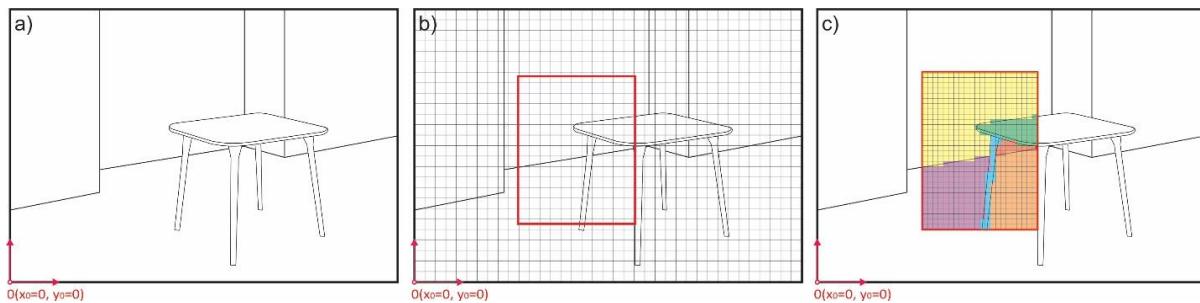
Na osnovu geometrije 3D modela, određenog relativnog položaja i orijentacije unutar stvarnog sveta (slika 50a), vrši se kalkulacija njegovog volumena unutar scene (slika 50b). Paralelopiped unutar koga se nalazi virtuelni 3D model objekta se pozicionira unutar pravougaonika čije su ivice paralelne sa ivicama trenutnog kadra. Zbog mogućih grešaka i povećanja preciznosti, visina i širina pravougaonika se povećavaju za 10% (slika 50c). Širina (l) i visina (h) ovako kreiranog pravougaonika kao i koordinate njegovog donjeg levog temena $R(x_r, y_r)$ u odnosu na celokupni kadar se beleže u memoriju kao referentni poligon (slika 50d) za dalju obradu matrice dubine.



Slika 50: Ilustracija procesa segmentacije scene: a) određivanje položaja i orijentacije 3D modela, b) određivanje volumena, c) određivanje regiona i d) podaci regiona koji se memorišu (Sopstvena istraživanja)

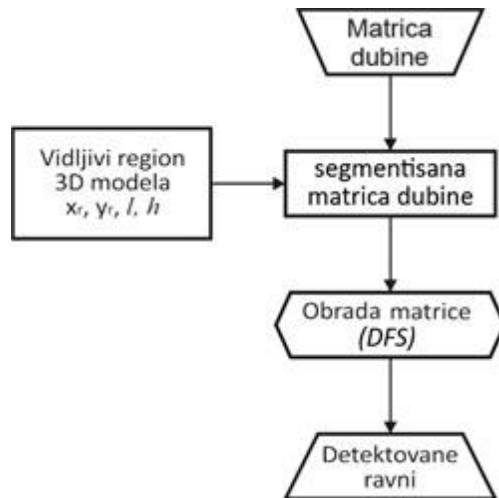
4.3.2 Analiza matrice dubine

Kako bi okluzija 3D objekta od površina stvarnog sveta (slika 51a) bila pravilno prikazana, potrebno je napraviti digitalni prezentaciju stvarnog sveta. Polazeći od vidljivog regiona dobijenog u delu 4.3.1 i matrice dubine dobijen sa *TOF* kamere (slika 51b), vrši se kalkulacija ravni okluzije unutar trenutnog kadra (slika 51c).



Slika 51: Ilustracija procesa analize matrice dubine: a) trenutni kadar, b) određivanje matrice dubine, c) obrada matrice dubine (Sopstvena istraživanja)

Trodimenzionalni modeli prikazani unutar scene proširene stvarnosti često zauzimaju samo deo kadra, te nije potrebno obraditi podatke za celokupnu matricu dubine, već samo za odgovarajući deo. Prvi deo procesuiranja obuhvata segmentaciju matrice dubine na osnovu koordinata vidljivog regiona $R(x_r, y_r)$ i njegove veličine (h,l) . Ovim postupkom se izdvajaju polja matrice dubine obuhvaćena vidljivim regionom i od njih se kreira nova, segmentisana matrica dubine (slika 52b). Sledeći korak podrazumeva obradu segmentisane matrice dubine u cilju grupisanja individualnih polja u skup polja koje predstavljaju ravan u stvarnom svetu. Ovo grupisanje je izvršeno primenom *DFS* (*Depth-first search*) algoritma (Even, 2011). Primenom *DFS* algoritma su polja matrice grupisana tako da jednu celinu predstavlja polje sa dubinama koje imaju ili linearan pad ili linearan rast vrednosti, što označava da pripadaju istoj ravni unutar stvarnog sveta. Ovim postupkom detektovano je S polja koje predstavljaju nove ravni.

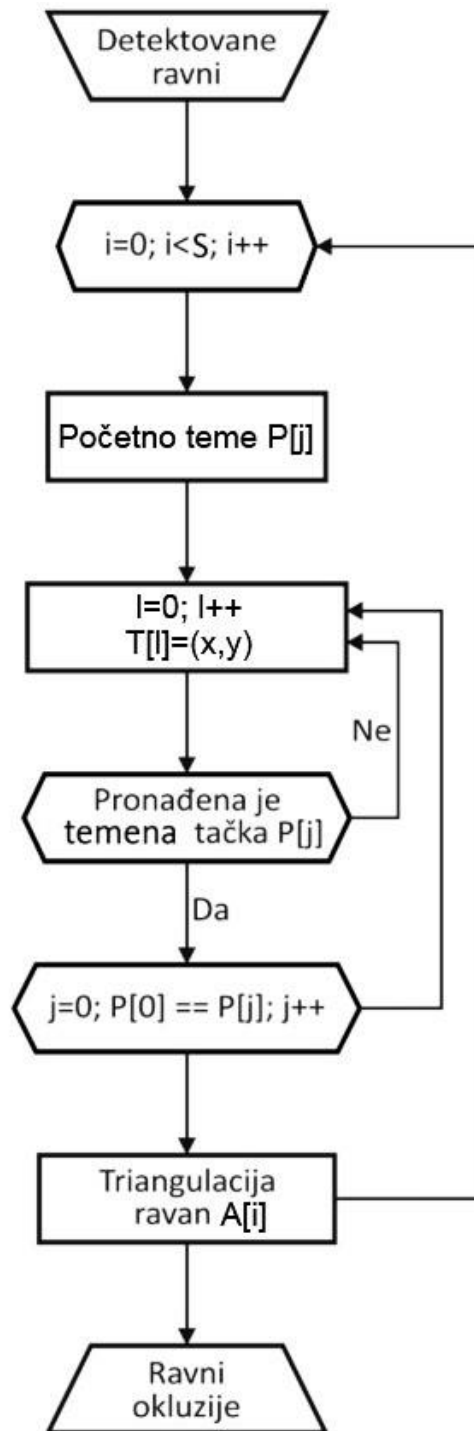


Slika 52: Šematski prikaz elemenata i veza procesa analize matrice dubine (Sopstvena istraživanja)

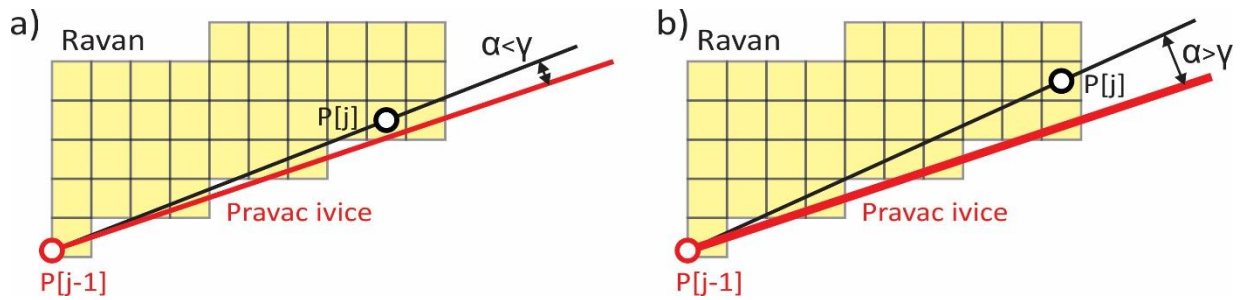
4.3.3 Optimizacija ravni okluzije

Elementi i veze procesa optimizacije ravni okluzije dat je na slici 53. Ulazni podaci neophodni za ovaj proces su detektovane ravni, dobijene analizom matrice dubine (poglavlje 4.3.2). Celokupan proces se ponavlja S puta (broj ravni). Promenljiva $P[j]=(x,y)$ predstavlja temenu tačku ravni $A[i]$, i pamti položaj unutar matrice M (početna temena tačka ravni $A[i]$ je $P[0]$). Nakon toga, primenom *BFS* (*Breadth-first search*) algoritma (Roosta, 2000) proveravaju se susedna polja matrice M u potrazi za sledećom tačkom koja pripada ivici ravni $A[i]$. Kako bi susedno polje $T[l]$, matrice M pripadalo ivici ravni $A[i]$, ono mora imati bar jedno susedno polje

koje pripada drugoj ravni. Nakon detektovanja polja $T[l]$, vrši se kalkulacija vektora $\overrightarrow{P[j]T[l]}$ na osnovu koordinata polja $A[i]$ i polja $T[l]$ (slika 54). Na osnovu prethodno kreiranog vektora $\overrightarrow{Vt}=\overrightarrow{P[j]T[l-1]}$ koji određuje ivicu ravni $A[i]$ vrši se kalkulacija ugla α koji zaklapa sa vektorom $\overrightarrow{P[j]T[l]}$. Nakon čega se proverava da li je ugao α manji ili veći od ugla γ (dozvoljenog odstupanja). U slučaju da je odstupanje $\alpha < \gamma$, unutar predviđene granice prelazi se na sledeće polje (slika 54a), dok ugao dozvoljeno odstupanje dobija novu vrednost $\gamma - \alpha/l$. Ukoliko je $\alpha > \gamma$ polje $T[l]$ matrice M se smatra za teme $P[j]=T[l]$ ravni okluzije $A[i]$ (slika 54b). Ovaj proces se ponavlja sve dok se pronađena polja ne poklope $P[j]=P[0]$ što označava da su sve ivice ravni optimizovane. Ukoliko $P[j]\neq P[0]$ prelazi se na sledeću tačku ivice ravni $A[i]$. Nakon što je jedna ravan obrađena, vrši se njena triangulacija, primenom prostornog *DT* (*Delaunay triangulation*) algoritma (Pavel, 2002). Odnosno kreiranje ravni unutar 3D prostora na osnovu prostornih koordinata temenih tačaka. Celokupan proces je završen kada se obradi svih S ravni i , samim tim, kreiraju sve ravni okluzije.

