



UNIVERZITET U NOVOM SADU

FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA



Samouslužni automatizovani sistemi sa podrškom proširene realnosti

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:
Prof. dr Stevan Stankovski

Kandidat:
Igor Baranovski

Novi Sad, 2022. godine

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA¹

Vrsta rada:	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora:	Igor Baranovski
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje, institucija)	Dr Stevan Stankovski, redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Naslov rada:	Samouslužni automatizovani sistemi sa podrškom proširene realnosti
Jezik publikacije (pismo):	Srpski (latinica)
Fizički opis rada:	Uneti broj: Stranica: 115 Poglavlja: 7 Referenci: 157 Tabela: 3 Slika: 69 Grafikona: 0 Priloga: 0
Naučna oblast:	Mehatronika
Uža naučna oblast (naučna disciplina):	Mehatronika, robotika i automatizacija
Ključne reči / predmetna odrednica:	Proširena realnost, automatizovani sistemi, održavanje sistema
Rezime na jeziku rada:	U disertaciji je predstavljeno istraživanje mogućnosti primene tehnologija proširene realnosti na različite vrste samouslužnih automatizovanih sistema. U fokusu istraživanja postavljen je su tehnologije proširene realnosti, praćenje položaja kamere, prikaz generisanog sadržaja, dostupni razvojni alati, načini interakcija korisnika putem aplikacije proširene realnosti, kao i zadaci samouslužnih automatizovanih sistema i kako se ovi zadaci mogu poboljšati primenom postojećih mobilnih tehnologija, IoT (engl. Internet of Things) tehnologija, kao i tehnologija proširene realnosti. Kao rezultat istraživanja, predložen je novi model samouslužnih automatizovanih sistema sa podrškom proširene realnosti. Predloženi model je analiziran na reprezentativnom slučaju samouslužnih automatizovanih sistema. Za potrebe istraživanja i verifikaciju modela izvršeno je istraživanje mišljenje korisnika vezano za dizajn i način na koji aplikacija komunicira sa korisnikom. Predloženi model omogućava implementaciju novih načina korišćenja samouslužnih automatizovanih sistema kao i laku integraciju u postojeće sisteme. Predloženi model

¹ Autor doktorske disertacije potpisao je i priložio sledeće Obrasce:

5b – Izjava o autorstvu;

5B – Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije i o ličnim podacima;

5r – Izjava o korišćenju.

Ove Izjave se čuvaju na fakultetu u štampanom i elektronskom obliku i ne koriče se sa tezom.

	<p>podrške proširene realnosti samouslužnim automatizovanim sistemima je opšti model i njegova velika prednost je univerzalnost i otvorenost za primenu novih mobilnih tehnologija, tehnologija interneta stvari, kao i tehnologija proširene realnosti. Takođe ima svojstvo fleksibilnosti, jer se može primeniti na različite tipove samouslužnih automatizovanih sistema. Predloženi novi model omogućava sledljivost prikupljenih podataka o samouslužnim automatizovanim sistemima. Moguće je implementirati različite algoritme obrade podataka sa ciljem otkrivanja grešaka ili potencijalnih problema u radu. Predloženi model omogućava bolji uvid u podatke, ne samo licima zaduženim za nadzor i održavanje, već i samim korisnicima koji dobijaju informacije u realnim uslovima i prezentovane na drugačiji način, što omogućava unapređenje kvaliteta pružene usluge.</p>
Datum prihvatanja teme od nadležnog veća:	26.05.2022.
Datum odbrane: (Popunjavanje odgovarajuća služba)	
Članovi komisije: (titula, ime, prezime, zvanje, institucija)	<p>Predsednik: dr Gordana Ostojić, redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad Član: dr Dragan Kukulj, redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad Član: dr Ivan Vulić, docent, Vojna akademija, Beograd Član: dr Srđan Tegeltija, docent, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad Mentor: dr Stevan Stankovski, redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad</p>
Napomena:	

KEYWORD DOCUMENTATION²

Document type:	PhD dissertation
Author:	Igor Baranovski
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	PhD Stevan Stankovski, full professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
Thesis title:	Self-service automated systems with augmented reality support
Language of text (script):	Serbian language (Latin script)
Physical description:	A number of: Pages: 115 Chapters: 7 References: 157 Tables: 3 Illustrations: 69 Graphs: 0 Appendices: 0
Scientific field:	Mechatronics
Scientific subfield (scientific discipline):	Mechatronics, Robotics, and Automation
Subject, Keywords:	Augmented reality, automated system, system maintenance
Abstract in the English language:	The dissertation presents the research on the possibilities of applying augmented reality technologies to different types of self-service automated systems. The research focuses on augmented reality technologies, camera position tracking, display of generated content, available development tools, ways of user interaction through augmented reality applications, and tasks of self-service automated systems and how these tasks can be improved by using existing mobile technologies, IoT (Internet of Things) technology as well as augmented reality technology. As a result of the research, a new model of automated self-service systems with augmented reality support was proposed. The proposed model is analyzed on a representative case of self-service systems. For research and verification of the model, research of the user's opinion related to the design and how communication with the user was performed. The proposed model enables the implementation of new ways of using self-service automated and easy integration into existing systems. The proposed model of augmented reality support for self-service automated systems is a general model and its great advantage is the universality and

² The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

56 – Statement on the authority,

5B – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5r – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

	<p>possibility of the application of new mobile technologies, Internet of Things technologies, as well as augmented reality technologies. It also has the property of flexibility because it can be applied to different types of self-service automated systems. The proposed new model enables the traceability of collected data on self-service automated systems. It is possible to implement various data processing algorithms to detect errors or potential problems in the work of the self-service automated system. The proposed model provides better insight into the data, not only to the persons in charge of supervision and maintenance but also to the users themselves who receive information in real-time and are presented in a different way, which aims for improving the quality of service provided.</p>
Accepted on Scientific Board on:	26.05.2022.
Defended: (Filled by the faculty service)	
Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)	<p>President: PhD Gordana Ostojić, full professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad Member: PhD Dragan Kukolj, full professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad Member: PhD Ivan Vulić, assistant professor, Military Academy, Belgrade Member: PhD Srđan Tegeltija, assistant professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad Mentor: PhD Stevan Stankovski, full professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad</p>
Note:	

REZIME

U disertaciji je predstavljeno istraživanje mogućnosti primene tehnologija proširene realnosti na različite vrste samouslužnih automatizovanih sistema. U fokusu istraživanja postavljen je su tehnologije proširene realnosti, praćenje položaja kamere, prikaz generisanog sadržaja, dostupni razvojni alati, načini interakcija korisnika putem aplikacije proširene realnosti, kao i zadaci samouslužnih automatizovanih sistema i kako se ovi zadaci mogu poboljšati primenom postojećih mobilnih tehnologija, IoT (engl. Internet of Things) tehnologija, kao i tehnologija proširene realnosti. Kao rezultat istraživanja, predložen je novi model samouslužnih automatizovanih sistema sa podrškom proširene realnosti. Predloženi model je analiziran na reprezentativnom slučaju samouslužnih automatizovanih sistema. Za potrebe istraživanja i verifikaciju modela izvršeno je istraživanje mišljenje korisnika vezano za dizajn i način na koji aplikacija komunicira sa korisnikom. Predloženi model omogućava implementaciju novih načina korišćenja samouslužnih automatizovanih sistema kao i laku integraciju u postojeće sisteme. Predloženi model podrške proširene realnosti samouslužnim automatizovanim sistemima je opšti model i njegova velika prednost je univerzalnost i otvorenost za primenu novih mobilnih tehnologija, tehnologija interneta stvari, kao i tehnologija proširene realnosti. Takođe ima svojstvo fleksibilnosti, jer se može primeniti na različite tipove samouslužnih automatizovanih sistema. Predloženi novi model omogućava sledljivost prikupljenih podataka o samouslužnim automatizovanim sistemima. Moguće je implementirati različite algoritme obrade podataka sa ciljem otkrivanja grešaka ili potencijalnih problema u radu. Predloženi model omogućava bolji uvid u podatke, ne samo licima zaduženim za nadzor i održavanje, već i samim korisnicima koji dobijaju informacije u realnim uslovima i prezentovane na drugačiji način, što omogućava unapređenje kvaliteta pružene usluge.

Ključne reči: Proširena realnost, automatizovani sistemi, održavanje sistema.

ABSTRACT

The dissertation presents the research on the possibilities of applying augmented reality technologies to different types of self-service automated systems. The research focuses on augmented reality technologies, camera position tracking, display of generated content, available development tools, ways of user interaction through augmented reality applications, and tasks of self-service automated systems and how these tasks can be improved by using existing mobile technologies, IoT (Internet of Things) technology as well as augmented reality technology. As a result of the research, a new model of automated self-service systems with augmented reality support was proposed. The proposed model is analyzed on a representative case of self-service systems. For research and verification of the model, research of the user's opinion related to the design and how communication with the user was performed. The proposed model enables the implementation of new ways of using self-service automated and easy integration into existing systems. The proposed model of augmented reality support for self-service automated systems is a general model and its great advantage is the universality and possibility of the application of new mobile technologies, Internet of Things technologies, as well as augmented reality technologies. It also has the property of flexibility because it can be applied to different types of self-service automated systems. The proposed new model enables the traceability of collected data on self-service automated systems. It is possible to implement various data processing algorithms to detect errors or potential problems in the work of the self-service automated system. The proposed model provides better insight into the data, not only to the persons in charge of supervision and maintenance but also to the users themselves who receive information in real-time and are presented in a different way, which aims for improving the quality of service provided.

Keywords: Augmented reality, automated system, system maintenance.

Lista slika

Slika 1. Prikaz kontinuuma stvarnosti i virtualnosti.....	4
Slika 2. Sensorama	6
Slika 3. Sutherlandov HMD uređaj.....	7
Slika 4. Gartnerov ciklus proširene realnosti	9
Slika 5. Postojeći markeri [38]	14
Slika 6. Praćenje prirodnih karakteristika objekata [42].....	15
Slika 7. Video-prozirni sistem: a) klasični sistem; b) virtuelno ogledalo; c) AR radni sto	18
Slika 8. Optičko prozirni sistem	20
Slika 9. Primer HMD uređaja	21
Slika 10. Predviđanje upotrebe proširene realnosti na pametnim telefonima [13]	22
Slika 11. Dodavanje ciljeva putem Target Manager-a	26
Slika 12. VR kontroleri	28
Slika 13. a) Olovku prati Vive Tracker; b) HTC Vive kontroler c) VR olovka.....	29
Slika 14. Hronološki prikaz istraživanja interakcije sa 3D objektima [92]	30
Slika 15. Magic Leap Controller	31
Slika 16. Veza kvaliteta usluge, zadovoljstva korisnika i njihove lojalnosti proizvođaču [105].....	33
Slika 17. Različiti tipovi samouslužnih automatizovanih sistema.....	34
Slika 18. Komponente tipičnog samouslužnog automatizovanog sistema	35
Slika 19. Upotreba proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema.....	43
Slika 20. Funkcionalnost samouslužnog automatizovanog sistema.....	44
Slika 21. Arhitektura samouslužnih automatizovanih sistemima sa proširenom realnošću.....	45
Slika 22. Detekcija pozicije korisnika upotrebom GPS prijemnika	47
Slika 23. AR model.....	49
Slika 24. Korisnički model proširene realnosti.....	50
Slika 25. Definisane pozicije virtuelnog sadržaja u odnosu na referentni koordinatni sistem:	51
Slika 26. Administratorski model proširene realnosti	52
Slika 27. Šematski prikaz centralizovanog sistema	53
Slika 28. Model podrške proširene realnosti samouslužnim automatizovanim sistemima.....	55
Slika 29. Razvojni put aplikacije proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema	57
Slika 30. Lokacijski raspored stanica za iznajmljivanje bicikala u okviru NS Bike sistema (slika preuzeta iz aplikacije NS bike).....	60
Slika 31. Izgled stanice za iznajmljivanje bicikala u okviru NS Bike sistema	61
Slika 32. Izgled upravljačkog automata na stanici za iznajmljivanje bicikala u okviru NS Bike sistema	61
Slika 33. Dijagram toka kod iznajmljivanja bicikla	63
Slika 34. Dijagram toka kod vraćanja iznajmljenog bicikla.....	64
Slika 35. Dijagram toka kod interakcije administratora sa upravljačkim automatom	65
Slika 36. Opcije koje su na raspolaganju administratoru.....	66
Slika 37. Pregled rada NS Bike sistema	67

Slika 38. Trend aktivnih i novih korisnika	67
Slika 39. Problemi u radu NS Bike sistema u 2020. godini.....	68
Slika 40. Problemi u radu NS Bike sistema u 2021. godini.....	68
Slika 41. Problemi u radu NS Bike sistema u 2022. godini.....	69
Slika 42. Odnos problema i radu i prijavljenih problema	70
Slika 43. Primer generisanja markera na osnovu slike.....	71
Slika 44. Postavljanje objekata u prostoru na osnovu pozicije markera	72
Slika 45. Prošireno praćenje pri čemu objekti ostaju vidljivi iako marker nije više vidljiv	72
Slika 46. Primer a) dobrog i b) lošeg markera.....	73
Slika 47. Uticaj refleksije na kvalitet prepoznavanja	73
Slika 48. Mogući markeri kod pokretnih objekata.....	74
Slika 49. Netačnost pozicioniranja virtuelnog sadržaja	75
Slika 50. Definisane prepoznavanje objekata na osnovu pojedinačnih slika	76
Slika 51. VuMark.....	76
Slika 52. Upotreba 3D modela za potrebe praćenja	77
Slika 53. Testiranje praćenja upotrebom 3D modela – pogled 1	78
Slika 54. Testiranje praćenja upotrebom 3D modela – pogled 2	78
Slika 55. Testiranje praćenja upotrebom 3D modela – pogled 3	79
Slika 56. Postupak 3D skeniranja objekta pomoću mobilnog uređaja	80
Slika 57. Rezultat 3D skeniranja pomoću aplikacije Polycam	81
Slika 58. Rezultat 3D skeniranja pomoću aplikacije KIRI engine.....	81
Slika 59. Testiranje praćenja upotrebom 3D skeniranja – Pogled 1	83
Slika 60. Testiranje praćenja upotrebom 3D skeniranja – Pogled 2.....	84
Slika 61. Testiranje praćenja upotrebom 3D skeniranja – Pogled 3.....	84
Slika 62. Aktiviranje virtuelnog dugmeta	88
Slika 62. Primer iznajmljivanja bicikla.....	89
Slika 63. Prijava problema putem aplikacije proširene realnosti.....	90
Slika 64. Prikaz službama održavanja prijavljenog problema.....	91
Slika 65. Primer uplate kredita.....	91
Slika 66. Korisnički meni službe održavanja	92
Slika 67. Primer podrške održavanju a) podrška na daljinu b) prikaz problema c) pružanje instrukcija	93
Slika 68. Rezultati ankete korisnika	97
Slika 69. Rezultati ankete administratora.....	97

Lista tabela

Tabela 1. Pregled razvojnih okruženja za proširenu realnost.....	47
Tabela 2. Povećanje NS Bike stanica po godinama	60
Tabela 3. Upitnik za evaluaciju samouslužnih automatizovanih sistema od strane korisnika.....	95
Tabela 4. Upitnik za evaluaciju samouslužnih automatizovanih sistema od strane administratora	96

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Predmet naučnog istraživanja	1
1.2. Cilj naučnog istraživanja.....	1
1.3. Očekivani rezultati naučnog istraživanja.....	2
1.4. Kratak sadržaj doktorske disertacije	2
2. Definisane osnovnih pojmova i analiza aktuelnih istraživanja i tehnologija	4
2.1. Proširena realnost	4
2.1.1. Istorijski osvrt	5
2.1.2. Tehnologije proširene realnosti	9
2.1.2.1. Načini praćenja položaja korisnika	10
2.1.2.2. Načini prikaza – kombinovanje stvarnog i virtuelnog sveta.....	16
2.1.2.3. Razvojni alati.....	22
2.1.2.4. Interakcija korisnika.....	27
2.2. Samouslužni automatizovani sistemi.....	31
2.3. Aktuelna istraživanja i nedostaci postojećih sistema.....	36
3. Sistem podrške samouslužnim automatizovanim sistemima	41
3.1. Model podrške proširene realnosti samouslužnim automatizovanim sistemima.....	44
3.2. Razvoj aplikacije proširene realnosti	56
4. Primena modela proširene realnosti	59
4.1. Samouslužni automatizovani sistemi za iznajmljivanje bicikala	59
4.2. Analiza mogućnosti primene proširene realnosti	70
4.3. Primena proširene realnosti.....	88
5. Analiza i evaluacija predloženog modela.....	94
5.1. Analiza aplikacije proširene realnosti za NS Bike sistem za iznajmljivanje bicikala	94
6. Zaključak i pravci daljeg istraživanja.....	100
7. Literatura.....	103

1. Uvod

1.1. Predmet naučnog istraživanja

Postoji veliki broj različitih samouslužnih automatizovanih sistema u zavisnosti koji vid usluge ili proizvoda pružaju. Svoju funkciju obavljaju samostalno uz neophodno održavanje u vidu dopune artikala i preventivnog i korektivnog održavanja. Razvojem i primenom novih tehnologija, današnji samouslužni automatizovani sistemi postaju pametni. Podaci sa samouslužnih automatizovanih sistema se putem IoT tehnologija prikupljaju radi njihove obrade u cilju poboljšanja usluge. Prilikom razvoja samouslužnog automatizovanog sistema neophodno je voditi računa da njihovo korišćenje bude intuitivno i jednostavno sa stanovišta korisnika. Bitne korisničke informacije moraju biti jasno istaknute. Podrška proširene realnosti za samouslužne automatizovane sisteme proizilazi iz potrebe za efikasnijim preventivnim i korektivnim održavanjem. U cilju što boljeg održavanja samouslužnih automatizovanih sistema pravovremene informacije, uz odgovarajuće vizuelne instrukcije tehničarima održavanja, omogućavaju jednoznačno i brzo obavljanje operacija rada. Time se smanjuje vreme potrebno za održavanje, a samim tim i troškovi održavanja. Sa stanovišta korisnika samouslužnih automatizovanih sistema proširena realnost pruža nov način korišćenja istih u cilju poboljšanja kvaliteta usluge i zadovoljstva korisnika. Upotrebom pametnih mobilnih telefona svi korisnici samouslužnog automatizovanog sistema mogu da dobiju specifične virtuelne informacije kako bi im pomogle u svakodnevnim operacijama bilo da je reč o potrošačima ili službama održavanja.

1.2. Cilj naučnog istraživanja

Disertacija ima za cilj da prikaže predlog primene proširene realnosti kao podrška samouslužnim automatizovanim sistemima. Glavni cilj je analiza mogućnosti primene tehnologija proširenih realnosti na različite tipove samouslužnih automatizovanih sistema. Rezultat disertacije je predlog modela za uvođenje tehnologija proširene realnosti kod samouslužnih automatizovanih sistema. Predložen model će biti testiran na reprezentativnom slučaju uz uporednu analizu sa tradicionalnim aplikacijama kroz analizu korisničkog iskustva. Cilj disertacije se bazira na sledećim hipotezama:

H1. Predloženi model podrške proširene realnosti omogućava novi način interakcije korisnika samouslužnih automatizovanih sistema.

H2. Predloženi model podrške proširene realnosti omogućava novi način podrške održavanju samouslužnih automatizovanih sistema.

1.3. Očekivani rezultati naučnog istraživanja

Očekivani rezultat naučnog istraživanja ima za cilj da pokaže upotrebljivost aplikacija proširene realnosti na samouslužne automatizovane sisteme, njegove prednosti i mane u odnosu na klasične aplikacije. Predložen model i rezultati istraživanja se mogu koristiti radi daljeg unapređenja aplikacija proširene realnosti i primenu u industrijskim automatizovanim sistemima.

1.4. Kratak sadržaj doktorske disertacije

U prvom poglavlju dat je pregled aktuelnog stanja u oblasti, uvid u tematiku disertacije, problematiku i cilj istraživanja. Definisane su hipoteze disertacije, date metodologije istraživanja kao i očekivani rezultati.

U drugom poglavlju su data osnovna teorijska razmatranja sa aktuelnim stanjem u oblasti istraživanja. Akcenat je stavljen na pregled tehnologija proširene realnosti i njihove primene, kao i probleme vezane za nadzor i održavanje samouslužnih automatizovanih sistema. Obrazloženo je koje tehnologije proširene realnosti su pogodne za primenu u samouslužnim automatizovanim sistemima, njihove prednosti i mane.

U trećem poglavlju je prikazan predlog modela za uvođenje tehnologija proširene realnosti kod samouslužnih automatizovanih sistema. Model obuhvata predlog uvođenja tehnologije proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema sa stanovišta korisnika, instalacija novih uređaja, održavanja i nadzora postojeće opreme.

U četvrtom poglavlju je dat opis eksperimenata. Izvršena je primena predloženog modela na samouslužnom automatizovanom sistemima. Analizirane su mogućnosti implementacije i primene predloženog modela.

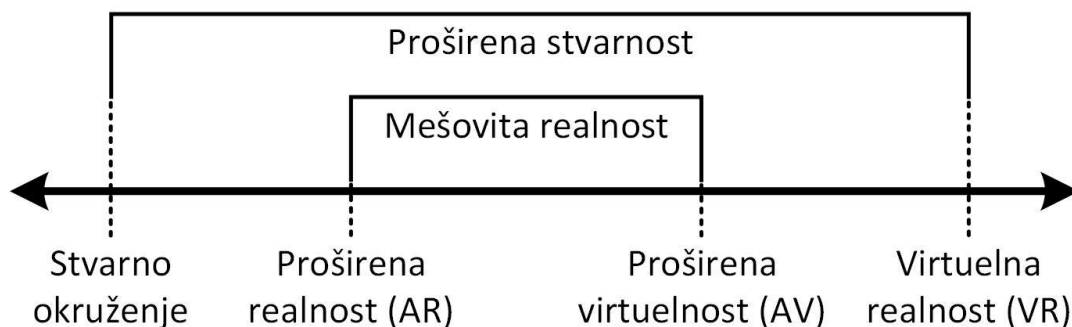
U petom poglavlju izvršena je detaljna analiza dobijenih rezultata istraživanja i diskusija koja prati postavljene hipoteze istraživanja. Izvršena je evaluacija upotrebe proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema i proveren uticaj primene proširene realnosti na povećavanje efikasnosti prilikom dijagnostike i otklanjanje problema. Prikazani su rezultati anketiranja korisnika sprovedenog sa ciljem da se dobije kritičko mišljenje korisnika o načinu prikaza virtuelnog sadržaja i interakcije sa njim.

U šestom poglavlju su izvedeni zaključci doktorske disertacije, sa posebnim naglaskom na doprinose disertacije, uz naznačene pravce daljeg istraživanja. Date su preporuke za primenu dobijenih rezultata u praksi, odnosno predlozi za realizaciju predloženog modela za uvođenje tehnologija proširene realnosti kod samouslužnih automatizovanih sistema, sa navedenim mogućnostima i ograničenjima postavljenog modela.

2. Definisavanje osnovnih pojmova i analiza aktuelnih istraživanja i tehnologija

2.1. Proširena realnost

Proširena stvarnost (engl. Extended Reality, skr. XR) postaje deo naše svakodnevnice i menja način na koji komuniciramo sa okolinom. XR predstavlja računarsko generisano okruženje prošireno podacima i objektima sa kojima korisnik može vršiti interakciju. Računarski generisan sadržaj može biti u obliku slika, audio i video zapisa, 3D modela i slično. Korisnik postaje deo virtuelnog sveta u kojem je u mogućnosti da manipuliše raznim objektima i obavlja različite akcije. Postoji više nivoa proširene stvarnosti na osnovu količine realnosti ili virtualnosti koje omogućuju, [1]. Termin proširene stvarnosti (XR) koristi se da objedini sve vidove stvarnosti u kontinuumu stvarnosti i virtualnosti. Kontinuum virtualnosti i stvarnosti, prikazan na slici 1, je skala koja se koristi za merenje količine realnosti ili virtualnosti tehnologije. Na jednom kraju je potpuno virtuelno okruženje (svi elementi su računarski generisani), a na drugom kraju je potpuno realno okruženje. Između dve krajnosti nalazi se mešovita realnost koja predstavlja kombinaciju realnog i virtuelnog okruženja u određenom odnosu. XR obuhvata čitav spektar ove skale, od kraja do kraja.



Slika 1. Prikaz kontinuuma stvarnosti i virtualnosti

Virtuelna realnost (engl. Virtual Reality, skr. VR) je tipično zatvoreni virtuelni svet bez dodira sa stvarnošću. VR predstavlja skup tehnologija koje, sa jedne strane prate položaj i radnje učesnika, dok sa druge strane pružaju sintetičke povratne informacije jednom ili više čula, sa ciljem da pruže iluziju alternativne stvarnosti [2].

Korisnici mogu doživjeti nova iskustva ili posetiti mesta koja ne postoje u stvarnom svetu.

Proširena realnost (engl. Augmented Reality, skr. AR) predstavlja prikaz stvarnog sveta u koji se ubacuju virtuelni elementi. AR je interaktivno iskustvo okruženja iz stvarnog sveta koje je poboljšano i prošireno računarski generisanim podacima. Sa druge strane, AR se može i definisati kao sistem koji ispunjava tri osnovne karakteristike:

- kombinaciju stvarnog i virtuelnog sveta,
- interakciju u realnom vremenu i
- tačnu 3D registraciju virtuelnih i stvarnih objekata [3] [4].

Kod proširene virtualnosti (engl. Augmented Virtuality, skr. AV) virtuelni svet dominira, ali se pojavljuju i stvarni objekti iz okruženja.

2.1.1. Istorijski osvrt

Tehnologije virtualne i proširene realnosti nisu nove ali tek od skoro, razvojem tehnologija, postaju pristupačne širem dijapazonu korisnika i dobijaju na značaju. Prvi pokušaj stvaranja virtuelne realnosti datira još iz 1838. godine istraživanjem Charles Wheatstone-a zajedno sa stvaranjem prvih uređaja za gledanje stereoskopskih slika [5]. Wheatstone je pokazao da mozak procesira dve različite dvodimenzionalne slike dobijene od svakog oka objedinjujući ih u jedan trodimenzionalni predmet. Upravo pregled dve stereoskopske slike kroz stereoskop davao je korisniku osećaj dubine i udaljenosti. 1939. godine pažnju je privukao stereoskopski uređaj View-Master koji se najčešće koristio za pregled turističkih atrakcija. Ovaj uređaj danas predstavlja jedan od osnovnih koncepata za kreiranje nisko budžetnih VR HMD uređaja (engl. head-mounted display) kao što je popularni Google Cardboard [6] [7] [8] [9].

Začecima virtuelne realnosti smatraju se izumi Heiling-a 1950-tih godina. 1957. godine Morton Heilig je napravio uređaj Sensorama, prikazan na slici 2, za potrebe filmske industrije. Sensorama je kabina za gledanje filmova i omogućavala je sinhronizovano gledanje stereoskopskih slika, uz dodatak stimulacije drugih čula poput zvuka, njuha i haptičkih nadražaja, uključujući i vetar koji pruža realistično iskustvo. Heiling je simulirao iskustvo motocikla koji prolazi kroz Bruklin, koje iako inovativno, nije sadržalo računarski generisanu grafiku [7] [8]. Njegov sledeći izum,

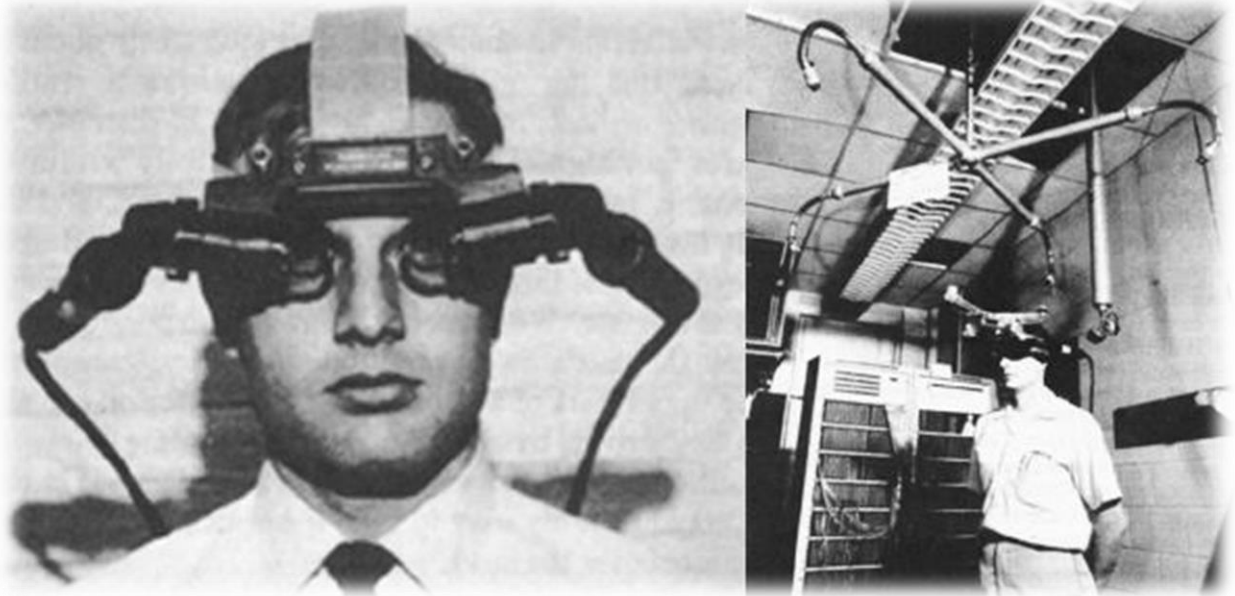
1960. godine, Telesphere Mask je bio prvi primer HMD uređaja. Uređaj je prikazivao audiovizuelni filmski sadržaj bez praćenja kretanja korisnika. Otprilike u isto vreme, 1961. godine, inženjeri Comeau & Bryan razvili su HMD uređaj sa mogućnošću praćenja kretanja korisnika. Namena ovog uređaja bila je udaljeno posmatranje opasnih situacija. Za svako oko projektovana je zasebna slika dok se pomoću magnetnih senzora omogućavalo praćenje pozicije korisnika. Iako ovo nije bila virtuelna realnost, zbog nedostatka računarski generisanog sadržaja, istraživanja su pokazala da se virtuelna realnost može koristiti i za druge oblasti osim zabave.



Slika 2. Sensorama

Prvi koncept modernog HMD uređaja koji je privukao pažnju jeste rad Ivana Sutherland-a "Ultimate Display" objavljenog 1965. godine. U radu je predstavljen koncept korišćenja računara za stvaranje sveta u kome korisnik može da se kreće i dolazi u dodir sa stvarima kao u stvarnom svetu. Ivan Sutherland je 1968. godine konstruisao prvi HMD uređaj prikazan na slici 3, koji je koristio računar za kreiranje objekata u realnom vremenu. Korisnici su mogli da vide računarski generisane slike izmešane sa stvarnim objektima. Uređaj je omogućavao praćenje pozicije korisnika i

mogao je da prikaže žičani model okruženja. Sutherlandov HMD je prvi virtuelni sistem ikada napravljen i smatra se začetkom proširene realnosti.



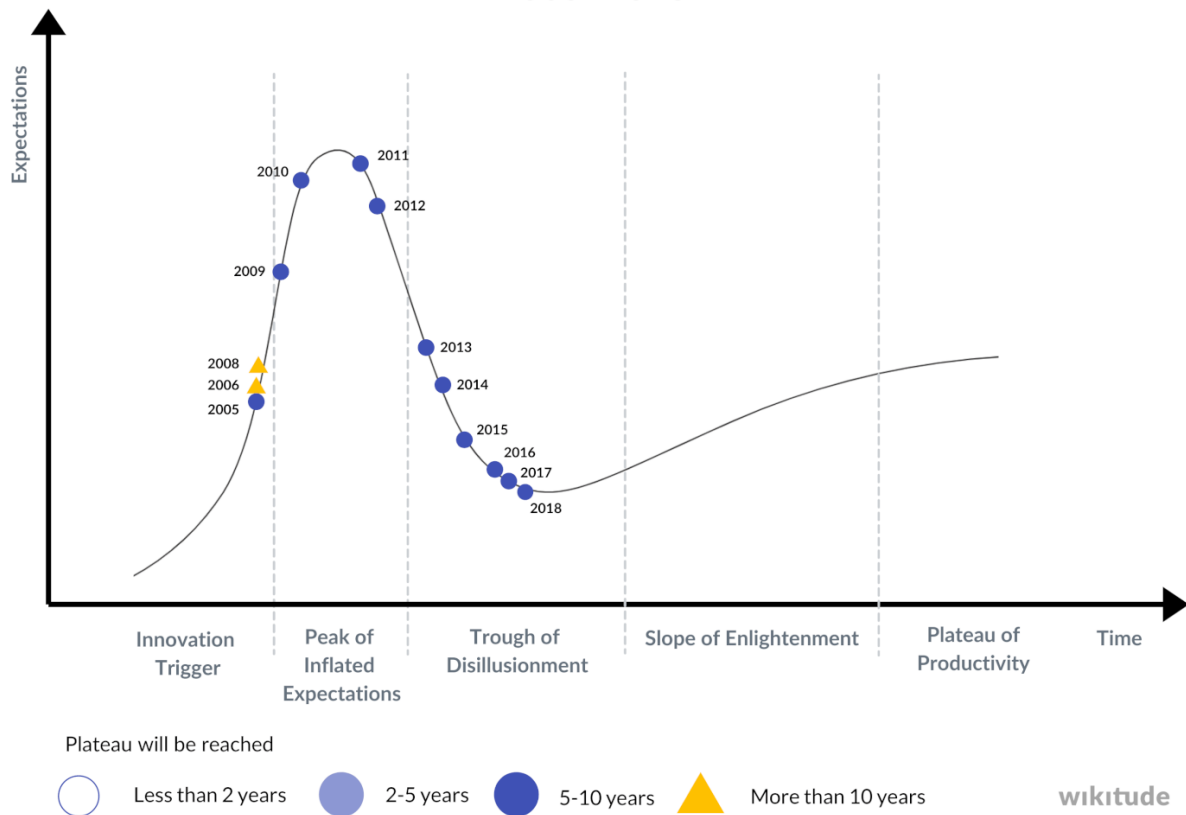
Slika 3. Sutherlandov HMD uređaj

70-ih godina Univerzitet Severne Karoline realizovao je GROPE, prvi sistem sa povratnom spregom sile koji se u početku fokusirao na razvoj sistema za podršku naučnoj vizuelizaciji u oblasti molekuskog modelovanja [10] [11]. Kasnije, 1975. godine Miron Krueger stvara Videoplance, sobu koja korisnicima omogućava da prvi put stupe u interakciju sa virtuelnim objektima [12]. Razvio je računarski generisana okruženja koja su reagovala na ljude u njemu i omogućavala im da komuniciraju međusobno iako su fizički udaljeni. Videoplance se smatra prvim interaktivnim VR sistemom. 1982. godine, američko ratno vazduhoplovstvo stvorilo je prvi simulator leta u kojem je pilot kroz HMD mogao da kontroliše put i ciljeve. 1985. godine kompanija VPL komercijalizovala je DataGlove, rukavice opremljene sensorima sposobnim da mere savijanje prstiju, orijentaciju i položaj kao i da identifikuju pokrete rukama. 1988. godine kompanija je razvila prvi komercijalni HMD uređaj [13]. U ovom periodu Jaron Lanier, osnivač laboratorije za vizuelno programiranje (VPL), je definisao termin „virtuelna realnost“. VPL je bila prva kompanija koja je prodavala HMD uređaje i rukavice za VR. Početkom 90-ih, korporacija Boing kreirala je prvi prototip AR sistema za prikazivanje zaposlenima kako je postavljen alat za ožičenje [3] [6] [13]. Istraživač Boing kompanije, Thomas Caudell, prvi put definiše termin proširena realnost. Istovremeno, Louis Rosenberg razvio je jedan od prvih poznatih

AR sistema, pod nazivom Virtual Fixtures, dok je radio u kompaniji Armstrong Labs američkih vazduhoplovnih snaga 1991. godine. Takođe, objavio je jednu od prvih studija o tome kako AR sistem može poboljšati ljudske performanse [14]. Steven Feiner, 1993. godine, objavljuje rad o upotrebi proširene realnosti prilikom održavanja sistema. Ronald Azuma 1997. godine sprovodi prvo istraživanje vezano za AR pružajući široko priznatu definiciju AR-a identifikujući ga kao kombinaciju realnog i virtuelnog okruženja. Iste godine, Feiner i saradnici razvili su prvi mobilni AR sistem (MARS, engl. Mobile Augmented Reality Systems) koji je bio u stanju da dodaje virtuelne informacije o turističkim atrakcijama [15].

Razvojem tehnologija virtuelna i proširena realnost doživele su ekspanziju. Predstavljene su kao jedne od tehnologija koje najviše obećavaju i koje će promeniti način na koji ljudi percipiraju okolinu. Svake godine Gartnerova grupa daje grafikon predviđajući gde su određene tehnologije na putu ka usvajanju na masovnom tržištu i koliko je vremena potrebno pre nego što budu široko prihvaćene [16]. Gartnerov ciklus (engl. Gartner Hype Cycle) pruža grafičku analizu zrelosti i usvajanja promovisanih novih tehnologija za određeni vremenski period koji obično obuhvata par godina pre i do deset godina nakon datuma kada se izveštaj objavljuje. Gartner definiše faze novih tehnologija koje se pojavljuju. Nakon pojavljivanja novih tehnologija, interesovanje kao i očekivanja za njih vrtoglavo rastu. Očekivanja kod novih tehnologija u razvoju uvek prevazilaze trenutne mogućnosti. Nakon vrhunca iščekivanih tehnologija dolazi do pada zainteresovanosti i tehnologija prelazi u fazu razočaranja. U ovoj fazi procenjuju se stvarne mogućnosti tehnologije i istražuju dalje njene mogućnosti u različitim oblastima. Ovo je kritična faza za nove tehnologije. Nakon dostizanja najniže tačke od tehnologije se ili odustaje ili nastavlja u fazu produktivnosti i eksploatacije. Kao što prikazuje slika 4, između 2010. i 2011. godine AR je dostigla svoj vrhunac iščekivanja, a trenutno je veoma blizu najniže tačke u fazi razočaranja.