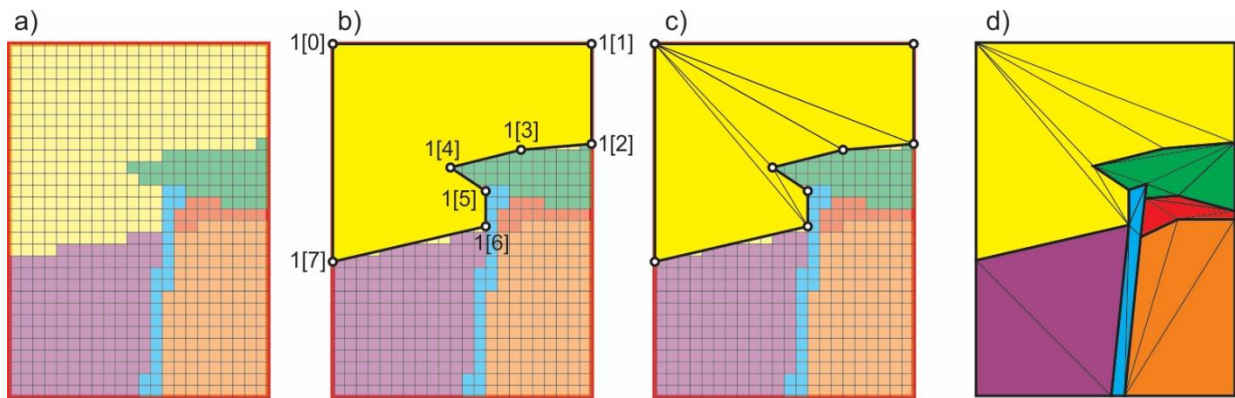


Slika 53: Šematski prikaz elemenata i veza procesa optimizacije ravni okluzije (Sopstvena istraživanja)



Slika 54: Ilustracija procesa pronalaženja temene tačke: a) tačka na ivici i b) tačka nije na ivici

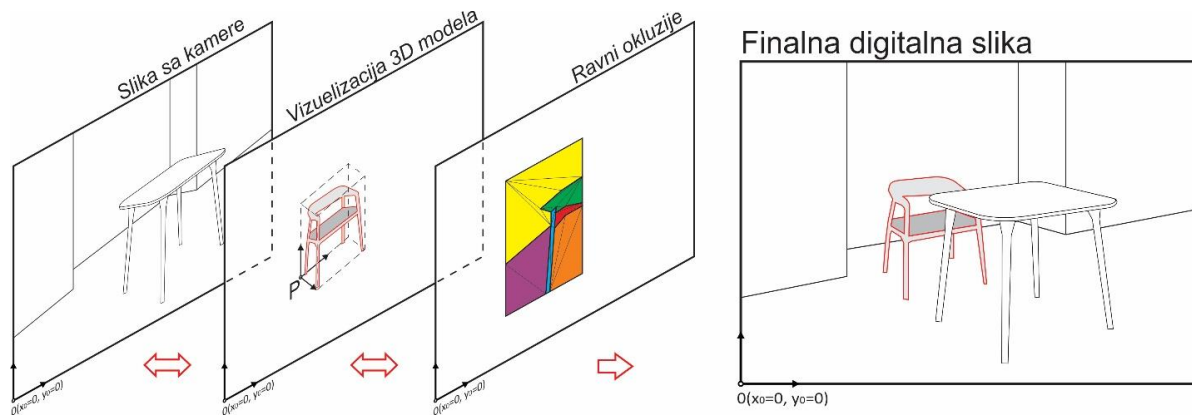
Ilustracija celokupnog procesa optimizacije ravni okluzije data je na slici 55. Prethodno detektovane ravni unutar segmentisane matrice dubine (slika 55a) su veoma kompleksne i njihova transformacija u 3D grafiku bez ikakve dodatne modifikacije je hardverski veoma nepovoljna. Zbog toga *EPM* metoda podrazumeva analizu ivica ovih ravni i određivanje temenih tačaka (slika 55b). Na osnovu temenih tačaka i njihovih prostornih koordinata dobijenih sa *TOF* kamere vrši se kreiranje ravni u 3D prostoru kao skupa trouglova (slika 55c). Ovaj proces se ponavlja sve dok se sve ravni matrice dubine ne transformišu u prostorne (slika 55d).



Slika 55: Ilustracija procesa optimizacije ravni okluzije: a) matrica dubine, b) određivanje temenih tačaka, c) triangulacija ravni u d) ravni okluzije (Sopstvena istraživanja)

4.3.4 Prikaz kadra sa okluzijom

Finalni korak predstavlja kreiranje digitalne slike, na kojoj će se stvoriti iluzija koegzistencije digitalnog 3D modela unutar stvarnog sveta, gde će delovi 3D modela koji su zaklonjeni stvarnim objektima biti tako i prikazani na finalnoj digitalnoj slici. Ovo je postignuto kombinacijom tri sloja (slika 56): slike sa kamere, 3D modela i ravni okluzije.



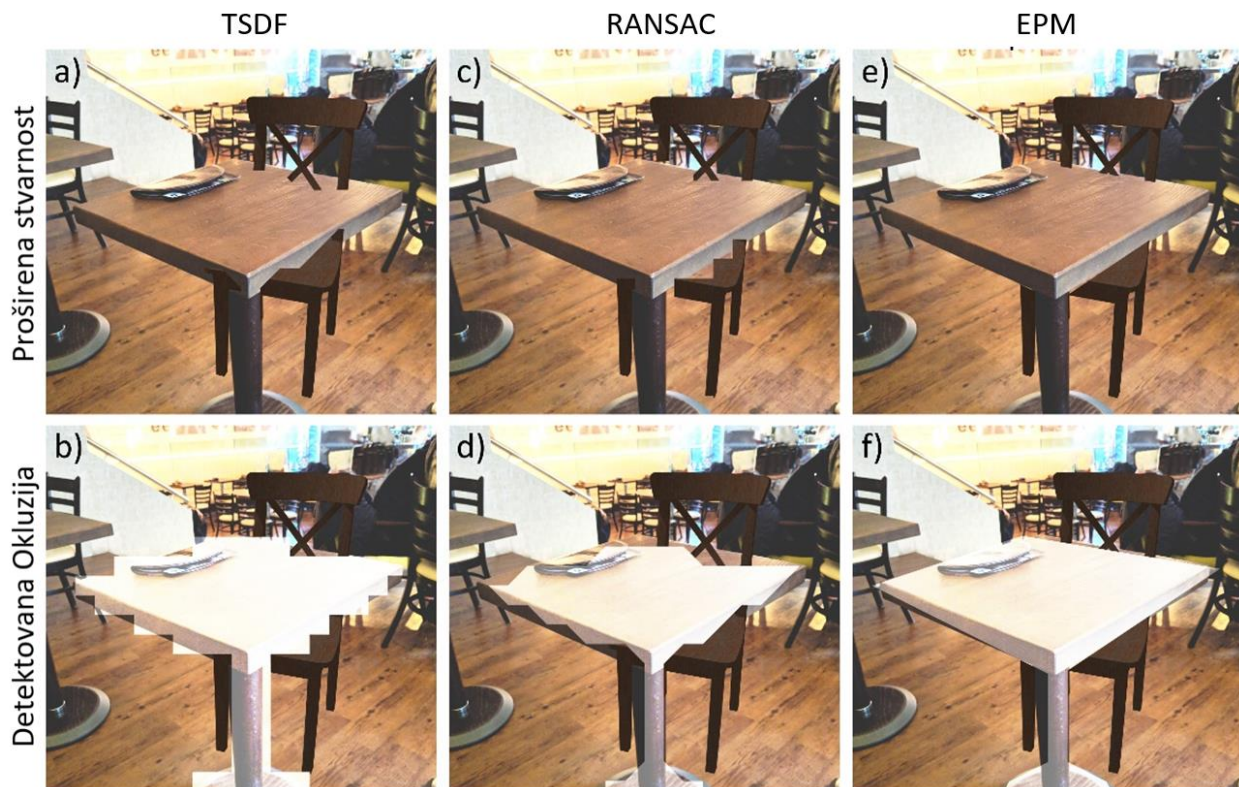
Slika 56: Ilustracija procesa kreiranja finalne digitalne slike primenom EPM

Kombinacijom prostornih podataka o ravnima okluzije sa 3D modelom izvršena je kompjuterska vizuelizacija. Trodimenzionalni digitalni model je prikazan u trenutnom kadru na odgovarajućoj poziciji bez vizuelizacije delova koji su zaklonjeni ravnima okluzije. Ovaj sloj postavljen je preko pozadinskog sloja koji predstavlja digitalna slika dobijena sa kamere. Kako delovi 3D modela koji su iza ravni okluzije nisu prikazani, u tim delovima će biti vidljivi delovi pozadinske slike. Na ovaj način se u finalnoj digitalnoj slici kreira iluzija koja pravilno simulira stvarni svet i korisniku na realan način prikazuje scenu proširene stvarnosti.

4.4 Uporedna analiza *EMP*, *TSDF* i *RANSAC* algoritama

Uporedna analiza *TSDF*, *RANSAC* i novokreiranog *EPM* algoritama je sprovedena na realnim primerima. U cilju testiranja razvijen je jedinstven sistem prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Kreirani sistem je baziran na *Google Project Tango* platformi i *Android* operativnom sistemu. Kompletno testiranje sprovedeno je korišćenjem *ZenFone AR*, *Android* pametnog telefona sa integrisanom *TOF* kamerom.

Testiranje sa akcentom na ilustraciji funkcionisanja primenjenih algoritama je sprovedeno u unutrašnjosti kafića sa fiksiranom pozicijom uređaja za sva tri algoritma. Prezentacija vituelnog 3D modela stolice izvršena je unutar scene proširene stvarnosti. Virtuelna stolica je pozicionirana unutar okruženja, iza stola. Cilj kreiranog sistema je da što realnije prikaže okluziju koja nastaje zaklanjanjem delove virtuelne stolice, objektima iz stvarnog sveta. Rezultati testiranja funkcionisanja sva tri algoritma (*TSDF*, *RANSAC* i *EPM*), prikazana su na slici 57, u vidu finalne prezentacije i ilustracije površine koja čini okluziju.

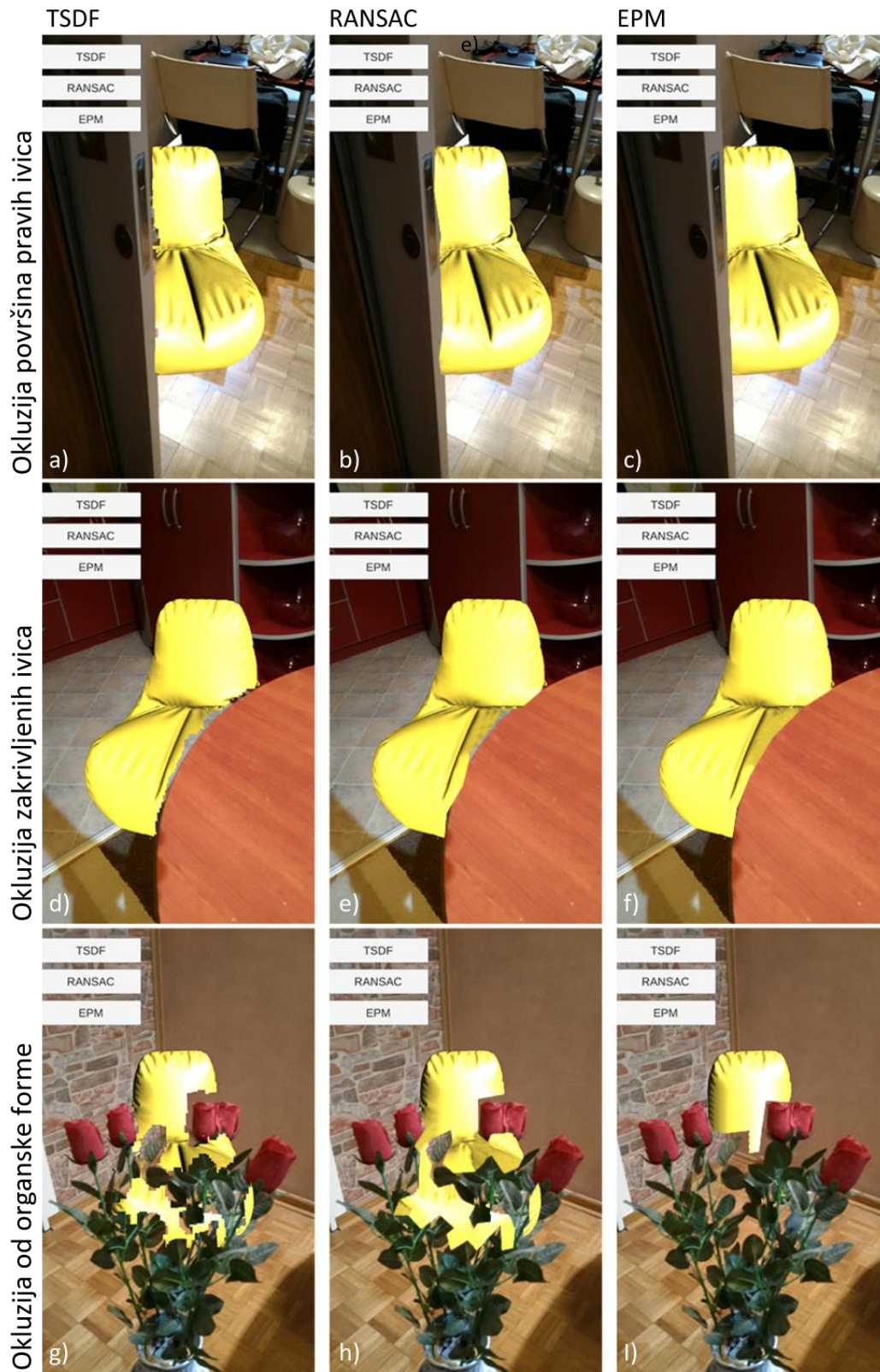


Slika 57: Usporedni prikaz rada algoritama za pravilan prikaz okluzije

Drugo testiranje obavljeno je unutar enterijera stambenog objekta sa fiksnom pozicijom uređaja za sva tri algoritma. Testiranje je obavljeno u cilju provjere performansi algoritama u uslovima različite kompleksnosti:

- Okluzija površina pravih ivica (ugao zida)
- Okluzija zakrivljenih ivica (okrugli sto)
- Okluzija od organske forme (biljke)

Testirane su radne performanse i geometrijska preciznosti prikaza okluzije za sva tri algoritma. Uslovi testiranja sva tri algoritma su bili isti, virtuelna stolica je postavljena iza objekta iz stvarnog sveta. Rezultati testiranja *TSDf*, *RANSAC* i *EPM* algoritma su prezentovani na slici 58.



Slika 58: Uporedni prikaz rezultata testiranja

4.4.1 Rezultati testiranja *EMP*, *TSDF* i *RANSAC* algoritama

Performanse i finalni geometrijski i vizuelni kvalitet prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti je prezentovan. Uporednom analizom utvrđene su prednosti i mane postojećih pristupa prikaza okluzije sa novokreiranim EPM algoritmom, kreiranim za potrebe disertacije. Sva tri pristupa su testirana u uslovima okruženja različite geometrijske kompleksnosti. Glavni cilj je bilo poređenje vizuelnog kvaliteta finalne prezentacije okluzije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Vizuelni kvalitet finalne prezentacije je izmeren poređenjem geometrijske preciznosti preseka virtuelnih i stvarnih objekata unutar jedne scene. Izvršeno je merenje površine nepravilno prikazane okluzije unutar kadra površine 57600 Px. Na osnovu merenja, došlo se do zaključka da se razlikuju dva slučaja pogrešno prikazane okluzije:

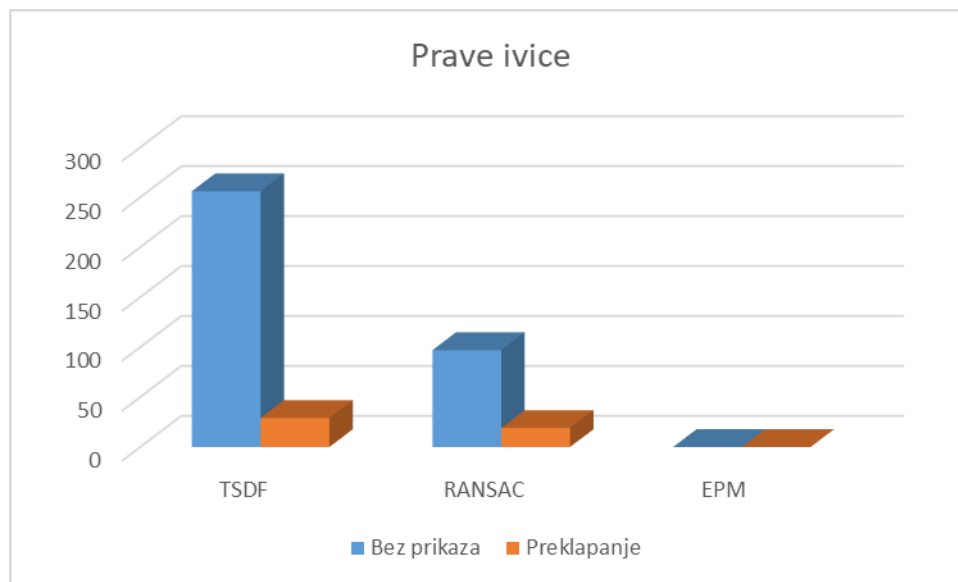
- **bez prikaza** - 3D model se ne prikazuje u pikselima gde bi on trebalo da bude vidljiv i
- **preklapanje** – 3D model se prikazuje u pikselima gde on ne bi trebalo da bude vidljiv.

Finalni rezultati merenja su prikazani u tabeli 5, gde je za svaki od algoritama (*TSDF*, *RANSAC* i *EPM*) u sva tri scenarija testiranja data površina pogrešno prikazanih piksela u Px.

Tabela 5. Preciznost algoritama za pravilan prikaz okluzije (Px)

Algoritam		Prave ivice	Zakrivljene ivice	Organske forme
TSDF	Bez prikaza	256	363	998
	Preklapanje	29	0	927
RANSAC	Bez prikaza	97	126	557
	Preklapanje	19	71	1610
EPM	Bez prikaza	0	0	1788
	Preklapanje	0	65	0

Prave ivice – jednostavan slučaj okluzije. Virtuelni 3D model stolice se nalazi iza zida i geometrijski presek stvarnih i virtuelnih objekata je prava linija. Uporedni prikaz rezultata merenja za sva tri algoritma u oba slučaja nepravilnog prikaza okluzije dat je na slici 59.



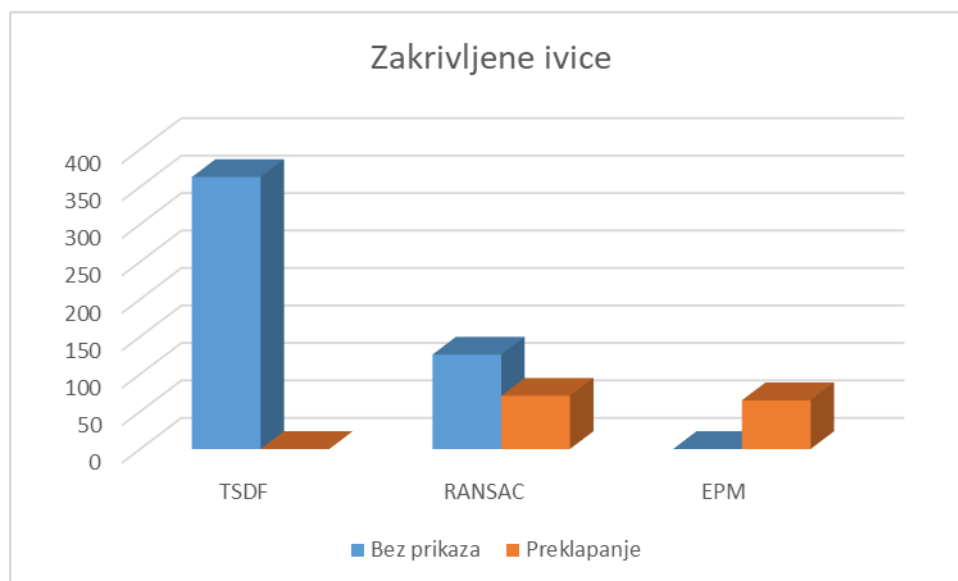
Slika 59: Površina grešaka pri prikazu okluzije (Px) u slučaju okruženja sa pravim ivicama

U slučaju TSDF algoritma, nepravilan prikaz okluzije se manifestuje pikselima bez prikaza 3D modela 256 Px i manjim delom zbog preklapanja 29 Px. Kod TSDF algoritma do ovakvih grešaka dolazi zato što se *Voxel*-i ne poklapaju savršeno sa ivicom vrata, te dolazi do odstupanja u preciznosti prikaza okluzije.

RANSAC algoritam za pravilan prikaz okluzije daje malo bolje rezultate, tj. malo manje površine grešaka i rezultati su slični. Površina piksela bez prikaza 3D modela je 97 Px, dok je površina piksela sa preklapanjem 19 Px. Kod *RANSAC* algoritma do nepreciznosti dolazi, takođe, zbog nepravilnog kreiranja ravni koje stvaraju okluziju. Preciznost *RANSAC* algoritma u odnosu na *TSDF* se postiže zbog drugačijeg i optimalnijeg pristupa kreiranja ravni okluzije i njihovih kontura.

Primena *EPM* algoritma daje bolje rezultate maksimalnog vizuelnog kvaliteta sa perfektnim geometrijskim prikazom preseka stvarnih i virtuelnih objekata, bez ijednog pogrešno prikazanog piksela u oba slučaja piksela bez prikaza 3D modela i piksela sa preklapanjem. Razlog za to je velika dužina ivice vrata, koja omogućava dovoljnu količinu ulaznih podataka za precizno kreiranje ravni okluzije i njihovih ivica.

Zakrivljene ivice – slučaj okluzije srednje složenosti. Virtuelni 3D model stolice se nalazi iza okruglog stola i geometrijski presek stvarnih i virtuelnih objekata je polukrug. Uporedni prikaz rezultata merenja za sva tri algoritma u oba slučaja nepravilnog prikaza okluzije dat je na slici 60.



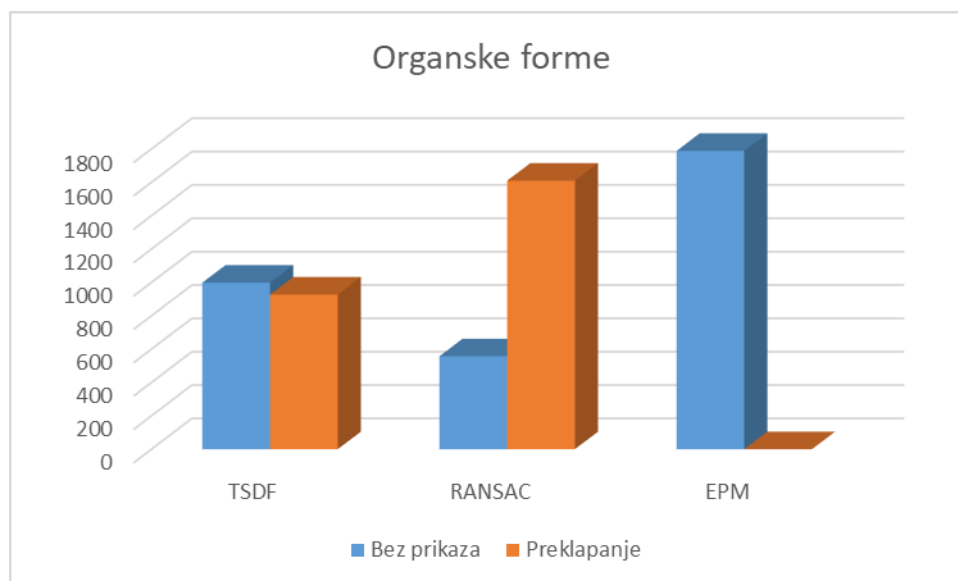
Slika 60: Površina grešaka pri prikazu okluzije (Px) u slučaju okruženja sa zakrivljenim ivicama

Vizualna prezentacija u slučaju *TSDF* algoritma daje lošije rezultate i veliku geometrijsku nepreciznost u područjima u blizini polukruga u odnosu na okruženje sa pravim ivicama. Površina piksela bez prikaza 3D modela je 363 Px, dok piksela sa preklapanjem nema. Iz istog razloga kao i kod pravih ivica, problem nastaje zato što se *Voxel*-i ne poklapaju sa ivicom stola i imaju pravougaoni oblik.

Kod *RANSAC* algoritma do nepreciznosti dolazi, takođe, zbog nepravilnog kreiranja ravni koje stvaraju okluziju. Ovaj algoritam u slučaju sa zakrivljenim ivicama daje grešku od 126 Px kod piksela bez prikaza 3D modela i 71 Px kod piksela sa preklapanjem. *RANSAC* algoritam daje malo bolje rezultate zbog nepravilnog kreiranja ravni koje stvaraju okluziju i nemogućnosti za preciznijim rekreiranjem ivica.

EPM algoritam daje finalne rezultate bolje od ostala dva algoritma, ali ne prefektne. Pikseli bez prikaza 3D modela ne postoje, ali je površina piksela sa preklapanjem 65 Px. Do ove greške dolazi, jer je dozvoljeno odstupanje temenih tačaka podešeno na vrednost od $\gamma = 5^\circ$ koja omogućava rad u realnom vremenu, ali u ovom slučaju ne daje maksimalnu preciznost.

Organske forme – slučaj okluzije velike kompleksnosti. Virtualni 3D model stolice se nalazi iza buketa ruža i geometrijski presek stvarnih i virtuelnih objekata je kompleksan skup pravih i zakrivljenih ivica. Uporedni prikaz rezultata merenja za sva tri algoritma u oba slučaja nepravilnog prikaza okluzije dat je na slici 61.



Slika 61: Površina grešaka pri prikazu okluzije (Px) u slučaju okruženja sa organskim formama

U slučaju *TSDF* algoritma, rezultat vizuelnog prikaza okluzije je lošiji u odnosu na druga dva test okruženja sa geometrijskom nepreciznošću u zoni, neposredno uz ivicu preseka stvarnih i virtuelnih objekata. Površina piksela bez prikaza 3D modela je 998 Px, dok je površina piksela sa preklapanjem 927 Px, što je rezultat uslovljen veličinom *Voxel*-a i njihovim rasporedom.