Augmented Reality Evolution - Gartner Hype Cycle 2005 -2018



Slika 4. Gartnerov ciklus proširene realnosti

Gartnerova grupa predviđa da će biti potrebno samo 5 do 10 godina da AR dostigne fazu produktivnosti, gde se ostvaruje istinska vrednost tehnologije i njena eksploatacija. Ove godine, sa Gartnerovog ciklusa, AR tehnologija je uklonjena sa obrazloženjem da je dovoljno sazrela.

2.1.2. Tehnologije proširene realnosti

Kao što je ranije pomenuto, upotrebom proširene realnosti korisnik percipira stvarni svet sa dodatkom virtuelnih podataka. Za razvoj aplikacija proširene realnosti neophodno je:

- Praćenje položaja kamere;

Da bi se virtuelni sadržaj registrovao u stvarnom svetu neophodno je odrediti položaj i orijentaciju kamere u odnosu na referentni koordinatni sistem stvarnog sveta.

- Prikaz – kombinovanje stvarnog i virtuelnog sveta;

Kombinovanje stvarnog i virtuelnog sveta zahteva konstantno praćenje, kalibraciju, registraciju kamere.

- Razvojni alati;

Odgovarajući aplikativni softver neophodan za integraciju hardverskih komponenti i ostvarivanje funkcije sistema proširene realnosti.

- Interakcija korisnika;

U zavisnosti od funkcije sistema proširene realnosti koju treba da zadovolji, neophodno je omogućiti korisniku interakciju sa virtuelnim svetom.

2.1.2.1. Načini praćenja položaja korisnika

Da bi bilo moguće pozicioniranje i registrovanje računarski generisanog sadržaja u stvarnom svetu, neophodno je tačno određivanje pozicije i orijentacije AR uređaja u odnosu na referentni koordinatni sistem postavljen u stvarnom svetu. Postupak prikazivanja kompjuterski generisanog sadržaja odvija se u dve faze:

1. faza registracije, koja određuje pozu gledaoca u odnosu na referentni koordinatni sistem iz stvarnog sveta i
2. faza praćenja, koja ažurira pozu gledaoca u odnosu na prethodno poznatu pozu.

Prema [17], [18], [19] i [20], na osnovu upotrebljenih tehnologija za pozicioniranje, proširena realnost se može klasifikovati na:

- Sisteme zasnovane na sensorima;
- Sisteme zasnovane na upotrebi mašinske vizije i
- Hibridne sisteme.

Sistemi zasnovani na sensorima koriste podatke dobijene od različitih senzora za određivanje položaja i orijentacije uređaja. Na osnovu tipa senzora koji se koristi mogu se klasifikovati na:

- Akustične,
- Magnetne,
- Optičke,

- Inercijalne.

Akustični senzori koriste zvučne talase za detekciju objekta koji se prati. Prijemnici se postavljaju na referentne tačke u stvarnom svetu. Predajnik generiše impuls u definisanim vremenskim intervalima [21]. U zavisnosti od vremena neophodnog da zvučni talas pristigne do svakog prijemnika moguće je izračunati poziciju predajnika. Nedostatak akustičnih senzora predstavlja ograničena brzina ažuriranja pozicije kao i tačnost.

Magnetni senzori baziraju se na upotrebi predajnika koji generiše naizmenična magnetna polja koja detektuje jedan ili više prijemnika. Predajnik ujedno predstavlja i referentnu tačku u stvarnom svetu. Merenjem polarizacije i orijentacije magnetnog polja, pozicija AR kamere se može izračunati velikom brzinom. Magnetni senzori imaju veliku brzinu ažuriranja pozicije i invarijantnost na prepreke i optičke smetnje, ali i ograničenu primenu pre svega jer snaga magnetnih polja opada brzo sa rastojanjem. Takođe, osetljivi su na magnetne materijale i elektromagnetna polja u okruženju. Ograničenje u primeni predstavlja i potreba za dodavanjem predajnika u stvarnom okruženju. Najjednostavniji primer upotrebe magnetnog senzora je upotreba digitalnog kompasa za određivanje jednog stepena slobode. Savremeni pametni telefoni poseduju ugrađen magnetometar koji meri magnetno polje u okviru pametnog telefona. Na ovaj način može se utvrditi u kom smeru, u odnosu na stranu sveta, je usmeren pametan telefon. Ovo može biti korisno u aplikacijama proširene realnosti za upotrebu na otvorenom prostoru [22] [23]. Svoju primenu magnetni senzori pronalaze i u praćenju pozicije i orijentacije ruku korisnika u različitim aplikacijama, pre svega u proizvodnji, održavanju i medicini [24] [25] [26] [27]. U [28] predstavljen je elektromagnetni 3D sistem povratne sprege koji je sposoban da detektuje, putem Halovih senzora, pasivni alat koji sadrži samo trajni magnet. Praćenje položaja i orijentacije objekta u koordinatnom sistemu bazira se na elektromagnetnom praćenju naizmenične struje. Predajnik emituje elektromagnetno polje dok se više malih senzora pričvršćuje ili ugrađuje u objekat. Komercijalni primer upotrebe elektromagnetnih senzora su uređaji kompanije Polhemus koja je svoju tehnologiju predstavila 1969. godine [29].

Praćenje zasnovano na korišćenju mašinske vizije ima za cilj određivanje pozicije kamere koristeći podatke zabeležene optičkim sensorima. Praćenje proširene realnosti zasnovano na mašinskoj viziji postalo je u poslednje vreme sve

popularnije pre svega zbog napretka mobilnih tehnologija. Pametni telefoni i tableti su relativno malih dimenzija sa ugrađenim velikim brojem funkcionalnosti kao što su brzi procesori, relativno veliki ekrani, kamere i razni senzorski moduli, što je dovelo do ekspanzije u razvoju koncepta proširene realnosti. Praćenje putem optičkih senzora može se podeliti u tri glavne kategorije:

- infracrveni senzori,
- senzori vidljive svetlosti,
- senzori 3D strukture.

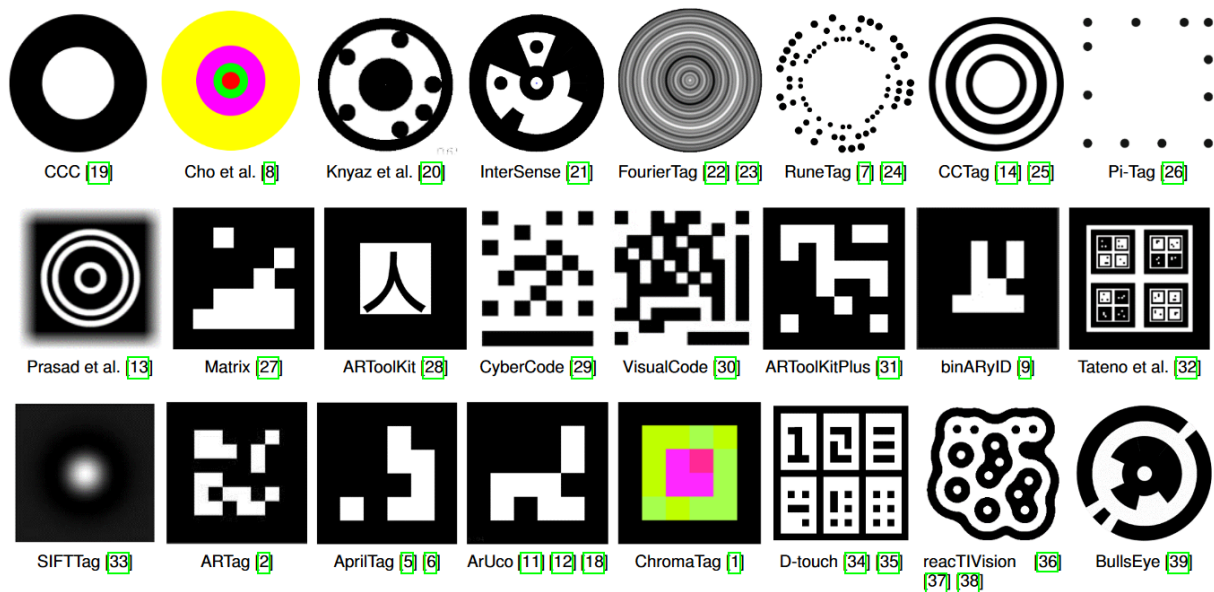
Infracrveno praćenje predstavlja jednu od najranijih tehnika praćenja. Kao referentne tačke u stvarnom svetu koristili su se objekti koji su emitovali ili odbijali svetlost, što je olakšavalo otkrivanje usled njihove velike osvetljenosti u odnosu na okolno okruženje. Sistemi koji su emitovali svetlost bili su robusni na negativne efekte osvetljenja, poput lošeg osvetljenja okoline ili oštrih senki. Infracrveni senzori koriste infracrvene zrake za detekciju predmeta u okruženju i izvora toplote. Princip merenja udaljenosti do objekta se zasniva na merenju upadnog ugla reflektovanog infracrvenog zraka. Postoje dva načina rada u zavisnosti od konfiguracija senzora i kamere. U prvom slučaju infracrveni predajnici su pričvršćeni za objekat koji se prati fiksnom kamerom dok u drugom slučaju, predajnici su postavljeni na fiksnim pozicijama u okruženju dok je kamera montirana na objekat [13]. Ograničenje primene infracrvenih senzora u pojedinim aplikacijama predstavlja potreba da se referentne tačke postavljaju unutar okruženja i/ili dodatna oprema koju korisnici moraju da nose. Infracrveni senzori pronalaze primene u brojnim aplikacijama pre svega u obukama, industriji i medicini [30] [31] [32]. Brojna istraživanja obavljena su radi detekcije gestikulacije ruke korisnika kao i za samo praćenje ruke korisnika [33] [34] [35]. Drugi vid primene imaju infracrvene kamere koje mogu detektovati temperaturni opseg okruženja. Na taj način podešavanjem opsega temperature na približnu temperaturu ljudskog tela, delovi slike koji odgovaraju ljudskoj koži budu jasno uočljiviji od ostatka slike čime olakšavaju detekciju gestikulacije ruke korisnika [36].

Senzori vidljive svetlosti su najčešći tip optičkih senzora. Prema [18] ovo je najaktivnije područje istraživanja praćenja sa preko 80% dosadašnjih radova. Tehnike koje koriste praćenje vidljive svetlosti mogu se podeliti na:

- fiducijalno praćenje,

- praćenje prirodnih karakteristika i
- praćenje zasnovano na 3D modelu.

Fiducijalno praćenje podrazumeva dodavanje veštačkih orijentira u stvarno okruženje kao pomoć pri registraciji i praćenju pozicije korisnika. Rani sistemi koristili su male obojene LED diode ili papiriće. Dodati objekti detektovali su se pomoću podudaranja boja. Za izračunavanje pozicije korisnika neophodno je detektovanje najmanje četiri tačke poznatog položaja. Da bi u prostoru to bilo moguće, bilo je neophodno pažljivo planiranje postavljanja referentnih objekata, da bi u svakom trenutku posmatranja bile vidljive četiri tačke. Pored vremena planiranja i postavljanja referentnih objekata, nedostaci su bili i lažna očitavanja objekata iz okruženja sa sličnim karakteristikama kao i referentne tačke. Kao jednostavnija alternativa koja je ispunjavala zahtev od četiri tačke bila je upotreba markera sa četvorougrom. Svaki ugao predstavljao je jednu referentnu tačku. Zbog svoje jednostavnosti marker sa četvorougrom je postao veoma popularan. 1999. godine Kato i Billingham razvili su ARToolkit razvojno okruženje zasnovano na ovom principu. Iako veoma popularan, ARToolkit imao je niz nedostataka. Čak i najmanja okluzija ivice četvorougla dovodila je do neuspeha registracije. Podudaranje ivica bilo je sklono uzrokovanju lažno pozitivnih podudaranja kako na stvarnim markerima, tako i na objektima koji nisu markeri. Kao naslednik ARToolkit-a, sa namerom da otkloni ograničenja postojećeg sistema, 2005. godine razvijen je ARTag koji umesto algoritma za podudaranje linija koristi heuristički algoritam pretraživanja, koji je omogućavao prekide u kontinuitetu linija koje definišu ivice markera [37]. Pored poboljšanja otpornosti na okluziju, ovaj algoritam je takođe poboljšao otkrivanje markera u prisustvu slabog osvetljenja, senki i refleksije. Istraživanja različitih markera i algoritama detekcije dovelo je do razvoja velikog broja markera [38], kao što je prikazano na slici 5.



Slika 5. Postojeći markeri [38]

Neki od glavnih kriterijuma, prema [39] [40] [41], za ocenjivanje kvaliteta sistema fiducijalnih markera koji se postavljaju u okruženje su:

- lažno pozitivna stopa: koliko često je lažno detektovan marker,
- lažno negativna stopa: koliko često marker nije detektovan,
- stopa pogrešno prepoznatih markera: koliko često se jedan marker zamenjuje sa drugim,
- otpornost na osvetljenje: performanse pod jakim nekontrolisanim osvetljenjem
- otpornost na okluziju: mora li marker biti potpuno vidljiv za otkrivanje
- vidljivost pod različitim uglovima
- veličina biblioteke: sa koliko jedinstvenih markera se može rukovati
- minimalna i maksimalna veličina slike, odnosno opseg udaljenosti za otkrivanje
- brzina detekcije.

Sistem zasnovan na fuicidalnim markerima mora samo da prepozna marker, a ne da obrađuje celu primljenu sliku. Područja primene ovih markera uključuje različite oblasti kao što su: obuka, održavanje, zabava i mnoge druge.

Drugi vid praćenja koristi prirodne karakteristike objekta za izračunavanje njegovog položaja i orijentacije i na taj način ga čini fleksibilnijim. Ovo je posebno pogodno, jer ne zahteva dodavanje dodatnih objekata u okruženje. Kod praćenja bez

upotrebe markera, odnosno praćenje prirodnih karakteristika predmeta, problem prepoznavanja može biti otežan zbog oblika predmeta, njegove teksture, a veliki uticaj na prepoznavanje ima osvetljenje predmeta i njegova refleksija. Iako je praćenje bez markera lakše za korisnika, pristup zasnovan na markerima trenutno je popularniji jer ga je lakše implementirati. Praćenje bez markera smatra se poželjnim pristupom za sisteme proširene realnosti. Ovaj vid praćenja je pretrpeo značajna poboljšanja poslednjih godina, kao što su: metode zasnovane na tačkama, metode zasnovane na ivicama, metode zasnovane na modelu i metode simultane lokalizacije i mapiranja (SLAM) [42]. Veliki broj istraživanja usmeren je u ovom pravcu kao što su upotreba u automobilskoj industriji [43], montaži [42], obuci i mnoge druge. Problem u određenim aplikacijama jeste potreba da objekat koji se prati bude vidljiv putem kamere. Razvojem tehnologija i upotrebom više kamera, između ostalog i dubinskih kamera, praćenje na osnovu prirodnih karakteristika sve više dobija na značaju.



Slika 6. Praćenje prirodnih karakteristika objekata [42]

Praćenje zasnovano na 3D modelu nije popularno kao praćenje upotrebom markera ili prepoznavanjem prirodnih karakteristika. Pomoću 3D modela moguće je generisati ivice objekta koji je potrebno detektovati. Ovako dobijene ivice u kombinaciji sa praćenjem prirodnih karakteristika predmeta pružaju dodatnu robusnost [44] [45] [46]. Ovo može biti primenjeno u različitim aplikacijama kontrole kvaliteta, inspekciji, proizvodnji i drugim. Istraživanja su dovela do razvoja SLAM (simultana lokalizacija i izrada mapa) tehnike koja u realnom vremenu kreira i ažurira mapu stvarnog okruženja dok istovremeno lokalizuje svoj položaj u njemu [13].

Inercijalna merna jedinica (IMU) široko je primenjena za praćenje kretanja objekta. IMU koristi senzore kao što su: akcelerometri, žiroskopi i magnetometri za merenje ubrzanja, ugaone brzine i orijentacije objekta. Veoma su kompaktni i jeftini i veoma često uključeni u današnje pametne uređaje, kao što su pametni telefoni, satovi, dronovi, VR kontroleri i HMD uređaji [47] [48] [49]. Omogućavaju merenje tri

rotaciona stepena slobode (orijentacije), a promena položaja kamere može se odrediti pomoću inercijalne brzine i vremenskog perioda između ažuriranja podataka. Prednost inercijalnih senzora je nepostojanje ograničenja dometa, potrebe za vizuelnom vidljivošću predmeta i velika brzina uzorkovanja (do 1000 Hz) [50]. Takođe nisu osetljivi na optičke, magnetne, akustične i druge smetnje. Sa druge strane mana im je gubitak tačne pozicije i rotacije tokom vremena.

Praćenje položaja korisnika u spoljašnjem okruženje koristi GPS (engl. Global Positioning System) tehnologije. Trenutna prosečna tačnost pozicioniranja korišćenjem GPS tehnologija na pametnim telefonima je oko 5 metara [51]. Na ovaj način moguće je prezentovati sadržaj proširene realnosti u zavisnosti od lokacije korisnika [52] [53] [54].

Najčešći način praćenja objekta je hibridni pristup. Hibridni pristup integriše prednosti metoda njihovim kombinovanjem, to jest upotrebom dva ili više načina praćenja predmeta. Hibridnim pristupom tačnost prepoznavanja i praćenja predmeta je poboljšana. Mobilni uređaji poput pametnih telefona i tableta predstavljaju primer mogućnosti hibridnog praćenja. Mnogi mobilni uređaji poseduju kamere, akcelerometre i žiroskope koji se mogu kombinovati da bi pružili vrlo preciznu procenu pozicije za upotrebu proširene realnosti, kako za unutrašnje tako i za spoljašnje praćenje.

2.1.2.2. Načini prikaza – kombinovanje stvarnog i virtuelnog sveta

Iskustvo proširene realnosti moguće je prezentovati na više načina i na različitom broju uređaja. U zavisnosti od namene i funkcije iskustva proširene realnosti neophodno je posebnu pažnju posvetiti izboru uređaja za prikaz. Kombinovanje slika stvarnih i virtuelnih scena zahteva brojne postupke, uključujući kalibraciju kamere, registraciju, praćenje i kompoziciju [55] [56] [57]. Korisnik treba da percipira da virtuelni objekti koegzistiraju u stvarnosti. Kalibracija kamere je postupak određivanja geometrijskih i optičkih karakteristika kamere (unutrašnji parametri) i položaj i orijentaciju kamere u odnosu na referentni koordinatni sistemi stvarnog okruženja (spoljni parametri). Određivanje unutrašnjih i spoljnih parametara neophodno je da bi se kompjuterski generisana slika ispravno poravnala sa stvarnim pogledom na stvarni svet. Tehnologije praćenja omogućavaju detekciju položaja i

orijentaciju kamere ili drugih fizičkih objekata od interesa u odnosu na poznati referentni koordinatni sistem. Proces registracije ima za cilj da uspostavi geometrijski odnos između slika, kako bi mogle da se uporede, analiziraju i transformišu unutar zajedničkog referentnog okvira. Kada se virtuelna kamera kalibriše i virtualni prostor registruje (ili pravilno poravnava) sa fizičkim prostorom, prikazivanje virtuelnih objekata na osnovu ažuriranja praćenja generiše slike virtuelne scene koje se podudaraju sa pogledom na stvarni svet korisnika.

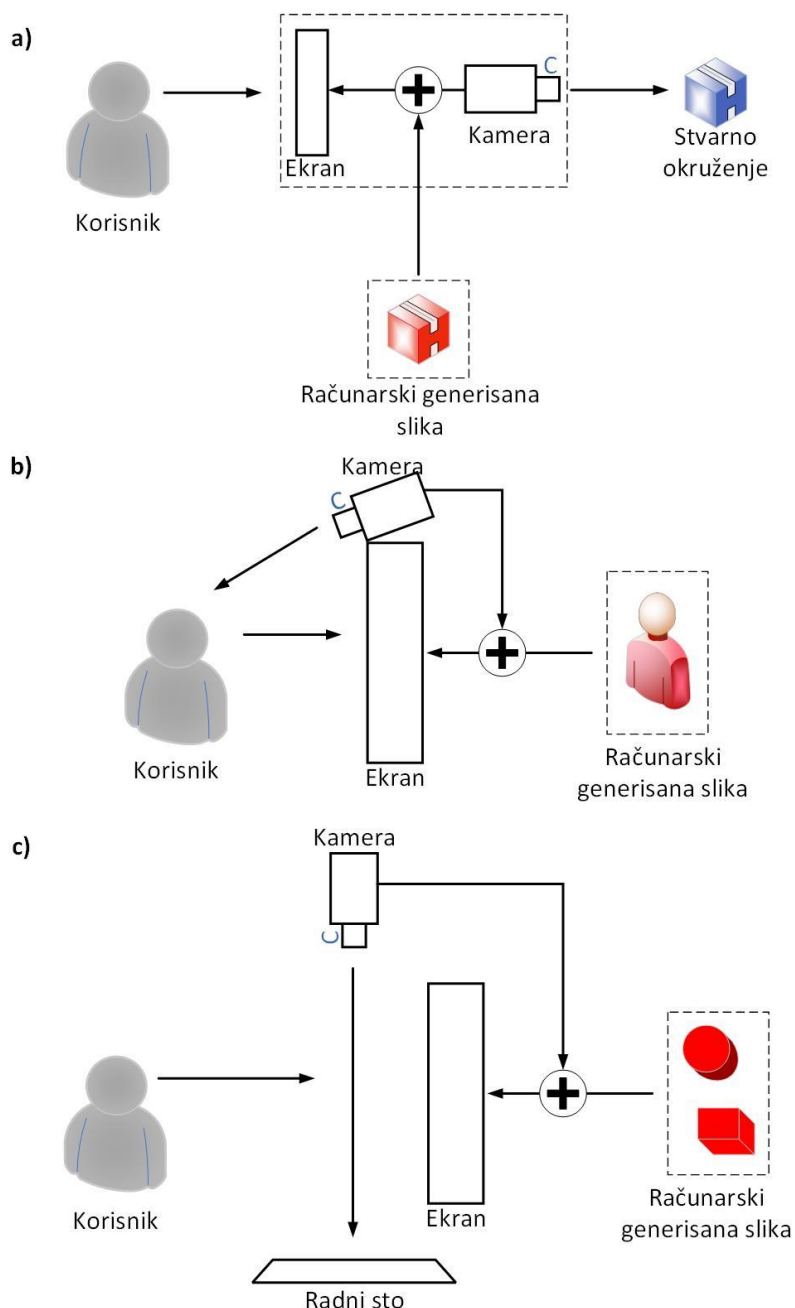
AR ekrani za superponirane kompjuterske grafike i prikaz stvarnog sveta se mogu svrstati u tri vrste konfiguracije [13] [58] [59], u zavisnosti od toga kako kombinuju sliku virtuelnog pogleda sa stvarnim pogledom na svet:

- video-prozirne,
- optičko-prozirne i
- projektivne.

Na osnovu toga gde se ekran nalazi između korisnikovog oka i stvarne scene, AR ekrani se mogu kategorisati na:

- ekrane montirane na glavu korisnika,
- ručne i
- prostorne.

Video-prozirni ekrani stvaraju iluziju gledanja stvarnog sveta kroz ekran. Koriste digitalne procese za kombinovanje slika virtuelnog prikaza sa video zapisima stvarnog sveta. Računar procesira sliku kamere i kombinuje sa slikom virtuelne scene tehnikama digitalne obrade slike. Postoji više načina konfigurisanja video-prozirnih sistema (Slika 7).



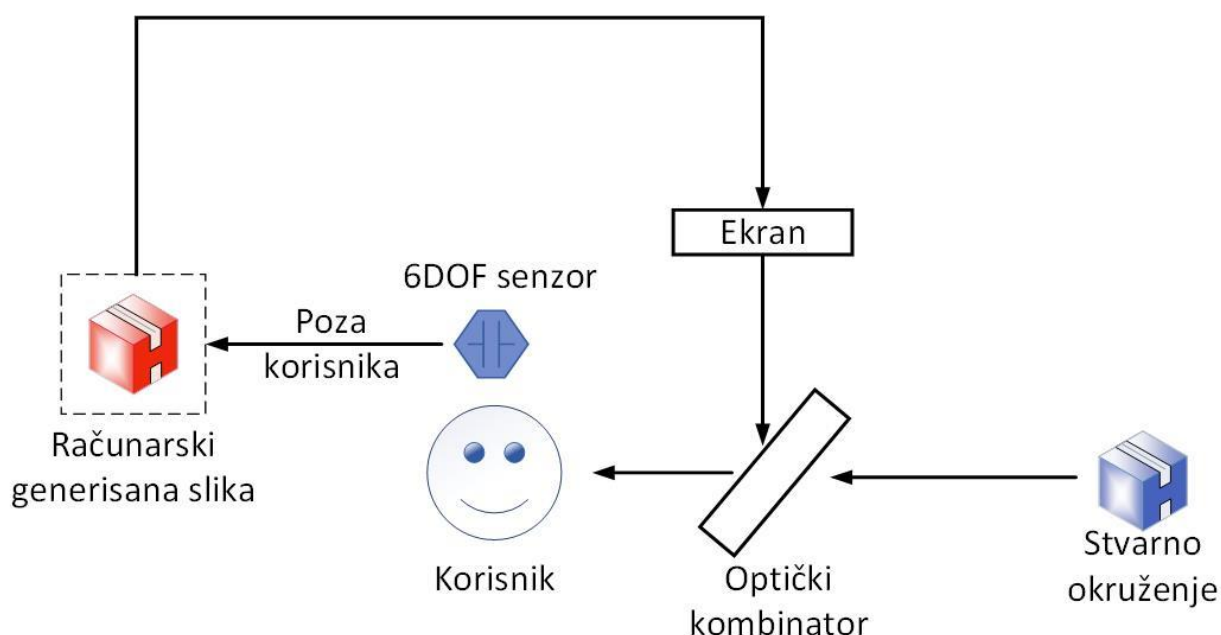
Slika 7. Video-prozirni sistem: a) klasični sistem; b) virtuelno ogledalo; c) AR radni sto

Najčešće je kamera postavljena ispred korisnika tako da prikazuje sliku koju korisnik vidi, slika 7a. Drugi načini postavljanja može biti postavljanje ka korisniku stvarajući na taj način virtuelno ogledalo (slika 7b) ili postavljanje kamere odozgo nadole pružajući pogled radnog stola (slika 7c). Video-prozirne ekrane predstavljaju monitori, laptop računari, tableti i pametni telefoni.

Budući da stvarni pogled na svet pružaju video slike snimljene kamerom, one imaju ograničenja u pogledu rezolucije, izobličenja, kašnjenja i pomeranja oka. Sa

druge strane eventualno kašnjenje prikaza virtuelnog sadržaja podrazumeva i odgovarajuće kašnjenje prikaza stvarnog sveta. Jedan od najčešćih problema je nepravilno postavljenje virtuelnog sadržaja u odnosu na stvarne objekte što dovodi do prekrivanja objekata iz stvarnog sveta virtuelnim sadržajem. Da bi iskustvo proširene realnosti pružalo realan osećaj neophodno je da virtuelni sadržaj bude pravilno postavljen u stvarnom svetu u odnosu na udaljenost od korisnika. Ovo podrazumeva da udaljeni virtuelni sadržaj bude delimično vidljiv ukoliko se ispred njega nalazi stvarni objekat koji je bliži korisniku. Ovaj problem moguće je rešiti korišćenjem maski ili uvođenjem dubinskih informacija iz stvarnog sveta. Pod maskom se podrazumeva identifikacija regiona sa istom bojom (na primer boja ruke korisnika) koju virtuelni sadržaj ne sme da prekrije ili postavljanje praznih virtuelnih objekata koji predstavljaju stvarne objekte. Ovaj pristup zahteva dodatni trud za mapiranje stvarnog okruženja. Jednostavniji pristup je upotreba dubinskih informacija. Dubinske kamere postaju široko dostupne u pametnim telefonima. Problem kod video-prozirnih sistema je i indirektni pogled na stvarni svet. Upotrebom pametnih telefona korisnik dobija ograničen prozor u virtuelni svet što može biti problem u nekim aplikacijama.

Optičko-prozirni AR ekrani koriste optičke sisteme za kombinovanje slika virtuelnog sadržaja sa stvarnim pogledom na svet. Koriste polu ogledala ili kombinovane prizme koje kombinuju pogled na stvarni svet sa odrazom slike sa video ekrana, slika 8. U poređenju sa video-prozirnim sistemima pružaju direktan pogled na stvarni svet. Optičko-prozirni AR ekrani takođe zahtevaju manje procesorske snage, jer se kompozicija stvarne i virtuelne slike prikaza postiže fizički. Problem kod optičko-prozirnih ekrana jeste osvetljenje stvarnog sveta koje može uticati na prikaz virtuelnog sadržaja. Drugi problem proističe iz postojanja dve različite ravni projekcije, stvarna i virtuelna što prouzrokuje manje tačnu registraciju između stvarnog i virtuelnog prikaza. Dobar optičko-prozirni AR ekran omogućava podešavanja koja bi odgovarala položaju oka i udobnosti korisnika. Takođe bi trebalo biti lako ukloniti uređaj kad korisniku nije potreban. Međutim, to će promeniti registraciju objekata u stvarnom svetu i zahtevati ponovnu kalibraciju sistema [60].

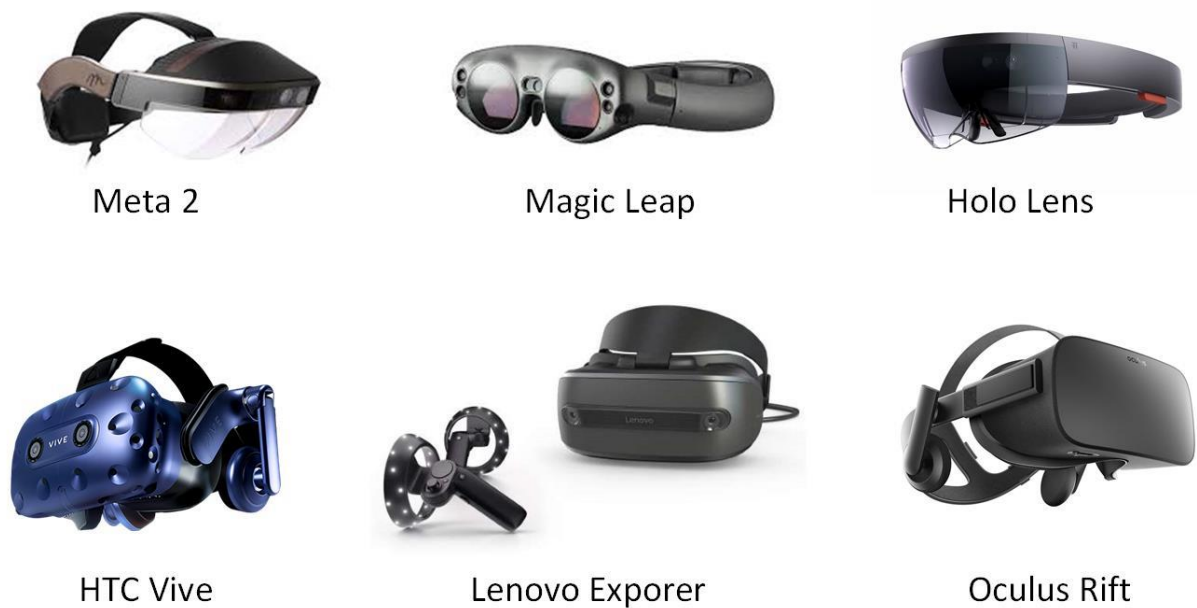


Slika 8. Optičko prozirni sistem

Za razliku od ostalih sistema koji kombinuju stvarni i virtuelni sadržaj na samom ekranu, AR ekrani zasnovani na projekciji prikazuju virtuelni sadržaj direktno na površinu fizičkog predmeta od interesa, kao što su stvarni modeli ili zidovi. Pogodni su za obezbeđivanje širokog vidnog polja dok se virtuelni sadržaj projektuje na istom rastojanju kao objekti stvarnog sveta. Najčešće se koristi projektor postavljen na plafon ili zid što ograničava mogućnosti prikazivanja na određenim mestima.

Ekran montirani na glavi korisnika (HMD), popularno nazvane naočare, omogućavaju korisnicima da percipiraju stvarni svet sa dodatnim virtuelnim informacijama pružajući potpuno specifično iskustvo pri čemu su obe ruke korisnika slobodne za obavljanje različitih drugih aktivnosti. HMD uređaji pronalaze primenu u različitim oblastima kao što su igre, vazduhoplovstvo, inženjerstvo i medicina. Postoje dva tipa HMD uređaja, video-prozirni ili optičko prozirni. Tipični video-prozirni HMD uređaj ima jedan ili dva mala ekrana, sa sočivima i polu prozirnim ogledalima ugrađenim u naočare. Optičko-prozirni HMD uređaj postavljen na glavu korisnika koristi polu ogledala ili kombinovane prizme koje kombinuju pogled na stvarni svet sa odrazom slike sa video ekrana. Najčešće su opremljeni inercijalnim senzorima i magnetometrima radi određivanja relativne orijentacije i brzine praćenog HMD uređaja. Na tržištu postoje komercijalno dostupni uređaji (Slika 9). Primer optički-prozirnih uređaja su Microsoft HoloLens, Meta 2 i Magic Leap, dok video-prozirni

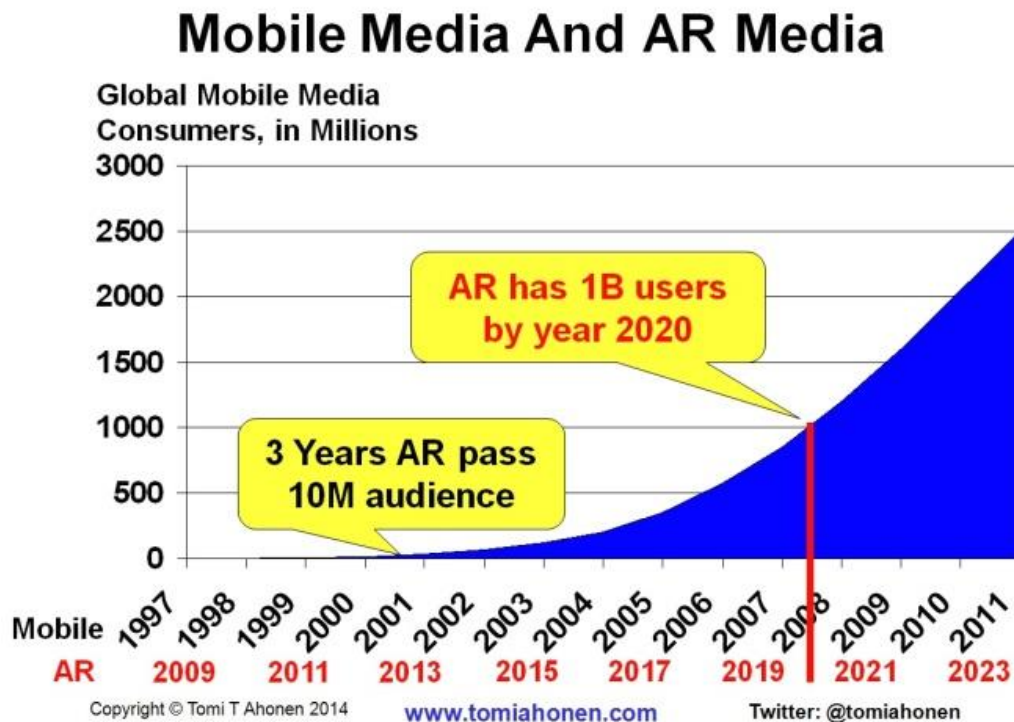
uređaji su HTC Vive, Lenovo Explorer i Oculus Rift. HDM uređaji iako atraktivan koncept još uvek nisu masovni potrošački uređaj pre svega jer su komplikovani i skupi. Virtuelne informacije prikazane naočarima za proširenu mogu predstavljati i bezbednosni rizik jer odvlače pažnju korisnika od događaja u realnom okruženju i pružaju suženo vidno polje. U istraživanju [61] dat je zaključak da primena HMD uređaja ima pozitivan uticaj na percepciju prisustva, lakoću mašte kao i vizuelnu privlačnost.



Slika 9. Primer HMD uređaja

Ručni ekrani predstavljaju prenosne uređaje koje korisnik drži u rukama. Najpoznatiji ručni ekrani su pametni telefoni i tableti. Razvojem pametnih telefona sa softverskim paketima za razvoj AR aplikacija proširena realnost dobija na značaju. To praktično znači da su svi uređaji na iOS i Android platformama postali AR kompatibilni uređaji. Programerima je lakše da stvore AR iskustvo koristeći različite platforme. Iako mobilni uređaji pružaju AR iskustva niskog nivoa, oni trenutno pokrivaju najveći tržišni segment AR [62], [63]. Pametni telefoni pružaju lošije iskustvo i mogu se koristiti kao ulazna tačka u proširenu realnost. Korisnik putem pametnih telefona dobija ograničen prozor u virtuelni svet. Drugo ograničenje prilikom upotrebe pametnih telefona je sloboda za obavljanje drugih operacija, jer je jedna ruka potrebna za držanje uređaja, a druga ruka za manipulisanje [13]. Razvojem tehnologije proširena realnost će postati sve dostupnija korisnicima sa

prosečnim primanjima. Predviđanje AR tržišta za pametne telefone prema Tomi Ahonen-u prikazano je na slici 10.