Drugi, *RANSAC* algoritam, daje rezultate ispod proseka, što je uslovljeno velikim brojem malih elemenata koji stvaraju okluziju i nemogućnosti kreiranja dovoljnog broja ravni okluzije. Površina piksela bez prikaza 3D modela u slučaju *RANSAC* algoritma je 557 Px, dok je površina piksela sa preklapanjem 1610 Px.

EPM algoritam, u ovom slučaju, daje rezultate lošije od ostalih. Sa totalnim izostankom prikaza virtuelnih objekta u zonama najveće geometrijske kompleksnosti u sredini buketa ruža i 1788 Px bez prikaza 3D modela. Što je rezultat velike vrednosti dozvoljenog odstupanja γ i matricom dubine male rezolucije, dobijene od *TOF* kamere.

5 DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Celokupan sistem prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti je potpuno automatizovan. Na ovaj način je arhitektama omogućeno da, bez ikakvog dodatnog predznanja, kreiraju prezentaciju metodom proširene stvarnosti. Arhitekti se omogućava da više pažnje posveti detaljima, odnosno da kreira precizniji i realniji trodimenzionalni model objekta, bez zalaženja u proces funkcionisanja i kalkulacije parametara same prezentacije. Korisnicima prezentacije (klijentima), prilikom korišćenja sistema za prezentaciju metodom proširene stvarnosti, nije potrebno nikakvo predznanje za pregled trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata. Celokupan proces pregleda je intuitivan i automatizovan.

U sistemu su objedinjeni svi elementi i veze, neophodni za prezentaciju trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata sa stepenom realističnosti što približnijom percepciji stvarnog sveta. Funkcionalni sistem, kreiran na osnovu predloženog konceptualnog modela sistema uz potpunu implementaciju svih elemenata, imao bi stepen realističnosti prezentacije jednak ljudskoj percepciji stvarnog sveta.

Komercijalno dostupni sistemi prezentacije trodimenzionalnih modela metodom proširene stvarnosti imaju veliki broj nedostataka, zbog kojih nije moguće postići maksimalan stepen realističnosti. U procesu rada identifikovani su problemi i dati predlozi za uvođenje novih elemenata i veza unutar sistema, u cilju postizanja maksimalne realnosti prezentacije. Prikaz realne geometrije senki virtuelnog objekta postiže se kalkulacijom pravca senki na osnovu geografske lokacije objekta, datuma i vremena u trenutku testiranja, ili analizom osvetljenja u trenutnom kadru. Ovime se dobija realna geometrija i izgled senki, što doprinosi realnijem prikazu trodimenzionalnog modela arhitektonskog objekta.

Kako je neophodno virtuelni trodimenzionalni model arhitektonskog objekta prikazati u stvarnom svetu, potrebno je detektovati i prikazati realan međusobni uticaj stvarnih i virtuelnih elemenata. Iz tog razloga predloženo je rešenje geometrijske i vizuelne detekcije stvarnog sveta u kreiranom konceptualnom modelu sistema. U okviru sistema, detektuje se geometrija okruženja, na osnovu koje je kreirana matrica dubine koja omogućava realan prikaz okluzije. Detekcija karakteristika okruženja izvršava se specijalnim sensorima, koji omogućavaju prikaz realne

refleksije: stvarnog sveta na površinama virtuelnog trodimenzionalnog modela i trodimenzionalnog modela na reflektujućim površinama u stvarnom svetu. Ovi senzori omogućavaju i realan prikaz trodimenzionalnog modela kroz providne površine stvarnog sveta. Uvođenjem ovih elemenata, sistem je maksimalno prilagođen korišćenju u arhitektonskoj struci za prikaz trodimenzionalnih modela objekata sa stepenom realističnosti što približnijom percepciji stvarnog sveta.

Kreirani konceptualni model sistema prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti teoretski omogućava:

- realan prikaz okruženja arhitektonskog objekta,
- realnu geometrijsku prezentaciju trodimenzionalnog modela,
- realnu vizuelnu prezentaciju trodimenzionalnog modela i
- realnu dinamičku prezentaciju trodimenzionalnog modela.

U poređenju sa, postojećim sistemima prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata, novi sistem postiže veći stepen realističnosti prezentacije.

Upotrebom funkcionalnih veza između elemenata obezbeđena je potpunost i konzistentnost. Hijerarhijska podela elemenata i njihovih veza je prikazana strukturalnim povezivanjem u vidu dijagrama, vizuelno, lokacijski i hibridno zasnovanih sistema. Prikazane su studije slučaja prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata, u svim sistemima proširene stvarnosti, radi ilustracije praktičnog značaja. Utvrđeni su i problemi prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti i dat je predlog njihovog rešenja, upotrebom opisanog konceptualnog modela sistema.

Ograničenja kreiranog konceptualnog modela sistema prezentacije trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata ogledaju se u nemogućnosti njegove potpune implementacije, uslovljene stepenom razvoja tehnologije. Nedovoljna razvijenost tehnologije ograničava mogućnost primene kreiranog opisanog sistema u delu prikaza realnog uticaja stvarnog sveta na virtuelni trodimenzionalni model i obratno, u pogledu refleksije i providnosti. Deo konceptualnog modela, vezan za pravilan prikaz okluzije, poseduje tehnološke mogućnosti za dalja unapređenja.

U disertaciji je razvijeno unapređenje sistema za prezentaciju metodom proširene stvarnosti. Kreiran je i testiran novi algoritam za pravilan prikaz okluzije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti. Finalni vizuelni kvalitet prezentacije novog *EPM* algoritma upoređen je sa postojećim *TSDF* i *RANSAC* algoritmima. Testiranje, obavljeno u stvarnom okruženju, je pokazalo da su postojeći algoritmi daleko od savršenih i da u najboljem slučaju daju prosečan kvalitet prikaza okluzije. Novi *EPM* algoritam daje značajno bolje rezultate u slučajevima jednostavne i srednje kompleksnosti. Jednostavna okluzija sa pravim ivicama daje perfektne rezultate. U slučaju okluzije srednje kompleksnosti sa zakrivljenim ivicama rezultat je malo lošiji nego u slučaju sa pravim ivicama, ali bolji od postojećih algoritama. Međutim, u slučaju najveće kompleksnosti, kod organskih formi, *EPM* daje veoma loše rezultate i ostavlja prostora za dalja unapređenja.

Kreirani konceptualni model sistema za prezentaciju trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti prilagođen je upotrebi u oblasti arhitekture. Ovakav sistemski pristup pogodan je za efikasno kreiranje prezentacije trodimenzionalnih virtuelnih modela arhitektonskih objekata. Težište istraživanja je na ispravljanju nedostataka, koji su uočeni u postojećim sistemima istog tipa, u cilju postizanja maksimalnog stepena realističnosti. Posebna pažnja posvećena je ulozi korisnika u primeni sistema za prezentaciju arhitektonskih objekata. U radu je izvršeno unapređenje realističnosti prezentacije arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti kreiranjem novog algoritma za pravilan prikaz okluzije, a za rešavanje drugih problema, koji utiču na realističnost finalne prezentacije arhitektonskih objekata date su teoretske osnove zbog ograničenog razvoja tehnologije. Na ovaj način je ostvaren napredak u odnosu na uobičajene pristupe kojima su sistemi prilagođeni opštoj upotrebi. Pristup korišćen u ovom istraživanju izabran je tako da se optimalno uklopi u prezentaciju trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata.

5.1 PREPORUKE ZA BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Kako je u disertaciji istraživanje bazirano na kreiranju konceptualnog modela sistema za prezentaciju trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata, težnja budućih istraživanja treba da bude usmerena na kreiranje funkcionalnog sistema zasnovanog na dobijenim rezultatima, uz rad na unapređenju teorijski definisanih delova konceptualnog modela sistema, neophodnih za prezentaciju metodom proširene stvarnosti, jednakoj percepciji stvarnog sveta, poput novokreiranog *EPM* algoritma za pravilan prikaz okluzije.

Posebna pažnja daljih istraživanja treba biti posvećena delovima kreiranog sistema koji nisu dovoljno istraženi:

- Određivanje i prikaz realne geometrije i vizuelizacije senki od objekta. Kalkulacija pravca senki na osnovu dostupnih podataka, o trenutnom datumu, vremenu, geografskoj lokaciji ili na osnovu analize trenutnog kadra.
- Kreiranje senzora za detekciju prostora i njihova primena za realan prikaz refleksije i providnosti površina u stvarnom svetu i površina trodimenzionalnog modela arhitektonskog objekta.
- Optimizacija algoritma sistema prezentacije, u cilju ubrzanja rada i mogućnosti prikaza kompleksnih trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata.

Buduća istraživanja treba da budu usmerena ka unapređenju preciznosti *EPM* algoritma, kako bi davao bolje rezultate u slučajevima kada nema dovoljno ulaznih podataka, što je moguće postići povećanjem preciznosti korišćenih *TOF* kamera ili obradom informacija dobijenih sa drugih senzora poput *RGB* kamere.

Prezentacija trodimenzionalnih virtuelnih modela metodom proširene stvarnosti moguća je u različitim oblastima. Rezultate vezane za prezentaciju trodimenzionalnih modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti, koji su originalan doprinos disertacije, moguće je primeniti u budućim istraživanjima iz drugih oblasti.

6 SPISAK ILUSTRACIJA

6.1 Slike

<i>Slika 1: Kreiranje 3D modela stana na osnovu izvođačkog projekta (Pejić, et al., 2014)</i>	14
<i>Slika 2: Digitalne slike arhitektonskog objekta: a) paralelno projiciranje i b) centralno projiciranje (Sopstvena istraživanja)</i>	17
<i>Slika 3: Animacija 3D modela arhitektonskih objekata: a) Zapis u Šogolju (Pejić, 2014) i b) Galerija 77 u Nišu (Pejić, 2014)</i>	19
<i>Slika 4: Prezentacija 3D modela arhitektonskih objekata korišćenjem virtuelne stvarnosti: a) web prezentacija (Pejić, 2014) i b) film (Po suncu hoda, 2015).</i>	20
<i>Slika 5: Prezentacija 3D modela arhitektonskih objekata korišćenjem proširene stvarnosti: a) Model Galerije 77 (Pejić, et al., 2014) i b) Model sahat kule (Sopstvena istraživanja)</i>	21
<i>Slika 6: Stvarno - Virtuelno kontinuum (Milgram, et al., 1994.)</i>	25
<i>Slika 7: Kontinuum stvarnost-virtuelnost i odgovarajuće interakcije (Milgram & Kishino, 1994)</i>	31
<i>Slika 8: Dijagram šest stepena slobode sistema proširene stvarnosti (Sopstvena istraživanja)</i>	36
<i>Slika 9: Pravilno funkcionisanje procesa registracije sistema proširene stvarnosti (koegzistencija stvarnog sveta i virtuelne prezentacije kuće) (Sopstvena istraživanja)</i>	38
<i>Slika 10: Optičko – prozirni ekran (Treskunov, 2012.)</i>	39
<i>Slika 11: Video – prozirni ekran (Sopstvena istraživanja)</i>	40
<i>Slika 12: Projekcioni sistem (Willis, et al., 2012.)</i>	41
<i>Slika 13: Strategije za konfiguraciju ekrana (Sopstvena istraživanja)</i>	41
<i>Slika 14: primeri HMD sistema (Tiki-toki, 2016.)</i>	42
<i>Slika 15: Ručni ekran sistema proširene stvarnosti (ARArat, 2016.)</i>	43
<i>Slika 16: Stacionarni ekran (Knauf, 2011.)</i>	44
<i>Slika 17: Šema funkcionisanja sistema za prikaz 3D modela arhitektonskih objekata metodom proširene stvarnosti (Sopstvena istraživanja)</i>	48