Slika 10. Predviđanje upotrebe proširene realnosti na pametnim telefonima [13]

Prostorni ili stacionarni ekrani obezbeđuju šire vidno polje za razliku od pametnih telefona. Pošto su stacionarni nije neophodno praćenje kretanja ekrana. Kao uređaji najčešće se koriste monitori i projektori. Ovi ekrani mogu pružiti iskustvo proširene realnosti bez potrebe da korisnici nose bilo kakvu opremu. Korisnici mogu isprobati proizvode i dobiti više informacija o njima. Jedan primer su virtuelni informativni kiosci koji se mogu naći na javnim mestima. Omogućavaju kupcima pristup informacijama poput detalja o proizvodu, ceni i dostupnosti putem virtuelnog interfejsa koji je projektovan ispred AR stakla [64]. Primera radi, prodavac odeće Topshop ima garderobu sa AR podrškom. Stojeći ispred kioska za proširenu realnost, kupci mogu da vide digitalni odraz sebe bez potrebe za presvlačenjem [65]. Još jedan primer je LEGO AR kiosk koji pruža vizuelni 3D animirani model sadržaja u kutiji [66].

2.1.2.3. Razvojni alati

Za ekspanziju proširene realnosti neophodni su odgovarajući softverski alati za lakšu i bržu integraciju hardverskih komponenti i ostvarivanja zadatih funkcija

sistema. Postoje brojni razvojni alati za implementaciju sistema proširene realnosti. Na osnovu nivoa veština neophodnih za razvoj aplikacija može se napraviti sledeća podela na:

- nativni razvojni alati,
- biblioteke za postojeće razvojne alate i
- samostalne aplikacije za razvoj

Nativni razvoj aplikacija podrazumeva softverske biblioteke niskog nivoa. Softverske biblioteke obično pružaju pristup osnovnoj funkcionalnosti praćenja i prikaza potrebne za izgradnju iskustva proširene realnosti. Pružaju najveći nivo fleksibilnosti i optimizovanosti prilikom razvoja aplikacija, ali zahtevaju i dobro poznavanje materije i programerske veštine. Takođe zahteva i značajno vreme za razvoj aplikacija. Najpoznatija i najpopularnija biblioteka ovog tipa je ARToolKit. ARToolKit je besplatan alat za upotrebu sa licencom otvorenog koda pisanog na jeziku C i podržava različite platforme, uključujući Windows, Linux i Mac OS X, iOS i Android. Prvobitno ga je kreirao Hirokazu Kato 1999. godine, i od tada se kontinuirano razvija [67]. Njegova glavna funkcija bila je da obezbedi praćenje objekata i nije posedovao ugrađenu podršku za tehnike interakcije ili složenu grafiku. Ovo ograničenje se može prevazići upotrebom OpenSceneGraph biblioteke za prikazivanje računarske grafike u realnom vremenu. Glavna prednost OpenSceneGraph-a je njegov robustan paket klasa otvorenog koda (napisanih u programskom jeziku C++) za upravljanje 3D objektima i kamerama [68]. Pruža jedan od načina za upravljanje funkcionalnošću složenih grafičkih aplikacija, kao što je mogućnost sortiranja objekata prema vidljivosti i uklanjanje objekata koji su izvan vidnog polja kamere. Time omogućava programerima da brinu o interakciji između virtuelnih objekata, a ne o samom prikazivanju objekata. Kombinujući ARToolKit i OpenSceneGraph zajedno, programerima je olakšano stvaranje interaktivnih AR aplikacija sa naprednim tehnikama prikazivanja. Neke od mogućnosti su praćenje položaja, orijentacije pojedinačne kamere, praćenje fuicidalnih markera i jednostavna kalibracija kamere. Na tržištu je dostupna i komercijalna verzija ARToolKita, ARToolWorks koja pored navedenog podržava i praćenje prirodnih karakteristika. Pored ARToolKit-a postoje i druge softverske biblioteke zasnovane na mašinskoj viziji za praćenje kao što su Studierstube, Metaio, DroidAR i mnogi drugi. Koncepti Studierstube su vrlo slični ARToolKitPlus-u, međutim, osnova njegovog koda je

potpuno drugačija i nije otvorenog pristupa [69]. Podržava kolaborativnu proširenu realnost što podrazumeva korisnički interfejs za više korisnika, platformu za prikaz i operativne sisteme. Metaio je modularno razvojno okruženje koji se sastoji od različitih komponenti poput prikazivanja, snimanja i praćenja. Neke od podržanih funkcija su 2D i 3D praćenje bez markera ili praćenje prirodnih karakteristika, praćenje tačka od interesa na mapi, podršku za QR (engl. Quick Response) kod, čitanje bar-koda i mnoge druge [70]. Takođe je kompatibilan sa svim glavnim platformama za razvoj softvera: Android, iOS, Unity 3D i Windows. 2015. godine Apple je kupio Metaio, i na taj način Metaio je postao deo ARKit-a, razvojnog okruženja za iOS uređaje. DroidAR je skup biblioteka otvorenog koda za razvoj mobilnih AR aplikacija koji poseduje funkcionalnosti praćenja zasnovanih na GPS lokaciji ili upotrebom markera [19]. Iako upotreba nativnih biblioteka za razvoj aplikacija je najfleksibilnija i najoptimizovanija, zahteva puno vremena, pogotovo za razvoj aplikacija za veći broj platformi. Zbog ovoga najčešće se koriste gotova razvojna okruženja. Većina današnjih biblioteka podržava rad u gotovim razvojnim okruženjima.

Drugi pristup razvoju aplikacija proširene realnosti jeste upotreba softverskih biblioteka za postojeća razvojna okruženja, koja služe kao posredni softver i sa kojima su programeri već upoznati (na primer alati za razvoj video igara). Na ovaj način, razvoj se vrši u poznatom okruženju pa je i vreme neophodno za razvoj aplikacija smanjeno. Najpoznatija razvojna okruženja za razvoj video igara su Unity3D i Unreal koje omogućavaju izgradnju aplikacija sa minimalnim znanjem programskih jezika [71]. Ipak programeri moraju biti upoznati sa AR okruženjem. Unity3D podržava razvoj aplikacija i generisanje izvršnih aplikacija na različite platforme, moguće je brzo pravljenje interaktivnog 2D i 3D okruženja, omogućava simulaciju osnovnih fizičkih zakona, obradu zvuka, animacije, veštačku inteligenciju, umrežavanje više uređaja i mnoge druge funkcionalnosti [72]. Mnoge biblioteke pružaju alate za razvoj AR aplikacija u Unity3D platformi, kao što su ARToolKit, Vuforia, ARKit, ARCore i drugi [73]. Glavni nedostatak Unity3D platforme jeste činjenica da je izvorni kod zatvoren i dostupan u slučaju posedovanja Enterprise licence. Ukoliko postoji greška u izvornom kodu neophodno je čekati ažuriranja i popravke, što ponekad može trajati dosta vremena [74]. ARCore je Google-ova platforma za izgradnju doživljaja proširene realnosti. Koristi tri ključne funkcionalnosti

za integraciju virtuelnog sadržaja sa stvarnim svetom pomoću pametnog telefona [75] [76]:

- Praćenje položaja - omogućava telefonu da razume i prati svoj položaj u odnosu na svet;
- Razumevanje okoline - otkrivanje veličine i lokacije svih vrsta površina: vodoravnih, vertikalnih i ugaonih površina poput podloge, stolova ili zidova;
- Procena osvetljenja - omogućava telefonu da proceni trenutne uslove osvetljenja okoline.

ARKit služi za razvoj aplikacija i igara za proširenu realnost za iOS uređaje. Prvi put je uveden za iOS11 operativni sistem. ARKit pored mogućnosti kao što su praćenje položaja, razumevanje okoline i procena osvetljenja telefona poseduje i ugrađenu funkcionalnost za dubinsku kameru i optimizovano procesiranje 3D modela [75] [76]. Takođe, omogućava deljenje istog virtuelnog sadržaja između dva korisnika, čineći AR iskustvo zanimljivijim [77]. Nedostatak ARKit alata je to što je i dalje u eksperimentalnoj fazi te podložan čestim promenama. Sa druge strane za potpunu funkcionalnost neophodno je koristiti Apple-ove pametne telefone. Razvoj ARCore i ARkit biblioteka veoma je važan sa stanovišta proširene realnosti. Njihov razvoj doveo je do toga da su svi uređaji na iOS i Android platformama automatski postali AR kompatibilni uređaji, čime je svakodnevnim korisnicima proširena realnost postala dostupna. ARCore i ARKit podržavaju različita razvojna okruženja (Unity3D, Unreal, Android Studio i drugi) što programerima omogućava jednostavniji razvoj aplikacija sa iskustvom proširene realnosti. Vuforia je jedan od najpopularnijih alata za razvoj AR aplikacija na velikom broju različitih uređaja. Vuforia je dostupna besplatno programerima isključivo tokom razvoja aplikacija. Koristi tehnologije mašinske vizije za prepoznavanje slika ili 3D objekata u realnom vremenu. Omogućava jednostavno postavljanje i prilagođavanje položaja virtuelnih objekata u stvarnom okruženju. Posедуje niz funkcionalnosti među kojima su:

- Praćenja objekata:
 - Markera;
 - Prirodnih karakteristika;
 - Praćenje zasnovano na 3D modelu.
- Prepoznavanje teksta;

- Skeniranje stvarnih objekata;
- Dodavanje video zapisa u proširenoj realnosti.

Vuforia poseduje mogućnost da pronade i prati proizvoljnu sliku ili predmet. Za te potrebe, Vuforia nudi programerima veb uslugu za kreiranje markera u vidu 2D slika, kuboida, cilindra ili 3D objekata (slika 11), [78] [79] [80]. Moguće je definisati marker na osnovu proizvoljne slike. Sastav i količina detalja su odlučujući faktori u tome koliko lako će slika biti prepoznata. Jednostavniji 3D objekti kao što su: boce, čaše, kutije moguće je pratiti definisanjem markera u obliku cilindra ili kuboida. Dozvoljeno je i generisanje markera na osnovu 3D modela. Upotreba 3D markera omogućava korisnicima da pregledaju objekat sa dodatim virtuelnim podacima iz više uglova. Markerima je moguće pristupiti putem lokalne baze ili putem klad servisa.

Slika 11. Dodavanje ciljeva putem Target Manager-a

Vuforia omogućava prepoznavanje teksta i poseduje bazu od oko 100.000 engleskih reči u najčešće korišćenim fontovima. Moguće je definisati i sopstveni rečnik. Skeniranje objekata moguće je pomoću aplikacije ScannerApp koji je u stanju da skenira relativno male objekte postavljene na unapred definisanoj ravni. Putem pametnog telefona, objekat se posmatra iz različitih uglova, pri čemu Vuforia generiše niz slika na osnovu kojih vrši rekonstrukciju objekta.

Upotreba postojećih razvojnih okruženja umnogome olakšava razvoj AR aplikacija, ali i smanjuje fleksibilnost. Korisnički interfejs i dizajn interakcije

ograničene su na one koje pruža korišćeno okruženje, a konfiguracija softvera i hardvera takođe zavisi od toga šta podržava posredni softver.

Samostalne aplikacije za razvoj iskustva proširene realnosti ne zahtevaju prethodno iskustvo u programiranju. Postoji širok spektar samostalnih alata za razvoj iskustva proširene realnosti koji pružaju različit skup funkcija, kao što su konstrukcija scene, animacija i dodavanje interaktivnog sadržaja. Na lak i intuitivan način korisnici bez prethodnog iskustva mogu napraviti svoje iskustvo proširene realnosti, ali sa veoma ograničenom fleksibilnošću. Primeri začetaka samostalnih AR alata uključuju AMIRE i CATOMIR [81] [13]. AMIRE je zamišljen kao objektno orijentisana aplikacija koja se može koristiti za izgradnju iskustva proširene realnosti korišćenjem različitih dostupnih komponenti. Novi primeri uključuju BuildAR i CoSpaces Edu. CoSpaces Edu pruža rešenje za početnike koji se tek upoznavaju sa proširenom realnošću i programiranjem, kao i skriptne jezike za iskusnije programere. Slično je i sa BuildAR alatom koji je dizajniran je da korisnicima, koji nisu prethodno koristili programske jezike, omogući stvaranje AR aplikacija sa praćenjem objekata i učitavanjem sopstvenih 3D modela [82] [83]. Ovo je pogotovo korisno u edukativne svrhe gde nastavnici i učenici mogu početi da dizajniraju, grade i upravljaju sopstvenim iskustvima proširene realnosti.

Nedavno su postali popularni alati koji AR sadržaj mogu da se primene direktno u veb pretraživačima. Uključuju razvoj više-platformskih aplikacija korišćenjem HTML5, WebGL i JavaScript tehnologija. Omogućavaju isporuku interaktivnih 3D virtuelnih okruženja za učenje putem Interneta, u bilo koje vreme, dosežući potencijalno veliki broj učenika širom sveta [84] [85]. Neki od veb pretraživača sa podrškom za AR su Google Chrome VR i Mozilla Firefox.

2.1.2.4. Interakcija korisnika

Za funkcionalnost aplikacije sa proširenom stvarnošću, potreban je korisnički interfejs. Najjednostavniji vid AR aplikacije su slučajevi gde se samo prikazuju informacije putem odgovarajućeg uređaja, dok korisnik manipulacijom uređaja dolazi do informacija. Međutim, smeštanje virtuelnih objekata u stvarni svet bez mogućnosti da korisnici komuniciraju s njima nije praktično. Jedan od izazova proširene realnosti jeste upravo interakcija korisnika sa virtuelnim sadržajem u smislu ograničavanja korisnikovih kretanja i mogućnosti interakcije sa fizičkim svetom. Interakcija sa

okolinom može se postići brojnim različitim pristupima, na primer pomoću različitih kontrolera ili prepoznavanjem pokreta ruku korisnika.

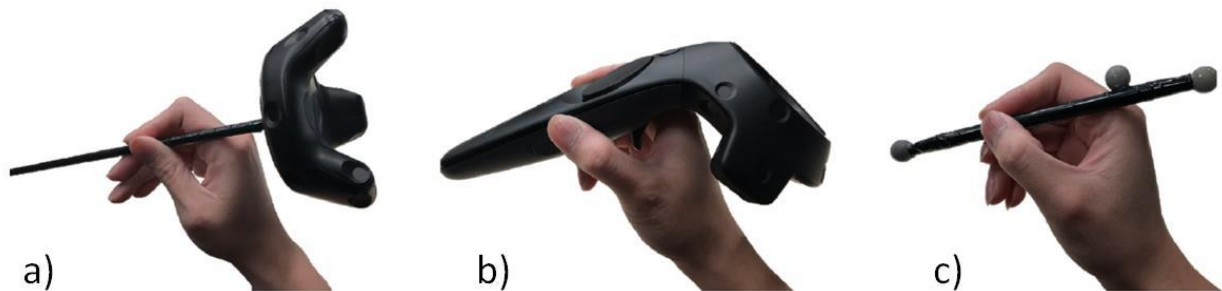
Upotreba kontrolera je jedan način ostvarivanja interakcije. Različiti kontroleri i metode interakcije su razvijene za potrebe u virtuelnom okruženju, a mnoge od ovih tehnika mogu se primeniti i na proširenu realnost. Mogu pružiti dobru interaktivnost u AR aplikacijama za zabavu, dizajn i obuku [86] [87]. Praktično svi proizvođači HMD uređaja, poput HTC-a, Oculus-a i Samsunga, pružaju i kontrolere za interakciju sa virtuelnim svetom (slika 12).



Slika 12. VR kontroleri

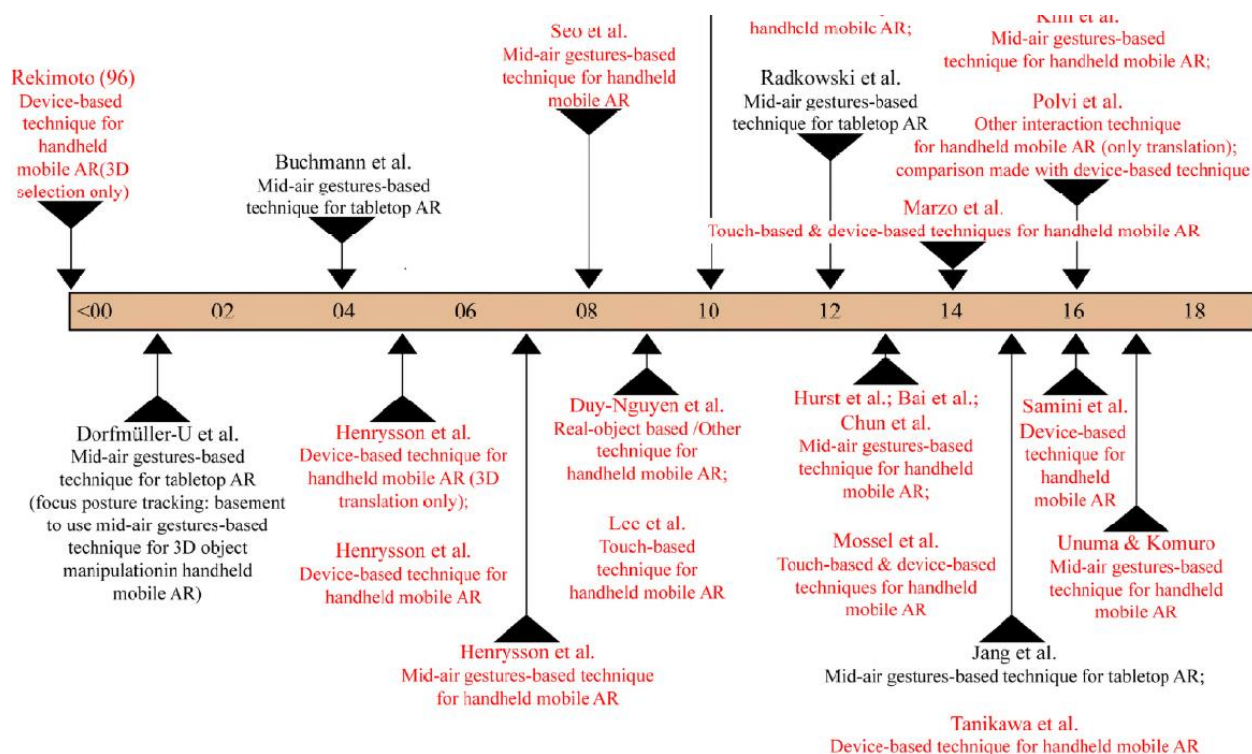
Kontroleri prate pokrete ruku korisnika pružajući potpuni nivo interakcije sa sadržajima unutar virtualnog sveta. Pored toga poseduju i dodatne tastere za različite akcije, kao što je hvatanje predmeta. Kao sredstvo za interakciju mogu se koristiti i 3D olovke sa ugrađenim sensorima za praćenje pozicije i orijentacije (slika 13). Istraživanja pokazuju da 3D olovka značajno nadmašuje savremene VR kontrolere sa stanovišta dopadljivosti korisnicima i brzine interakcije [88]. Problem upotrebe kontrolera je taj što se metode koje se koriste za interakciju sa virtuelnim objektima razlikuju od interakcije sa fizičkim objektima. Sa većinom tradicionalnih kontrolera, korisnici će morati da drže upravljački uređaj i koriste ga za usmeravanje i

manipulisanje virtuelnim objektima, dok kod fizičkih objekata uglavnom koriste ruke za direktnu manipulaciju. Sa druge strane, upotreba kontrolera može biti posebno pogodna za različite aplikacije obuke korisnika gde kontroler imitira stvarni alat, kao što je aparat za zavarivanje, hirurški alat i slično.



Slika 13. a) Olovku prati Vive Tracker; b) HTC Vive kontroler c) VR olovka.

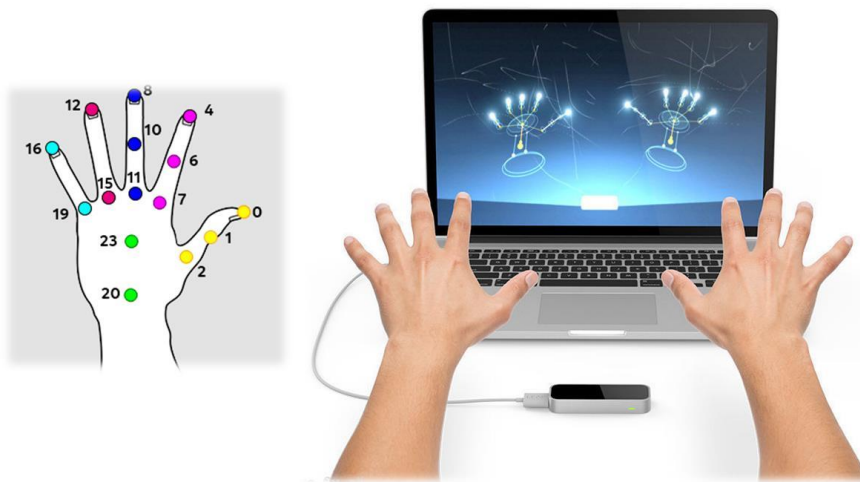
U mobilnim aplikacijama može se koristiti ekran osetljiv na dodir. Ali korišćenje ekrana osetljivog na dodir ograničava korisnike, jer je jedna ruka potrebna za držanje uređaja, a druga ruka za manipulisanje [89]. Istraživanja su pokazala da se pametni telefoni mogu koristiti kao intuitivni uređaji za interakciju i pokazali su veliki potencijal za različite zadatke [90]. Interakcije aplikacija proširene realnosti pomoću pametnih telefona sve više dobijaju na značaju. Glavni izazov je kako upotrebiti pametni telefon kao kontroler za aplikacije proširene realnosti. Analiza i razumevanje efikasnosti interfejsa zasnovanog na upotrebi ekrana osetljivog na dodir u poređenju sa prepoznavanjem gestikulacije ruke korisnika istražena je u [90]. Istraživanje je pokazalo da je interakcija upotrebom ekrana osetljivog na dodir vremenski brža u odnosu na gestikulaciju rukama, pre svega jer je su korisnici upoznati sa načinom rada pametnih telefona. Sa druge strane korisnicima interakcija pomoću gestikulacije je bila dopadljivija. Drugi radovi predlažu upotrebu pametnih telefona kao pokazivača za različite oblike spoljnog sadržaja u korisničkom okruženju [91]. Na slici 14 hronološki su prikazana istraživanja koja se odnose na tehnike interakcije za 3D manipulaciju objektima u AR sistemu [92].



Slika 14. Hronološki prikaz istraživanja interakcije sa 3D objektima [92]

Kao što je već napomenuto nastoji se obezbediti intuitivna i prirodna AR interakcija putem akcija ruku korisnika direktno iz fizičkog sveta. Ovakve interakcije nazivaju se opipljivim interakcijama (engl. tangible interactions). Ovakav vid interakcija može biti zasnovan upotrebom fizičkih objekata, rukavica ili direktne interakcije rukom [89] i [20]. Interakcija zasnovana na upotrebi fizičkog objekta znači da se za interakciju koristi neki unapred definisani objekat, marker. Upotrebom mašinske vizije nastoji se prepoznati unapred poznat objekat koji se razlikuje od spoljašnjeg okruženja. Upotreba fizičkog objekta, na primer lopatice, ne pruža prirodno i intuitivno kretanje i može se koristiti za jednostavne manipulacije. Nošenje rukavica sa prikačenim markerima i opcionalnim dodatnim sensorima može biti nezgodno za korisnike. Interakcija zasnovana na rukavicama znači da korisnik nosi posebne rukavice sa ili bez senzora. U oba prethodna slučaja se zahteva od korisnika da poseduje dodatni hardver. Interakcija otkrivanjem šake i gesta sa stanovišta korisnika je najlakša i intuitivna. Korisnici koriste svoje ruke za interakciju sa okolinom bez potrebe za dodatnim hardverom. Međutim, otkrivanje šake i gesta korisnika je veoma teško, jer na detekciju utiču uslovi okruženja i osvetljenosti. Veliki broj istraživanja usmeren je upravo u ovom smeru, poboljšanja interakcije korisnika sa virtuelnim objektima [93] [94]. Upotreba dubinskih kamera u AR aplikacijama

omogućava precizniju detekciju interakcije gestikulacije rukama. Komercijalni primer je Microsoft Kinect koji je Microsoft razvio 2010. godine kao dodatak za X-Box 360 igračku konzolu i Windows operativni sistem [95]. Omogućio je korisnicima kontrolu i interakciju pomoću pokreta i izgovorenih komandi. Na tržištu je dostupan i Leap Motion Controller, prikazan na slici 15, koji je optički modul za praćenje i pomoću kog se beleže pokreti ruku [96]. To je mali USB (engl. Universal Serial Bus) periferni uređaj koji je dizajniran za postavljanje na fizičku radnu površinu, okrenutu prema gore. Šake se prate kroz referentni koordinatni sistem i obeležavaju sa petnaest ključnih tačaka kako bi se najbolje identifikovala pozicija šake [97].



Slika 15. Magic Leap Controller

2.2. Samouslužni automatizovani sistemi

Samouslužni automatizovani sistemi mogu se naći u gotovo svim aspektima života. Svoje usluge ili proizvode pružaju kupcima 24/7 bez potrebe za prisustvom ljudi. Na taj način se smanjuju troškovi rada [98]. Prema Evropskom udruženju za prodaju, u Evropi postoji oko 4 miliona vending mašina koji prodaju oko 80 miliona proizvoda dnevno. Ukupan promet vending mašina za 2018. godinu iznosi 15 triliona evra [99]. Zbog sve veće upotrebe samouslužnih automatizovanih sistema, različitih usluga i proizvođača, postoji stalna tendencija ka njihovom poboljšanju. Jedan od oblika poboljšanja je proširenje funkcionalnosti i uvođenje novih tehnologija. Isplativost svakog samouslužnog automatizovanog sistema zavisi od njegove produktivnosti i kvaliteta usluge koju pruža [100]. Međutim, korisnicima nije važno

samo pružanje usluga već i način na koji se pruža usluga koja mora biti pristupačna, dosledna i pouzdana. U suprotnom, korisnici će biti nezadovoljni i neće koristiti samouslužni automatizovani sistem ili će koristiti uslugu drugog proizvođača [101] [102]. Kako se sve više usluga pojavljuje, odnosno pojavljuju se novi samouslužni automatizovani sistemi, korisničko iskustvo će biti dominantan faktor za uspeh novih sistema i usluga [103]. Zadovoljstvo korisnika postaje jedan od najvažnijih ciljeva svih proizvođača koji žele dugoročni odnos sa korisnikom. Jedan od glavnih aspekata koji određuju zadovoljstvo korisnika je percipiran kvalitet usluge. Potrošački percipiran kvalitet jeste odnos između očekivanja korisnika od same usluge i percepcije dobijene usluge [104] [105] [106]. Kvalitet usluge samouslužnog automatizovanog sistema usko je povezan sa zadovoljstvom kupaca i njihovom lojalnošću (slika 16). Lojalnost korisnika je posledica celokupnog i kumulativnog iskustva koje korisnici imaju sa pruženom uslugom. Zadovoljstvo korisnika može dovesti do lojalnosti kupaca, jer korisnici imaju tendenciju da koriste usluge sa kojima su već imali pozitivna iskustva. Lojalnost i zadovoljstvo korisnika predstavljaju najčešće istraživane oblasti marketinga danas. Međutim, merenje lojalnosti i zadovoljstva kupaca nije lak zadatak. Ono što jedan korisnik percipira kao kvalitetno, drugi korisnik može to smatrati prosečnim ili čak i lošim. Jedan od najčešće korišćenih modela za merenje kvaliteta usluge je SERVQUAL, razvijen 1988. godine, projektovan da analizira očekivanja i percepciju usluge od strane korisnika u pet dimenzija za koje se veruje da predstavljaju kvalitet usluge [107] [108]:

- Pouzdanost – doslednost pružanja usluge;
- Opipljivost – vizuelni doživljaj korisnika i kvaliteta opreme;
- Uslužnost – spremnost da se pomogne korisnicima i pruži brza usluga;
- Sigurnost – znanje i ljubaznost zaposlenih i njihova sposobnost da pobude poverenje;
- Empatija – brižnost i individualni pristup prema korisnicima.



Slika 16. Veza kvaliteta usluge, zadovoljstva korisnika i njihove lojalnosti proizvođaču [105]

Sve veća potražnja za brzom i personalizovanom uslugom dovela je do povećanja upotrebe samouslužnih automatizovanih sistema u različitim oblastima [109] [110] kao što su:

- Zdravstvo – zakazivanje pregleda, preuzimanje propisanog leka u apotekama;
- Školstvo – prijava ispita, štampanje potvrda i drugo;
- Bankarstvo –podizanje novca ili plaćanje računa;
- Maloprodaja – prodaja hrane i pića;
- Tržni centri – pregled kataloga i usluga;
- Javni događaji – kupovina karata za koncerte, bioskop i slično;
- Turizam – pružanje informacije o znamenitostima i uslugama;
- Gradske službe – naplata parkiranja, iznajmljivanje bicikala.

Kao što je prikazano na slici 17, samouslužni automatizovani sistemi mogu se naći u vidu:

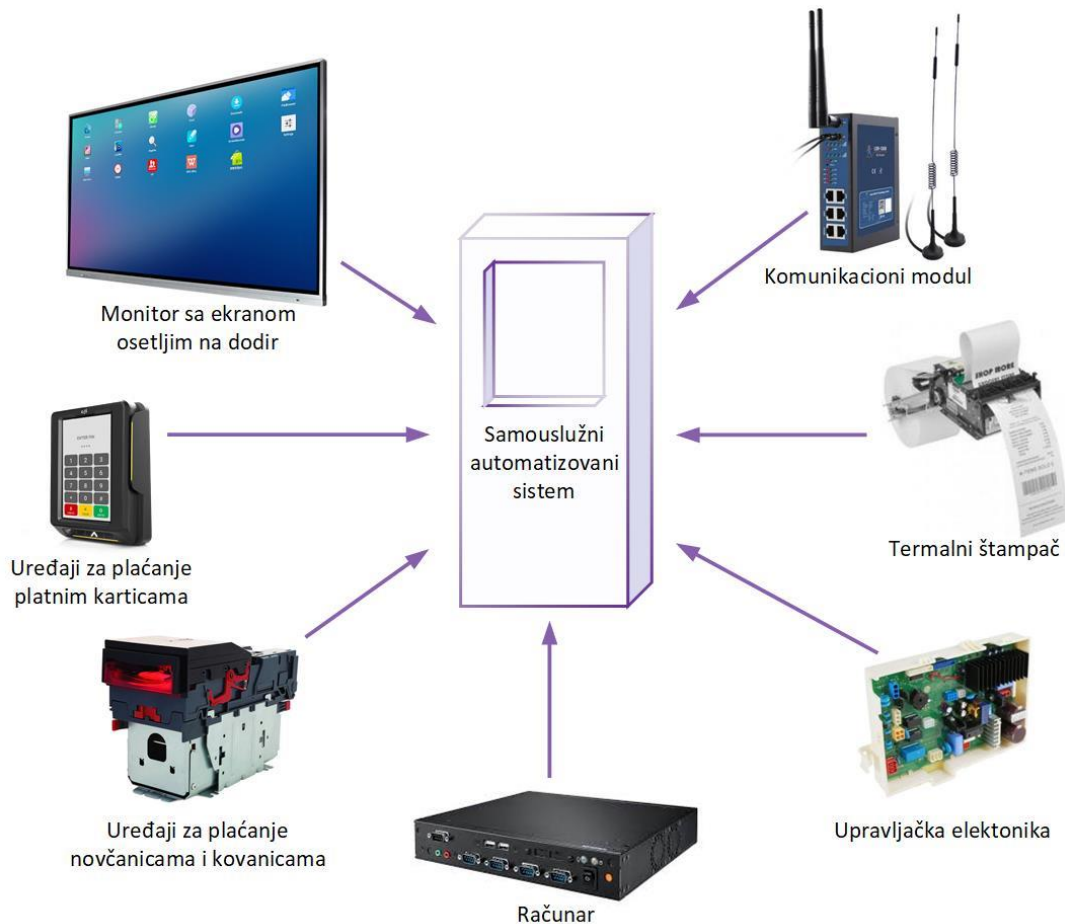
- a) vending mašina,
- b) bankomata,
- c) automata za naplatu parkiranja,
- d) automata za izdavanje i prodaju karata,
- e) samouslužnih stanica za iznajmljivanje bicikala,
- f) automatskih perionica automobila,
- g) samouslužne kase u supermarketima,
- h) informacionih kioska i mnogih drugih.



Slika 17. Različiti tipovi samouslužnih automatizovanih sistema

Tipični samouslužni automatizovani sistem (slika 18), najčešće se sastoji od monitora sa ekranom osetljivim na dodir, uređaja za plaćanje (platnim karticama ili gotovim novcem), PC računara sa pratećom upravljačkom elektronikom, štampača

tiketa i potvrda kao i komunikacionog modula. Uvođenje komunikacionih modula omogućava implementaciju koncepta interneta stvari (engl. Internet of Things, skr. IoT).



Slika 18. Komponente tipičnog samoslužnog automatizovanog sistema

Konceptom Interneta stvari (IoT) podaci se prikupljaju, analiziraju i dostupni su za dalju upotrebu. IoT proširuje vezu između stvari uz minimalnu potrebu za ljudskom intervencijom. IoT podrazumeva da se običnim i pametnim uređajima, pa čak i živim bićima (biljkama, životinjama, ljudima) dodeljuju identifikacioni brojevi i mogućnost da potpuno samostalno komuniciraju i razmenjuju podatke preko Interneta. Informaciono-komunikacione tehnologije omogućavaju povezivanje "u svakom trenutku" i "na svakoj lokaciji", dok je primenom koncepta Interneta stvari omogućeno i povezivanje "bilo čega". Koncept Interneta stvari nije rezultat jedne nove tehnologije već kombinacija više tehnologija koje, kada se kombinuju, omogućavaju vezu između virtualnog i fizičkog sveta. Te tehnologije su:

- Senzorika;

- Obrada podataka;
- Aktuacija;
- Komunikacija i saradnja;
- Adresabilnost;
- Identifikacija;
- Lokalizacija;
- Korisnički interfejs.

Podaci se prikupljaju i analiziraju kako bi se povećala efikasnost i produktivnost samouslužnog automatizovanog sistema [111] i [112]. Samouslužni automatizovani sistemi postaju digitalizovani, omogućavajući im ne samo pružanje usluge već i marketinšku uslugu. Pametni sistemi koji su više uslužno orijentisana rešenja na klauđu, međusobno povezani i inteligentni sistemi omogućavaju trgovcima da kupcima pruže bolje iskustvo kupovine [113] [114]. Razumevanje i predviđanje ponašanja kupaca su veoma važna karakteristika pametnih automatizovanih sistema [115]. Korisničko iskustvo, kao što je već ranije napomenuto, ima najveći uticaj na korisnika prema inovativnim načinima kupovine, plaćanja i pružanja usluga. Cilj je da svaki kupac bude personalizovan i da se na osnovu njegovih navika predlažu proizvodi koji su za njega zanimljivi. Prikupljanje podataka samouslužnog automatizovanog sistema, uvođenjem usluga poslovne inteligencije i upravljanja znanjem, može omogućiti prikazivanje personalizovanih poruka korisnicima kako bi ih privukli da koriste samouslužni automatizovani sistem [116].

2.3. Aktuelna istraživanja i nedostaci postojećih sistema

U ovom poglavlju predstavljen je pregled najznačajnijih rezultata istraživanja vezana za samouslužne automatizovane sisteme i primenu proširene realnosti. Analizirani su naučni radovi objavljeni u relevantnim međunarodnim časopisima i naučnim konferencijama u proteklih deset godina.

Tehnologije proširene realnosti svoju primenu pronalaze u raznim oblastima kao što su edukacija, zabava, marketing, turizam, medicina, građevina i industrija. Ove tehnologije omogućavaju lakše izvršavanje složenih operacija održavanja, pomaganjem tehničarima u njihovom poslu, praćenjem tehničara na terenu u realnom vremenu uz pružanje podrške putem raspoložive potrebne dokumentacije. Na ovaj način dolazi do smanjenja vremena i troškova za servisiranje i održavanje

kao i povećanje nivoa sigurnosti smanjenjem mogućih ljudskih grešaka. Primeri se mogu videti u vojsci, gde se AR koristi za popravku ili obuku terenske opreme za vojnike [116] [117]. Industrija elektronskih igara i društvenih medija proširuju svoju ponudu tako što uključuju AR tehnologije. Aplikacije za pametne telefone sada omogućavaju korisnicima da pucaju iz pušaka AR Gatling za koje se čini da stvarno pogađaju objekte iz stvarnog sveta [118]. Aplikacije za pametne telefone objavile su igre koje omogućavaju korisnicima praćenje i prikupljanje virtuelnih objekata koja se pojavljuju u stvarnom svetu oko njih. Najpoznatija mobilna igra proširene realnosti zasnovana na lokaciji i prva igra ovog tipa koja je dospela na sam vrh po broju preuzimanja jeste Pokemon GO [119]. U [120] objavljeno je istraživanje korisnika Pokemon GO aplikacije u cilju utvrđivanja njihovih stavova prema ovom tipu igara. Njihova istraživanja pokazuju pozitivne stavove korisnika uz napomenu na postojanje rizika od fizičkih povreda tokom korišćenja igre. Primena proširene realnosti pronalazi veoma bitnu ulogu u zadacima vezanim za održavanje industrijskih sistema. Omogućava zaposlenim licima na održavanju sistema, brže lociranje neispravnih komponenti, kao i prikaz uputstava za servisiranje mašina i komponenti, [71], [121] i [122]. Pored toga proširena realnost ima primenu i u obuci radnika kroz upoznavanje sa industrijskim postrojenjem. Organizacije koriste aplikacije proširene realnosti u cilju unapređenja produktivnosti, kvaliteta i procesa obuke. U medicini pronalazi upotrebu za obuku studenata i za pomoć lekarima tokom operacija [123]. Proširena realnost se sve više koristi kao marketinški, informativni i iskustveni kanal u turističkoj industriji [124]. Aplikacije za proširenu realnost za mobilne uređaje pružaju interaktivni oblik navigacije turističkim lokacijama. Poseduju sposobnost prikazivanja relevantnih informacija o mestu i istraživanja okoline na interaktivan i dinamičan način [125].