<i>Slika 18: Šematski prikaz elemenata i veza za određivanje položaja i orijentacije vizuelnom metodom (Sopstvena istraživanja)</i>	53
<i>Slika 19: Šematski prikaz elemenata i veza za određivanje položaja i orijentacije lokacijskom metodom (Sopstvena istraživanja)</i>	54
<i>Slika 20: Šematski prikaz elemenata i veza za određivanje položaja i orijentacije na osnovu prethodnog položaja i orijentacije (Sopstvena istraživanja)</i>	55
<i>Slika 21: Šematski prikaz elemenata i veza za utvrđivanje vidljivosti i određivanje geometrijskog prikaza 3D modela (Sopstvena istraživanja)</i>	56
<i>Slika 22: Šematski prikaz elemenata i veza za određivanje geometrijskog prikaza senki u trenutnom kadru (Sopstvena istraživanja)</i>	57
<i>Slika 23: Šematski prikaz elemenata i veza za određivanje geometrijskog prikaza refleksije u trenutnom kadru (Sopstvena istraživanja)</i>	58
<i>Slika 24: Šematski prikaz elemenata i veza za utvrđivanje vidljivog dela 3D modela u trenutnom kadru (Sopstvena istraživanja)</i>	59
<i>Slika 25: Šematski prikaz elemenata i veza vizuelno zasnovanog konceptualnog modela sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata (Sopstvena istraživanja)</i>	62
<i>Slika 26: Osnova 4. sprata sa pozicijom analiziranog stana broj 19 (Pejić, et al., 2015.).</i>	65
<i>Slika 27: a) Proces kreiranja zidova stana broj 19 i b) Prikaz finalnog 3D modela stana (Pejić, et al., 2015.).</i>	65
<i>Slika 28: a) prikaz ekrana uređaja tokom testiranja rada aplikacije i b) fotografija odabranog prikaza trodimenzionalnog modela (Pejić, et al., 2015).</i>	66
<i>Slika 29: Šematski prikaz elemenata i veza vizuelno zasnovanog sistema korišćenog za prezentaciju stana u Nišu (Sopstvena istraživanja)</i>	68
<i>Slika 30: Šematski prikaz elemenata i veza lokacijski zasnovanog konceptualnog modela sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata (Sopstvena istraživanja)</i>	70
<i>Slika 31: Fotografije Sahat kule iz Niške tvrđave (Sopstvena istraživanja)</i>	73
<i>Slika 32: uporedni prikaz postojećeg izgleda lokacije i prezentacije Sahat kule metodom proširene stvarnosti (Sopstvena istraživanja)</i>	74

<i>Slika 33: Šematski prikaz elemenata i veza lokacijski zasnovanog sistema korišćenog za prezentaciju nekadašnjeg izgleda Sahat kule (Sopstvena istraživanja)</i>	75
<i>Slika 34: Šematski prikaz elemenata i veza hibridnog, konceptualnog modela sistema prezentacije 3D modela arhitektonskih objekata (Sopstvena istraživanja)</i>	77
<i>Slika 35: Kuća u Babušnici. (Pejić, et al., 2015)</i>	79
<i>Slika 36: Trodimenzionalni model kuće u Babušnici. (Pejić, et al., 2015).</i>	80
<i>Slika 37: Testiranje rada sistema: a) na stvarnoj lokaciji i b) u enterijeru (Pejić, et al., 2015).</i>	81
<i>Slika 38: Uporedni prikaz postojećeg objekta i prezentacije novoprojektovane fasade metodom proširene stvarnosti (Pejić, et al., 2015).</i>	82
<i>Slika 39: Uporedni prikaz istog kadra bez i sa prikazom novoprojektovane fasade metodom proširene stvarnosti (Pejić, et al., 2015).</i>	83
<i>Slika 40: Šematski prikaz elemenata i veza hibridnog sistema korišćenog za prezentaciju nekada postojećeg objekta Sahat Kule i novoprojektovane fasade kuće u Babušnici (Sopstvena istraživanja)</i>	84
<i>Slika 41: Šematsko objašnjenje okluzije (Sopstvena istraživanja)</i>	89
<i>Slika 42: Okluzija kod video sistema proširene stvarnosti: a) nepravilan prikaz okluzije i b) pravilan prikaz okluzije (Wolka & Anderson, 1995)</i>	89
<i>Slika 43: Funkcionisanje Kinect-a pri rešavanju problema okluzije (Siltanen, 2012)</i>	92
<i>Slika 44: Smanjena stvarnost: a) prikaz stvarnog okruženja, b) nepravilan prikaz virtuelnog objekta u proširenoj stvarnosti i c) prikaz scene po uklanjanju prikaza objekta koji stvara okluziju (Siltanen, 2012)</i>	94
<i>Slika 45: TOF kamera – šema rada</i>	95
<i>Slika 46: TSDF – princip rad</i>	96
<i>Slika 47: RANSAC princip detekcije ravni</i>	97
<i>Slika 48: EPM algoritam – koraci</i>	98
<i>Slika 49: Šematski prikaz elemenata i veza za proces segmentacije scene (Sopstvena istraživanja)</i>	99
<i>Slika 50: Ilustracija procesa segmentacije scene: a) određivanje položaja i orijentacije 3D modela, b) određivanje volumena, c) određivanje regiona i d) podaci regiona koji se memorišu (Sopstvena istraživanja)</i>	100

<i>Slika 51: Ilustracija procesa analize matrice dubine: a) trenutni kadar, b) određivanje matrice dubine, c) obrada matrice dubine (Sopstvena istraživanja)</i>	100
<i>Slika 52: Šematski prikaz elemenata i veza procesa analize matrice dubine (Sopstvena istraživanja)</i>	101
<i>Slika 53: Šematski prikaz elemenata i veza procesa optimizacije ravni okluzije (Sopstvena istraživanja)</i>	102
<i>Slika 54: Ilustracija procesa pronalaženja temene tačke: a) tačka na ivici i b) tačka nije na ivici</i>	103
<i>Slika 55: Ilustracija procesa optimizacije ravni okluzije: a) matrica dubine, b) određivanje temenih tačaka, c) triangulacija ravni u d) ravni okluzije (Sopstvena istraživanja)</i>	103
<i>Slika 56: Ilustracija procesa kreiranja finalne digitalne slike primenom EPM</i>	104
<i>Slika 57: Usporedni prikaz rada algoritama za pravilan prikaz okluzije</i>	105
<i>Slika 58: Usporedni prikaz rezultata testiranja</i>	106
<i>Slika 59: Površina grešaka pri prikazu okluzije (Px) u slučaju okruženja sa pravim ivicama</i>	108
<i>Slika 60: Površina grešaka pri prikazu okluzije (Px) u slučaju okruženja sa zakrivljenim ivicama</i>	109
<i>Slika 61: Površina grešaka pri prikazu okluzije (Px) u slučaju okruženja sa organskim formama</i>	110

6.2 Tabele

<i>Tabela 1: usporedni prikaz činioca metoda za kreiranje 3D modela (viđenje autora)</i>	16
<i>Tabela 2: Primeri tehnologije za praćenje</i>	35
<i>Tabela 3: Primenljivost vizuelno zasnovanog sistema proširene stvarnosti u zavisnosti od tipa objekta i razmere u kojoj se virtuelni 3D model prikazuje</i>	63
<i>Tabela 4: primenljivost lokacijski zasnovanog sistema proširene stvarnosti, u zavisnosti od tipa objekta i razmere u kojoj se virtuelni 3D model prikazuje</i>	72
<i>Tabela 5. Preciznost algoritama za pravilan prikaz okluzije (Px)</i>	107

7 LITERATURA

Ahn, J. & Han, R., 2012. An indoor augmented-reality evacuation system for the Smartphone using personalized Pedometry. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 18(2), p. 23.

Aittala, M., 2010. Inverse lighting and photorealistic rendering for augmented reality. *The Visual Computer*, 26(6), pp. 669-678.

Aksit, K., Eldes, O., Hedili, M. & Urey, H., 2013. Augmented Reality and 3D Displays Using Pico-Projectors. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 44(S1), pp. 243-246.

Albourae, A. T., Armenakis, C. & Kyan, M., 2017.. Architectural Heritage Visualization Using Interactive Technologies. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Tom Vol XLII-2-W5, pp. 7-13.

Alcimar, S., Edgard, L., Adriano, A. & Alexandre, C., 2012. Virtual and Augmented Reality: A New Approach to Aid Users of Myoelectric Protheses. *Computational Intelligence in Electromyography Analysis - A Perspective on Current Applications and Future Challenges*.

Alvarez, H., Leizea, I. & Borro, D., 2012. A new marker design for a robust marker tracking system against occlusions. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 23(5), pp. 503-518.

Amir, B., Brian, T. & Vineet, K., 2008. General-purpose modular hardware and software framework for mobile outdoor augmented reality applications in engineering. *Advanced Engineering Informatics*, Issue 22, pp. 90-105.

Anđelković, H., 1991. *Perspektiva*. Niš: Univerzitet u Nišu, Građevinski fakultet.

ARArat, 2016.. *mappingararat*. [Na mreži] Available at: <http://www.mappingararat.com/project/> [Poslednji pristup 5. 9. 2016.].

ARmedia, 2013.. *ARmedia Augmented Reality 3D Tracker (Building Maintenance Applications)*. [Na mreži] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=g031Odlm5zI> [Poslednji pristup 7. 10. 2015.].

Armstrong, M. & Zisserman, A., 1995. Robust object tracking. *Proceedings of the Asian Conference on Computer Vision*, pp. 58-62.

Avampy, 2016.. [Na mreži] Available at: <http://www.avapmy.com/>
[Poslednji pristup 30. 8. 2016.].

Avery, B., Sandor, C. & Thomas, B. H., 2009. Improving Spatial Perception for Augmented Reality X-Ray Vision. *IEEE Virtual Reality Conference (VR)*. Lafayette, Louisiana, USA, pp. 79-82.

Azuma, R., 1995. *Predictive Tracking for Augmented Reality*. s.l.:PhD dissertation. - Chapel Hill: University of North Carolina.

Azuma, R., 1997. A survey of augmented reality. *Teleoperators and Virtual Environments*, p. 355–385.

Bane, R. & Höllerer, T., 2004. Interactive Tools for Virtual X-Ray Vision in Mobile Augmented Reality. *Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. Washington, DC, USA, pp. 231-239.

Bannos, M. i drugi, 2008. Presence and emotions in virtual environments: the influence of stereoscopy. *CyberPsychology and Behavior*, 1(11), pp. 1-9.

Basu, S., Essa, I. & Pentland, A., 1996. Motion regularization for model-based head tracking. *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition, Vienna, Austria*.

Behzadan, A. & Vineet, K., 2010. Scalable Algorithm for Resolving Incorrect Occlusion in Dynamic Augmented Reality Engineering Environments. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Tom 25, pp. 3-19.

Berger, M. O., 1997. Resolving occlusion in augmented reality: a contour based approach without 3D reconstruction. *IEEE Intl. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '97)*, pp. 91-96.

Bier, E. A., Stone, M. C. & Pier, K., 1993. William Buxton, and Tony D. DeRose. Toolglass and magic lenses: the see-through interface. *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '93)*, p. 73–80.

Billinghurst, M., Kato, H. & Poupyrev, I., 2001. The MagicBook - moving seamlessly between reality and virtuality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 3(21), pp. 6-8.

Billinghurst, M., Poupyrev, I., Kato, H. & May, R., 2000. Mixing Realities in Shared Space: An Augmented Reality Interface for Collaborative Computing. *IEEE International Conference on Multimedia and Expo III*, pp. 1641-1644.

Bimber, A. & Emmerling, A., 2006. Multifocal projection: A multiprojector technique for increasing focal depth. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 12(4), p. 658–667.

Borkowski, A. & Józków, G., 2012.. ACCURACY ASSESSMENT OF BUILDING MODELS CREATED FROM LASER SCANNING DATA. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39(3), pp. 253-258.

Bornhop, A., 2011.. *VW's Augmented Reality*. [Na mreži] Available at: <http://www.roadandtrack.com/new-cars/news/a2011/vws-augmented-reality-20077/> [Poslednji pristup 9. 5. 2016.].

Borović, S. & Nikolić, I., 1996. *Višekriterijumska optimizacija - metode, primena u logistici, softver*. s.l.:Centar vojnih škola vojske Jugoslavije.

Bostanci, E., Kanwal, N. & Clark, A., 2015. Augmented reality applications for cultural heritage using Kinect. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 20(5), p. 18.

Boun, V. L. i drugi, 2010. Foreground and shadow occlusion handling for outdoor augmented reality. *9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), Seoul, Korea*, pp. 109-118.

Bowman, D., Kruijff, E., LaViola, J. & Poupyrev, I., 2004.. *3D User Interfaces: Theory and Practice*. s.l.: Addison-Wesley.

Breen, D., Whitaker, R., Rose, E. & Tuceryan, M., 1996. Interactive occlusion and automatic object placement for augmented reality. *Proceedings of Eurographics. - Poitiers, France* , pp. 11-22.

Brunet, F., 2010. *Contributions to Parametric Image Registration and 3D Surface Reconstruction*. Clermont-Ferrand, France: Universite d'Auvergne.

Byungil, K., Changyoon, K. & Hyoungkwan, K., 2012. Interactive Modeler for Construction Equipment Operation Using Augmented Reality. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(3), pp. 331-341.

Carozza, L., Tingdahl, D. & Bosche, F., 2014. Markerless Vision-Based Augmented Reality for urban planing. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Tom 29, pp. 2-17.