Proširena realnost ima veliki potencijal i poseduje mogućnosti za dalje unapređenje različitih oblasti primene. Ujedno mnoge kompanije ulažu napore radi komercijalizacije proširene realnosti. Uprkos tome, postoji još niz istraživačkih oblasti koja treba dalje istražiti pre nego što tehnologija dostigne svoj puni potencijal. U radu [126] dat je pregled desetogodišnjeg razvoja radova predstavljenih na ISMAR konferenciji sa fokusom na istraživanja vezana za praćenje, interakciju i prezentaciju proširene realnosti. Njihova istraživanja prikazuju aktuelna interesovanja istraživanja prema oblasti istraživanja:

- Praćenje 19,4%
- Interakcija 11,4%
- Kalibracija 6,4%
- AR aplikacije. 12,5%
- Ekрани 3,2%
- Evaluacija 16,4%
- Mobilni uređaji 9,1%
- Obuke 2,3%
- Vizuelizacija 4,8%
- Multimodalnosti 2,1%
- Prikaz 12,5%

Praćenje je jedno od najpopularnijih područja za AR istraživanje, jer je jedno od najvažnijih od tehnologija koje omogućavaju AR. Veliki broj istraživanja usmeren je na prepoznavanje predmeta na osnovu njegovih prirodnih karakteristika kao i otklanjanje trenutnih poteškoća u vezi sa promenama osvetljenja okoline i nedostatkom izdvojenih karakteristika predmeta u nekim situacijama [43] [127]. Zbog nedovoljne preciznosti lokacijski (GPS) zasnovanih sistema proširene realnosti, njihova upotreba u unutrašnjosti objekata je limitirana [128]. Trenutno, za praktičnu primenu fuicidalno praćenje se pokazalo kao popularnija opcija, uglavnom zbog jednostavnije implementacije [129] [130]. Praćenje zasnovano na markerima pruža solidnu osnovu za praćenje, jer ne zahteva primenu sofisticirane mašinske vizije.

Postoji veliki potencijali za istraživanje novih metoda interakcije, posebno u oblastima inteligentnih sistema, hibridnih korisničkih interfejsa i sistema za kolaboraciju [13] [77]. Oblasti od interesa koje do sada nisu detaljno istražene su prirodnije interakcije, kao i višekorisničke tehnologije interakcije proširene realnosti. Trenutno, pametni mobilni uređaji su glavni izlazni medij za proširenu realnost i beleže značajan rast popularnosti i upotrebe u javnosti. Aplikacije proširene realnosti za pametne telefone zahtevaju drugačije tehnike interakcije zbog ograničenog prikaza na relativno malim ekranima, kao i interakcije samo jednom rukom [92]. Na pametnim telefonima interakcija se može obaviti putem ekrana osetljivog na dodir sa čim su korisnici veoma dobro upoznati. Interakcija gestikulacijom i pokretima pruža prirodan i intuitivni način interakcije, ali pored toga što na tačnost detekcije utiču uslovi okruženja i osvetljenosti, ne rezultira uvek najboljim iskustvom interakcije [131]. Kod pametnih telefona moguća je i interakcija zasnovana na korišćenju samog uređaja. Pametni telefoni su opremljeni mnoštvom senzora koji mogu biti iskorišćeni za manipulaciju objektima u proširenoj realnosti. Za razvoj aplikacija proširene realnosti važno je identifikovati interakcije koje

su korisnicima ugodne za obavljanje osnovnih zadataka. Mnoge postojeće aplikacije proširene realnosti se zbog nedovoljne funkcionalnosti ne smatraju vrlo praktičnim i ne odgovaraju u potpunosti potrebama korisnika [132] [133] [134]. I dalje ostaju mnogi izazovi vezani za interakciju i manipulaciju.

Prilikom razvoja aplikacija sa iskustvom proširene realnosti ključna je procena upotrebljivosti primene tehnologija proširene realnosti. Gabbard i Svan, [135], tvrde da su eksperimenti zasnovani na istraživanju korisničkog mišljenja presudni za definisanje dizajna i interakcije. Svan i Gabbard predstavili su i istraživanje o eksperimentima AR zasnovanim na korisničkom iskustvu. Na osnovu pregleda svih radova koje su mogli naći u istraživačkoj literaturi otkrili su da je manje od 8% svih objavljenih radova povezanih sa AR imalo bilo kakvo eksperimentisanje zasnovano na korisničkom iskustvu [136]. Istraživanje obavljeno 2008. godine, [137], pokazalo je slične rezultate. Prema [138] samo 19% radova sprovodilo je barem jednu pilot studiju u procesu eksperimentisanja što pokazuje da značaj pilot studija nije prepoznat. Studije korisničkog iskustva obavljaju se u sledeća tri područja:

- Percepcija - Kako korisnici doživljavaju virtuelne informacije?
- Interakcija - Kako korisnici komuniciraju sa virtuelnim informacijama?
- Kolaboracija - Kako se AR može koristiti za poboljšanje kolaboracije više korisnika?

Kako se tehnologija proširene realnosti preselila iz laboratorije u dnevnu sobu, neke od prepreka koje sprečavaju njenu širu upotrebu su društvene, a ne tehnološke, posebno za prenosive ili mobilne sisteme. Proširena realnost može imati pozitivan i značajan uticaj na korisničko iskustvo [103] [139]. Studije [113], [140], [141], [142], [143] i [144] ukazuju na to da uvođenje imerzivnih iskustava prilikom kupovine može pozitivno uticati na ponašanje potrošača pri kupovini. Prodavci se okreću proširenoj realnosti kako bi poboljšali informacije o svojim proizvodima i podstakli kupce da ih isprobaju. Jedan od primera je kompanija IKEA koja je kreirala AR aplikaciju gde korisnici mogu da isprobaju njihove proizvode u svojim stanovima. Izabran virtuelni proizvod moguće je pomerati, okretati od strane korisnika. Na taj način korisnik na jednostavan način može da isproba mnoštvo različitih proizvoda iz udobnosti svog stana i proceni kako se proizvodi

kompanije IKEA uklapaju u njihov enterijer. Sa druge strane, virtuelni informativni kiosci mogu se naći na većini javnih mesta. Omogućavaju korisnicima pristup informacijama poput detalja o proizvodu, ceni i dostupnosti proizvoda putem virtuelnog interfejsa koji je projektovan ispred AR stakla [64]. Primera radi, prodavac odeće Topshop ima garderobu sa AR podrškom. Stojeći ispred kioska za proširenu realnost, kupci mogu da vide digitalni odraz sebe bez potrebe za presvlačenjem [145]. Još jedan primer je LEGO AR kiosk koji u svojim prodavnicama poseduje AR monitore koji pružaju vizuelni 3D animirani model sadržaja u kutiji. U [146] obavljeno je istraživanje kako aplikacija proširene realnosti utiče na percipiranu korisnost aplikacije, stav prema proizvodu i nameri kupovine proizvoda. Potrošači koji preferiraju fizičku percepciju proizvoda prvenstveno očekuju korisne i praktične informacije prezentovane na dopadljiv način. Implementacija tehnologije proširene realnosti poboljšava iskustvo kupovine i čini ga lakšim za potrošače. Prilikom dizajniranja virtuelnog okruženja za kupovinu, interakcija čoveka i računara, maloprodaja, marketing i razne druge discipline moraju se analizirati zajedno uz poboljšavanja iskustva kupovine [147]. U radu [148] pokazano je da je upotreba aplikacije proširene realnosti na mobilnoj aplikaciji povezana sa većom prodajom brendova koji su manje popularni i proizvoda koji su skuplji.

Prethodno analizirana istraživanja ne prikazuju sistem proširene realnosti, koji je u potpunosti prilagođen samouslužnim automatizovanim sistemima. Većina aktuelnih istraživanja je usmerena ka rešavanju samo nekog od opštih problema prezentacije metodom proširene realnosti.

3. Sistem podrške samouslužnim automatizovanim sistemima

Proširena realnost iako poznat koncept od ranije nije dovoljno analizirana za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema. Takođe, pregledom literature utvrđeno je da je nedovoljan broj studija objavljen sa osvrtom na korisničko iskustvo. Model sistema proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema predložen u ovom radu ima za cilj unapređenje postojećih samouslužnih automatizovanih sistema. Fokus rada je analiza različitih mogućnosti primene tehnologija proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema sa osvrtom na korisničko iskustvo prilikom primene novih tehnologija. Za osnovu sistema proširene realnosti ova disertacija se bazira na upotrebi pametnih telefona. Iako su komercijalni HMD uređaji dostupni, njihova upotreba još uvek nije rasprostranjena. Današnji pametni mobilni telefoni omogućavaju razvoj korisničkih aplikacija za obavljanje veoma velikog broja različitih zadataka. Opremljeni su brzim procesorima i velikom količinom memorije koji omogućavaju mobilnim telefonima obradu relativno velike količine podataka. Pored ovoga, mobilni telefoni poseduju ugrađen veliki broj senzorskih i komunikacionih modula. Neki od senzora koji se najčešće ugrađuju u današnje mobilne telefone su:

- senzor ambijentalnog osvetljenja,
- akcelerometar,
- žiroskop,
- digitalni kompas,
- barometar,
- senzor temperature i vlažnosti vazduha,
- GPS prijemnik,
- kamere.

Današnji mobilni telefoni najčešće poseduju ekrane u opsegu dimenzija od 15 do 17,5 cm (od 6 do 7 inča) sa konstantnom tendencijom povećanja veličine ekrana. Veličina ekrana mobilnog telefona direktno utiče na udobnost prilikom rada sa mobilnim telefonom. Od skora na tržištu su se pojavili i fleksibilni/savitljivi mobilni telefoni omogućavajući korisnicima prednosti korišćenja i telefona i tableta u jednom uređaju. Upotreba pametnih telefona je veoma velika i u današnje vreme život bez njih je gotovo nezamisliv.

Karakteristike sistema proširene realnosti moraju biti prilagođene različitim tipovima samouslužnih automatizovanih sistema. Sistem treba lako da se prilagodi realnim uslovima koji se odnose na izvršavanje funkcije sistema. Neophodno je da svaki sistem zadovolji sledeće karakteristike:

- Fleksibilnost;
- Efikasnost;
- Prilagodljivost;
- Modularnost.

Fleksibilnost sistema ogleda se u mogućnosti prilagođavanja sadržaja, uz jednostavne izmene, na različite tipove samouslužnih automatizovanih sistema na kojim se primenjuje. Samouslužni automatizovani sistemi, iako pružaju različite vidove usluge, mogu se modelovati na sličan način. Efikasnost sistema ogleda se u tome da se pri korišćenju aplikacije proširene realnosti poboljšava ili bar ne utiče negativno na brzinu i način pružanja usluge. Dodavanje virtuelnog sadržaja ima za cilj da pruži korisnicima jednostavniji vid korišćenja samouslužnog automatizovanih sistema uz mogućnosti pružanja intuitivnih instrukcija o korišćenju samouslužnog automatizovanog sistema. S obzirom da su ljudske preferencije različite, sistem zasnovan na tehnologiji proširene realnosti može se upotrebiti da se interaktivan sadržaj koji se prikazuje korisniku tokom korišćenja, prilagođava u skladu sa njegovim ličnim karakteristikama i/ili njegovim navikama. Korisnici dobijaju interaktivni podskup instrukcija kako bi se olakšalo korišćenje samouslužnog automatizovanog sistema. Upotreba samouslužnog automatizovanog sistema je olakšana, jer korisnici dobijaju adekvatne vizuelne instrukcije kada je to potrebno. Modularan pristup razvoju AR aplikaciji neophodan je da

bi se smanjilo vreme razvoja aplikacije za druge samouslužne automatizovane sisteme. Podrška samouslužnim automatizovanim sistemima (SAS) putem proširene realnosti (slika 19), može biti ostvarena na sledeće načine:

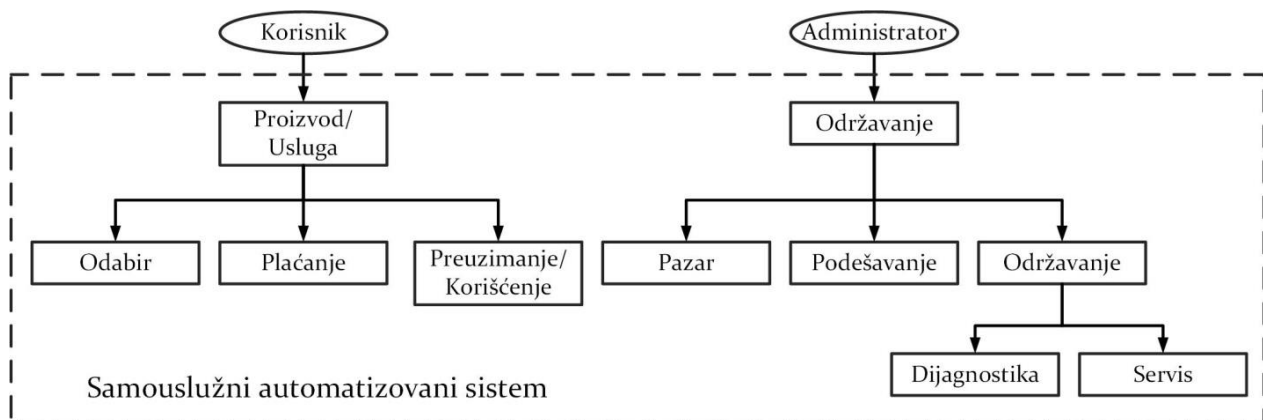
- Korisničko uputstvo – pružanje interaktivnih instrukcija u trenutku kada je to korisnicima neophodno;
- Promocija – pronalaženje akcija, popusta u virtuelnom prostoru;
- Dodatne informacije – pružanje dodatnih informacija vezanih za proizvod koje bi u normalnom prikazu na automatu narušile preglednost i funkcionalnost automata;
- Personalizovana usluga – mogućnost podešavanja prikaza interaktivnog sadržaja, kao i količine informacija prema preferencijama korisnika;
- Korisnička podrška – kolaborativna korisnička podrška putem proširene realnosti;
- Podrška održavanju – održavanje i servis automata može biti olakšan upotrebom proširene realnosti;
- Društvene mreže – postavljanje komentara drugih korisnika u okviru interne mreže i/ili u okviru drugih društvenih mreža.



Slika 19. Upotreba proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema

3.1. Model podrške proširene realnosti samouslužnim automatizovanim sistemima

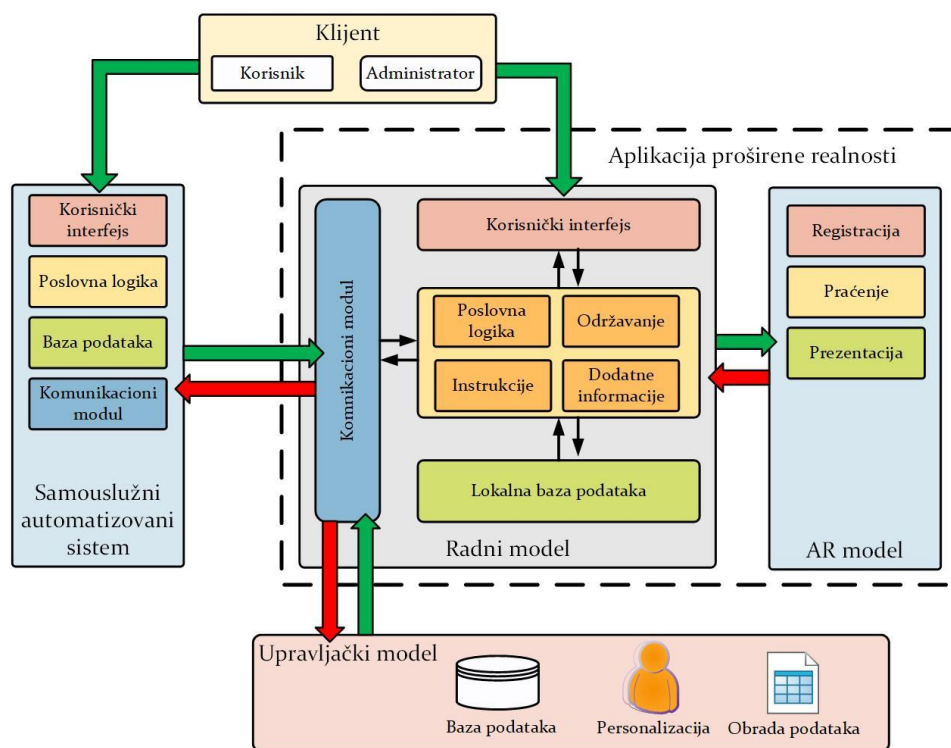
Samouslužni automatizovani sistemi korisnicima pružaju proizvode (poput hrane, pića, bicikla) ili usluge (pranje automobila, plaćanje računa) nakon izvršenog plaćanja (gotovina, kreditna kartica ili posebno dizajnirane kartice i dr.). Nakon izvršenog plaćanja, proizvod ili usluga postaju dostupni korisnicima. Razvojem i usvajanjem novih tehnologija, danas postoje pametni samouslužni automatizovani sistemi koji poseduju ekrane osetljive na dodir, internet konekciju, kamere i razne vrste senzora. Omogućavaju prikaz digitalnih reklama, poseduju različite sisteme plaćanja i širok spektar tehnologije identifikacije (NFC (engl. Near Field Communication), RFID (engl. Radio Frequency IDentification), itd.) [149] [150]. Ovi pametni automati omogućavaju interaktivno korisničko iskustvo uz smanjenje operativnih troškova, istovremeno poboljšavajući efikasnost automata pomoću daljinskog nadzora i upravljanja. Podaci sa senzora i kamera omogućavaju inteligentnu analizu u cilju određivanja demografije kupaca, trendove kupovine, kao i druge informacije specifične za lokalno područje. Tipična funkcionalnost samouslužnog automatizovanog sistema prikazana je na slici 20. Samouslužni automatizovani sistemi poseduju dva režima rada, korisnički i administratorski. Administratorski režim omogućava podešavanje, dopunu i servis samouslužnih automatizovanih sistema.



Slika 20. Funkcionalnost samouslužnog automatizovanog sistema

Svaki režim rada samouslužnog automatizovanog sistema sastoji se od unapred zadatih koraka. Aplikacija proširene realnosti ima zadatak da korisniku omogući

izvršavanje svakog koraka uz pružanja dodatnih informacija u tačno određenom redosledu. Svakom koraku može se dodati odgovarajuća instrukcija kako bi se korisniku olakšao način korišćenja. Pored instrukcija za korišćenje, moguće je prikazati i dodatne informacije vezane za sam proizvod/uslugu, marketinške promocije, komentare sa društvenih mreža i mnoge druge. Količina prikazanih informacija zavisi od preferencija samog korisnika. Sa druge strane, sistem proširene realnosti ima zadatak da administratorima omogući nadzor i podešavanje samih uređaja. U slučaju održavanja, proširena realnost generiše jasne vizuelne instrukcije i dodatne bezbednosne napomene. Neke od akcija, poput odabira proizvoda/usluge, moguće je izvršiti putem korisničkog menija na samom samouslužnom automatizovanom sistemu ili putem pametnog telefona. Radi pravilnog prikaza informacija neophodna je povratna sprega o akcijama korisnika ili administratora bilo da je izvršena putem pametnog telefona ili na samom samouslužnom automatizovanom sistemu. Iz svega navedenog definisana je arhitektura samouslužnih automatizovanim sistemima sa proširenom realnošću koja je prikazana na slici 21.



Slika 21. Arhitektura samouslužnih automatizovanih sistema sa proširenom realnošću

U okviru modela podrške proširene realnosti samouslužnim automatizovanim sistemima mogu se uočiti sledeće celine [152]:

- AR model – registracija, praćenje položaja i orijentacije korisnika, kao i prezentacija interaktivnog sadržaja;
- Radni model - izvršavanje različitih funkcionalnosti samouslužnog automatizovanog sistema;
- Upravljački model – centralizovana baza podataka uz nadzor, upravljanje i analizu podataka sa udaljene lokacije;
- Model samouslužnih automatizovanih sistema – interakcija sa korisnikom i pružanje proizvoda/usluge.

Da bi se virtuelni sadržaj prikazao u realnom okruženju na samouslužnom automatizovanom sistemu neophodno je putem pametnog telefona registrovati poziciju i orijentaciju korisnika u odnosu na referentni koordinatni sistem (samouslužni automatizovani sistem). Dobijenu poziciju i orijentaciju neophodno je ažurirati u realnom vremenu radi pravilnog prikaza virtuelnog sadržaja. Identični samouslužni automatizovani sistemi postavljeni su na različitim lokacijama. Upotrebom GPS pozicije moguće je odrediti pored kojeg konkretno automata se korisnik nalazi, slika 22. Upotrebom GPS pozicije moguće je zaključiti da se korisnik nalazi bliže automatu ID2. Današnja preciznost GPS pozicije od oko 5 metara nije dovoljno visoka da bi se jednoznačno definisale pozicije prikazanog virtuelnog sadržaja, te je neophodno koristiti još neki vid registracije za preciznije postavljanje virtuelnih sadržaja u realnom okruženju. Pored identifikacije samouslužnog automatizovanog sistema GPS pozicija omogućava pružanje instrukcija za navigaciju do najbližeg uređaja.



Slika 22. Detekcija pozicije korisnika upotrebom GPS prijemnika

Za precizniju registraciju samouslužnog automatizovanog sistema moguće je koristiti neki od sledećih načina:

- Fucidalni markeri – jednostavna implementacija, neophodno je prikazati marker na ekranu samouslužnog automatizovanog sistema ili ga postaviti na fizičkoj lokaciji na samom automatu;
- 3D model – detekcija ivica i karakteristika automata može biti realizovana na ovaj način, jer je u velikom broju slučajeva dostupan 3D model samouslužnog automatizovanog sistema;
- Prirodne karakteristike – detekcija prirodnih karakteristika samouslužnog automatizovanog sistema.

Koji tip praćenja će se koristiti u velikoj meri zavisi i od izabranog programskog okruženja kojih ima mnogo. Fucidalne markere podržavaju gotovo sva razvojna okruženja, dok upotrebu 3D modela i prirodnih karakteristika samo neki od njih. U tabeli 1 dat je pregled najpoznatijih razvojnih okruženja sa pregledom njihovih mogućnosti [74] [151].

Tabela 1. Pregled razvojnih okruženja za proširenu realnost

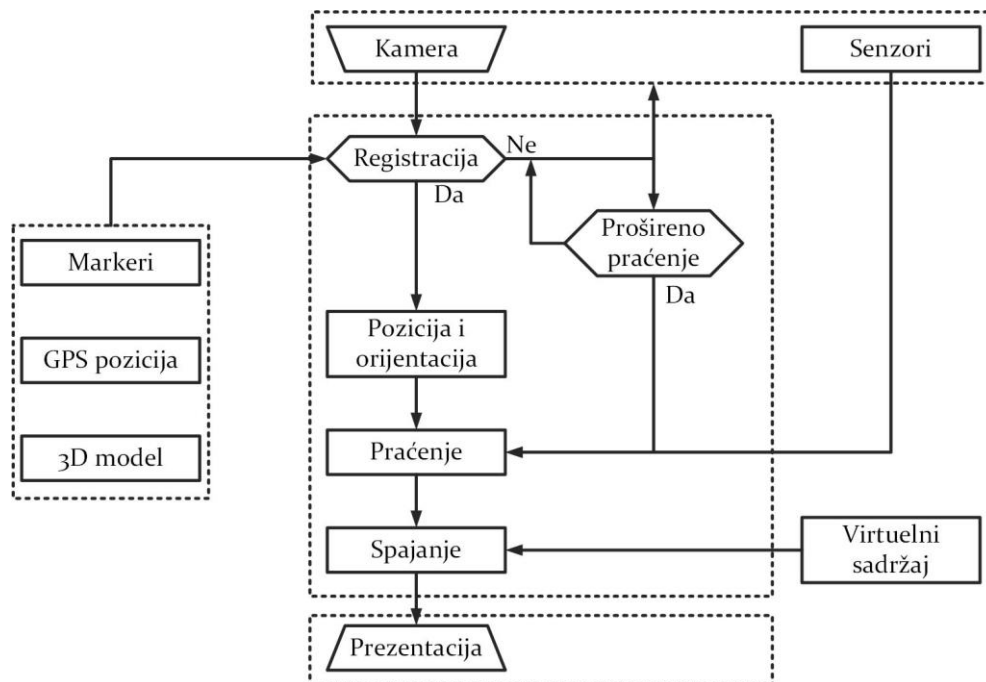
Naziv	Licenca	Markeri	Prirodne karakteristike	3D model	GPS	Prošireno praćenje
Vuforia SDK	Da	Da	Da	Da	Ne	Da

ARToolkit	Ne	Da	Da	Ne	Ne	Ne
Wikitude	Da	Da	Da	Da	Da	Da
ArKit	Da	Da	Ne	Ne	Ne	Da
ArCore	Ne	Da	Ne	Ne	Ne	Da
Kudan AR Engine	Da	Da	Da	Da	Da	Da

Problem prilikom upotrebe isključivo samo mašinske vizije za određivanje pozicije i orijentacije korisnika je da nakon gubitka markera iz vidokruga gubi se i pozicija i orijentacija. Korisnici bi bili primorani da obezbede da tokom čitavog korišćenja aplikacije proširene realnosti marker bude u vidnom polju kamere. Upotrebom ugrađenih senzora pametnih telefona moguće je izvršiti prošireno praćenje. Na taj način registracija fizičkog markera dovoljna je na samo početku, a kasnije u toku korišćenja aplikacije proširene realnosti upotrebom senzora moguće je prikazivati sadržaj čak i ako marker nije vidljiv. Smernice i instrukcije je moguće prikazivati na većem području upotrebom samo jednog markera. Za potrebe praćenja moguće je koristiti ugrađene senzore u današnje pametne telefone kao što su:

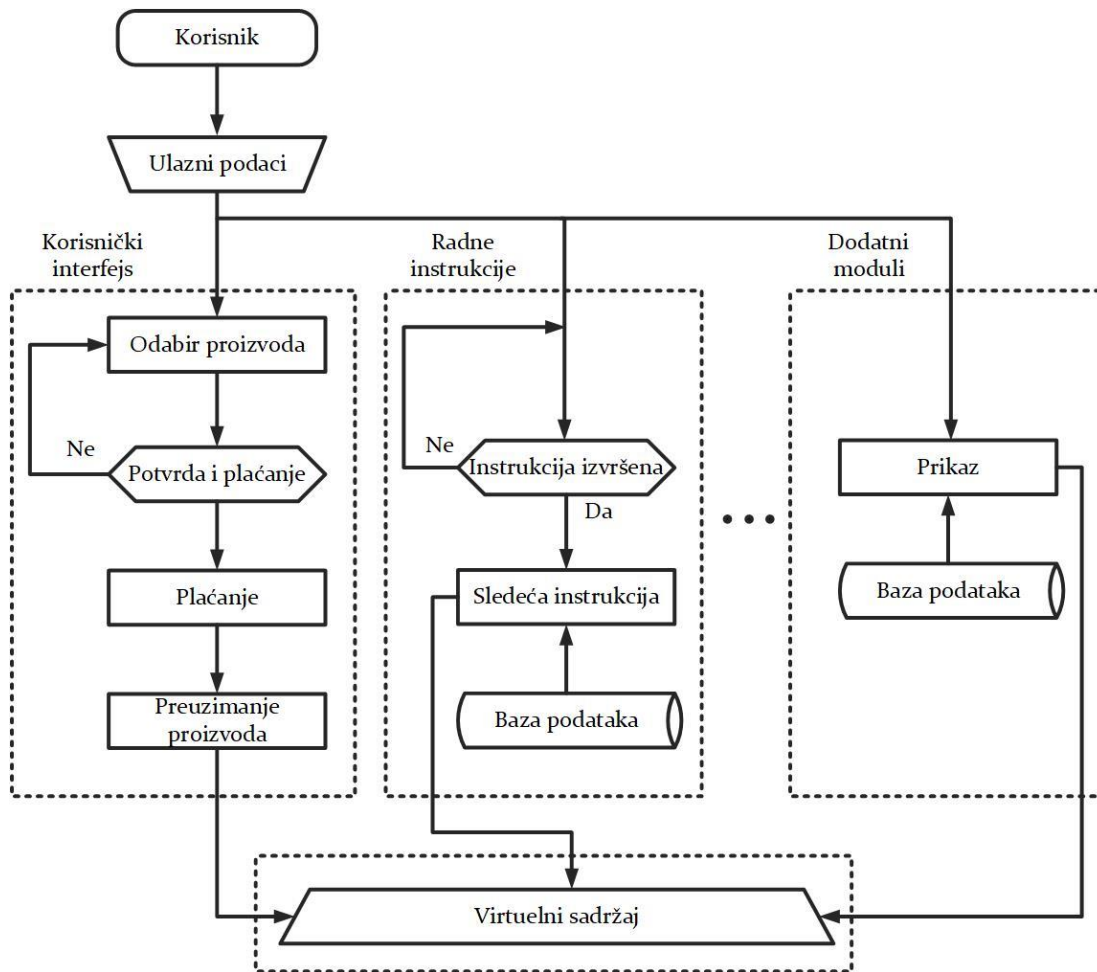
- Inercijalni senzori;
- Akcelometar;
- Kompas, itd.

Nakon detekcije referentnog koordinatnog sistema, AR model kombinuje realno okruženje sa virtuelnim sadržajem. Količina virtuelnih informacija koja će se prikazati može biti različita i promenljiva u toku izvršavanja aplikacije proširene realnosti. Na slici 23 data je arhitektura AR modela. Početni podatak AR modela predstavlja trenutni kadar sa kamere. Na osnovu izabranog načina detekcije pozicije i orijentacije u bazi podataka vrši se analiza trenutne slike sa kamere, u cilju registracije položaja i orijentacije. Ukoliko je registracija uspešna, vrši se kalkulacija relativnog položaja i orijentacije sistema. U suprotnom, proverava se da li postoje podaci o relativnom položaju i orijentaciji sistema od ranije. Ukoliko postoje onda se na osnovu senzorskih informacija vrši kalkulacija relativnog položaja i orijentacije sistema. Poslednji korak predstavlja vizuelizacija virtuelnog sloja trenutnog prikaza sa kamere i definisanim pozicijama virtuelnog sadržaja, njihovo spajanje i prikaz na ekranu mobilnog telefona.



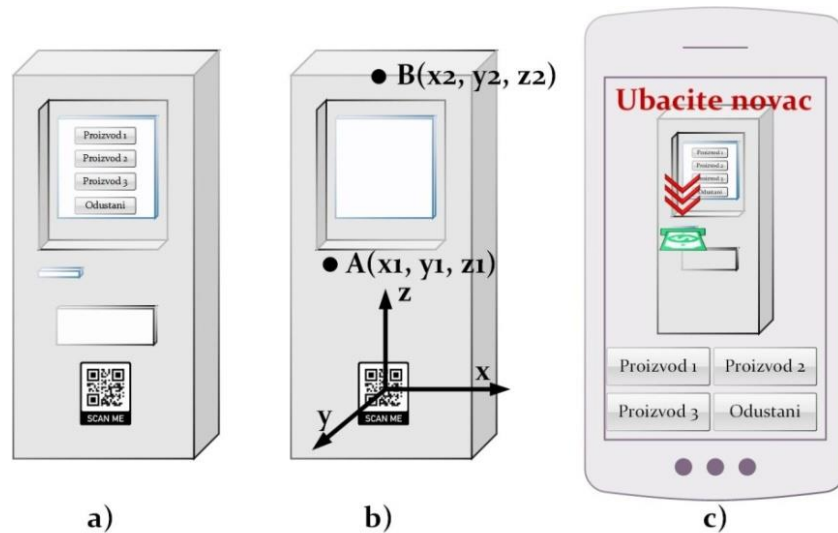
Slika 23. AR model

Na osnovu namene i funkcije samouslužnog automatizovanog sistema definiše se radni model. U okviru radnog modela moguće je uočiti dve celine u zavisnosti od tipa korisnika: korisnički i administratorski. U slučaju korisnika, slika 24, neophodno je izvršiti skup koraka u tačno određenom redosledu. Skup koraka koje je neophodno izvršiti uključuje odabir proizvoda/usluge putem korisničkog interfejsa i određenih fizičkih akcija na samom automatu (plaćanje, ubacivanje kartice, preuzimanje proizvoda i slično). Svakom koraku prethodi odgovarajuća radna instrukcija kako bi se olakšala upotreba samouslužnog automatizovanog sistema. Sistem ima dvostruki cilj, da se obezbedi korisnička interakcija putem aplikacije proširene realnosti i pravilno korišćenje samouslužnog automatizovanog sistema. Pored osnovnog cilja moguće je uključiti i dodatne module kao što su: promocije, akcije, tehnička podrška u realnom vremenu i druge.



Slika 24. Korisnički model proširene realnosti

Virtuelni sadržaj koji se prikazuje može biti u formi audio ili video zapisa, teksta, slike ili 3D modela. S obzirom da su dimenzije samouslužnih automata poznate, kao i pozicije svih elemenata samouslužnog automatizovanog sistema moguće je definisati pozicije virtuelnog sadržaja u odnosu na referentni koordinatni sistem (slika 25). Na osnovu podataka o relativnom položaju i orijentaciji virtuelnog sadržaja u odnosu na referentni koordinatni sistem, moguća je kalkulacija prostornog položaja unutar trenutnog kadra kamere.



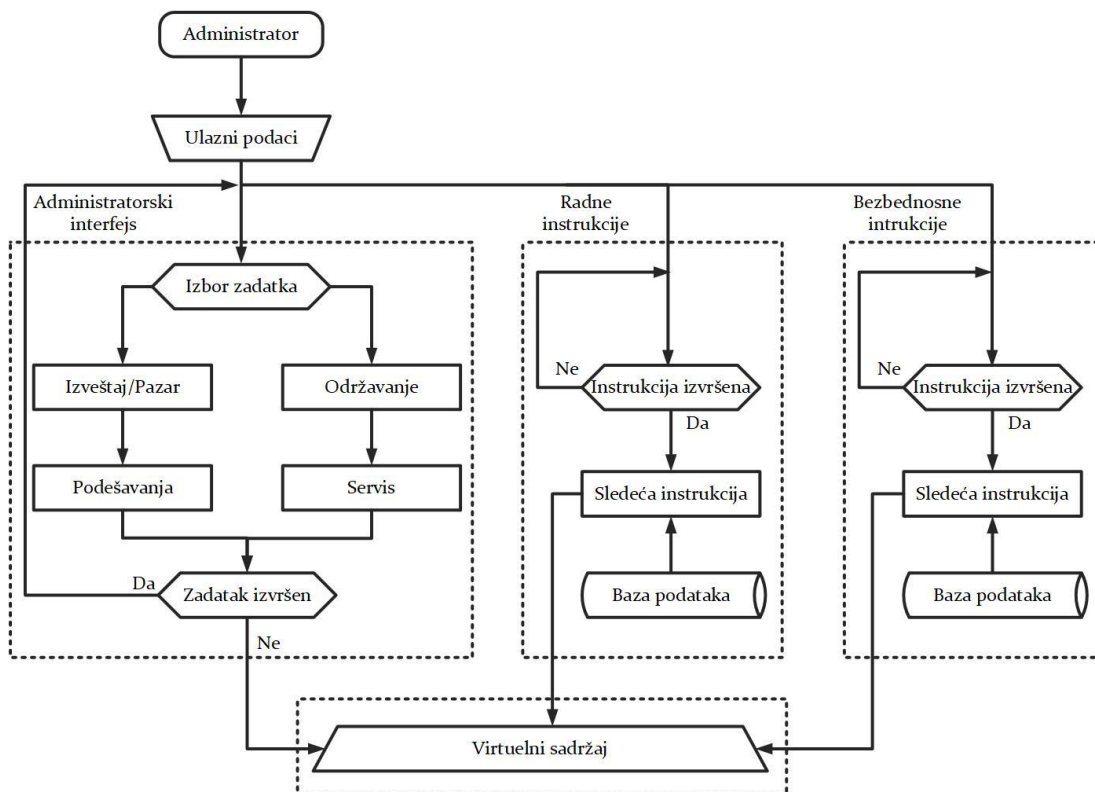
Slika 25. Definisiranje pozicije virtuelnog sadržaja u odnosu na referentni koordinatni sistem:

- a) Samouslužni automatizovani sistem;
- b) Definisiranje pozicije virtuelnog sadržaja u odnosu na referentni koordinatni sistem;
- c) Aplikacija proširene realnosti sa korisničkim menijem i dodatnim informacijama

Korisnik odabir proizvoda/usluge može obaviti putem aplikacije proširene realnosti ili na samom samouslužnom automatu. Prilikom koraka koji zahtevaju fizičku akciju korisnika na samouslužnom automatizovanom sistemu neophodna je povratna informacija od strane automata radi prikaza tačnih instrukcija. Da bi ovo bilo moguće neophodna je interakcija između samouslužnog automatizovanog sistema i aplikacije proširene realnosti na pametnom telefonu koja može biti upotrebom bežične komunikacije preko klada okruženja ili direktnom interakcijom putem Bluetooth ili Wi-Fi komunikacije. Na taj način prezentovani sadržaj prilagođava se trenutnom stanju samouslužnog automatizovanog sistema. Interakcija sa okolinom može se postići brojnim različitim pristupima, ali je neophodna analiza i razumevanje efikasnosti interakcije putem mobilnih telefona. Uvid u virtuelni svet ograničen je veličinom ekrana mobilnog telefona. Dalje se od korisnika zahteva da uvek drži telefon u jednoj ruci čime mu je ograničena mogućnost gestikulacije rukama. Iako je interakcija pomoću gestikulacije dopadljivija korisnicima, upotreba ekrana osetljivog na dodir je vremenski brža, pre svega jer je su korisnici upoznati sa načinom rada pametnih telefona. Pomoću

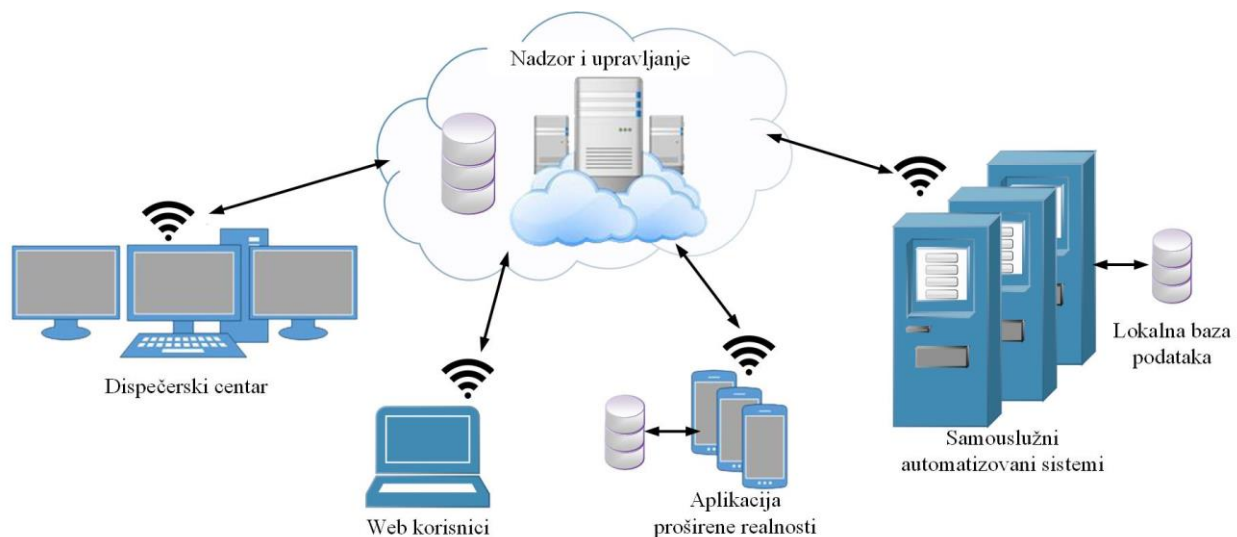
promene pozicije i orijentacije telefona mogu se takođe zadavati komande za rad uređaja. Neki od primera ugrađenih funkcija koje rade na ovom principu su automatsko isključivanje zvuka zvona postavljanjem telefona na sto sa ekranom na dole ili uključivanje lampe tako što se telefon protrese.

Administratorski režim ima zadatak da pruži sve neophodne informacije za pravilno i efikasno izvršavanje radnih zadataka kao što su redovan servis i održavanje samouslužnog automatizovanog sistema (slika 26). Odabirom određene akcije radnik dobija jasno definisanu listu zadataka koju mora da obavi. Svakom zadatku pridružuju se pored odgovarajućih radnih instrukcija i bezbednosne napomene. Na ovaj način radnik poseduje jasno definisanu listu zadataka koju mora da prođe uz virtuelne instrukcije na mestu na kom je potrebno obaviti zadatak. Tek nakon potvrde da je trenutna instrukcija izvršena, prelazi se na sledeću. Svaki radnik poseduje svoj jedinstveni identifikacioni broj i sve obavljene akcije moguće je skladištiti u bazi podataka. Time je omogućen uvid u istoriju svih akcija na samouslužnom automatizovanom sistemu.



Slika 26. Administratorski model proširene realnosti

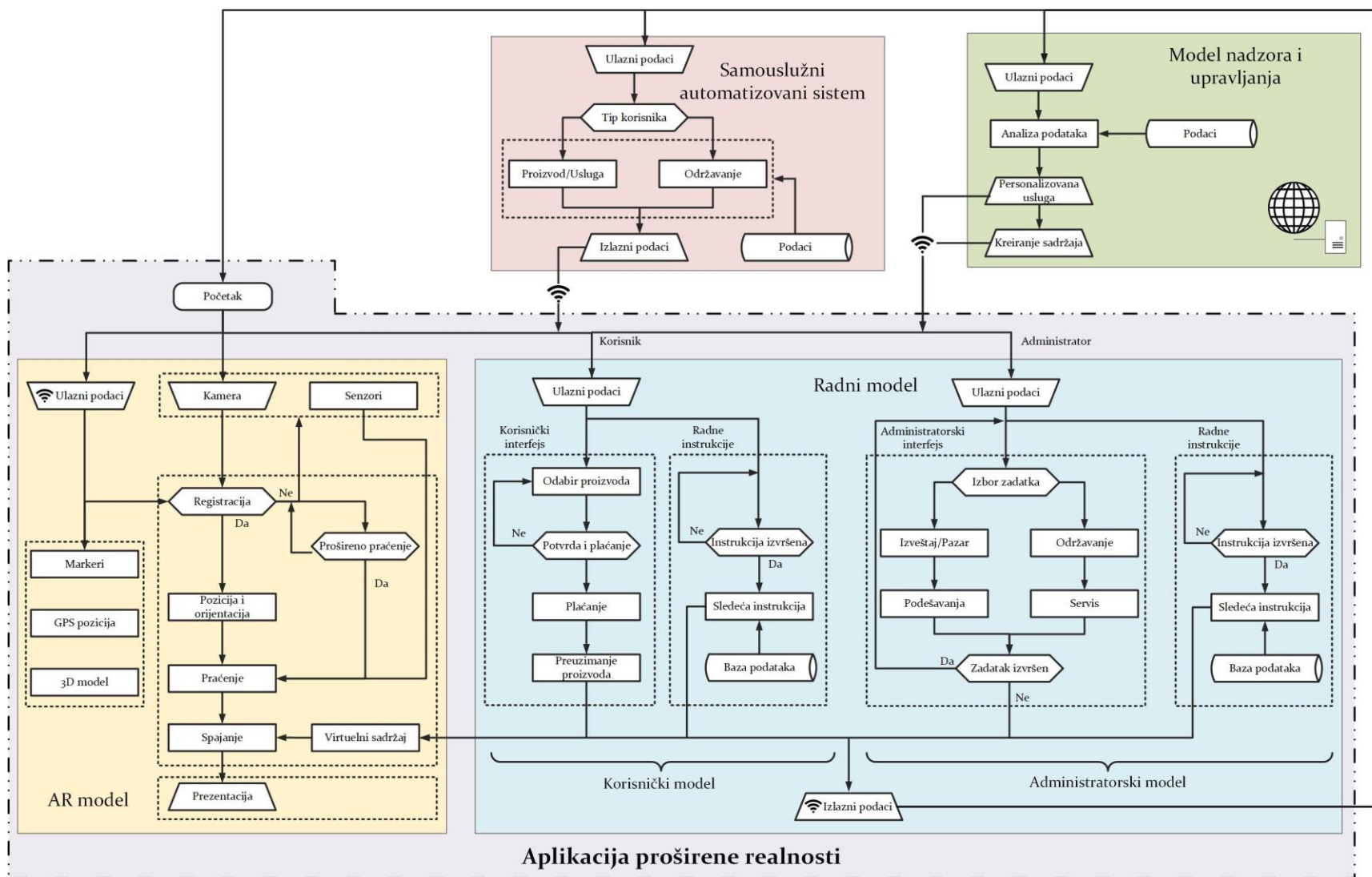
Sve veća potražnja za brzom i personalizovanom uslugom dovela je do povećanja upotrebe samouslužnih automatizovanih sistema u različitim oblastima. Konceptom interneta stvari (IoT) podaci se prikupljaju, analiziraju i dostupni su za dalju upotrebu. IoT proširuje vezu između stvari uz minimalnu potrebu za ljudskom intervencijom. Samouslužni automatizovani sistemi koji su međusobno povezani i inteligentni sistemi na kladu okruženju (slika 27) omogućavaju trgovcima da kupcima pruže bolje iskustvo kupovine [113] [114]. Primenom IoT koncepta podaci se prikupljaju i analiziraju kako bi se povećala efikasnost i produktivnost. Trendovi kupovine i personalizovana usluga omogućava prilagođavanje ponude tačnim potrebama i željama kupaca. Tehničke službe mogu podešavati parametre svakog pojedinačnog samouslužnog automatizovanog sistema bez potrebe za odlazak na samu lokaciju, planirati redovna održavanja i dopune inventara.



Slika 27. Šematski prikaz centralizovanog sistema

Na osnovu arhitekture samouslužnih automatizovanih sistema prikazane na slici 21 definisan je prošireni model podrške proširene realnosti samouslužnim automatizovanim sistemima (slika 28). Pored pomenutog AR modela i radnog modela (korisnički i administratorski model) moguće je obavljati i nadzor i upravljanje sa udaljene lokacije. Važna stavka u modelu predstavlja interakcija između aplikacije proširene realnosti, samouslužnih automatizovanih sistema i kladu sistema, koja je ključna za pravilno funkcionisanje celokupnog sistema. Aplikacija proširene realnosti

mora da implementira i podrži iste funkcionalnosti kao i sam samouslužni automatizovani sistem. Sa druge strane samouslužni automatizovani sistem mora omogućiti interakciju sa mobilnom aplikacijom proširene realnosti. Dodatne informacije i instrukcije moraju biti prilagođene trenutnom stanju samouslužnog automatizovanog sistema. Virtuelni sadržaj koji se prikazuje, može biti lociran na samom mobilnom uređaju ili na kladu okruženju. Pravilan način registracije i praćenja pozicije korisnika neophodan je radi prikaza virtuelnog sadržaja u realnom vremenu na samouslužnom automatizovanom sistemu. Predloženi model, kao glavni doprinos u ovoj doktorskoj disertaciji, omogućava da se primenom tehnologije proširene realnosti unapredi upotreba samouslužnih automatizovanih sistema. Struktura sistema omogućava da se definiše jedinstvena arhitektura sistema i izvrši njena implementacija. Arhitektura sistema je definisana na taj način da se odgovori funkcionalnim zahtevima različitih samouslužnih automatizovanih sistema kod kojih se korisnički interfejs sastoji od niza koraka, kao i pomoćnih instrukcija koje se prikazuju po tačno utvrđenom redosledu.



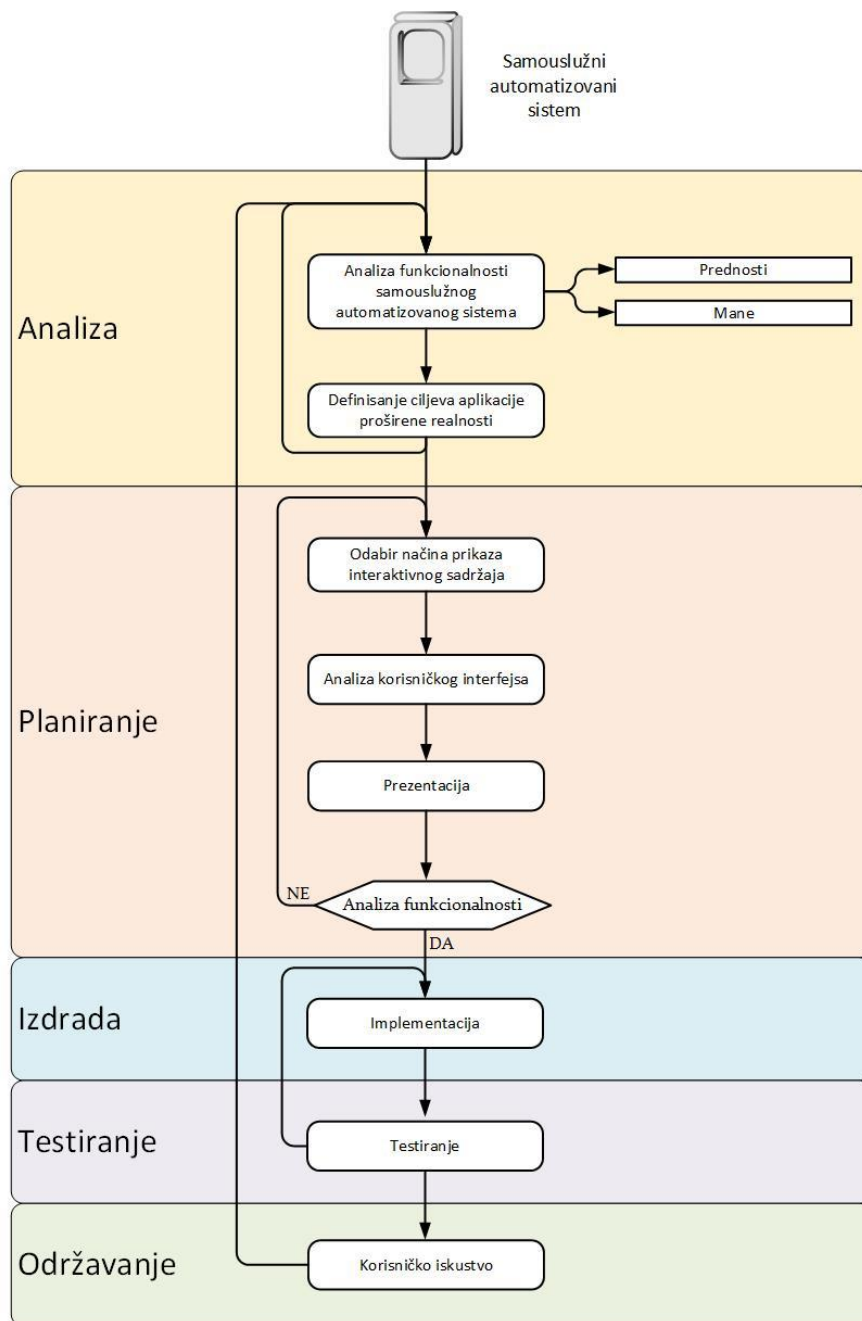
Slika 28. Model podrške proširene realnosti samouslužnim automatizovanim sistemima

3.2. Razvoj aplikacije proširene realnosti

Postoji mnogo različitih samouslužnih automatizovanih sistema i pre samog razvoja aplikacije proširene realnosti neophodno je analizirati mogućnost upotrebe proširene realnosti. Prilikom razvoja aplikacije proširene realnosti neophodno je definisati jasan plan koji opisuje kako razviti samu aplikaciju i poboljšati samouslužni automatizovani sistem. Životni ciklus aplikacije za proširenu realnosti, prikazan na slici 29, definiše faze razvoja aplikacije.

Analiza je osnovna i najvažnija faza. Informacije pribavljanje u ovoj fazi se zatim koriste za planiranje osnovnog projektnog pristupa i za izvođenje studije izvodljivosti proizvoda u ekonomskom, operativnom i tehničkom području. Iako moguće, za neke samouslužne automatizovane sisteme možda nije isplativo razvijati aplikaciju proširene realnosti. Neophodno je na samom početku definisati oblasti i ciljeve aplikacije proširene realnosti i analizirati njenu isplativost. Neki od ciljeva mogu biti:

- Personalizovana usluga – prilagođavanje interaktivnog prikaza na osnovu navika svakog korisnika;
- Poboljšanje usluge – da li aplikacija proširene realnosti olakšava upotrebu samouslužnog automatizovanog sistema?;
- Marketing - dodavanje marketinškog sadržaja na atraktivan način;
- Informacije – pružanje informacija korisnicima vezanih za proizvod ili uslugu, komentare, iskustva i preporuke drugih korisnika, itd.;
- Uslužnost – olakšavanje rada korisnicima putem uputstva za upotrebu u realnom vremenu;
- Zabava – privlačenje novih korisnika interaktivnim sadržajem kao što je traženje zagonetnih predmeta na lokacijama blizu samouslužnih automata, mini igrama i slično.



Slika 29. Razvojni put aplikacije proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema

Jednom kada se izvrši analiza zahteva, sledeći korak je proučavanje specifikacije zahteva iz prve faze i priprema dizajna sistema. Ova faza pomaže u specifikaciji hardverskih i sistemskih zahteva i pomaže u definisanju celokupne arhitekture sistema. Postoji više načina implementacije aplikacije proširene realnosti u vidu interakcije

korisnika, načina prikaza interaktivnog sadržaja i praćenja objekata. Da bi bilo moguće analizirati koji je najpogodniji za dati samouslužni automatizovani sistem neophodno je analizirati trenutni način interakcije korisnika na postojećem sistemu.

Tek nakon jasno definisanih ciljeva aplikacije i strukture sistema moguće je započeti izradu aplikacije proširene realnosti. Pogodno je razvijati aplikaciju u nezavisnim modulima koji mogu biti samostalno testirani. Ovo olakšava otkrivanje potencijalnih grešaka u ranoj fazi razvoja aplikacije. Primenom modularnog razvoja, u fazi izrade, manje celine se integrišu u sistem tek nakon testiranja svake jedinice. Nakon integracije svih delova ceo sistem se ponovo testira na bilo kakve greške i kvarove.

Jednom kada je aplikacija proširene realnosti testirana i spremna za upotrebu poželjno je pre masovne eksploatacije prvo obaviti ispitivanje prihvatanja korisnika na manjoj test grupi. Na osnovu povratnih informacija, aplikacija može biti korišćenja takva kakva jeste ili sa predloženim poboljšanjima od strane ispitanika. Aplikaciju je neophodno održavati tokom njene eksploatacije na osnovu iskustva korisnika.

4. Primena modela proširene realnosti

U ovom poglavlju detaljno je opisana implementacija predloženog modela na studiji slučaja koja je sprovedena na samouslužnom automatizovanom sistemu za iznajmljivanje bicikala (NS Bike sistem). NS Bike je izabran prvenstveno, jer objedinjuje različite samouslužne automatizovane sisteme. Za razliku od češćih slučajeva gde se nudi samo usluga ili proizvod, kod iznajmljivanja bicikala korisnici su dužni da bicikl vrate na stanicu NS bike. Predloženi razvoj aplikacije proširene realnosti, prikazan na slici 29, primenjen je prilikom uvođenja proširene realnosti za potrebe NS Bike sistema. Analizirana je funkcionalnost samouslužnog automatizovanog sistema, i na osnovu predloženog modela, izvršena je implementacija predloženog modela sa ciljem unapređenja funkcionalnosti NS Bike sistema.

4.1. Samouslužni automatizovani sistemi za iznajmljivanje bicikala

Jedna od najvažnijih prednosti samouslužnih automatizovanih sistema je da svoje usluge ili proizvode ponude korisnicima 24/7, sa minimalnim učešćem ljudskog rada, u cilju smanjenja troškovi rada [98]. Pored toga, imaju i svoje druge prednosti, kao što je slučaj sa samouslužnim automatizovanim sistema za iznajmljivanje bicikala. U ovom slučaju, poseban naglasak je da se, pre svega u gradskim sredinama, omogući korisniku da korišćenjem usluge iznajmljivanja (i upotrebom) bicikla, utiče na smanjenje zagađenosti životne sredine i na poboljšanje opšteg fizičkog stanja korisnika.

Prve ideje o sistemima za iznajmljivanje biciklima datiraju još od 1965. godine, kada je u Amsterdamu sa 50 bicikala i počeo da radi prvi takav sistem. Poslednjih dvadesetak godina, upotreba sistema za iznajmljivanje bicikala je u ekspanziji, i danas su prisutni u više od 500 većih evropskih i svetskih gradova, sa preko 500.000 bicikala koji su dostupni korisnicima [152].

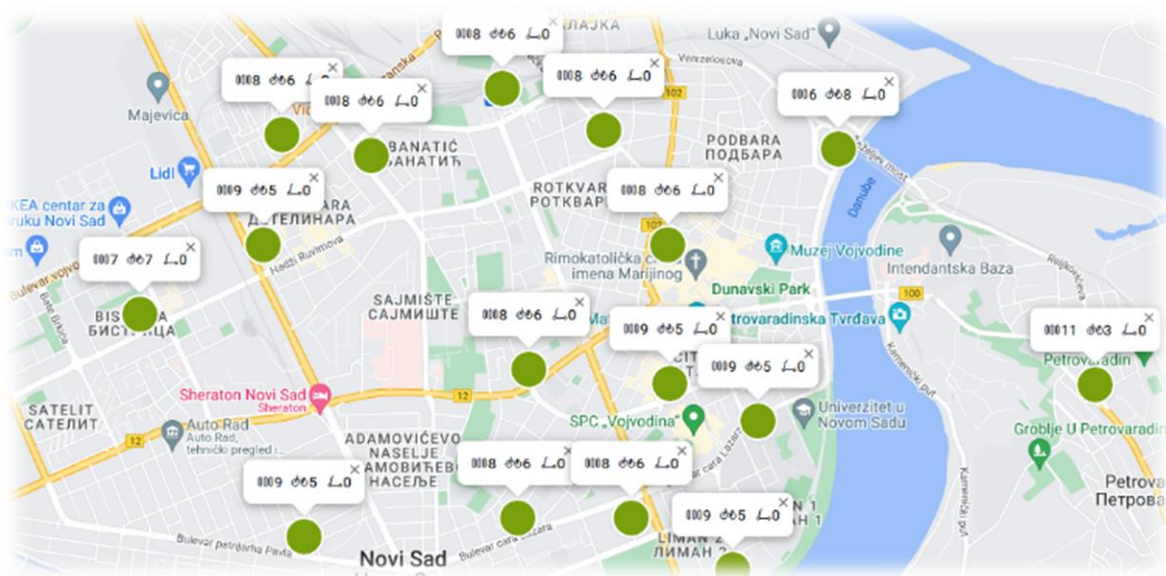
NS Bike sistem je počeo je sa radom 2011. godine na pet lokacija u gradu Novom Sadu [153]. Od tada, pa sve do 2022. godine, broj stanica, na kojima se mogu iznajmiti bicikli u okviru NS Bike sistema, je rastao kao što je prikazano u Tabeli 2. U

2022. godine je planirano da se na postojećim stanicama omogući i iznajmljivanje električnih trotineta, što će ovaj sistem učiniti jedinstvenim u svetu u ovom trenutku.

Tabela 2. Povećanje NS Bike stanica po godinama

Godina	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Broj stanica	5	6	8	10	11	12	13	13	14	15	15	15	16

Lokacijski raspored stanica za iznajmljivanje bicikala u okviru NS Bike sistema je prikazan na slici 30. U okviru NS Bike sistema ima 200 bicikala, a procenjuje se da bi Novi Sad u poređenju sa drugim evropskim gradovima slične veličine trebao da ima oko 600 bicikala i 60 stanica [154]. Na slici 30 se takođe mogu videti trenutni broj slobodnih bicikala i slobodnih mesta za vraćanje bicikala, za svaku od stanica za iznajmljivanje bicikala u okviru NS Bike sistema.



Slika 30. Lokacijski raspored stanica za iznajmljivanje bicikala u okviru NS Bike sistema (slika preuzeta iz aplikacije NS bike)

Osnovni kapacitet svake stanice za iznajmljivanje bicikala u okviru NS Bike sistema je četrnaest mesta za bicikle (napomena: stanica koje izgrađena 2022. godine je već prilagođena da poslednja četiri mesta mogu da prihvate i električne trotinete, kao to je prikazano na slici 31). Stanica se sastoji od: sedam boksova za bicikle opremljenih sa dva mehanizma za zaključavanje, električnih aktuatora i senzora neophodnih za rad.

U zavisnosti od uslova koje diktira lokacija, postoji mogućnost jednostranog ili dvostranog parkiranja bicikla i promena kapaciteta stanice. Bicikli su modifikovani, tako da budu prepoznatljivi i poseduju specijalan deo namenjen zaključavanju bicikla. Upravljanje radom stanice vrši se pomoću upravljačkog automata (slika 32).



Slika 31. Izgled stanice za iznajmljivanje bicikala u okviru NS Bike sistema



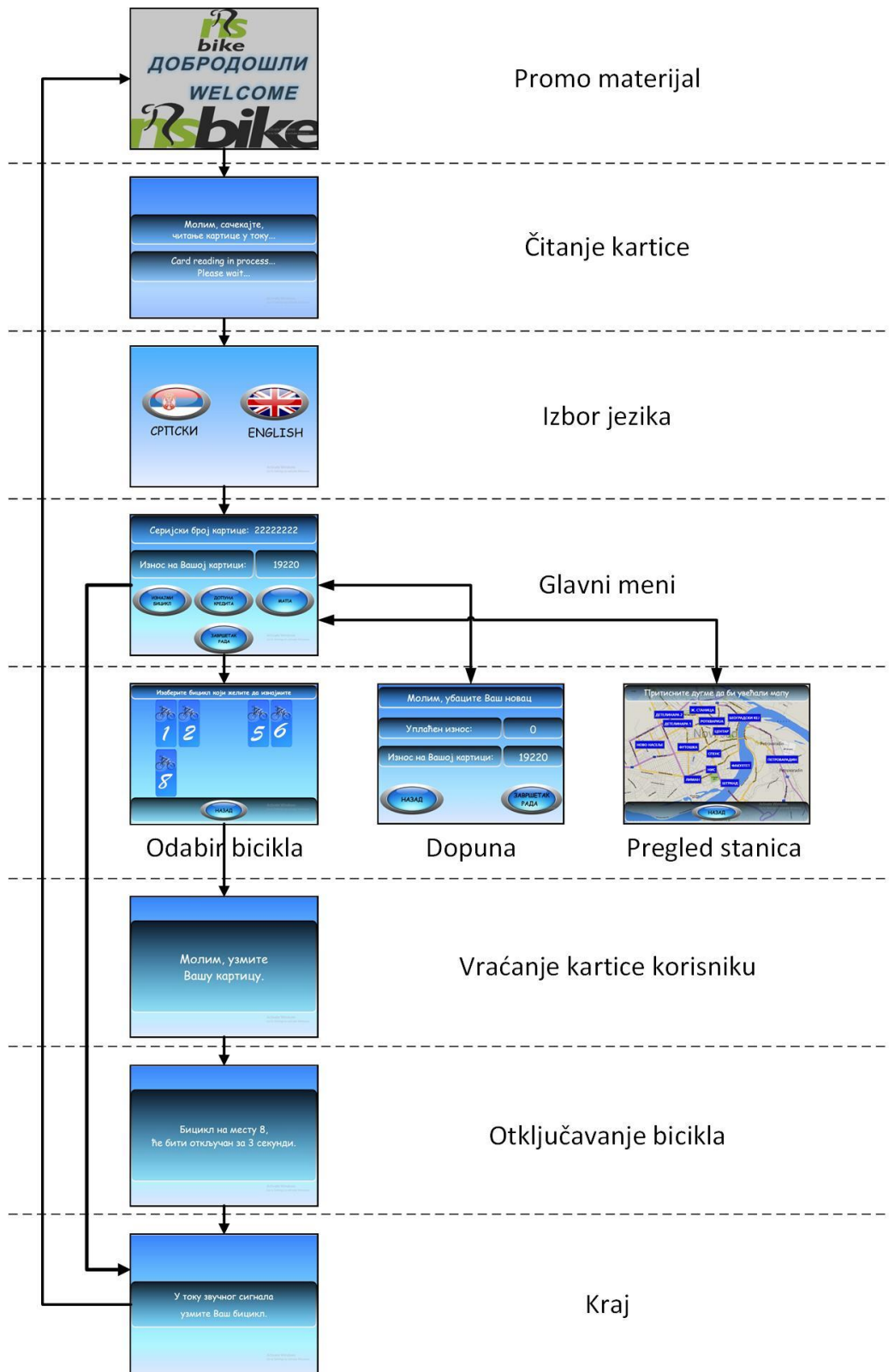
Slika 32. Izgled upravljačkog automata na stanici za iznajmljivanje bicikala u okviru NS Bike sistema

Upravljački automat se sastoji od PC panela osetljivog na dodir, RFID čitača kartica, termalnog štampača i prihvatnika novčanica i kovanica. Za korišćenje sistema neophodna je RFID kartica koja se izrađuje prilikom registracije korisnika. Podaci o vremenu korišćenja bicikla, kreditu korisnika i njegov serijski broj nalaze se na kartici. Svi podaci o korišćenju stanice smeštaju se u lokalnu bazu podataka. Upravljanje radom boksova obavlja programabilni logički kontroler (skr. PLK). Komunikacija između PC panela i PLK obavlja se putem TPC/IP protokola.

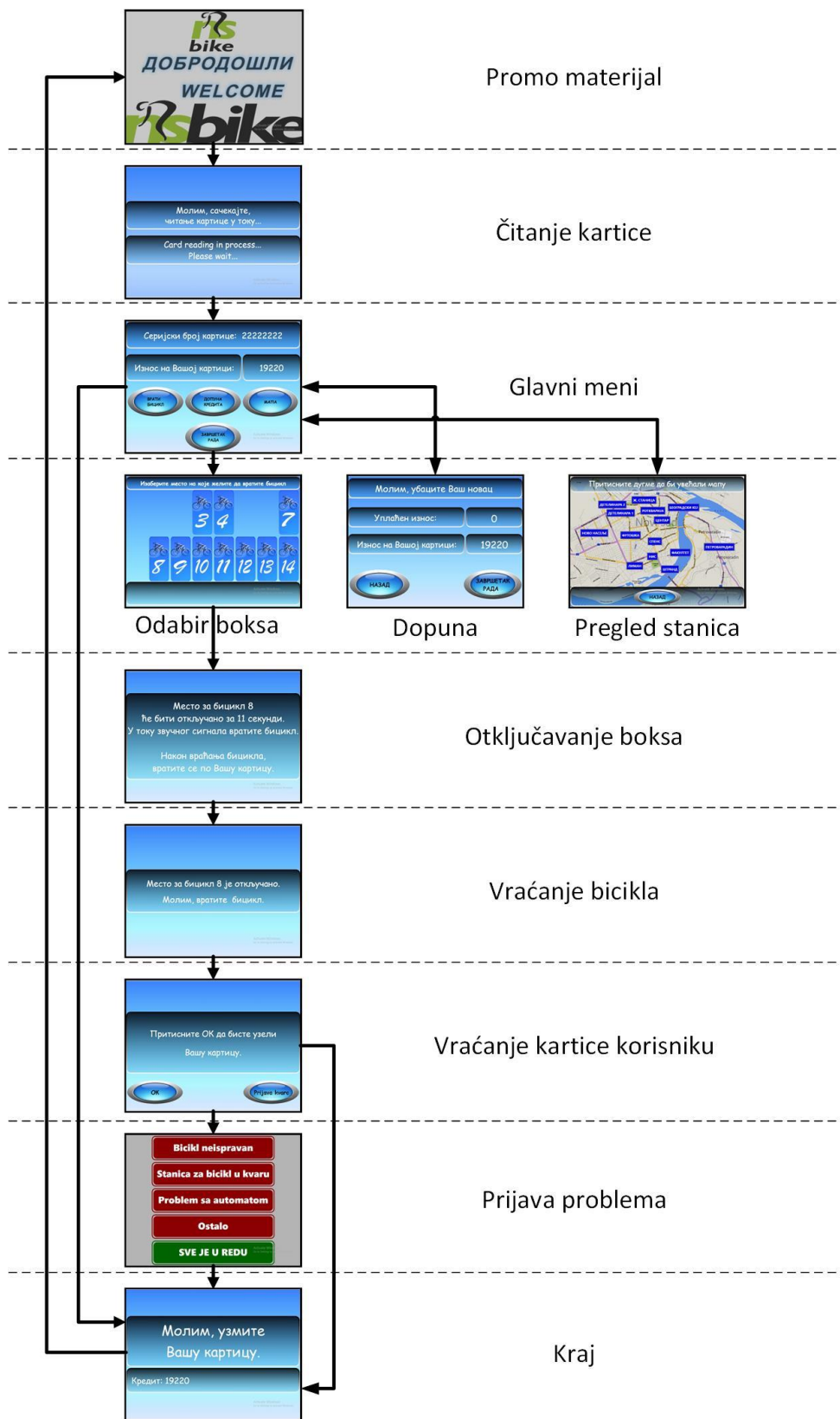
U skladu sa funkcionalnošću samouslužnog automatizovanog sistema koja je prikazana na slici 20, na svakoj stanici za iznajmljivanje bicikala postoje dve mogućnosti interakcije. Jedna sa korisnikom, a druga sa administratorom. Na slici 33 prikazan je kompletan dijagram toka koji korisnik može da ostvari kod iznajmljivanja bicikla. Osnovna grana u ovom dijagramu toka, predstavlja onu kojom se omogućava da korisnik iznajmi bicikl. Pored toga, korisniku se omogućava da izvrši dopunu svog kredita (u slučaju da nema dovoljno kredita, korisniku nije dozvoljeno da iznajmi bicikl) i da provera stanja na ostalim stanicama u okviru NS Bike sistema.

Interakcija sa korisnikom obavlja se putem korisničkog interfejsa na PC panelu upravljačkog automata.

Kod vraćanja bicikla, korisnički interfejs sa ostvaruje prema dijagramu toka koji je prikazan na slici 34. Osnovna grana u ovom dijagramu toku, predstavlja onu kojom se omogućava da korisnik vrati iznajmljeni bicikl. Pored toga, korisniku se omogućava da izvrši dopunu svog kredita (u slučaju da nema dovoljno kredita) i da proveri stanja na ostalim stanicama u okviru NS Bike sistema.

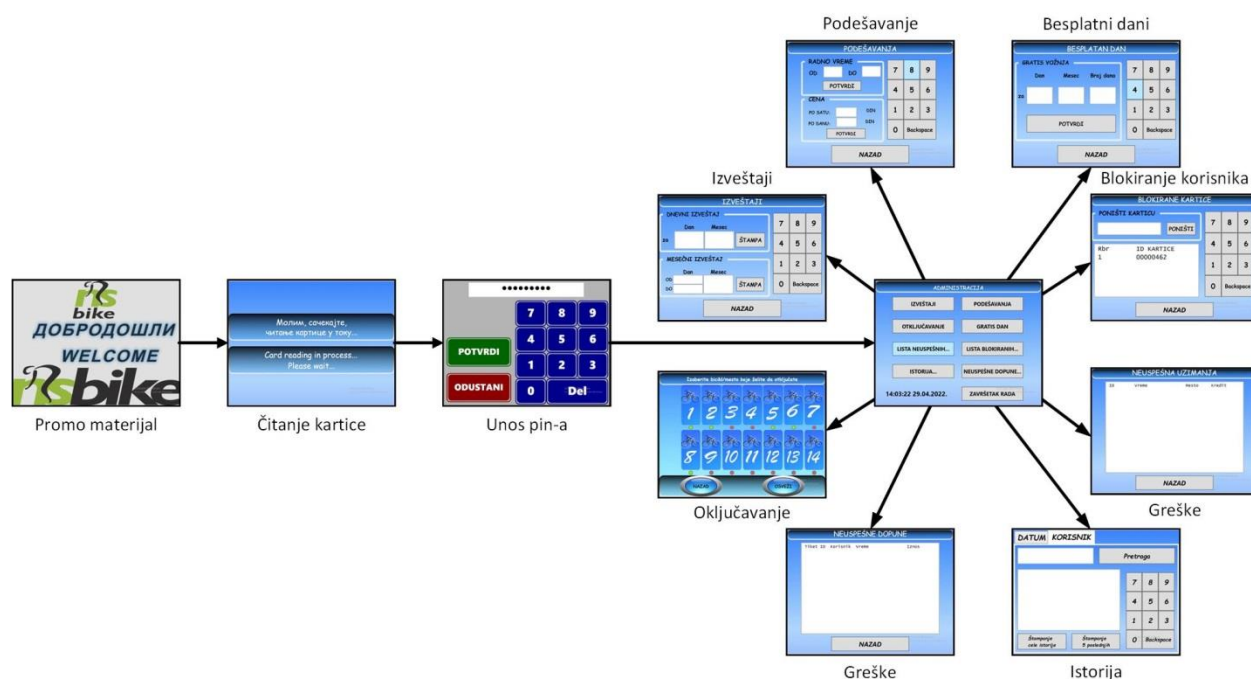


Slika 33. Dijagram toka kod iznajmljivanja bicikla



Slika 34. Dijagram toka kod vraćanja iznajmljenog bicikla

U slučaju kada administrator ostvaruje interakciju sa upravljačkim automatom, ona se odvija u skladu sa dijagramom toka koji je prikazan na slici 35. U okviru ovog režima rada, imajući u vidu da se promenom parametara, mogu ostvariti promene u funkcionalnosti stanice za iznajmljivanje biciklova, identifikacija korisnika se vrši administratorskom karticom i unošenjem odgovarajućeg PIN (ličnog identifikacionog broja). Na ovaj način se u zapisima o radu stanice za iznajmljivanje biciklova, uvek može izvršiti analiza ko je i kada izvršio određene izmene i uradio određene aktivnosti.