Cascia, M., Sclaroff, S. & Athitsos, V., 2000. Fast, reliable head tracking under varying illumination: An approach based on registration of texture-mapped 3D models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(4).

Caudell, T. P. & Mizell, D. W., 1992. Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes. *Proceedings of 1992 IEEE Hawaii International Conference on Systems Sciences*, pp. 659-669.

Chan , L. & Lau, H., 2012. MagicPad: the projection based 3D user interface. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, Tom 6, pp. 75-81.

Chen , C., Hong, J. & S. , W., 2015. Automated positioning of 3D virtual scene in AR-based assembly and disassembly guiding system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technolgy* , Tom 76, pp. 753-764.

Chen, J., Granier, X., Lin, N. & Peng, Q., 2010. On-line visualization of underground structures using context features. *Proceedings of the 17th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST). Hong Kong, New York, NY, USA*, pp. 167-170.

Cheok, A. D. i drugi, 2003. Human Pacman: a sensing-based mobile entertainment system with ubiquitous computing and tangible interaction. *Proceedings of the 2nd Workshop on Network and System Support For Games (NetGames '03)*, pp. 127-135.

Cho, K. i drugi, 2011. Real-time recognition and tracking for augmented reality books. *Computer Animations and Virtual Worlds*, Tom 22, pp. 529-541.

Cho, Y., Lee, W. J. & Neumann, U., 1998. *A multi-ring color fiducial system and intensity-invariant detection method for scalable fiducial-tracking augmented reality*. s.l., s.n.

Claus, D. & Fitzgibbon, A., 2004. Reliable fiducial detection in natural scenes. *European Conference on Computer Vision*, Tom 3024, pp. 469-480.

Coelho, E. M., Julier, S. J. & MacIntyre, B., 2004. OSGAR: a scene graph with uncertain transformations. *Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2004, Third IEEE and ACM International Symposium*, pp. 6-15.

Comport, A. I., Marchand, E. & Chaumette, F., 2003. A real-time tracker for markerless augmented reality. *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Tokyo, Japan..*

Craig, A., 2013. *Understanding Augmented Reality - Concepts and Applications*. 225 Wyman Street, Waltham, MA 02451, USA: Morgan Kaufmann, imprint of Elsevier.

DeCarlo, D. & Metaxas, D., 2000. Optical flow constraints on deformable models with applications to face tracking. *International Journal of Computer Vision*, Tom 38, pp. 99-127.

Del Pizzo, S. & Troisi, S., 2011. Automatic orientation of image sequences in cultural heritage. *ISPRS Trento 2011 Workshop, Trento, Italy*, pp. 293-300.

Dey, A., Cunningham, A. & Sandor, C., 2010. Evaluating depth perception of photorealistic mixed reality visualizations for occluded objects in outdoor environments. *Proceedings of the 17th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST), Hong Kong, New York, NY, USA*, pp. 211-218.

Doil, F., Schreiber, W., Alt, T. & Patron, C., 2003. Augmented Reality for manufacturing planning. *Proceedings of the workshop on Virtual environments, Zurich, Switzerland, ACM, New York*, pp. 71-76.

Dong, S. & Kamat, V., 2010. Resolving Incorrect Visual Occlusion in Outdoor Augmented Reality Using TOF Camera and OpenGL Frame Buffer. *10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, pp. 55-63.

Drummond, T. & Cipolla, R., 2002. Real-time visual tracking of complex structures. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(7), pp. 932-946.

Even, S., 2011.. *Graph Algorithms*. 2nd ur. Cambridge: Cambridge University Press,.

Fernández, V., Orduña, J. & Morillo, P., 2013. How mobile phones perform in collaborative augmented reality (CAR) applications. *Journal of Supercomputing*, Tom 65, pp. 1179-1191.

Fiala, M. & Roth, G., 2007. Magic Lens Augmented Reality: Table-top and Augmentorium. *Institute of Information Technology, National Research Council Canada*.

Fischer, J., Bartz, D. & Strasser, W., 2005. Reality Tooning: Fast Non-Photorealism for Augmented Video Streams. *Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, p. 186–187.

Fischer, J., Haller, M. & Thomas, B., 2008. Stylized Depiction in Mixed Reality. *International Journal of Virtual Reality*, 7(4), p. 71–79.

Fischer, J., Huhle, B. & Schilling, A., 2007. Using Time-of-Flight Range Data for Occlusion Handling in Augmented Reality. *IPT-EGVE Symposium, Weimar, Germany*.

Fischer, J., Regenbrecht, H. & Baratoff, G., 2003. Detecting dynamic occlusion in front of static background for AR scenes. *EGVE'03: Proceedings of the workshop on Virtual environments. - New York, USA*, pp. 153-161.

Fischler, M. A. & Bolles, R. C., 1980.. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Commun. ACM*, Tom 24, p. 381–395.

Fischler, M. A. & Bolles, R. C., 1981. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications ACM*, 24(6), pp. 381-395.

Furmanski, C., Azuma, R. & Daily, M., 2002. Augmented-Reality Visualizations Guided by Cognition: Perceptual Heuristics for Combining Visible and Obscured Information. *Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. Washington, DC, USA, pp. 215-224.

Geomatics, D., 2016.. [Na mreži] Available at: <http://www.darlingltd.com/aerial-mapping-drone.html> [Poslednji pristup 30. 8. 2016.].

Gibson, R. i drugi, 2013. A reconfigurable real-time morphological system for augmented vision. *Journal on Advances in Signal Processing*, 134(1), p. 13.

Golabchi, A., Akula, M. & Kamat, R., 2013. Leveraging BIM for Automated Fault Detection in Operational Buildings. *The 30th Int. Symp. on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2013)*, Montreal, Canada, pp. 187-197.

Google, 2015. *Google cardboard*. [Na mreži] Available at: <https://www.google.com/get/cardboard/> [Poslednji pristup 11 2 2015].

Grabowski, R., 2012.. *WorldCAD Access*. [Na mreži] Available at: <http://worldcadaccess.typepad.com/blog/2012/06/heres-why-google-got-rid-of-sketchup.html> [Poslednji pristup 9. 5. 2016.].

Grubert, J. & Grasset, R., 2013. *Augmented Realitz for Android Application Development*. Livery Place, 35 Livery Street, Birmingham B3 2PB, UK.: Published by Packt Publishing Ltd..

Grussenmayer, P., Hanke, K. & Streilein, A., 2002. Architectural photogrammetry. U: M. Kasser & Y. Egels, urednici *Digital photogrammetry*. London: Taylor & Francis, pp. 300-339.

Hagbi, N., Bergig, O., El-Sana, J. & Billinghamurst, M., 2009. Shape recognition and pose estimation for mobile augmented reality. *Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2009. 8th IEEE International Symposium*, pp. 65-71.

Hager, G. D. & Belhumeur, P. N., 1998. Efficient region tracking with parametric models of geometry and illumination. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(10), pp. 1025-1039.

Haller, M., Billinghamurst, M. & Thomas, B., 2007. *Emerging technologies of Augmented Reality*. Hershey, London: Idea group publishing.

Hansard, M., Lee, S., Choi, O. & Horaud, R., 2012. *Time of Flight Cameras: Principles, Methods, and Applications*. s.l.:Springer, Springer Briefs in Computer Science.

Harris, C. G. & Stephens, M. J., 1988. A combined corner and edge detector. *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, Manchester*.

Henrysson, A., 2007. *Bringing Augmented Reality to Mobile Phones*. s.l.:Dissertations, Department of Science and Technology Linköpings universitet.

Henrysson, A., Billinghamurst, M. & Ollila, M., 2005. Face to Face Collaborative AR on Mobile Phones. *Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 05)*, pp. 80-89.

Hill, A. i drugi, 2010. KHARMA: An open KML/HTML architecture for mobile augmented reality applications. *Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2010 9th IEEE International Symposium*, pp. 233-234.

Hinterstoisser, S., Lepetit, V., Ilic, S. & Fua, P., 2010. Nassir Navab Dominant orientation templates for real-time detection of texture-less objects. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) conference*, pp. 2257-2264.

Hirosuke, H. & Yohei, M., 2013. Augmented Reality-based Support System for Teaching Hand-drawn Mechanical Drawing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Issue 103, pp. 174-180.

HITLab, 2012.. *AUGMENTED REALITY: VISUALIZATION BEYOND BIM*. [Na mreži]
Available at: <http://blog.perkinswill.com/augmented-reality-visualization-beyond-bim/>
[Poslednji pristup 5. 9. 2016.].

Hoff, W. A., Nguyen, K. & Lyon, T., 1996. Computer vision-based registration techniques for augmented reality. *Proceedings of Intelligent Robots and Control Systems, XV, Intelligent Control Systems and Advanced Manufacturing*, pp. 538-548.

Hololens, 2016. *Microsoft*. [Na mreži]
Available at: <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us/development-edition>
[Poslednji pristup 30 8 2016].

Holzmann, C. & Hochgatterer, M., 2012. Measuring Distance with Mobile Phones Using Single-Camera Stereo Vision. *Proceedings of the 32nd IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW 2012), Macau, China*, pp. 88-93.

Hoshang , K., Mohd , S., Amjad , R. & Ayman, A., 2013. Simulated Real-Time Soft Shadow in Mixed Reality using Fuzzy Logic. *3DR EXPRESS*, 4(3), p. 8.

Hoshang, K. & Mohd , S., 2014. Realistic Real-Time Outdoor Rendering in Augmented Reality. *PLoS ONE*, 9(9), p. 14.

Hou , L., Wang , X., Bernold, L. & Love, P., 2013. Using Animated Augmented Reality to Cognitively Guide Assembly. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(5), pp. 439-451.

Huang, W., Sun, M. & Li, S., 2016.. A 3D GIS-based interactive registration mechanism for outdoor augmented reality system. *Expert Systems with Applications*, Tom 55, pp. 48-58.

Hughes, R., 2014.. *Augmented Reality : Developments, Technologies and Applications*. Hauppauge, New York: Nova Science Publishers.

Imberta, N., Vignata, F., Kaewrat, C. & Boonbrahm, P., 2013. Adding Physical Properties to 3D Models in Augmented Reality for Realistic Interactions Experiments. *Procedia Computer Science*, Tom 25, pp. 364-369.

Jiejie , Z., Zhigeng , P., Sun, S. & Wenzhi, C., 2010. Handling occlusions in video-based augmented reality using depth information. *Computer Animations and Virtual Worlds*, Tom 21, pp. 509-521.

Jimenez , B., Nex, F., Rizzi, A. & Remondino, F., 2015. ARCube - THE AUGMENTED REALITY CUBE FOR ARCHAEOLOGY. *Archaeometry*, Tom 57, pp. 250-262.

Jurie, F. & Dhome, M., 2002. Hyperplane approximation for template matching. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(7), pp. 996-1000.

Kähäri, M. & Murphy, D. J., 2006. MARA - Sensor Based Augmented Reality System for Mobile Imaging. *ISMAR 2006 Demo*.

Kai-Chen , Y., Meng-Han , T. & Shih-Chung, K., 2012. On-Site Building Information Retrieval by Using Projection-Based Augmented Reality. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(3), pp. 342-355.

Kalkofen, D., Mendez, E. & Schmalstieg, D., 2007. Interactive Focus and Context Visualization for Augmented Reality. *Proceedings of the 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. Washington, DC, USA, pp. 1-10.

Kalkusch, M. i drugi, 2002. Structured Visual Markers for Indoor Pathfinding. *Proceedings of the First IEEE International Workshop on ARToolKit (ART02)*.

Kanbara, M., Okuma, T., Takemura, H. & Yokoya, N., 2000. A stereoscopic video see-through augmented reality system based on real-time vision-based registration. *Virtual Reality, 2000. Proceedings. IEEE*, pp. 255-262.

Kang, J., 2013. AR Teleport: Digital Reconstruction of Historical and Cultural-Heritage Sites for Mobile Phones Via Movement-Based Interactions. *Wireless Pers Commun*, Tom 70, pp. 1443-1462.

Kato, H. & Billinghurst, M., 1999. Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system. *Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR 99)*, pp. 85-94.

Kato, H. i drugi, 2000. Virtual object manipulation on a table-top AR environment. *Proceedings of the International Symposium on Augmented Reality*, pp. 111-119.

Kim, S., Parang, R. & Kuc, T., 2010. A Geospatial Technique for Detecting Distance and Reflection Angle between Real and Virtual Objects. *International Journal of Control, Automation, and Systems*, 8(5), pp. 1133-1140.