Slika 35. Dijagram toka kod interakcije administratora sa upravljačkim automatom

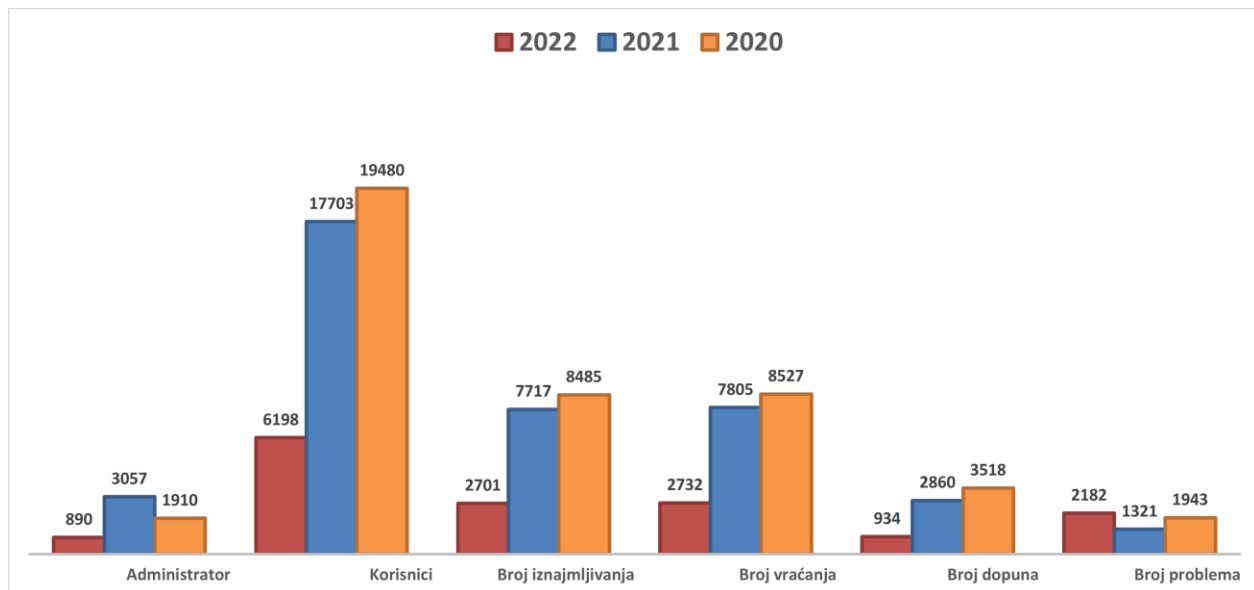
Na slici 36 je dat detaljniji prikaz mogućnosti koje su na raspolaganju administratoru. U zavisnosti od postavljenih zahteva, administrator odlučuje koju od raspoloživih opcija će koristiti, i na taj način rešiti postavljene zahteve.



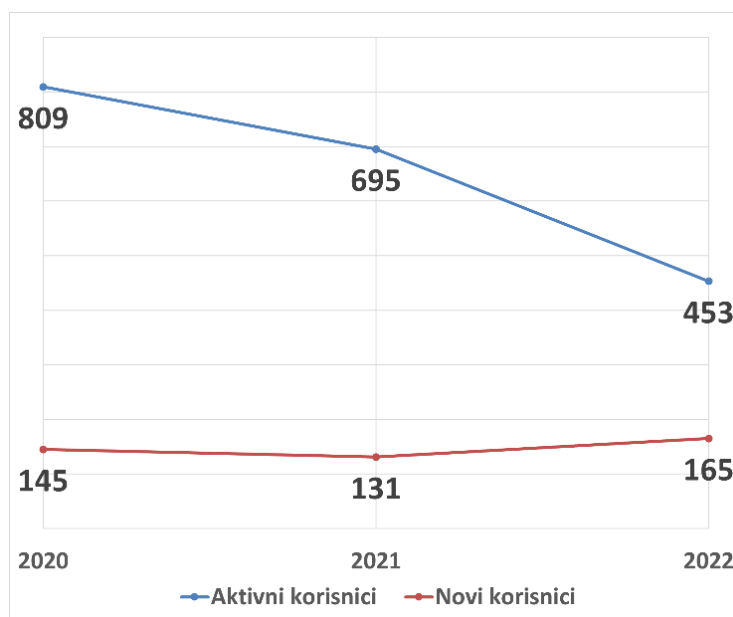
Slika 36. Opcije koje su na raspolaganju administratoru

Na osnovu prikaza interakcije korisnika i administratora na stanicom iznajmljivanje bicikala u okviru NS bike sistema, može se zaključiti da su one u potpunosti u skladu sa funkcionalnošću samouslužnog automatizovanog sistema koja je prikazana na slici 20, i ujedno arhitektura sistema koja je to omogućila, je u skladu sa arhitekturom samouslužnih automatizovanim sistemima sa proširenom realnošću koja je prikazana na slici 21.

Analiza rada stanica za iznajmljivanje bicikala u okviru NS Bike sistema za period 2020-2022.god prikazana je na slici 37, dok je trend novih registrovanih korisnika i aktivnih korisnika prikazan na slici 38. Iako je broj novih registrovanih korisnika u blagom rastu, broj aktivnih korisnika se smanjuje što ukazuje na probleme u radu NS Bike sistema. Korisnici nisu zadovoljni radom sistema i pruženom uslugom.

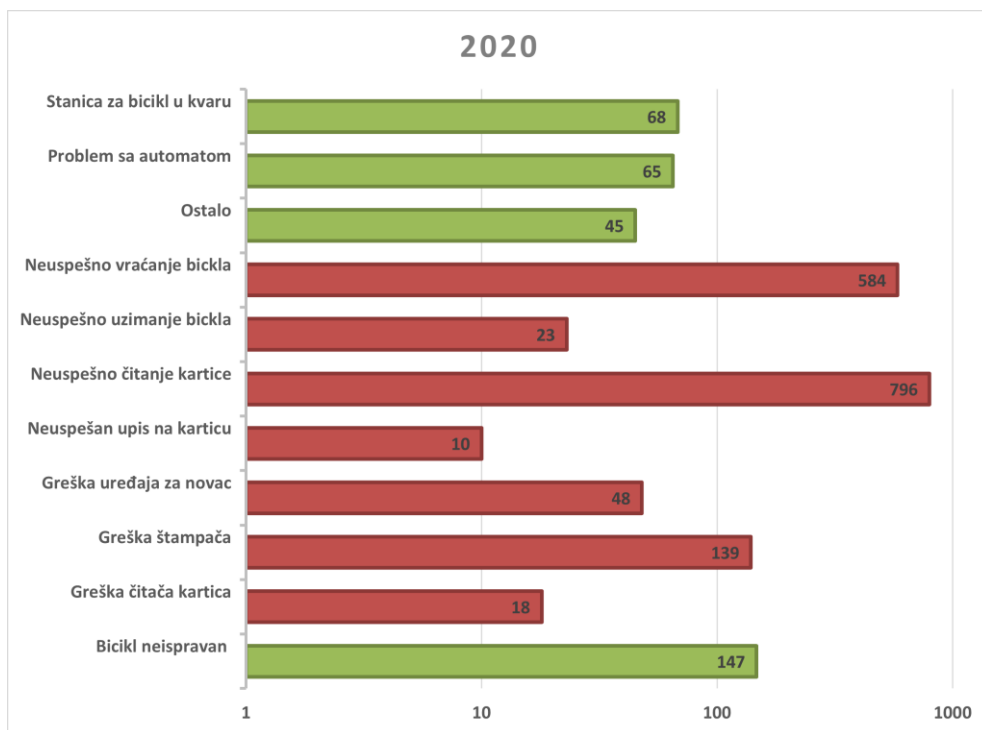


Slika 37. Pregled rada NS Bike sistema

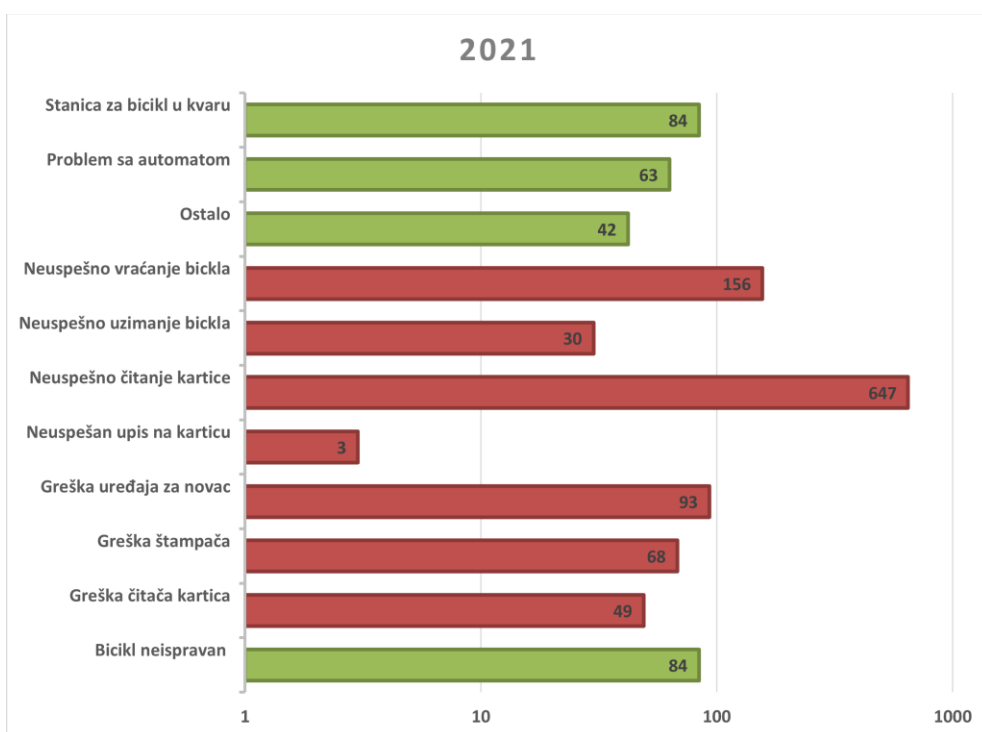


Slika 38. Trend aktivnih i novih korisnika

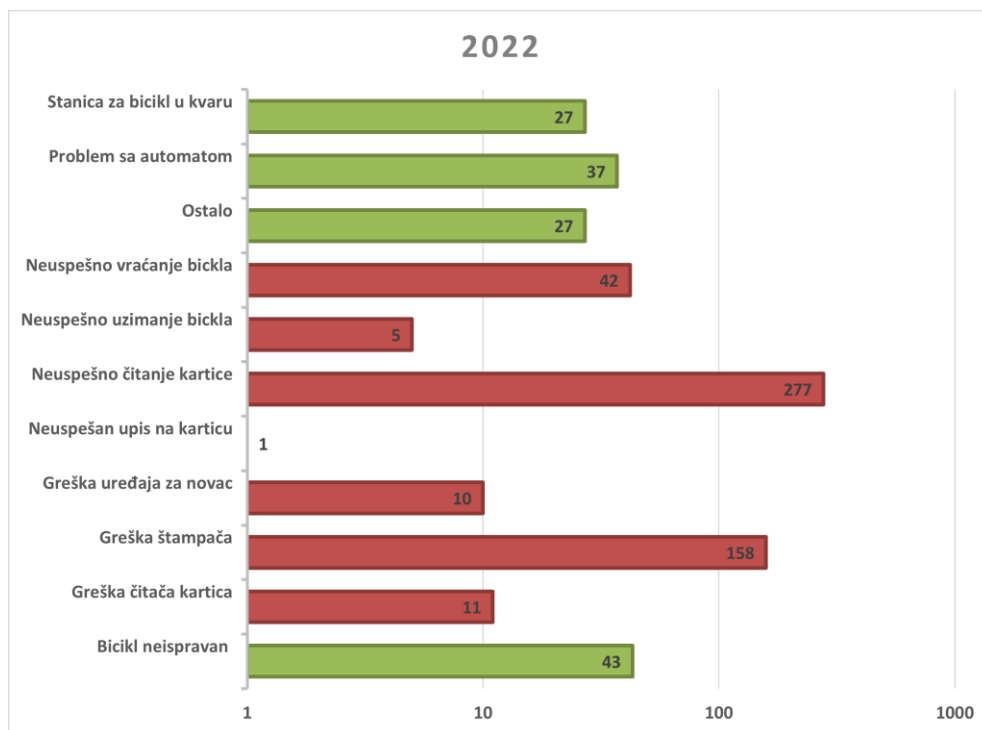
Radi detaljnijeg uvida u probleme rada NS Bike sistema na slici 39, 40 i 41 prikazani su problemi u radu NS Bike sistema za 2020, 2021 i 2022 godinu. Zelenom bojom označeni su problemi koje su korisnici prijavili, a crvenom problemi nastali u radu sistema.



Slika 39. Problemi u radu NS Bike sistema u 2020. godini

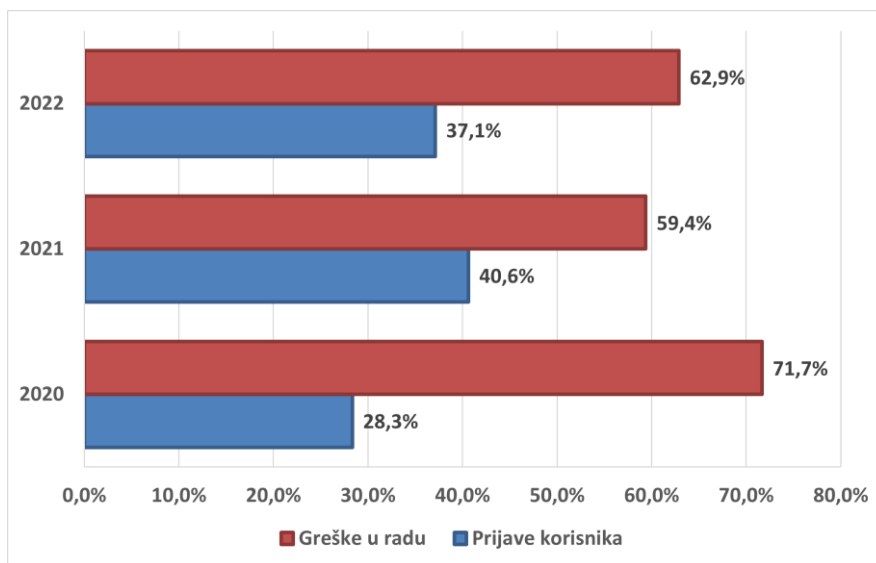


Slika 40. Problemi u radu NS Bike sistema u 2021. godini



Slika 41. Problemi u radu NS Bike sistema u 2022. godini

Neuspešno vraćanje bicikla i neuspešna čitanja RFID kartice za prikazani period prednjače u odnosu na ostale probleme, što ukazuje da korisnici nisu dovoljno upoznati sa načinom vraćanja bicikala. Sa druge strane kod problema koje korisnici imaju mogućnost da prijave, prednjači da je bicikl za iznajmljivanje u kvaru. Prijavljeni problemi ili nisu otklonjeni na vreme ili nisu primećeni od strane službe održavanja. Na slici 42 prikazan je odnos između problema prijavljenih od strane korisnika i problema nastalih u radu sistema. U datom pregledu izuzet je problem neuspešnog čitanja RFID kartice iz razloga jer ne ukazuje na stvarni problem, već može biti uzrokovana ubacivanjem pogrešne kartice. Imajući u vidu da je 2022 godina u toku, moguće je izvući zaključak da broj prijavljenih problema od strane korisnika ima tendenciju rasta, dok u istom periodu broj aktivnih korisnika opada. Ovo ukazuje da službe održavanja nisu dovoljno informisane i upoznate sa stvarnom situacijom na terenu.



Slika 42. Odnos problema i radu i prijavljenih problema

4.2. Analiza mogućnosti primene proširene realnosti

U skladu sa prikazanim stanjem i sprovedenom analizom, aplikacija proširene realnosti bi pre svega imala za cilj poboljšanje kvaliteta usluge sa stanovišta korisnika, kao i podršku službama održavanja radi efikasnijeg uočavanja problema.

Kao medijum za aplikaciju proširene realnosti odabran je mobilni telefon iz razloga jer je dostupan svim korisnicima. Kako je reč o samouslužnom automatizovanom sistemu koji je nalazi na javnim mestima, korišćenje HMD uređaja nije praktično. Za razvojni alat izabrana je Vuforia skup biblioteka kao jedan od danas najpopularnijih alata za razvoj AR aplikacija. Obzirom da su samouslužni automatizovani sistemi stacionarni, postoji više pristupa detekciji pozicije i orijentacije objekata u prostoru. Najjednostavnije je svakako prepoznavanje bazirano na markeru. Markeri predstavljaju slike koje Vuforia može da otkrije i prati. Slika se detektuje i prati upoređujući izvučene prirodne karakteristike sa slike kamere sa poznatom bazom podataka ciljnih resursa. Da bi neka slika postala marker, mora da zadovolji sledeće zahteve:

- Bogata detaljima (ulična scena, grupa ljudi, kolaži i mešavine predmeta i sportske scene su dobri primeri);

- Dobar kontrast (slike sa svetlim i tamnim delovima i dobro osvetljenim oblastima predstavljaju dobar izbor);
- Bez obrazaca koji se ponavljaju (potrebno je koristiti jedinstvene karakteristike i različite grafike koje pokrivaju što je moguće veći deo markera da bi izbegli simetriju, ponovljene obrasce i oblasti bez karakteristika).

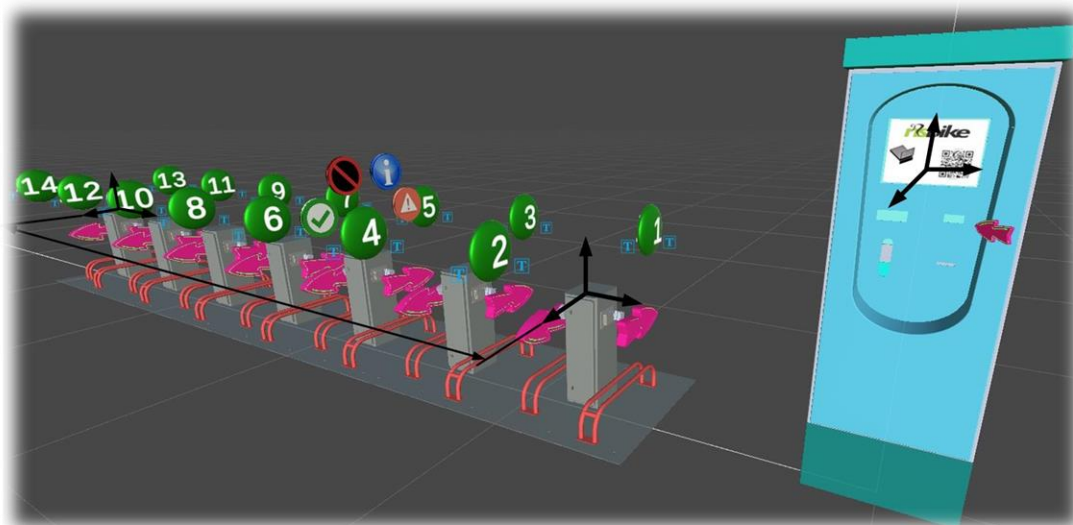
Pre nego što se slika može upotrebiti, neophodno ju je obraditi u cilju pronalaženja detalja i karakteristika. Vuforia kvalitet svake slike ocenjuje dobrom ocenom u zvezdicama. Na slici se detektuju specifične tačke od interesa. Na osnovu pozicija prepoznatih tačaka (jednih u odnosu na druge) moguće je proračunati poziciju i ugao korisnika u odnosu na marker. Na slici 43 prikazani su primeri markera pre i nakon obrade.



Slika 43. Primer generisanja markera na osnovu slike

Marker može biti postavljen proizvoljno u okruženju. Nakon detekcije markera u odnosu na njega moguće je postavljati proizvoljno sadržaj u proširenoj realnosti. Obzirom da su samouslužni automatizovani sistemi statični, moguće je na jednostavan

način pozicionirati objekte u prostoru u odnosu na poziciju markera. Slika 44 ilustruje primer definisanja pozicija objekata u odnosu na marker koji se prepoznaje.



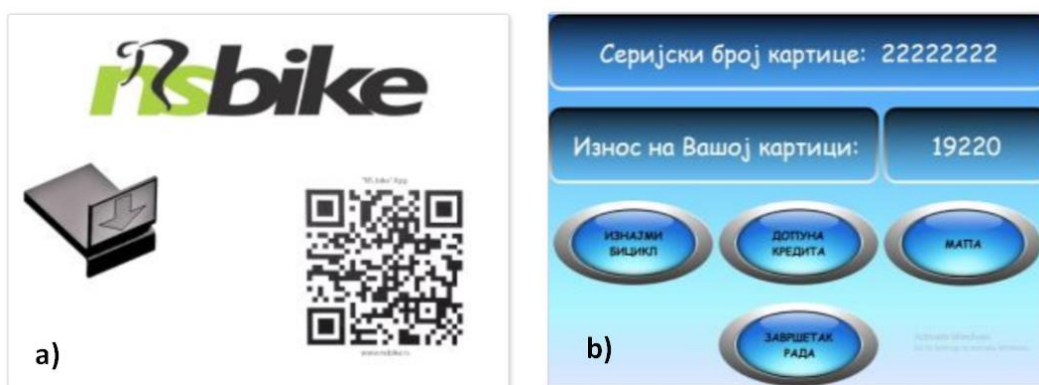
Slika 44. Postavljanje objekata u prostoru na osnovu pozicije markera

U datom primeru iako su objekti udaljeni od markera, Vuforia poseduje mogućnost proširenog praćenja pozicije i orijentacije korisnika korišćenjem ugrađenih senzora u mobilnim uređajima. Slika 45 ilustruje primer prikaza sadržaja u odnosu na pronađen marker. Sadržaj je vidljiv čak iako marker nije.

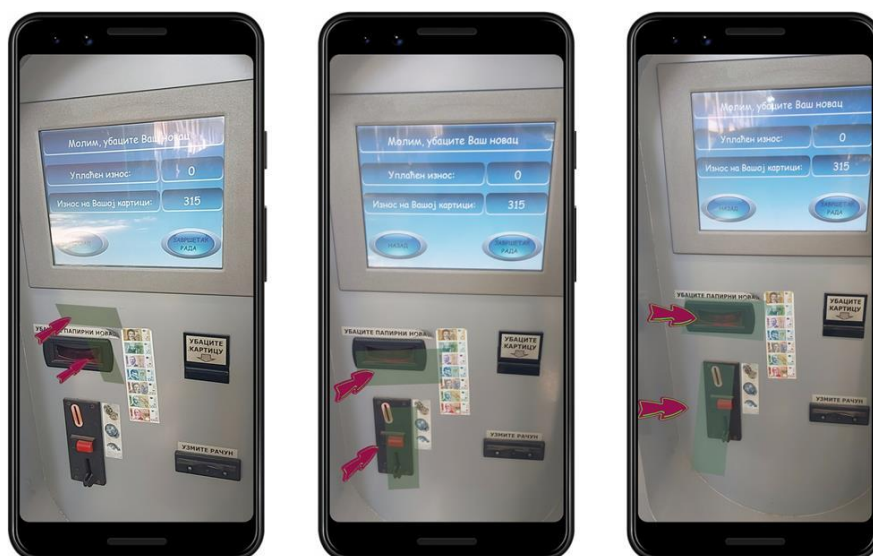


Slika 45. Prošireno praćenje pri čemu objekti ostaju vidljivi iako marker nije više vidljiv

Kvalitet praćenja zavisi od nekoliko faktora, kao što su: kvalitet slike, vidljivost, osvetljenje i refleksija slike, kao i dobro definisana pozicija markera i objekta u 3D prostoru. Za potrebe prikazivanja markera odabran je ekran osetljiv na dodir iz razloga jer je uvek na istoj poziciji i poseduje mogućnost prikazivanja različitih markera u toku rada. Primera radi, kao dobar marker pokazao se početni ekran sa dobrim kontrastom, dok, iako dobro ocenjeno od strane Vuforia, marker stranice za dopunu sadržao je veliku količinu refleksije, koja je otežavala tačnu detekciju orijentacije i pozicije (slika 46). Na slici 47, prikazani su rezultati uticaja refleksije. Pozicija sadržaja koji se želi prikazati u značajnoj meri varira u realnom vremenu.

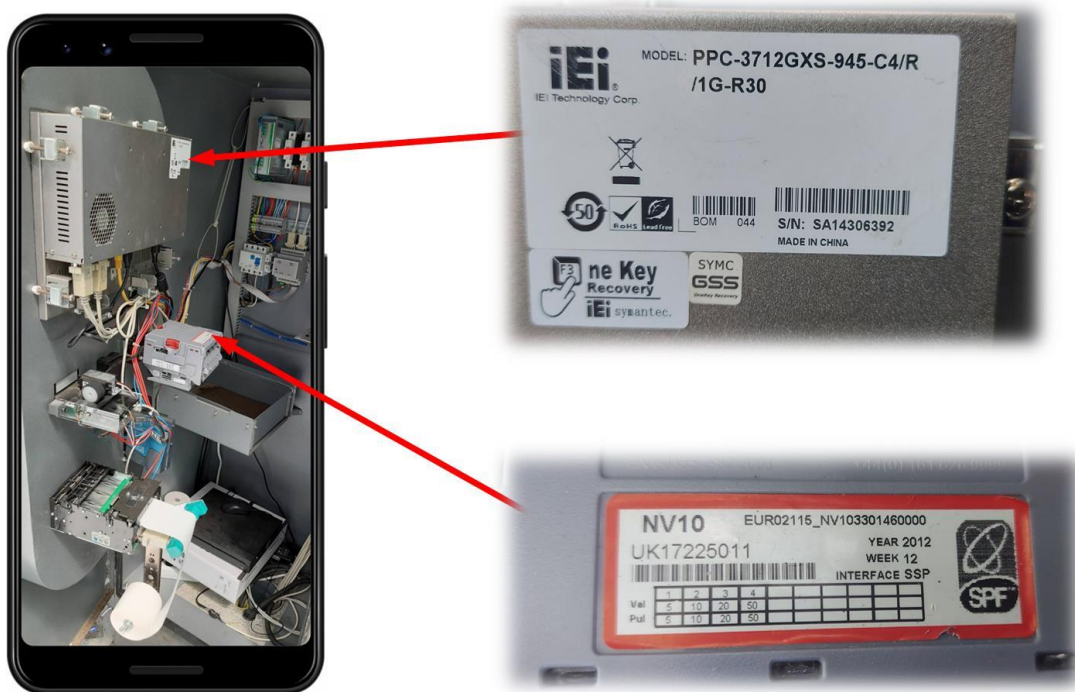


Slika 46. Primer a) dobrog i b) lošeg markera



Slika 47. Uticaj refleksije na kvalitet prepoznavanja

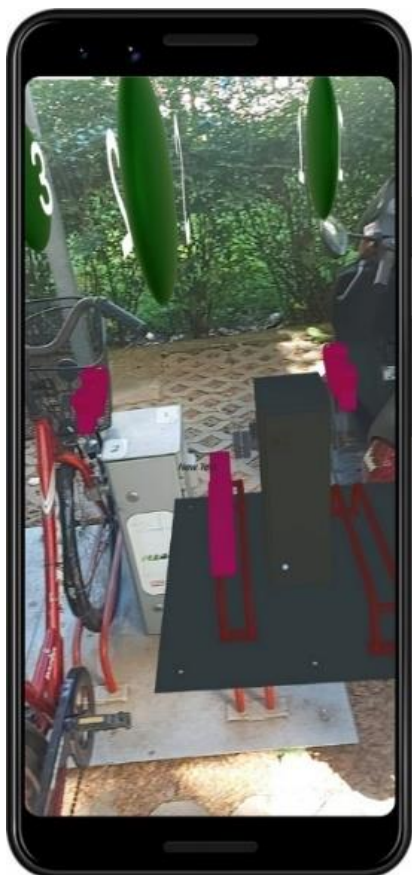
Kod pokretnih objekata, kao što su vrata i fioke, neophodni su dodatni markeri radi detekcije tačne pozicije. Moguće je dodati nove markere ili, imajući u vidu da samouslužni automatizovani sistemi najčešće sadrže različite uređaje za interakciju sa korisnikom i naplatu usluga, moguće je iskoristiti i postojeće oznake na samim uređajima, kao što je prikazano na slici 48.



Slika 48. Mogući markeri kod pokretnih objekata

Markeri, iako predstavljaju najjednostavniji način za detekciju pozicije i orijentacije, obezbeđuju dovoljan kvalitet za pružanje usluge putem proširene realnosti. Prosečna brzina detekcije markera bila je, tokom sprovođenja eksperimenata, 0,3 sekundi. Na većim udaljenostima korisnika od markera javlja se blago treperenje generisanog virtuelnog sadržaja, odnosno dolazi do problema tačnog pozicioniranja sadržaja. Marker se najbolje koristi kada je jasno uočljiv. Treba napomenuti da kvalitet praćenja u slučaju kada marker nije jasno uočljiv zavisi od kvaliteta senzora ugrađenih u mobilni uređaj, kao i brzine pomeranja samog uređaja. Blago odstupanje pozicije virtuelnog sadržaja dovodi do značajnih odstupanja objekata koji su pozicionirani dalje od markera. Ovo je posebno bilo uočljivo na generisanom virtualnom sadržaju na stanicama za iznajmljivanje bicikala koje su udaljene od samog automata (više od

jednog metra). Blago odstupanje pozicije prepoznatog markera uzrokovale su netačnost pozicioniranja daljih objekata kao što je prikazano na slici 49. Za poboljšanje kvaliteta moguće je koristiti veći broj markera na različitim pozicijama ili naprednije načine detekcije i praćenja.



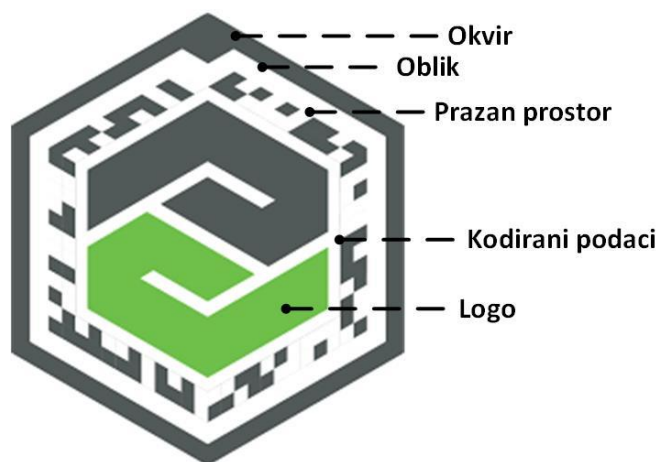
Slika 49. Netačnost pozicioniranja virtuelnog sadržaja

Jedan način jeste kombinovanje više slika u definisani geometrijski raspored, kao što su kocka ili cilindar. Ovo omogućava detekciju, praćenje objekta sa svih strana i može poslužiti u brojnim slučajevima upotrebe, na primer, marketingu, pakovanju i u kontekstu davanja instrukcija (slika 50). Obzirom da je marker dostupan sa svih strana, olakšana je korekcija pozicije. Problem predstavlja činjenica da je neophodno definisati tačne dimenzije slika, kao i njihovo uklapanje. Odstupanja dovode do netačnosti pozicioniranja virtuelnog sadržaja.



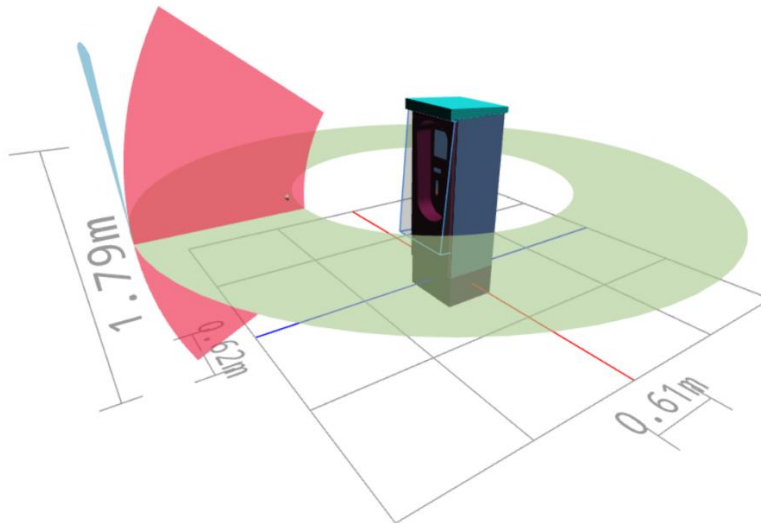
Slika 50. Definisiranje prepoznavanja objekata na osnovu pojedinačnih slika

Vuforia je definisala i poseban način praćenja nazvan VuMarks. VuMarks je bar kod nove generacije. On omogućava dizajniranje i brendiranje markera u različitim oblicima, dok istovremeno kodira podatke i deluje kao meta koja se može pratiti. Dizajn je potpuno prilagodljiv, tako da je moguće imati jedinstveni VuMark za svaki objekat. VuMarks obezbeđuje jednostavan način za kodiranje podataka kao što je adresa veb stranice ili serijski broj proizvoda. Na slici 51 prikazani su elementi VuMark-a. Isti VuMark vizuelni dizajn se može koristiti za kodiranje niza jedinstvenih ID-ova (Identifikacioni broj) ili podataka u jednu sliku, ikonu ili logotip koji je koristan za predstavljanje zajedničkog identifikatora u čitavom asortimanu proizvoda.



Slika 51. VuMark

Za praćenje, takođe je moguće koristiti i 3D modele. Oni omogućavaju aplikacijama napravljenim pomoću Vuforia Engine-a da prepoznaju i prate određene objekte u stvarnom svetu na osnovu oblika objekta. Postoje dva načina generisanja prepoznavanja oblika, putem CAD (engl. Computer-Aided Design) modela automata ili putem 3D skeniranja objekta. Prvi pristup zahteva posedovanje 3D CAD modela za objekat, dok drugi zahteva posedovanje mobilnog uređaja sa mogućnošću 3D skeniranja. Upotrebom 3D CAD modela moguće je generisati praćenje na osnovu oblika i karakteristika samog CAD modela. Na slici 52 prikazan je primer generisanja praćenja upotrebom 3D modela. 3D model i objekat treba da se podudaraju u razmeri. Korišćenje netačne razmere i merenja može dovesti do lošijeg prepoznavanja i praćenja. Da bi praćenje bilo započeto, neophodno je poravnanje obrisa modela sa fizičkim. Moguće je definisati jedan ili više pogleda za ciljni model i podesiti opseg prepoznavanja cilja za svaki pogled. Preporuka Vuforia Enginee je da prepoznavanje sa svih strana, napravljenim od jednog 3D modela, treba izbegavati.



Slika 52. Upotreba 3D modela za potrebe praćenja

Na slici 53, 54 i 55 prikazana su testiranja prepoznavanja putem 3D modela na tri različite stanice za iznajmljivanje bicikala. Prepoznavanje je veoma zadovoljavajuće sa prednje strane, jer objekat poseduje geometrijske osobine koje je moguće prepoznati. Prosečno vreme neophodno za prepoznavanje objekta je bilo 1,3 sekunde od trenutka uočavanja automata. Vreme prepoznavanja zavisi od pozicije i udaljenosti od automata i

kretalo se od 0,2 sekunde do 8,5 sekundi u nekim slučajevima. Sa zadnje strane automata prepoznavanje usled nedostatka geometrijskih oblika nije bilo zadovoljavajuće. Samo u 15% slučajaja uspešno je prepoznat objekat i virtuelni sadržaj je pravilno pozicioniran. U 22% slučajaja virtuelni sadržaj nije bio postavljen pravilno uz velika odstupanja od željene pozicije, a u ostalih 63% slučajajeva prepoznavanje je bilo neuspešno. Nakon uspešnog prepoznatog obrisa 3D modela, Vuforia podržava i prošireno praćenje pomoću ugrađenih senzora u mobilnim uređajima.



Slika 53. Testiranje praćenja upotrebom 3D modela – pogled 1



Slika 54. Testiranje praćenja upotrebom 3D modela – pogled 2



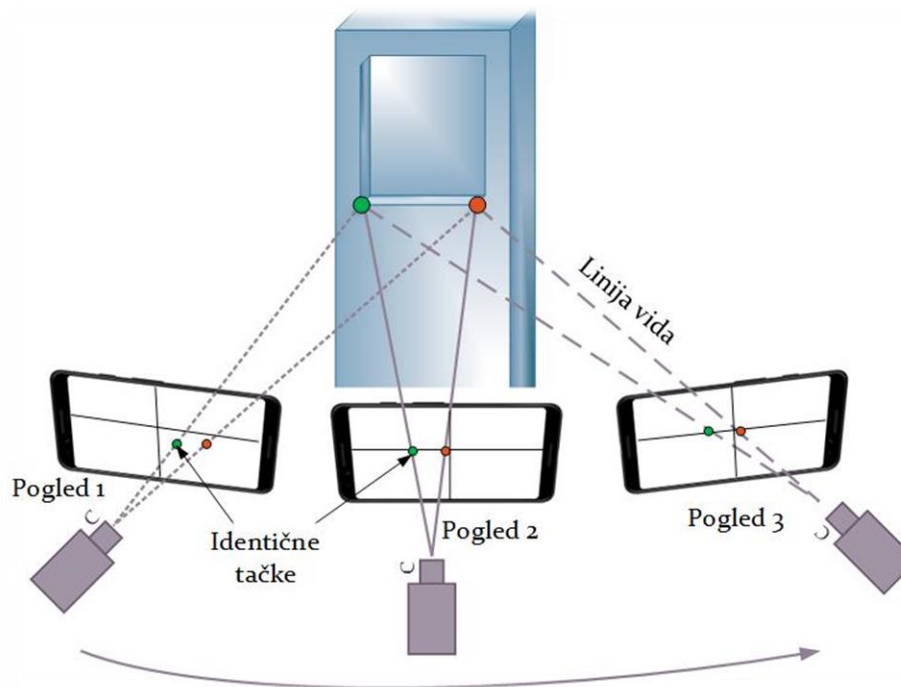
Slika 55. Testiranje praćenja upotrebom 3D modela – pogled 3

CAD model često nije dostupan i ne definiše dovoljno detalja za praćenje u prostoru. Bolje rezultate daju modeli generisani 3D skeniranjem. 3D skeneri obično koriste jednu od tri metode:

- Infracrveni skeneri koriste infracrveno ili „strukturirano svetlo“ za skeniranje objekta. Kamere detektuju izobličenja svetlosti projektovane na površinu kako bi odredile dimenzije objekta.
- Fotogrametrija koristi fotografije za triangulaciju udaljenosti i dubine i proizvodi 3D skeniranje na osnovu tih podacima. Kvalitet zavisi od fotografija i fotoaparata koji se koristi.
- Lasersko skeniranje (engl. Light Detection and Ranging, skr. Lidar) koristi odbijanje laserskog svetla od objekta da bi izmerio rastojanje i dubinu kako bi formirao 3D sken.

Zahtevi koje objekat mora ispuniti su da ne sme biti deformabilan ili savitljiv i da poseduje površine koje nisu sjajne. U cilju dobijanja kvalitetnog 3D modela neophodno je da skenirani objekat poseduje što manje transparentnih i visoko reflektujućih površina. Jednobojne površine moguće je koristiti, ali u nekim slučajevima ne daju zadovoljavajuće rezultate. Najbolji rezultati postižu se kod površina sa raznolikom teksturom i velikim brojem detalja. Kako samo nekolicina mobilnih uređaja poseduje mogućnost laserskog skeniranja korišćena je fotogrametrija za potrebe generisanja 3D modela. Osnovni princip koji se koristi u fotogrametriji je triangulacija. Snimanjem

fotografija sa najmanje dve različite lokacije, kao što je prikazano na slici 56, takozvane „linije vida“ mogu se razviti od svake kamere do tačke na objektu. Neophodno je generisati višestruke fotografije koje se preklapaju. Na osnovu upravo tih preklapanja obavljaju se merenja u cilju kreiranja 3D modela ili scena. Preporučljivo je da fotografije imaju barem 50% preklapanja radi dobijanja boljih rezultata.



Slika 56. Postupak 3D skeniranja objekta pomoću mobilnog uređaja

Za potrebe 3D skeniranja korišćena je mobilna aplikacija Polycam ([Polycam - 3D Scanner - Apps on Google Play](#)). Aplikacija omogućava generisanje 3D modela na osnovu fotogrametrije i laserskog skeniranja. Lasersko skeniranje podržava mali broj mobilnih uređaja te je korišćena fotogrametrija. Generisan 3D modela, prikazan na slici 57, napravljen je pomoću aplikacije Polycam i 250 kadara iz različitih uglova i rastojanja od automata. Pomoću mobilne aplikacije KIRI Engine ([KIRI Engine - 3D Scanner - Apps on Google Play](#)), generisan je model, prikazan na slici 58, upotrebom 30 fotografija. Kvalitet dobijenog modela zavisi uveliko od kvaliteta kamere na mobilnom uređaju. U prvom slučaju fotografije su napravljene upotrebom aplikacije, a u drugom slučaju pomoću originalnog softvera proizvođača i samim tim dobijen je bolji kvalitet fotografija i veći broj detalja. Dobijeni 3D modeli pre upotrebe, za potrebe praćenja u proširenoj

realnosti, moraju se obraditi. Nepotrebne detalje, kao i objekte koji nisu statični, neophodno je ukloniti.



Slika 57. Rezultat 3D skeniranja pomoću aplikacije Polycam



Slika 58. Rezultat 3D skeniranja pomoću aplikacije KIRI engine

3D model dobijen skeniranjem omogućava prepoznavanje i praćenje jednog ili više objekata sa svih strana. Opsezi prepoznavanja se mogu definisati do punih 360 stepeni oko svakog objekta, bez potrebe da korisnik poravna obris modela sa fizičkim objektom da bi započeo praćenje. Vuforia Engine razlikuje objekte iz stvarnog okruženja isključivo po njihovom vizuelnom izgledu. Ovo može predstavljati problem ukoliko se isti objekat želi pratiti zasebno i u sklopu. Tada je neophodno ili napraviti zasebna skeniranja objekata ili koristiti različite metode prepoznavanja. Na slikama 59, 60 i 61 prikazano je testiranje prepoznavanja putem 3D skeniranja na tri različite stanice za iznajmljivanje bicikala. U sva tri slučaja prepoznavanje je obavljeno na osnovu 3D modela prikazanog na slici 57. Na svakoj od lokacija postoje različite teksture u vidu grafita, različite nijanse boja, pozicije nalepnica nisu jednoznačno određene i čak postoje različite nalepnice. Testiranje je izvršeno sa mobilnim uređajem.

- Naziv: Samsung Galaxy A71
- Procesor: Qualcomm Snapdragon 730 2.2GHz
- Grafički čip: Qualcomm Adreno 618
- Glavna kamera: 64Mpx f/1.8, 26mm, 1/1.7", 0.80µm piksel
- Kapacitet RAM memorije: 6GB

Rezultati testiranja su pre svega pokazali da je prepoznavanje pomoću 3D skeniranja hardverski zahtevno. Dešavalo se da prikaz slike na mobilnom uređaju kasni nekoliko sekundi u odnosu na pomeranje uređaja. Rezultati testiranja na prvoj stanici (na kojoj je obavljen 3D sken) pokazali su veoma zadovoljavajuće rezultate. Uspešnost prepoznavanja sa prednje strane bilo je 100% dok je sa zadnje strane uspešnost bila 93%. U 7% slučajeva sa zadnje strane virtuelni sadržaj nije bio postavljen pravilno. Prosečno vreme neophodno za prepoznavanje objekta je bilo 0,9 sekunde od trenutka uočavanja automata. Vreme prepoznavanja zavisi od pozicije i udaljenosti od automata i kretalo se od 0,13 sekundi do 4,6 sekundi u nekim slučajevima. Na ostale dve stanice za iznajmljivanje bicikla prepoznavanje je obavljeno pomoću istog 3D skena u cilju razumevanja uticaja različitih tekstura, nijanse boja i pozicije nalepnica. Na stanici 2 prepoznavanje sa prednje strane je bilo uspešno u 93% slučajeva, dok u 7% slučaja virtuelni sadržaj nije bio postavljen pravilno. Sa zadnje strane automata prepoznavanje

usled različitih tekstura nije bilo zadovoljavajuće. Samo u 14% slučajeva uspešno je prepoznat objekat i virtuelni sadržaj je pravilno pozicioniran. U 66% slučajeva virtuelni sadržaj nije bio postavljen pravilno, a u svega 20% slučajeva prepoznavanje je bilo neuspešno. Na stanici 3 prepoznavanje sa prednje strane je bilo uspešno u 82% slučajeva, dok u 12% slučajeva virtuelni sadržaj nije bio postavljen pravilno. U 6% slučajeva automat nije prepoznat. Sa zadnje strane automata prepoznavanje, usled nedostatka tekstura na ovoj stanici, bilo je veoma loše. U 30% slučajeva virtuelni sadržaj nije bio tačno pozicioniran, dok u ostalih 70% slučajeva prepoznavanje je bilo neuspešno.

Rezultati pokazuju da pogledi sa prednje strane automata daju zadovoljavajuće pozicioniranje postavljenog virtuelnog sadržaja, čak i na stanicama na kojima nije urađeno 3D skeniranje. Prosečno vreme neophodno za prepoznavanje objekta je bilo 1,2 sekunde. Jednobojna struktura automata i nedostatak jasnih tekstura postavljenih na jednoznačno označenim pozicijama otežavaju prepoznavanje na druge dve lokacije, te u nekim situacijama dolazi do manjih odstupanja u pozicioniranju sadržaja. Testiranje je obavljeno bez upotrebe senzora na telefonu, odnosno proširenog praćenja. Upotrebom proširenog praćenja, nakon uspešnog inicijalnog prepoznavanja, pozicioniranje virtuelnog sadržaja se značajno unapređuje.



Slika 59. Testiranje praćenja upotrebom 3D skeniranja – Pogled 1



Slika 60. Testiranje praćenja upotrebom 3D skeniranja – Pogled 2



Slika 61. Testiranje praćenja upotrebom 3D skeniranja – Pogled 3

Korišćenje GPS koordinata samostalno, za potrebe prikazivanja virtuelnog sadržaja, zbog svoje nedovoljne tačnosti ne pruža pouzdan način za prikaz virtuelnog sadržaja. Međutim uz kombinaciju sa prepoznavanjem slika, može se koristiti kao sredstvo za indentifikaciju na kojoj lokaciji, odnosno na kom samouslužnom automatizovanom sistemu, se korisnik trenutno nalazi.

Odabir pravog načina praćenja zavisi od više faktora, kao što su hardverski zahtevi i performanse sistema. Markeri predstavljaju jednostavan i pouzdan način praćenja. Problem može nastati ukoliko stvarni marker nije iste veličine kao generisani model. Za pouzdano pozicioniranje van vidokruga markera poželjno je postaviti nove markere. 3D model takođe predstavlja dobar način praćenja. Pored problema, koji

nastaju usled toga što 3D model nije uvek dostupan, problem nastaje i ukoliko nema jasnih geometrijskih oblika koji bi bili prepoznati. Sa druge strane 3D model nije osetljiv na promene teksture na samim objektima. 3D skeniranje predstavlja najbolji način, ali je on i hardverski najzahtevniji.

Da bi korisnik putem mobilne aplikacije mogao da komunicira sa samouslužnim automatizovanim sistemom neophodna je njihova međusobna komunikacija. Ne postoji jedinstven pristup izboru načina komunikacije i ona zavisi od zahteva aplikacije [155]. Imajući u vidu da je samouslužni automatizovani sistemi uglavnom postavljen na javnim lokacijama i da se komunikacija obavlja uglavnom putem 3G/4G mreže, komunikacija se može ostvariti putem:

- Bluetooth-a;
- Wi-Fi-a;
- Veb servisa.

Bluetooth je radio standard prvenstveno namenjen za uređaje sa malom snagom, na kratkom odstojanju (do 10 metara). Veza se uspostavljanja od jedne tačke do druge tačke (engl. point-to-point) ili od jedne tačke ka više tačaka (engl. point-to-multipoint). Kada se dva ili više uređaja povežu, kreira se skup povezanih uređaja tkz. piconet (engl. piconet). Jedan uređaj je glavni uređaj koji upravlja sa do sedam klijent uređaja u okviru piconeta. Mana Bluetooth tehnologije su ograničene distance, mali maksimalan protok i sigurnost. Kako bi se otklonile potencijalne smetnje od uređaja koji rade na istoj frekvenciji i povećala sigurnost, Bluetooth koristi tehniku frekvencijskog skakanja (engl. spread spectrum frequency hopping), gde se signal prebacuje sa jedne na drugu frekvenciju nakon svake transmisije. Kao rezultat toga je da Bluetooth transmisija ne ostaje dovoljno dugo na jednoj frekvenciji da bi moglo da dođe do interferencije sa drugim uređajima.

Wi-Fi je bežični mrežni protokol koji uređaji koriste za komunikaciju bez direktnih kablovskih veza. To je industrijski izraz koji predstavlja tip protokola bežične lokalne mreže (LAN) zasnovan na mrežnom standardu IEEE 802.11. Za komunikaciju se koriste radio talasi u opsezima od 2,4 GHz (2,4 – 2,4835 GHz) i 5 GHz (5,725 – 5,875 GHz). U

odnosu na Bluetooth, Wi-Fi poseduje veći protok, kao i bolji domet i efikasniju bežičnu sigurnost. Da bi se korisnik povezo na Wi-Fi mrežu, mora znati naziv mreže (SSID, engl. Service Set Identifier) i lozinku za pristup odabranoj mreži. Ukoliko samouslužni automatizovani sistem poseduje Wi-Fi mrežu moguće je iskoristiti je za komunikaciju sa korisnikom. Problem može nastati usled toga što svako unutar dometa mreže može pokušati da ostvari pristup. Bezbednost samouslužnog sistema mogao bi biti ugrožen ukoliko bi pristup bio javan. U lokalnoj Wi-Fi mreži svakom korisniku dodeljena je jedinstvena IP adresa. Ova informacija mora biti dostupna aplikaciji proširene realnosti da bi mogla da se ostvari komunikacija.

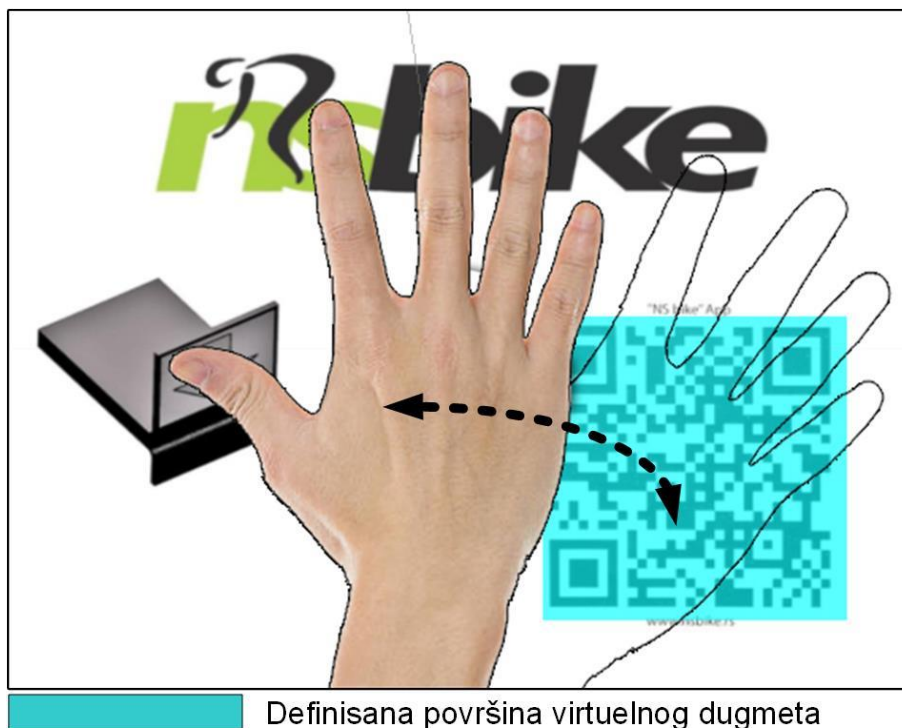
Umrežavanjem samouslužnih automatizovanih sistema na kladu okruženje moguće je komunikaciju obaviti putem veb servisa ili putem WSS (engl. Secure Web Socket) protokola. Web servisi mogu biti realizovani na različite načine, a jedan od popularnijih se bazira na REST arhitekturi (engl. Representational State Transfer) koja omogućava jednostavan način pristupanju resursima web servera. WSS je nezavisni protokol baziran na TCP (engl. Transmission Control Protocol) protokolu. On omogućava dvosmernu komunikaciju preko jedne TCP konekcije i pojednostavljuje način komunikacije. Protokol je definisan iz dva dela: uspostavljanje konekcije (engl. handshake) i prenos podataka. Obzirom da se komunikacija obavlja putem mobilnog interneta protok zavisi od dostupnosti mobilne mreže na datoj lokaciji. U slučaju transfera veće količine podataka mogu nastati dodatni troškovi.

Koji tip komunikacije je najbolji za potrebe proširene realnosti u mnogome zavisi od sadržaja koji se prikazuje, kao i mesta na kom se skladišti. Izbor korisnika neophodno je proslediti do samouslužnog automatizovanog sistema. Dok markeri i 3D modeli, koji se prepoznaju, se najčešće skladište na mobilnom uređaju, za sadržaj koji se prikazuje ovo me mora biti slučaj. Na istom markeru moguće je nakon prepoznavanja proizvoljno menjati prikazani sadržaj.

U slučaju potreba transfera manje količine podataka, kao što su izbor korisnika i dobijanje podataka sa samouslužnog automatizovanog sistema bez upotrebe multimedijalnog sadržaja, veb servisi i Bluetooth komunikacija predstavljaju jednostavnije rešenje. U slučaju pristupa sadržaju direktno putem mobilnih uređaja

(mobilni internet) brzina zavisi od kvaliteta mobilne mreže na datoj lokaciji. Korišćenjem Wi-Fi mreže moguće je povezati mobilni uređaj sa internetom putem samouslužnog automatizovanog sistema, što može biti od koristi za promenu sadržaja koji se prikazuje i veće brzine protoka podataka.

Interakciju sa korisnikom moguće je obaviti na više načina. Imajući u vidu upotrebu mobilnih uređaja za aplikaciju proširene realnosti, upotreba kontrolera ili prepoznavanja pokreta ruku korisnika nije praktična. Pored klasične interakcija putem mobilnih uređaja moguće je koristiti i Vuforia virtuelnu komandnu dugmad (slika 62). Vuforia omogućava definisanje pravougaone površine na markeru, koji u slučaju kada je značajan deo površine koje se nalaze u osnovi dugmeta zaklonjen od kamere definiše zadati događaj. Ovo se može desiti kada korisnik pokrije dugme ili ga na drugi način blokira u prikazu kamere. Iz tog razloga, dugme treba da bude odgovarajuće veličine za tip radnje na koju treba da odgovori. Primera radi, dugme koje treba da se aktivira prstom korisnika mora da bude manje od dugmeta koje će aktivirati čitava njegova ruka. Virtuelno dugme ograničeno je upotrebom samo na površini markera i može se neželjeno aktivirati pokretima drugih korisnika iz okruženja. Njihovom upotrebom moguć je prikaz animacija i informacija, kao što su instrukcije na uređajima za štampanje tiketa ili uređajima za plaćanje, kada korisnik prekrije rukom definisani marker. Upotreba virtuelnih dugmadi zahteva od korisnika upotrebu jedne ruke za držanje uređaja, a druge ruka za aktiviranje događaja te njihova upotreba za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema je ograničena. Još jedan način interakcije predstavlja upotreba ekrana osetljivog na dodir i virtuelnog sadržaja postavljenog u stvarnom okruženju. Da bi se izvršio događaj neophodno je da virtuelni sadržaj bude vidljiv i da se aktivira putem ekrana osetljivog na dodir. Koji objekat će biti izabran moguće je odrediti na osnovu zraka (definisan poreklom i smerom) od mobilnog uređaja. Nakon dodira ekrana osetljivog na dodir moguće je definisati zrak od dodirnite pozicije. Ukoliko su zrak i objekat u koliziji, detektuje se izvršavanje događaja. Upotreba zraka može se koristiti i za prikaz dodatnih informacija o virtuelnim objektima. Moguće je definisati zrak od centralne pozicije ekrana osetljivog na dodir i u slučaju detekcije kolizije sa virtuelnim objektom pružiti dodatne informacije vezane za objekat ka kom je mobilni uređaj usmeren.



Definisana površina virtuelnog dugmeta

Slika 62. Aktiviranje virtuelnog dugmeta

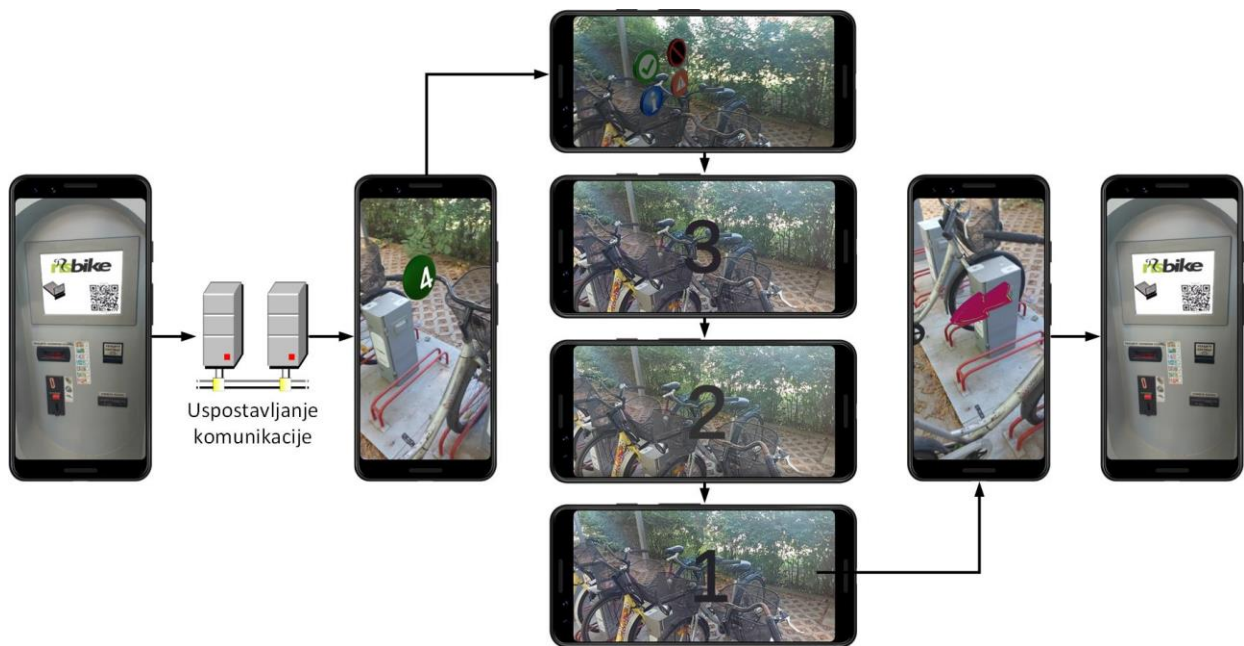
4.3. Primena proširene realnosti

Predloženi način korišćenja samouslužnog automatizovanog sistema putem aplikacije proširene realnosti obavljao bi se u sledeća tri koraka:

1. Korisnik skenira odgovarajući marker na automatu.
2. Uspostavljanje komunikacije između mobilne aplikacije i automata.
3. Prikaz kompjuterski generisanog sadržaja.

Za potrebe prepoznavanja odabran je marker prikazan na slici 46a, dok se komunikacija sa samouslužnim automatizovanim sistemom obavljala u lokalnoj Wi-Fi mreži. Samouslužni automatizovani sistemi uglavnom pružaju uslugu korisnicima redno, što znači da se mora onemogućiti da više korisnika u isto vreme koristi samouslužni automatizovani sistem. Na jednostavan način, prilikom uspostavljanja komunikacije, moguće je onemogućiti ostale korisnike sve dok trenutna sesija ne završi. Ovo ne mora nužno da važi za službe održavanja, gde je moguće dozvoliti da više korisnika upravlja samouslužnim automatizovanim sistemom.

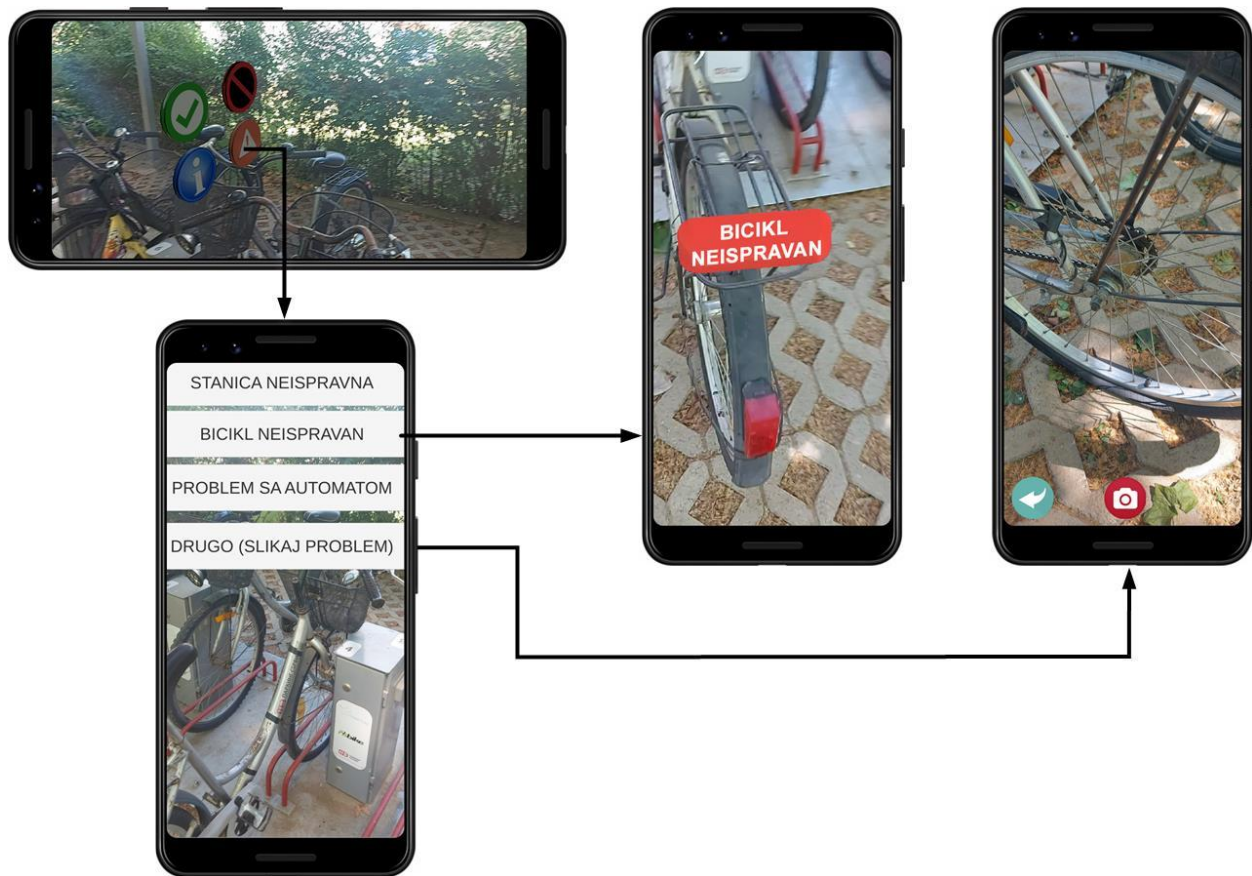
U analiziranom primeru sistema za iznajmljivanje bicikala proces iznajmljivanja bi mogao biti kao na slici 63. Za razliku od klasičnog načina iznajmljivanja bicikla proširena realnost omogućava jednostavniji način korišćenja. U ovom slučaju nosilac svih podataka bio bi mobilni telefon, te nije neophodna registracija korisnika putem RFID kartice. Nakon prepoznavanja markera sledi uparivanje mobilnog uređaja sa stanicom NS Bike sistema. U slučaju uspešnog uparivanja, korisniku se prikazuju slobodna mesta ili bicikli u zavisnosti od toga da li je reč o iznajmljivanju odnosno vraćanju bicikla. Za svako mesto ili bicikl korisnik poseduje dodatne mogućnosti kao što su prijava kvara ili prikaz dodatnih informacija. Dodatne informacije mogu biti vezane za model bicikla, ceni po satu, ocene korisnika i slično. Po uspešnom odabiru usluge, korisniku se automatski otključava željeno mesto ili bicikl.



Slika 63. Primer iznajmljivanja bicikla

Iako u klasičnoj aplikaciji postoji mogućnost prijave kvara, upotreba mobilnih uređaja i proširene realnosti može pružiti novi način korišćenja postojećih sistema. Korisnici mogu ostaviti komentar ili označiti sam problem na tačnoj lokaciji na kojoj se problem i nalazi, kao što je prikazano na slici 64. Ovi podaci mogu biti odmah vidljivi službama održavanja (slika 65). Na ovaj način sami korisnici mogu postati podrška službi održavanja i smanjiti vreme neophodno za dijagnostiku i lociranje samog

problema. Imajući u vidu praćenje kretanja mobilnog uređaja u odnosu na marker prikazan na ekranu NS Bike stanice, moguće je definisati relativno tačnu poziciju objekta koji se želi postaviti u odnosu na sam marker.



Slika 64. Prijava problema putem aplikacije proširene realnosti

Nakon uspešnog otklanjanja problema, moguće je obavestiti korisnika da je problem uspešno otklonjen. Iako je prijava problema prisutna i u klasičnom radu korisnici nisu uvek voljni da problem prijave. Zahvalnost putem mobilne aplikacije ili stimulacija u vidu gratis kredita može pozitivno uticati na korisnike da prijave probleme.



Slika 65. Prikaz službama održavanja prijavljenog problema

Proširena realnost može se koristiti za davanje instrukcija samim korisnicima za pravilno korišćenje samouslužnog automatizovanog sistema. Na slici 66, dat je primer dopune kredita gotovim novcem. Kako su mobilni uređaj i stanica upareni, moguće je u realnom vremenu slati informacije o uplaćenom iznosu na samom automatu. Treba napomenuti da posebnu pažnju u ovom slučaju treba posvetiti sigurnosnim protokolima radi zaštite podataka i sprečavanja zloupotreba.



Slika 66. Primer uplate kredita

Službe održavanja, upotrebom proširene realnosti, pored pomenutog pregleda prijavljenih problema od strane korisnika mogu imati dodatne prednosti kao što su:

- Pregled informacija vezanih za rad same stanice bez prekidanja rada sistema;
- Dobijanje vizuelnih instrukcija;
- Upozorenja o neophodnim redovnim održavanjima;
- Daljinska podrška sa naprednom službom održavanja.

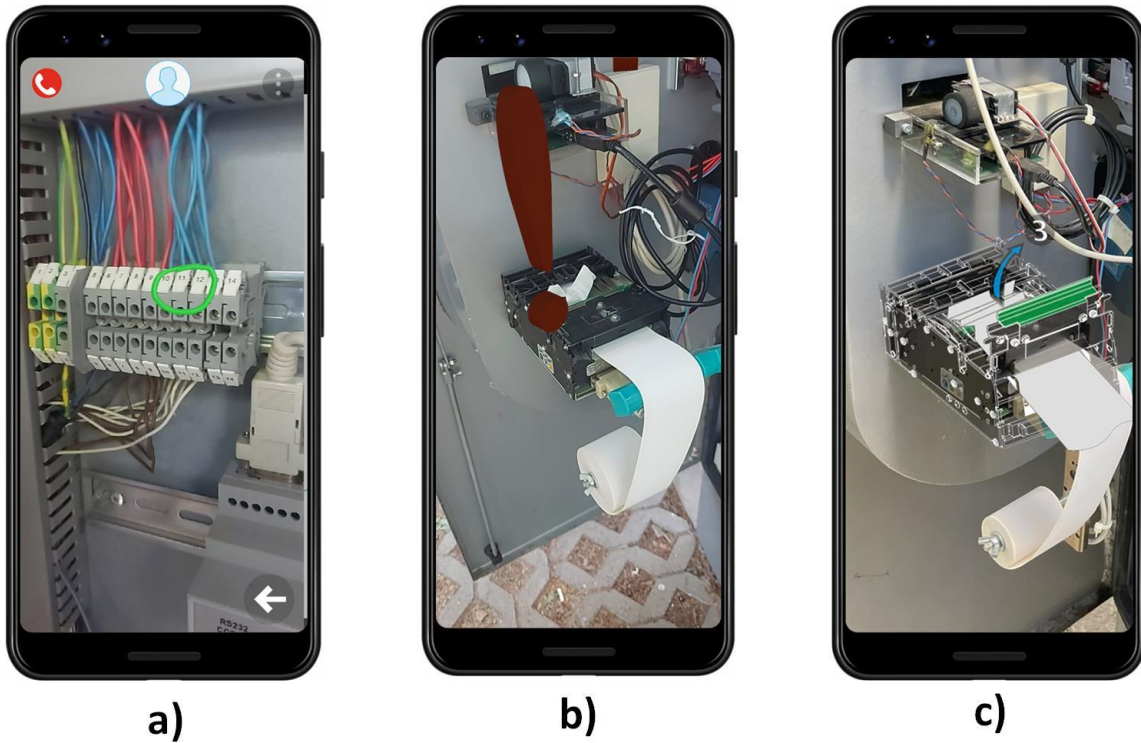
Na slici 67. prikazan je primer administratorskog menija sa dodatnim opcijama.



Slika 67. Korisnički meni službe održavanja

Proširena realnost ne mora samo da nužno pruži vizuelna uputstva koja će se pokazati korisniku u formi instrukcija, već ga može povezati i sa timom za daljinsku podršku, koji može da vidi tačno šta korisnik vidi. Zajedno, mogu da sarađuju na rešavanju problema i na taj način omoguće napredniju podršku korisnicima ili službama na terenu. Ovo je posebno pogodno u slučaju problema u radu samouslužnog automatizovanog sistema, gde tim za daljinsku podršku može odmah da vidi i utvrdi problem na istom. Kako tim za daljinsku podršku poseduje mogućnost generisanja

vizuelnog sadržaja koji korisnik može da vidi, davanje instrukcija je takođe olakšano. Primeri daljinske podrške, upozorenja o greškama u radu i pružanje instrukcija prikazani su na slici 68.



Slika 68. Primer podrške održavanju a) podrška na daljinu b) prikaz problema c) pružanje instrukcija

5. Analiza i evaluacija predloženog modela

U ovom poglavlju izvršena je evaluacija upotrebe proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema. Anketiranje korisnika izvršeno je sa ciljem da se proverí uticaj primene proširene realnosti na kvalitet rada samouslužnih automatizovanih sistema. Drugi cilj je bio da se dobije kritičko mišljenje samih korisnika vezanih za način prikaza virtuelnog sadržaja i interakciju sa njim.

5.1. Analiza aplikacije proširene realnosti za NS Bike sistem za iznajmljivanje bicikala

U cilju daljeg razvoja NS Bike sistema, i primene modela podrške proširene realnosti u samouslužnim automatizovanim sistemima, koji je prikazan na slici 28, urađena je evaluacija postojećeg sistema i prikazanih mogućnosti aplikacije proširene realnosti. Sprovedene su ankete među korisnicima i administratorima sistemima. Demonstracija rada sistema obavljena je na stanici za iznajmljivanje bicikla na trgu Dositeja Obradovića 7 u Novom Sadu. Upitnik za evaluaciju samouslužnih automatizovanih sistema od strane korisnika prikazan je u Tabeli 3., dok je upitnik za evaluaciju samouslužnih automatizovanih sistema od strane administratora u Tabeli 4.

Tabela 3. Upitnik za evaluaciju samouslužnih automatizovanih sistema od strane korisnika

Upitnik za evaluaciju samouslužnih automatizovanih sistema od strane korisnika	
Opšta ocena NS Bike sistema	Ocena
1. Ocenite kako NS Bike sistem pomaže u Vašim zahtevima za prevoz za odlazak i povratak sa posla.	1 2 3 4 5
2. Ocenite raspored stanica u NS Bike sistemu.	1 2 3 4 5
3. Ocenite kvalitet bicikala.	1 2 3 4 5
4. Ocenite rad NS Bike sistema u celini.	1 2 3 4 5
5. Ocenite jednostavnost korišćenja sistema.	1 2 3 4 5
6. Koji su po vama nedostaci postojećeg sistema?	
Korišćenje NS Bike sistema upotrebom proširene realnosti (AR aplikacije)	Ocena
7. Ocenite jednostavnost iznajmljivanja bicikla.	1 2 3 4 5
8. Ocenite jednostavnost vraćanja iznajmljenog bicikla.	1 2 3 4 5
9. Ocenite jednostavnost dopune kredita.	1 2 3 4 5
10. Ocenite jednostavnost upotrebe mobilne aplikacije.	1 2 3 4 5
11. Ocenite jednostavnost prijave greške u radu NS Bike sistema.	1 2 3 4 5
12. Navedite koje su po vama prednosti AR aplikacije.	
13. Navedite koji su po vama nedostaci AR aplikacije.	

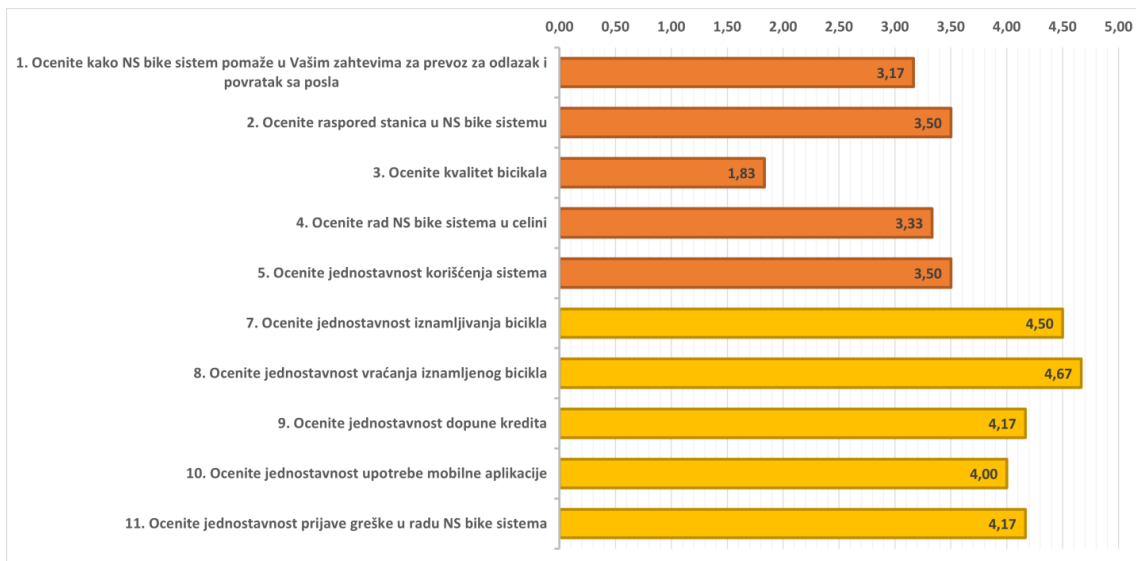
Tabela 4. Upitnik za evaluaciju samouslužnih automatizovanih sistema od strane administratora

Upitnik za evaluaciju samouslužnih automatizovanih sistema od strane administratora	
Opšta ocena NS Bike sistema	Ocena
1. Ocenite rad NS Bike sistema u celini.	1 2 3 4 5
2. Raspoloživost rezervnih delova u radu stanice NS Bike sistema.	1 2 3 4 5
3. Opravdanost prijave greške od strane korisnika NS Bike sistema.	1 2 3 4 5
4. Ocenite jednostavnost praćenja rada NS Bike sistema.	1 2 3 4 5
5. Ocenite jednostavnost korišćenja sistema.	1 2 3 4 5
6. Koji su po vama nedostaci postojećeg sistema?	1 2 3 4 5
Administracija NS Bike sistema upotrebom proširene realnosti (AR aplikacije)	
7. Ocenite jednostavnost pregleda parametara rada stanice NS Bike sistema.	1 2 3 4 5
8. Ocenite jednostavnost promene parametara rada stanice NS Bike sistema.	1 2 3 4 5
9. Ocenite jednostavnost pronalaženja greške u radu stanice NS Bike sistema.	1 2 3 4 5
10. Ocenite jednostavnost otklanjanja greške u radu stanice NS Bike sistema.	1 2 3 4 5
11. Potrebno vreme za otklanjanje greške u radu stanice NS Bike sistema	1 2 3 4 5
12. Mogućnost daljinskog otklanja grešaka u radu stanice NS Bike sistema.	1 2 3 4 5
13. Navedite koje su po vama prednosti korišćenja AR aplikacije.	
14. Navedite koji su po vama nedostaci AR aplikacije.	