Klein, G., 2006. *Visual Tracking for Augmented Reality, PhD thesis*. s.l.:Universitz of Cambridge, Department of Engineering.

Klein, G. & Murray, D., 2007. Parallel tracking and mapping for small ar workspaces. *Proceedings of 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2007)*, pp. 225-234.

Knauf, 2011.. *Knauf AR*. [Na mreži] Available at: <http://www.knaufinsulation.co.uk/press-releases/knauf-insulation-creates-stir-ecobuild-augmented-reality> [Poslednji pristup 5. 9. 2016.].

Kohen, D., Jansen, M. & Milirad, M., 2016.. *Towards an architecture for educational virtual reality spaces*. s.l., ICCE 2016 - Proceedings of the 24th International Conference on Computers in Education, pp. 368-373.

Kolecka, N., 2011. Photo-based 3d scanning vs. laser scanning – competitive data acquisition methods for digital terrain modelling of steep mountain slopes. *ISPRS Hannover Workshop High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, Hannover, German*.

Koller, D. i drugi, 1997. Real-time Vision-based camera tracking for augmented reality applications. *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, Lausanne, Switzerland*, pp. 87-94.

Kooper, R. & MacIntyre, B., 2003. Browsing the Real-World Wide *Web*: Maintaining Awareness of Virtual Information in an AR Information Space. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 16(3), pp. 425-446.

Korcz, D., 2011.. *Volumetric Range Image Integration*. Stuttgart, Germany: University of Stuttgart.

Korkalo, O., Aittala, M. & Siltanen, S., 2010. Light-weight marker hiding for augmented reality. *9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Seoul, Korea*, pp. 247-248.

Krasić, S. & Pejić, P., 2014. Comparative Analysis of Terrestrial Semi-automatic and Automatic Photogrammetry in 3D Modeling Process. *Nexus Network Journal*, Issue 16, pp. 279-283.

Kretschmer, U. i drugi, 2001. Meeting the spirit of history. *Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage*, pp. 141-152.

Kuhlo, M. & Eggert, E., 2010.. *Architectural rendering with 3ds Max and V-Ray : photorealistic visualization*. Oxford ; Burlington, MA : Focal Press.

LaMonica, M., 2013. Putting Building Science into Practice. *MIT Technology Review*.

Langlotz, T., Wagner, D., Mulloni, A. & Schmalstieg, D., 2012. Online Creation of Panoramic Augmented Reality Annotations on Mobile Phones. *Pervasive Computing, IEEE*, 11(2), pp. 56-63.

Lee , J., Rhee, G. & Seo, D., 2010. Hand gesture-based tangible interactions for manipulating virtual objects in a mixed reality environment. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, Tom 51, pp. 1069-1082.

Lenovo, 2016. *Lenovo Phab 2Pro*. [Na mreži] Available at: <http://shop.lenovo.com/us/en/tango/> [Poslednji pristup 30 8 2016].

Lepetit, V. & Berger, M. O., 2000. A semi-automatic method for resolving occlusion in augmented reality. *Computer Vision and Pattern Recognition, 2000. Proceedings. IEEE Conference*, Tom 2, pp. 225-230.

Li, H., Roivainen, P. & Forchheimer, R., 1993. 3D motion estimation in model-based facial image coding. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(6), pp. 545-555.

Liu, F. & Seipel, S., 2018.. Precision study on augmented reality-based visual guidance for facility management tasks. *Automation in Construction*, Tom 90, pp. 79-90.

Livingston, M. A. i drugi, 2003. Resolving Multiple Occluded Layers in Augmented Reality. *Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR). Washington, DC, USA*, pp. 56-65.

Loomis, J., Golledge, R. & Klatzky, R., 1993. Personal guidance system for the visually impaired using GPS, GIS, and VR technologies. *Proceedings of Conference on Virtual Reality and Persons with Disabilities*.

Lorensen, W. E. & Cline, H. E., 1987.. Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm. *Computer Graphics*,, 21(3), pp. 163-169.

M. Klingensmith, I. D. S. S. J. X., 2015.. *Chisel: Real time large scale 3d reconstruction onboard a mobile device*. Pittsburgh, Carnegie Mellon University.

M. Roxas, T. H. T. F. Y. O. T. O., 2016.. *Occlusion Handling using Semantic Segmentation and Visibility-Based Rendering for Mixed Reality*. Washington, DC, USA, ACM Conference.

M. Y. Yang, W. F., 2010.. *Plane detection in point cloud data*. Bonn, 2nd int conf on machine control guidance.

Makita, K., 2014. 3D Model-Based Camera Tracking Technology for Augmented Reality. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 45(1), pp. 873-876.

Marchand, E., Bouthemy, P. & Chaumette, F., 2001. A 2D-3D model-based approach to real-time visual tracking. *Journal of Image and Vision Computing*, 19(13), pp. 941-955.

Marinković, J., Pejić, P. & Krasić, S., 2015.. Old façade presentation on real buildings using augmented reality. *Journal of industrial Design and Engineering Graphics, ICEGD 2015, SORGING, Romania, ISSN 1843-3766,, Tom 10*, pp. 29-33.

Marković, M., 1998. *Nacrtna geometrija*. Niš: Univerzitet u Nišu, Građevinsko arhitektonski fakultet.

Milgram, P. & Kishino, F., 1994. Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, pp. 1321-1329.

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F., 1994.. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, Tom 2351, pp. 282-292.

Miyashita, T. i drugi, 2008. An Augmented Reality Museum Guide, *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, (ISMAR 2008)*, pp. 103-106.

Möhring, M., Lessig, C. & Bimber, O., 2004. Video See-Through AR on Consumer Cell Phones. *Proceedings of the 3th IEEE/ACM international Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 04)*, pp. 252-253.

Morgan, J., 2014.. *Real-time 3D reconstruction using signed distance functions*, Pennsylvania: Electrical Engineering, The Pennsylvania State University.

Mota, J. M., Ruiz-Rube, I., Doderó, J. & Arnedillo-Sanchez, I., 2018.. Augmented reality mobile app development for all. *Computers & Electrical Engineering*, Tom 65, pp. 250-260.

Münster, S., 2013. Workflows and the role of images for virtual 3d reconstruction of no longer extant historic objects. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(5), pp. 197-202.

Nave, R., 2016.. *Hyperphysics*.. [Na mreži] Available at: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/gps.html> [Poslednji pristup 5. 9. 2016.].

Newman, J., Ingram, D. & Hopper, A., 2001. Augmented Reality in a Wide Area Sentient Environment. *Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR 2001)*, pp. 77-86.

Ng , L., Oon , S., Ong , S. & Nee, A., 2011. GARDE: a gesture-based augmented reality design evaluation system. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, Tom 5, pp. 85-94.

Nguyen, A. & Le, B., 2013.. *3D point cloud segmentation: A survey*. Manila, Philippines, s.n.

Nihar, N. & Sayalee, N., 2018.. Architecture and Virtual Reality. *International Journal of Engineering Research*, 7(2), pp. 171-173.

Novotný, M., Lackoa, J. & Samuelčík, M., 2013. Applications of Multi-Touch Augmented Reality System in Education and Presentation of Virtual Heritage. *Procedia Computer Science*, Tom 25, pp. 231-235.

Obradović, R. i drugi, 2013. Using Contemporary 3D WEB Technologies in the process of CAD Model Design. *Technics technologies education management*, 8(2), pp. 837-844.

Oculus, 2015. *Oculus Rift*. [Na mreži] Available at: <https://www.oculus.com/> [Poslednji pristup 11 2 2015].

Ortiz, P., Sanchez, H., Pires, H. & Perez, J. A., 2006. Experiences about fusioning 3D digitalization techniques for cultural heritage documentation. *ISPRS Commission V Symposium- "Image Engineering and Vision Metrology"*, Dresden, pp. 1-2.

Paesa, D., Arantesb, E. & Irizarryc, J., 2017.. Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Automation in Construction*, Tom 84, pp. 292-303.

Palmarini, R., Erkoyuncu, J., Roy, R. & Torabmostediti, H., 2018.. A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Tom 49, pp. 215-228.

Parkinson, B. W., 1996. Introduction and Heritage of NAVSTAR, the Global Positioning System. U: *Global Positioning System: Theory and Applications*. Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, pp. 3-28.

Pavel, M., 2002. Delaunay Triangulation in 3D, State of the Art and Concept of Doctoral Thesis, University of West Bohemia in Pilsen, Pilsen, Czech Republic.

Pavlidis, G. i drugi, 2007. Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. *Journal of Cultural Heritage*, Issue 8, pp. 39-39.

Pejić, P., Krasić, S. & Jovanović, N., 2014. The application of augmented reality in the presentation of existing architectural facilities. *4th International Scientific Conference on Geometry and Graphics, moNGeometrija 2014, Vlasina, Serbia*, pp. 74-81.

Pejić, B., Marinković, J., Pejić, P. & Krasić, S., 2015.. Presentation of old building facade using augmented reality. *18th Scientific-Professional Colloquium on Geometry and Graphics*.

Pejić, M., 2013. *Tačnost modeliranja objekta tehnologijom terestričkog laserskog skeniranja, doktorska disertacija*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet.

Pejić, P., 2013. *Animacija u arhitekturi*, Niš: Univerzitet u Nišu, Građevinsko - arhitektonski fakultet, Konstruktivni sistemi 1, predavanje.

Pejić, P., 2014. *Sketchfab*. [Na mreži] Available at: <https://sketchfab.com/models/461dba9184ff4a9b9dc75381f2f24d96> [Poslednji pristup 11 2 2015].

Pejić, P., 2014. *youtube - galerija 77 - bali begova dzamija*. [Na mreži] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=B_gOp2etdN4 [Poslednji pristup 11 2 2015].

Pejić, P., 2014. *youtube - Zapis u Šogolju*. [Na mreži] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=h_a2eiCwvww [Poslednji pristup 11 2 2015].

Pejić, P. & Krasić, S., 2012.. *Modern methods of three dimensional presentations of the building heritage*. Niš, Serbia, GAF.

Pejić, P. & Krasić, S., 2012. Creation of three-dimensional architectural models from photographs. *Сборник с материали от Национален научно-практически семинар "ФОТОКОЛОП - III", София, ТУ – София, Bulgaria*, pp. 136-142.

Pejić, P., Krasić, S. & Bjelić, I., 2013. Comparative Study on Photogrammetric Methods for 3D Modeling of Building Heritage. *Scientific Bulletin of the "Politehnica" University of Timisoara, Tom 58 (72), Fascicola I, Timisoara, Romania*, 1(58), pp. 87-91.

Pejić, P., Krasić, S. & Lukić, P., 2014. Primena proširene stvarnosti u prezentaciji arhitektonskih projekata. *Nauka + Praksa, Građevinsko – arhitektonski fakultet Niš*, Issue 17, pp. 35-40.

Pejić, P., Krasić, S. & Lukić, P., 2014. Sistem proširene stvarnosti u arhitekturi - istorijski razvoj. *Zbornik radova*, Issue 29, pp. 117-130.

Pejić, P., Krasić, S., Lukić, P. & Romić, N., 2013. Comparative analysis of methods for creating tree-dimensional models of urban complex. *Contemporary theory and practice in building development, 9th International scientific technical conference, Banja Luka, Bosna i Hercegovina*, pp. 393-405.

Pejić, P., Krasić, S. & Markulin, M., 2015. *Augmented reality presentation of geometrical surfaces in architecture*. Beli Manastir, Croatian Society for Geometry and Graphics.

Pejić, P., Krasić, S. & Markulin, M., 2015. Augmented Reality Presentation of Geometrical Surfaces in Architecture. *Scientific-Professional Colloquium on Geometry and Graphics, Beli Manastir, Croatian Society for Geometry and Graphics*, Tom 18, pp. 20-21.

Pejić, P., Krasić, S., Petković, D. & Veljković, M., 2015.. Application of augmented reality in façade redesign presentation., *Journal of industrial Design and Engineering Graphics, ICEGD 2015, SORGING, Romania, ISSN 1843-3766,* Tom 10, pp. 45-49.

Pejić, P., Petković, D. & Krasić, S., 2014.. The effect of architectural façade design on energy savings in the student dormitory. *Thermal Science*, 18(3), pp. 979-988.

Pejić, P., Petrić, E. & Krasić, S., 2011. Restitution and photogrammetry as a method of creating three-dimensional architectural models. *Proceedings of the International conference Inovation as a function of engineering development (IDE), Niš, Serbia*, pp. 283-288.

Pejić, P., Rizov, T., Krasić, S. & Stajić, B., 2014. Augmented reality application in engineering. *3rd international congress, SMAT 2014 - SIAR, Craiova, Romania*, pp. 39-44.

Pessoa, S. i drugi, 2010. Photorealistic rendering for Augmented Reality: A global illumination and BRDF solution. *Virtual Reality Conference (VR)*, pp. 3-10.

Pilet, J., Lepetit, V. & Fua, P., 2007. Retexturing in the Presence of Complex Illumination and Occlusion. *Proceedings of the 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Washington, DC, USA*, pp. 1-8.

Pinto Seppä, I. i drugi, 2007. Dwelling Renovation Studio. Interactive tool for private residences renovation service. *Research report No. VITR0145807. Espoo, Finland: VTT*.

Pless, S., Vollheim, B., Haag, M. & Dammaß, G., 2012.. Infrared cameras in airborne remote sensing: IR-Imagery for photogrammetric processing at German Aerospace Center DLR, Berlin. *11th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography*.

Po suncu hoda. 2015. [Film] Režija Stefan Z Krasić. Srbija: Prinčevi patroni, Akademija umetnosti.

Popkonstantinović, B., Krasić, S. & Perišić, A., 2012. Fly-through animation as a way of modern presentation in civil engineering and architecture. *Building materials and structures*, 2(55), pp. 11-26.

Radkowski, R., 2013. Augmented Reality to Supplement Work Instructions. *Model-Based Enterprise Summit 2013, Gaithersburg, MD*.

Raic, J., 2001.. *Terrestrial Laser Scanning*, s.l.: School of Surveying and Spatial Information Systems The University of New South Wales.

Rankohi, S. & Waugh, L., 2013. Review and analysis of augmented reality literature for construction industry. *Visualization in Engineering*, 1(9), p. 18.

Reitmayr, G. & Drummond, T., 2006. Going Out: Robust Model-based Tracking for Outdoor Augmented Reality. *Proceedings of 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2006)*, pp. 109-118.

Reitmayr, G. & Schmalstieg, D., 2001. Mobile Collaborative Augmented Reality. *Proceedings of the International Symposium on Augmented Reality*, pp. 114-123.

Rekimoto, J., 1996. Augmented Reality Using the 2D Matrix Code. *Proceedings of the Workshop on Interactive Systems and Software (WISS'96)*.

Rekimoto, J., 1998. Matrix: A realtime object identification and registration method for augmented reality. *Proceedings of the Asia Pacific Computer Human Interaction*.

Rekimoto, J. & Nagao, K., 1995. The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments. *Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology (UIST '95)*, pp. 29-36.

Remondino, F. & Sabry, E., 2006. Image-Based 3d Modelling: A Review. *The Photogrammetric Record Journal*, 21(115), pp. 269-291.

Rizov, T., 2014. *ГЕОМЕТРИСКО ПРЕДСТАВУВАЊЕ НА ОБЈЕКТИ ВО ИНТЕРАКТИВНА АУГМЕНТНА РЕАЛНОСТ*. Skopje: Univerzitet "Sv. Kiril i Metodij", Mašinski fakultet .

Rizov, T. & Tashevski, R., 2014. Technical vizualization in the process of vehicle identification using augmented reality. *4th International Scientific Conference on Geometry and Graphics, moNGeometrija 2014, Vlasina, Serbia*, pp. 51-60.

Rolland, J., Davis, L. & Baillot, Y., 2001. A Survey of Tracking Technology for Virtual Environments, chapter 3. U: *Lawrence Erlbaum Associates*. s.l.:s.n., p. 67–112.

Roosta, S., 2000. *Parallel processing and parallel algorithms : theory and computation*. 5 ur. New York: Springer.

Ruiz, A., Canovas, O. & Lopez, P., 2013. A Multisensor Architecture Providing Location-based Services for Smartphones. *Mobile Netw Appl*, Tom 18, pp. 310-325.

Sabry, E., Beraldin, A. & Pica, M., 2002. Detailed 3D Reconstruction of Monuments Using Multiple Techniques. *Proceedings of the International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording - Complementing or Replacing Photogrammetry. Corfu, Greece*, pp. 13-18.

Samsung, 2016. *Gear VR*. [Na mreži] Available at: <http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr/> [Poslednji pristup 30 8 2016].

Sandor, C., Cunningham, A., Dey, A. & Mattila, V., 2010. An Augmented Reality X - Ray system based on visual saliency. *9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. Seoul, Korea, pp. 27-36.

Sandor, C. i drugi, 2010. Egocentric space-distorting visualizations for rapid environment exploration in mobile mixed reality. *Virtual Reality Conference (VR)*, pp. 47-50.

Schall, G. i drugi, 2009. Handheld Augmented Reality for underground infrastructure visualization. *Personal Ubiquitous Comput*, 13(4), pp. 281-291.

Schall, G., Mendez, E. & Schmalstieg, D., 2008. Virtual redlining for civil engineering in real environments. *7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp. 95-98.

Scheer, F., Abert, O. & Müller, S., 2007. Towards Using Realistic Ray Tracing in Augmented Reality Applications with Natural Lighting. *Proceedings of the 4th workshop virtual and augmented reality of the GI-group (VR/AR) Weimar*.

Schuon, S., Theobalt, C., Davis, J. & Thrun, S., 2008.. *High-quality scanning using time-of-flight depth superresolution*. s.l., s.n.

Schwarz, M. & Müller, P., 2015.. Advanced procedural modeling of architecture. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 34(4).

Scurati, G. i drugi, 2018.. Converting maintenance actions into standard symbols for Augmented Reality applications in Industry 4.0. *Computers in Industry*, Tom 98, pp. 68-79.

Shekhar, R. i drugi, 2010. Live augmented reality: a new visualization method for laparoscopic surgery using continuous volumetric computed tomography. *Surgical endoscopy*, 24(8), pp. 1976-1985.

Sheng , Y., Yapo , T. & Cutler, B., 2010. Global Illumination Compensation for Spatially Augmented Reality. *EUROGRAPHICS*, 29(2), pp. 387-396.

Siltanen, S., 2012. *Theory and applications of marker-based augmented reality*. P.O. Box 1000 (Vuorimiehentie 5, Espoo): VTT Technical Research Centre of Finland.

Siltanen, S. & Woodward, C., 2006. Augmented interiors with digital camera images. *Piekarski, W. (ed.). 7th Australasian User Interface Conference*, Tom 50, pp. 33-34.

Simon, G. & Berger, M. O., 1998. A two-stage robust statistical method for temporal registration from features of various type. *Proceedings of the International Conference on Computer Vision, Bombay, India*, pp. 261-266.

Smith, M., 1981.. Getting the Big Picture in Perspectivist Optics. *The University of Chicago Press* , 72(4), pp. 568-589.

State, A. i drugi, 1996. Superior augmented-reality registration by integrating landmark tracking and magnetic tracking. *ACM SIGGRAPH, New Orleans, LA*, pp. 429-438.

Stefanović, M., 1963. *Fotogrametrija jednog snimka*. 1 ur. Beograd, Srbija: Vojnogeografski institut JNA.

Stojaković, V., 2011. *Generisanje prostora na osnovu perspektivnih slika i primena u oblasti graditeljskog nasleđa, doktorska disertacija*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka.

Stojaković, V. & Tepavčević, B., 2009. Optimal Methods for 3D Modeling of Devastated Architectural Objects. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVIII*, 1(5), pp. 1-6.

Stricker, D., Klinker, G. & Reiners, D., 1998. A fast and robust line-based optical tracker for augmented reality applications. *First International Workshop on Augmented Reality (IWAR'98)*. - San Francisco, USA, pp. 129-145.

Structure, 2014. *Structure Sensor*. [Na mreži] Available at: <http://structure.io/> [Poslednji pristup 12. 6. 2015].

Supan, P. & Stuppacher, I., 2006. Interactive Image Based Lighting in Augmented Reality. *10th Central European Seminar on Computer Graphics (CESCG)*.

Sutherland, I., 1968. A Head-Mounted Three Dimensional Display. *Proceedings of Fall Joint Computer Conference*, pp. 757-764.

Tallyn, E. i drugi, 2005. Using paper to support collaboration in educational activities. *Proceedings of the conference on computer support for collaborative learning*, pp. 672-678.

Tepavčević, B. & Stojaković, V., 2013.. Procedural modeling in architecture based on statistical and fuzzy inference. *Automation in Construction*, Tom 35, p. 329–337.

Tian, Y., Guan, T. & Wang, C., 2010. An automatic occlusion handling method in augmented reality. *Sensor Review*, 30(3), pp. 210-218.

Tiki-toki, 2016.. *VR and AR Goggles*. [Na mreži] Available at: <http://www.tiki-toki.com/timeline/entry/440580/VR-and-AR-Goggles/> [Poslednji pristup 5. 9. 2016.].

Tönnis, M., Plecher, D. & Klinker, G., 2013. Representing information – Classifying the Augmented Reality presentation space. *Computers & Graphics*, Tom 37, pp. 997-1011.

Treskunov, A., 2012.. *Direct Reach Into Virtual Environment*. [Na mreži] Available at: <http://anton.treskunov.net/projects/drive/> [Poslednji pristup 5. 9. 2016.].

Trimble, 2016.. [Na mreži] Available at: <http://uas.trimble.com/> [Poslednji pristup 30. 8. 2016.].

Vacchetti, L., Lepetit, V. & Fua, P., 2004. Combining edge and texture information for real-time accurate 3D camera tracking. *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Arlington, VA.*

Vasel , R., Kemper, G. & Schuhmann, R., 2008.. NEW AIRBORNE THERMAL INFRARED PHOTOGRAMMETRIC APPLICATIONS AND SENSORS FOR MOISTRURE DETECTION. *SS C7: Global Monitoring for Environmental and Security*, pp. 17-22.

Vlahakis, V. i drugi, 2001. ARCHEOGUIDE: First results of an Augmented Reality, Mobile Computing System in Cultural Heritage Sites. *Proceedings of Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage International Symposium (VAST01)*, pp. 131-140.

Vogel, U. i drugi, 2011. Interactive See-Through Augmented-Reality Smart Display System. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 12(4), pp. 143-146.

Wagner, D., Mulloni, A., Langlotz, T. & Schmalstieg, D., 2010. Real-time panoramic mapping and tracking on mobile phones. *IEEE Virtual Reality Conference (VR), IEEE (2010)*, p. 211–218.

Wagner, D., Pintaric, T., Ledermann, F. & Schmalstieg, D., 2005. Towards Massively Multi-User Augmented Reality on Handheld Devices. *Proceedings of the Third International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2005)*.

Wagner, D. i drugi, 2008. Pose tracking from natural features on mobile phones. *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2008 (ISMAR 2008)*, pp. 125-134.

Wagner, D. & Schmalstieg, D., 2003. First Steps Towards Handheld Augmented Reality. *Proceedings of the 7th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC 03)*, pp. 127-135.

Wagner, D. & Schmalstieg, D., 2007. ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices. *Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop, Austria*.

Warren, K., 2013.. *Developing an intelligent 3D model of above and below ground infrastructure for the City of Las Vegas*. [Na mreži] Available at: <http://geospatial.blogs.com/geospatial/2013/04/spar-2013-developing-an-intelligent-3d-model-of-above-and-below-ground-infrastructure-for-the-city-o.html> [Poslednji pristup 5. 9. 2016.].

Willis, K., Shiratori, T. & Mahler, M., 2012.. *Disney research*. [Na mreži] Available at: <https://www.disneyresearch.com/project/hiddenworld/> [Poslednji pristup 5. 9. 2016.].

Wolka, M. & Anderson, B., 1995. Resolving occlusion in augmented reality. *Symposium on Interactive 3D Graphics, New York, USA*, pp. 5-12.

Xu, B. i drugi, 2015.. Investigation on the Weighted RANSAC Approaches for Building Roof Plane Segmentation from LiDAR Point Clouds. *Remote Sens.*, 8(5).

Yuan, C., Liao, M., Hu, X. & Mordohai, P., 2012. Depth Sensing and Augmented Reality Technologies for Mobile 3D Platforms. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 43(1), pp. 233-236.

Zarin, R., Lindbergh, K. & Fallman, D., 2012.. Using Stop Motion Animation to Sketch in Architecture: A Practical Approach. *Design and Technology Education*, V17(n3), pp. 78-86.

Zhai, S., 1995.. *Human Performance in Six Degree of Freedom Input Control*. s.l.:PhD thesis, University of Toronto.

Zhang, X., Kunjithapatham, A., Jeong, S. & Gibbs, S., 2011. Towards an Elastic Application Model for Augmenting the Computing Capabilities of Mobile Devices with Cloud Computing. *Mobile Network Applications*, Tom 16, pp. 270-284.