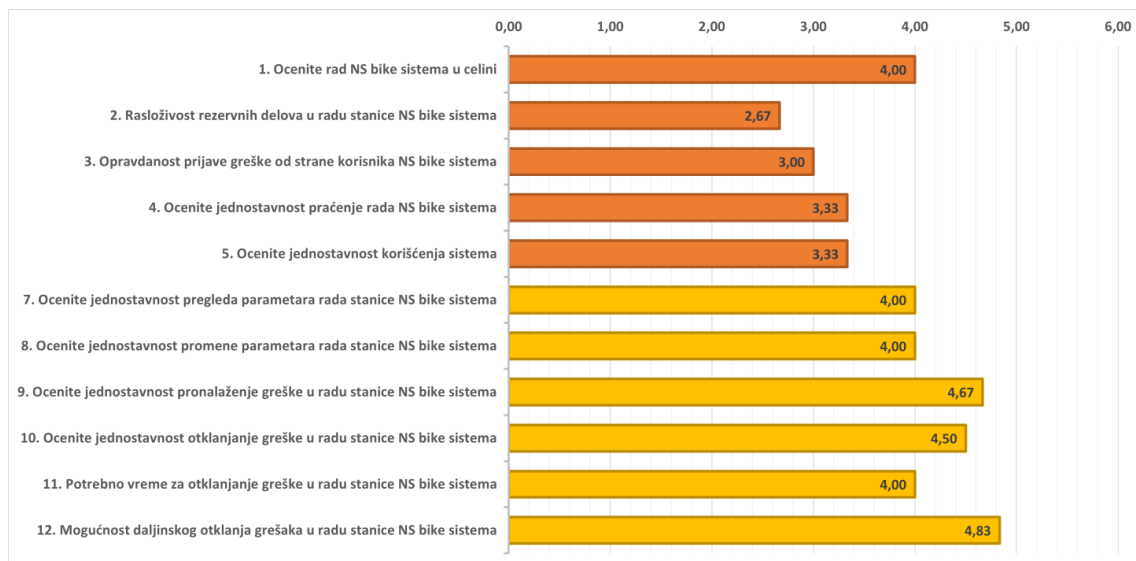
Opšta ocena sistema u oba slučaja odnosi se na pitanja za upotrebu sistema u celosti. Ovim pitanjima se korisnicima daje mogućnost ocene kvaliteta sistema i naglašavanja glavnih nedostataka postojećeg sistema. Administratori, sa druge strane, imaju mogućnost da ocenjuju trenutni način izvršavanja radnih zadataka. Druga rubrika

služi da se na osnovu odgovora korisnika ili administratora oceni koliko primena proširene realnosti utiče na način prikazivanja instrukcija, komfora i brzine izvršenja zadatka. Takođe, omogućava da se iznese mišljenje o eventualnim problemima koje su imali u toku rada, kao i da opišu prednosti uvođenja ovakvog sistema.

Rezultati obrađenih podataka dobijenih iz opisanih anketa prikazani su na slici 69 za korisnike i slici 70 za administratore.



Slika 69. Rezultati ankete korisnika



Slika 70. Rezultati ankete administratora

Rezultati ankete pokazuju da su korisnici relativno zadovoljni jednostavnošću korišćenja sistema, ali kao glavne probleme istakli su kvalitet bicikala i neophodnu

registraciju, koja je moguća samo na par lokacija u gradu. Korisnici su, anketom, izneli pozitivno mišljenje odgovorima na pitanja 7 i 8. Smatraju da ovako unapređen sistem primenom proširene realnosti može biti značajno poboljšanje i da ga mogu koristiti. Veća ocena na pitanje 8 proizilazi iz činjenice da je u prethodnom sistemu bilo neophodno da se korisnik vrati po svoju RFID karticu na automatu. Kao glavna prednost među komentarima korisnika upravo je navedena jednostavnost korišćenja. Upotreba mobilne aplikacije je pozitivno ocenjena od strane korisnika, mada su kao glavne mane istakli problem držanja telefona u jednoj ruci i ograničenu vidljivost virtuelnog sadržaja putem ekran mobilnog uređaja.

Sa druge strane administratori pozitivno ocenjuju rad trenutnog NS Bike sistema u celosti. Opravdanost prijave greške od strane korisnika ne smatraju u potpunosti opravdanom. Ovo je uzrokovano pre svega činjenicom da administratori ne pronađu uvek prijavljeni problem od strane korisnika na datoj lokaciji. Razlog za to jeste činjenica da bicikl, nakon prijave greške, je i dalje dostupan za iznajmljivanje te može doći do situacije da je isti premešten ili uzet od strane drugog korisnika. Korisnici nisu upozoreni da na datom biciklu postoji prijavljen problem prilikom iznajmljivanja. Potencijalno rešenje ovog problema bilo bi onemogućavanje iznajmljivanje bicikla na kom je prijavljen problem ili napomena korisniku da problem možda postoji. Ovaj problem neophodno je ispitivati tokom potpune implementacije aplikacije proširene realnosti, zbog mogućnosti zlonamernih i lažnih prijava. Pregled i promenu parametara, administratori ocenjuju neutralno, to jest zadovoljni su sa postojećim načinom. Umesto pregleda i promene parametara na samoj lokaciji administratori preferiraju upotrebu putem veb servisa sa udaljenje lokacije. Jednostavnost pronalaženja i otklanjanja grešaka, administratori su pozitivno ocenili, i smatraju da ovakav pregled problema može biti značajno unapređenje. Vreme za uočavanje problema, uz pružanje instrukcija, doprinosi bržem uočavanju i otklanjanju problema. U poređenju sa trenutnom administratorskom aplikacijom, upotreba mobilne aplikacije sa proširenom realnošću omogućava uvid u informacije i probleme u radu bez prekida u radu. Korisnici i dalje mogu slobodno koristiti NS bike sistem. Identifikacija administratora obavlja se putem mobilne aplikacije i nakon skeniranja markera podaci su dostupni odmah. Obzirom da rad sistema nije neophodno zaustavljati moguće je prikazati i podatke koje generiše

aplikacija u toku rada i pratiti tok izvršavanja aplikacije u realnom vremenu. Kao nedostatak, administratori su naveli da prikazane informacije u nekim situacijama nisu dovoljno vidljive, da bi trebalo koristiti jarke boje i veći kontrast u odnosu na okolinu. Najbolje ocenjena jeste upravo daljinska podrška, i oni smatraju da je ovaj sistem veliko poboljšanje u odnosu na klasičan način i da ga mogu koristiti radnici svih nivoa kvalifikacija. Rezultati analize u potpunosti potvrđuju da su obe hipoteze, koje su postavljene na početku istraživanja, dokazane, odnosno da je predloženi model podrške proširene realnosti omogućio novi način interakcije korisnika samouslužnih automatizovanih sistema kao i novi način podrške održavanju samouslužnih automatizovanih sistema. Proširena realnost može pružiti i dodatne funkcionalnosti korisnicima i administratorima, kao što su instrukcije, podrška na daljinu i pregled informacija bez prekida rada sistema.

6. Zaključak i pravci daljeg istraživanja

U disertaciji je predstavljeno istraživanje mogućnosti primene tehnologija proširene realnosti na reprezentativnom samouslužnom automatizovanom sistemu. U fokus istraživanja postavljen je su tehnologije proširene realnosti, praćenje pozicije kamere, prikaz generisanog sadržaja, dostupni razvojni alati, načini interakcija korisnika putem aplikacije proširene realnosti, kao i zadaci samouslužnih automatizovanih sistema i kako se ovi zadaci mogu poboljšati primenom postojećih mobilnih tehnologija, IoT tehnologija, kao i tehnologija proširene realnosti.

Kao rezultat istraživanja, predložen je novi model samouslužnih automatizovanih sistema sa proširenom realnošću. Za pravilno funkcionisanje tehnologije proširene realnosti potrebno je pratiti položaj i orijentaciju korisnika u odnosu na referentni koordinatni sistem, prikaz virtuelnog sadržaja i interakciju korisnika sa virtuelnim sadržajem. Izazov za proširenu realnost je interakcija korisnika sa virtuelnim sadržajem. Postavljanje virtuelnih objekata u stvarni svet bez mogućnosti da korisnici komuniciraju sa njim nije praktično. Postoji veliki potencijal za istraživanje novih metoda interakcije, posebno u oblastima inteligentnih sistema, hibridnih korisničkih interfejsa i sistema za saradnju. Neophodno je proceniti koju tehnologiju proširene realnosti koristiti. Eksperimenti zasnovani na istraživanju mišljenja korisnika ključni su za definisanje dizajna i načina na koji aplikacija komunicira sa korisnikom. Model podrške proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema, predložen u ovom radu, ima za cilj unapređenje postojećih samouslužnih automatizovanih sistema. Težište rada je analiza različitih mogućnosti primene tehnologija proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema u cilju efikasnijeg održavanja i novih načina korišćenja samouslužnih automatizovanih sistema uz povećanje percipiranog kvaliteta pružene usluge.

Prilikom definisanja novog modela u obzir su uzeti postojeći SCADA (engl. Supervisory Control And Data Acquisition) sistemi kao i referentni model Interneta stvari. Predloženi model omogućava realizaciju novih sistema nadzora industrijskih postrojenja baziranih na Industriji 4.0, kao i jednostavnu integraciju u postojeće industrijske sisteme.

Kao rezultat istraživanja, predložen je novi model samouslužnih automatizovanih sistema sa proširenom realnošću. Predloženi model je analiziran na studiji slučaja samouslužnih automatizovanih sistema za iznajmljivanje bicikala. Za potrebe istraživanja i verifikaciju modela izvršeno je istraživanje mišljenje korisnika vezano za dizajn i način na koji aplikacija komunicira sa korisnikom. Predloženi model omogućava implementaciju novih načina korišćenja samouslužnih automatizovanih sistema, kao i laku integraciju u postojeće sisteme. Predloženi model podrške proširene realnosti samouslužnim automatizovanim sistemima je opšti model i njegova velika prednost je univerzalnost i otvorenost za primenu novih mobilnih tehnologija, tehnologija interneta stvari, kao i tehnologija proširene realnosti. Takođe, predloženi model ima svojstvo fleksibilnosti, jer se može primeniti na različite tipova samouslužnih automatizovanih sistema. Novi model omogućava sledljivost prikupljenih podataka o samouslužnim automatizovanim sistemima. U okviru modela moguće je implementirati različite algoritme obrade podataka sa ciljem otkrivanja grešaka ili potencijalnih problema u radu.

Prilikom implementacije proširene realnosti za potrebe samouslužnih automatizovanih sistema neophodno je analizirati funkcionalnost i trenutni način rada. Korisničko iskustvo pruža uvid u nedostatke postojećeg sistema i definiše ciljeve aplikacije proširene realnosti. Postojeću funkcionalnost samouslužnog automatizovanog sistema (radni model) neophodno je bilo proširiti i omogućiti adekvatnu komunikaciju sa mobilnom aplikacijom. Za potrebe aplikacije proširene realnosti (AR model) neophodno je bilo definisati način prepoznavanja objekata, prikaz željenog sadržaja kao i način interakcije. Marker pružaju najjednostavniji način za implementaciju, hardverski nisu veoma zahtevni, ali imaju ograničene mogućnosti. Refleksija, nedoslednost pozicije markera i njihova delimična vidljivost može uzrokovati greške u pozicioniranju objekata u prostoru. Sa druge strane prepoznavanje pomoću 3D modela i njegovih geometrijskih osobina pruža dobre rezultate prepoznavanja. Ovaj način rezistentan je na promene u teksturi objekata. Za slučajeve gde je dostupan CAD model, prepoznavanje putem 3D modela može biti dobro rešenje. Hardverski najzahtevnija jeste upotreba skeniranih 3D objekata, ali pruža i veoma dobre rezultate prilikom prepoznavanja. Teksture promene utiču na preciznost pozicioniranja sadržaja, ali sa zadovoljavajućim odstupanjem. Za potrebe korisnika, imajući u vidu različite modele mobilnih uređaja sa ograničenim

hardverskim mogućnostima, upotreba markera i 3D modela predstavlja bolji izbor. Za potrebe manjeg broja korisnika, kao što je služba održavanja gde je moguće namenski nabaviti uređaje, 3D skeniranje pruža više mogućnosti. Obučeni markeri, 3D modeli ili 3D skeniranja se skladište najčešće na mobilnom uređaju. Sadržaj, koji se prikazuje, može biti skladišten na različitim lokacijama. U slučaju da se ne skladišti na samom mobilnom uređaju i ukoliko ga je neophodno menjati u realnom vremenu, posebnu pažnju neophodno je posvetiti komunikaciji, kao i zaštiti podataka. Interakcija korisnika putem aplikacije proširene aplikacije je neophodna. Informacija o odabiru korisnika mora biti dostupna samouslužnom automatizovanom sistemu. Iako postoje različiti načini interakcije, prilikom upotrebe mobilnih uređaja najbolje se pokazala upotreba klasičnih interfejsa na koje su korisnici navikli. Korisnici, iako interfejs postavljen u prostoru smatraju atraktivnim, preferiraju upotrebu komandnih dugmadi na samom mobilnom uređaju. U radu, komandnu dugmad, iako postavljenu u prostoru, korisnici su aktivirali putem dodira na ekranu mobilnog uređaja. Prilikom prikaza sadržaja neophodno je voditi računa o njihovoj vidljivosti u realnom prostoru. Neke od primedbi bile su da su objekti teško uočljivi i da se stapaju sa okolinom. Neophodno je koristiti boje većeg kontrasta, jasno uočljive u odnosu na pozadinu. Istraživanje je pokazalo da proširena realnost može pružiti novo iskustvo kako korisnicima tako i administratorima. Moguće je pružiti dodatne funkcionalnosti korisnicima, kao što su instrukcije i podrška na daljinu. Korišćenjem mobilnih uređaja i prijave problema od strane korisnika uz fotografiju ili video samog problema, olakšano je razumevanje problema službama održavanja, samim tim i dijagnostika i pre samog dolaska na lokaciju.

Pravci daljeg istraživanja biće usmereni na proširenja predloženog modela dodatnim funkcionalnostima koja bi se postigla primenom tehnologija, kao što su primena tehnologija obrade podataka računarstvom u oblaku (engl. Edge Computing). Prikupljanjem velike količine podataka na jednom mestu moguće je proširiti model dodatnim funkcionalnostima, kao što su prediktivno održavanje i planiranje. Pored toga, zbog veće količine sadržaja koju je neophodno prikazati klijentu, potreban je pouzdan i brz transfer podataka. Edge Computing predstavlja savremeni koncept koji se bazira na deljenju resursa preko računarske mreže i očekuje se da će primena ovog koncepta ubrzati i olakšati pristup većoj količini podataka.

7. Literatura

- [1] P. Milgram i F. Kishino, „A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays,“ *IEICE Transactions on Information and Systems*, t. 77, br. 12, pp. 1321-1329, 1994.
- [2] A. Craig, W. R. Sherman i J. D. Will, *Developing Virtual Reality Applications: Foundations of Effective Design*, 2009.
- [3] R. Azuma, Y. Bailiot, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier i B. MacIntyre, „Recent advances in augmented reality,“ *IEEE Computer Graphics and Applications*, t. 21, br. 6, pp. 34-47, 2001.
- [4] H.-K. Wu, S. W.-Y. Lee, H.-Y. Chang i J.-C. Liang, „Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education,“ *Computers in Education*, t. 62, br. 1, pp. 41-49, 2013.
- [5] N. J. Wade, „Charles Wheatstone (1802-1875).,“ *Perception*, t. 31, br. 3, pp. 265-272, 2002.
- [6] A. Jovanović i A. Milosavljević, „Pregled uređaja i okruženja za razvoj aplikacija virtuelne stvarnosti“.
- [7] H. Pope, „Introduction to Virtual and Augmented Reality,“ *Library Technology Reports*, t. 54, p. 5–7, 2018.
- [8] 11 2020. [Na mreži]. Available: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>.
- [9] R. Schroeder, „Virtual reality in the real world: history, applications and projections,“ *Futures*, t. 25, p. 963–973, 1993.
- [10] F. P. Brooks Jr, M. Ouh-Young, J. J. Batter i P. Jerome Kilpatrick, „Project GROPEHaptic displays for scientific visualization,“ *ACM SIGGraph computer graphics*, t. 24, p. 177–185, 1990.
- [11] G. dr Ratko, N. dr Slobodan, M. dr Zeljković, Z. mr Milojević, I. Megađa i A. Košarac, „VIRTUALNA REALNOST-NOVI PRILAZ U PROJEKTOVANJU I PROIZVODNJI VIRTUAL REALITY-A NEW APPROACH TO DESIGN AND MANUFACTURING“.
- [12] J. Carmigniani i B. Furht, „Augmented Reality: An Overview,“ *Handbook of Augmented Reality*, pp. 3-46, 2011.
- [13] M. Billinghurst, A. Clark i G. Lee, *A Survey of Augmented Reality*, 2015.
- [14] J. Carmigniani, B. Furht, M. Anisetti, P. Ceravolo, E. Damiani i M. Ivkovic, „Augmented reality technologies, systems and applications,“ *Multimedia tools and applications*, t. 51, p. 341–377,

2011.

- [15] D. Wagner i D. Schmalstieg, „First steps towards handheld augmented reality,“ u *Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2003. Proceedings.*, 2003.
- [16] 5 2020. [Na mreži]. Available: <https://arpost.co/2020/09/25/augmented-reality-gartners-hype-cycle/>.
- [17] I. Rabbi i S. Ullah, „A Survey on Augmented Reality Challenges and Tracking,“ *Acta Graphica*, t. 24, pp. 29-46, 2016.
- [18] F. Zhou, H.-L. Duh i M. Billinghurst, „Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR,“ u *2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 2008.
- [19] S. K. Kim, S.-J. Kang, Y.-J. Choi, M.-H. Choi i M. Hong, „Augmented-Reality Survey: from Concept to Application,“ *Ksii Transactions on Internet and Information Systems*, t. 11, br. 2, pp. 982-1004, 2017.
- [20] X. Wang, S. K. Ong i A. Y. C. Nee, „A comprehensive survey of augmented reality assembly research,“ *Advances in Manufacturing*, t. 4, br. 1, pp. 1-22, 2016.
- [21] E. Costanza, A. Kunz i M. Fjeld, *Mixed Reality: A Survey*, 2009, pp. 47-68.
- [22] T. Michel, P. Genevès, H. Fourati i N. Layaïda, „Attitude estimation for indoor navigation and augmented reality with smartphones,“ *Pervasive and Mobile Computing*, t. 46, pp. 96-121, 2018.
- [23] G. Reitmayr i T. Drummond, „Going out: robust model-based tracking for outdoor augmented reality,“ u *2006 IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 2006.
- [24] H. Nakamura, Y. Mizuno i S. E. Pandarakone, „Development of a High-Performance Magnetic Field Sensor and Its Application to a Magnetic Field Visualization System Using the Augmented Reality Technique,“ *Journal of Sensors*, t. 2019, pp. 1-9, 2019.
- [25] A. Sherstyuk, D. Vincent, B. W. Berg i A. Treskunov, „Mixed Reality Manikins for Medical Education,“ *Handbook of Augmented Reality*, pp. 479-500, 2011.
- [26] G. Andria, F. Attivissimo, A. D. Nisio, A. M. L. Lanzolla, P. Larizza i S. Selicato, „Development and performance evaluation of an electromagnetic tracking system for surgery navigation,“ *Measurement*, t. 148, p. 106916, 2019.
- [27] G. S. C. Bermúdez, D. D. Karnaushenko, D. Karnaushenko, A. Lebanov, L. Bischoff, M. Kaltenbrunner, J. Fassbender, O. G. Schmidt i D. Makarov, „Magnetosensitive e-skins with

directional perception for augmented reality.,“ *Science Advances*, t. 4, br. 1, 2018.

- [28] T. Langerak, J. J. Zárate, D. Lindlbauer, C. Holz i O. Hilliges, „Omni: Volumetric Sensing and Actuation of Passive Magnetic Tools for Dynamic Haptic Feedback,“ u *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2020.
- [29] 11 2020. [Na mreži]. Available: <https://polhemus.com/>.
- [30] B. Schwald i B. De Laval, „An augmented reality system for training and assistance to maintenance in the industrial context,“ 2003.
- [31] J. Fischer, M. Eichler, D. Bartz i W. Straßer, „A hybrid tracking method for surgical augmented reality,“ *Computers & Graphics*, t. 31, p. 39–52, 2007.
- [32] T. Wang, Y. Liu i Y. Wang, „Infrared marker based augmented reality system for equipment maintenance,“ u *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 2008.
- [33] T. Pintaric i H. Kaufmann, „Affordable infrared-optical pose-tracking for virtual and augmented reality,“ u *Proceedings of Trends and Issues in Tracking for Virtual Environments Workshop, IEEE VR*, 2007.
- [34] S. Reifinger, F. Wallhoff, M. Ablassmeier, T. Poitschke i G. Rigoll, „Static and dynamic hand-gesture recognition for augmented reality applications,“ u *International Conference on Human-Computer Interaction*, 2007.
- [35] M. Maeda, T. Ogawa, K. Kiyokawa i H. Takemura, „Tracking of user position and orientation by stereo measurement of infrared markers and orientation sensing,“ u *Eighth International Symposium on Wearable Computers*, 2004.
- [36] Y. Sato, Y. Kobayashi i H. Koike, „Fast tracking of hands and fingertips in infrared images for augmented desk interface,“ u *Proceedings Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (Cat. No. PR00580)*, 2000.
- [37] M. Fiala, „Artag, an improved marker system based on artoolkit,“ *National Research Council Canada, Publication Number: NRC*, t. 47419, p. 2004, 2004.
- [38] G. Yu, Y. Hu i J. Dai, „Topotag: A robust and scalable topological fiducial marker system,“ *arXiv preprint arXiv:1908.01450*, 2019.
- [39] A. Sagitov, K. Shabalina, R. Lavrenov i E. Magid, „Comparing fiducial marker systems in the presence of occlusion,“ u *2017 International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC)*, 2017.

- [40] M. Fiala, „Artag rev2 fiducial marker system: Vision based tracking for AR,“ u *Workshop of Industrial Augmented Reality*, 2005.
- [41] I. Rabbi, S. Ullah, M. Javed i K. Zen, „Analysing the attributes of fiducial markers for robust tracking in augmented reality applications,“ *International Journal of Computational Vision and Robotics*, t. 7, p. 68–82, 2017.
- [42] Y. Wang, S. Zhang, S. Yang, W. He i X. Bai, „Mechanical assembly assistance using marker-less augmented reality system,“ *Assembly Automation*, 2018.
- [43] J. P. Lima, R. Roberto, F. Simões, M. Almeida, L. Figueiredo, J. M. Teixeira i V. Teichrieb, „Markerless tracking system for augmented reality in the automotive industry,“ *Expert systems with applications*, t. 82, p. 100–114, 2017.
- [44] D. Acharya, M. Ramezani, K. Khoshelham i S. Winter, „BIM-Tracker: A model-based visual tracking approach for indoor localisation using a 3D building model,“ *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, t. 150, p. 157–171, 2019.
- [45] H. Ben Abdallah, I. Jovančević, J.-J. Orteu i L. Brèthes, „Automatic inspection of aeronautical mechanical assemblies by matching the 3D CAD model and real 2D images,“ *Journal of Imaging*, t. 5, p. 81, 2019.
- [46] B. I. DaoMing, H. HUANG, L. I. U. JinBo, S. U. N. XiaoLiang i Y. U. QiFeng, „Robust monocular pose tracking of less-distinct objects using contour part model,“ *SCIENTIA SINICA Technologica*, t. 50, p. 1102–1114, 2020.
- [47] F. Cutolo, V. Mamone, N. Carbonaro, V. Ferrari i A. Tognetti, „Ambiguity-Free Optical–Inertial Tracking for Augmented Reality Headsets,“ *Sensors*, t. 20, p. 1444, 2020.
- [48] P. Lang, A. Kusej, A. Pinz i G. Bressier, „Inertial tracking for mobile augmented reality,“ u *IMTC/2002. Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IEEE Cat. No. 00CH37276)*, 2002.
- [49] B. Al Delail, L. Weruaga, M. J. Zemerly i J. W. P. Ng, „Indoor localization and navigation using smartphones augmented reality and inertial tracking,“ u *2013 IEEE 20th international conference on electronics, circuits, and systems (ICECS)*, 2013.
- [50] Z. Tian, Y.-L. Wei, X. Xiong, W.-N. Chang, H.-M. Tsai, K. C.-J. Lin, C. Zheng i X. Zhou, „Position: Augmenting inertial tracking with light,“ u *Proceedings of the 4th ACM Workshop on Visible Light Communication Systems*, 2017.
- [51] 10 2020. [Na mreži]. Available: <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>.

- [52] M. A. Muchtar, M. F. Syahputra, N. Syahputra, S. Ashrafia i R. F. Rahmat, „Augmented reality for searching potential assets in medan using GPS based tracking,“ u *Journal of Physics: Conference Series*, 2017.
- [53] G. W. Roberts, A. Evans, A. Dodson, B. Denby, S. Cooper, R. Hollands i others, „The use of augmented reality, GPS and INS for subsurface data visualization,“ u *FIG XXII International Congress*, 2002.
- [54] B. Thomas, V. Demczuk, W. Piekarski, D. Hepworth i B. Gunther, „A wearable computer system with augmented reality to support terrestrial navigation,“ u *Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. No. 98EX215)*, 1998.
- [55] A. Fuhrmann, D. Schmalstieg i W. Purgathofer, „Fast calibration for augmented reality,“ u *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, 1999.
- [56] P. Rojtborg i A. Kuijper, „Efficient Pose Selection for Interactive Camera Calibration,“ u *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2018.
- [57] J. Grubert, Y. Itoh, K. Moser i J. E. Swan, „A Survey of Calibration Methods for Optical See-Through Head-Mounted Displays,“ *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, t. 24, br. 9, pp. 2649-2662, 2018.
- [58] M. Scheinerman, „Exploring Augmented Reality,“ , 2009.
- [59] D. v. Krevelen i R. Poelman, „A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations,“ *International Journal of Virtual Reality*, t. 9, br. 2, pp. 1-20, 2010.
- [60] R. Silva, J. C. Oliveira i G. A. Giraldo, „Introduction to augmented reality,“ *National laboratory for scientific computation*, t. 11, 2003.
- [61] C. Orús, S. Ibáñez-Sánchez i C. Flavián, „Enhancing the customer experience with virtual and augmented reality: The impact of content and device type,“ *International Journal of Hospitality Management*, t. 98, p. 103019, 2021.
- [62] D. Chatzopoulos, C. Bermejo, Z. Huang i P. Hui, „Mobile Augmented Reality Survey: From Where We Are to Where We Go,“ *IEEE Access*, t. 5, pp. 6917-6950, 2017.
- [63] D. Wagner i D. Schmalstieg, „History and Future of Tracking for Mobile Phone Augmented Reality,“ u *2009 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality*, 2009.
- [64] P. S. Rajendran, „Virtual information kiosk using augmented reality for easy shopping,“ *Int J Pure Appl Math*, t. 118, p. 985–994, 2018.

- [65] 11 2020. [Na mreži]. Available: <https://thinkmobiles.com/blog/augmented-reality-retail/>.
- [66] 11 2020. [Na mreži]. Available: <https://www.triggerglobal.com/work/Lego-In-Store-Model-Box>.
- [67] A. Stork i O. Bimber, „Projection-based Augmented Reality in Engineering Applications,” u *CAD 2002: Corporate Engineering Research*, 2002.
- [68] S. J. Henderson i S. K. Feiner, „Augmented Reality for Maintenance and Repair (ARMAR),“ , 2007.
- [69] B. Furht, *Handbook of Augmented Reality*, 2011.
- [70] D. Amin i S. Govilkar, „Comparative study of augmented reality SDKs,” *International Journal on Computational Science & Applications*, t. 5, p. 11–26, 2015.
- [71] R. Palmarini, J. A. Erkoyuncu, R. Roy i H. Torabmostaedi, „A systematic review of augmented reality applications in maintenance,” *Robotics and Computer-integrated Manufacturing*, t. 49, pp. 215–228, 2018.
- [72] L. Z. Eng, *Building a Game with Unity and Blender*, 2015.
- [73] 11 2020. [Na mreži]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/AROverview.html>.
- [74] T. A. Vakaliuk i S. I. Pochtoviuk, „Analysis of tools for the development of augmented reality technologies,” 2021.
- [75] R. R. Asaad, Z. A. Sulaiman i S. S. Abdulmajeed, „Proposed System for Education Augmented Reality Self English Learning,” *Academic Journal of Nawroz University*, t. 8, p. 27–32, 2019.
- [76] J. Glover, *Unity 2018 augmented reality projects: build four immersive and fun AR applications using ARKit, ARCore, and Vuforia*, Packt Publishing Ltd, 2018.
- [77] Y. Chen, Q. Wang, H. Chen, X. Song, H. Tang i M. Tian, „An overview of augmented reality technology,” u *Journal of Physics: Conference Series*, 2019.
- [78] I. Grahn, *The Vuforia SDK and Unity3D Game Engine: Evaluating Performance on Android Devices*, 2017.
- [79] X. Liu¹¹, Y.-H. Sohn i D.-W. Park, „Application Development with Augmented Reality Technique using Unity 3D and Vuforia,” *International Journal of Applied Engineering Research*, t. 13, p. 15068–15071, 2018.
- [80] A. Simonetti Ibañez i J. Paredes Figueras, „Vuforia v1. 5 SDK: Analysis and evaluation of capabilities,” 2013.

- [81] D. B. Espíndola, C. E. Pereira, R. V. Henriques i S. S. Botelho, „Using Mixed Reality in the Visualization of Maintenance Processes,” *IFAC Proceedings Volumes*, t. 43, br. 3, pp. 30-35, 2010.
- [82] A. Al-Gindy, C. Felix, A. Ahmed, A. Matoug i M. Alkhidir, „Virtual reality: Development of an integrated learning environment for education,” *International Journal of Information and Education Technology*, t. 10, br. 3, pp. 171-175, 2020.
- [83] M. Bower, C. Howe, N. McCredie, A. Robinson i D. Grover, „Augmented Reality in education – cases, places and potentials,” *Educational Media International*, t. 51, br. 1, pp. 1-15, 2014.
- [84] L. Chittaro i R. Ranon, „Web3D technologies in learning, education and training: Motivations, issues, opportunities,” *Computers in Education*, t. 49, br. 1, pp. 3-18, 2007.
- [85] F. Liarokapis, N. Mourkoussis, M. White, J. Darcy, M. Sifniotis, P. Petridis, A. Basu i P. F. Lister, „Web3D and Augmented Reality to support engineering education,” *World Transactions on Engineering and Technology Education*, br. 1, 2004.
- [86] C. Moro, Z. Štromberga i A. Stirling, „Virtualisation devices for student learning: Comparison between desktop-based (Oculus Rift) and mobile-based (Gear VR) virtual reality in medical and health science education,” *Australasian Journal of Educational Technology*, t. 33, br. 6, pp. 1-10, 2017.
- [87] D. Vogel, P. Lubos i F. Steinicke, „AnimationVR - Interactive Controller-Based Animating in Virtual Reality,” u *2018 IEEE 1st Workshop on Animation in Virtual and Augmented Environments (ANIVAE)*, 2018.
- [88] D.-M. Pham i W. Stuerzlinger, „Is the Pen Mightier than the Controller? A Comparison of Input Devices for Selection in Virtual and Augmented Reality,” u *25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology on* , 2019.
- [89] D. W. Seo i J. Y. Lee, „Direct hand touchable interactions in augmented reality environments for natural and intuitive user experiences,” *Expert Systems With Applications*, t. 40, br. 9, pp. 3784-3793, 2013.
- [90] K. Waldow, M. Misiak, U. Derichs, O. Clausen i A. Fuhrmann, „An evaluation of smartphone-based interaction in AR for constrained object manipulation,” u *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 2018.
- [91] J. Hartmann, A. Gupta i D. Vogel, „Extend, Push, Pull: Smartphone Mediated Interaction in Spatial Augmented Reality via Intuitive Mode Switching,” u *Symposium on Spatial User Interaction*, 2020.
- [92] E. S. Goh, M. S. Sunar i A. W. Ismail, „3D Object Manipulation Techniques in Handheld Mobile Augmented Reality Interface: A Review,” *IEEE Access*, t. 7, pp. 40581-40601, 2019.

- [93] C. Bermejo i P. Hui, „A survey on haptic technologies for mobile augmented reality,“ *arXiv preprint arXiv:1709.00698*, 2017.
- [94] K. M. Sagayam i D. J. Hemanth, „Hand posture and gesture recognition techniques for virtual reality applications: a survey,“ *Virtual Reality*, t. 21, br. 2, pp. 91-107, 2017.
- [95] 11 2020. [Na mreži]. Available: <https://www.revopoint3d.com/microsofts-kinect-sensor-basics-and-the-3d-sensing-technologies-it-used/>.
- [96] 11 2020. [Na mreži]. Available: <https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>.
- [97] 11 2020. [Na mreži]. Available: <https://developer.magicleap.com/en-us/learn/guides/lumin-sdk-handtracking>.
- [98] F.-C. Lin, H.-W. Yu, C.-H. Hsu i T.-C. Weng, „Recommendation system for localized products in vending machines,“ *Expert Systems With Applications*, t. 38, br. 8, pp. 9129-9138, 2011.
- [99] „Market Information,“ 2020. [Na mreži]. Available: <https://www.vending-europe.eu/activities/market-information/>. [Poslednji pristup 18 February 2020].
- [100] D. Dilijonas i V. Sakalauskas, „Self-service Systems Performance Evaluation and Improvement Model,“ u *11th Conference on e-Business, e-Services, and e-Society (I3E)*, 2011.
- [101] K. Wachter, „Longitudinal assessment of Web retailers,“ *Journal of Fashion Marketing and Management*, t. 6, br. 2, pp. 134-145, 2002.
- [102] S. Vicini, A. Sanna i S. Bellini, „A Living Lab for Internet of Things Vending Machines,“ u *1st International Conference on The Impact of Virtual, Remote, and Real Logistics Labs, ImViReLL 2012*, 2012.
- [103] S. Irshad i D. R. B. A. Rambli, „User experience of mobile augmented reality: A review of studies,“ u *2014 3rd International Conference on User Science and Engineering (i-USEr)*, 2014.
- [104] L. A. Kasiri, K. T. G. Cheng, M. Sambasivan i S. M. Sidin, „Integration of standardization and customization: Impact on service quality, customer satisfaction, and loyalty,“ *Journal of Retailing and Consumer Services*, t. 35, pp. 91-97, 2017.
- [105] V. M. Ngo i H. H. Nguyen, „The Relationship between Service Quality, Customer Satisfaction and Customer Loyalty: An Investigation in Vietnamese Retail Banking Sector,“ *Journal of Cryptology*, t. 8, br. 2, pp. 103-116, 2016.
- [106] H. Oh, „Service quality, customer satisfaction, and customer value: A holistic perspective,“ *International Journal of Hospitality Management*, t. 18, br. 1, pp. 67-82, 1999.

- [107] H. Oh i K. Kim, „Customer satisfaction, service quality, and customer value: years 2000-2015,“ *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, t. 29, br. 1, pp. 2-29, 2017.
- [108] V. Marinkovic i V. Senic, „Analiza elemenata kvaliteta usluga u korporativnom bankarstvu,“ *Ekonomski horizonti*, t. 14, br. 1, pp. 13-22, 2012.
- [109] D. Castro, R. D. Atkinson i S. J. Ezell, *Embracing the Self-Service Economy*, 2010.
- [110] 11 2020. [Na mreži]. Available: <https://www.lamasatech.com/blog/5-types-of-kiosks-that-you-should-know-about/>.
- [111] S. Stankovski, G. Ostojić i X. Zhang, „Influence of Industrial Internet of Things on Mechatronics,“ *Journal of Mechatronics, Automation and Identification Technology*, pp. 1-6, 2016.
- [112] S. Stankovski, G. Ostojic, X. Zhang, I. Baranovski, S. Tegeltija i S. Horvat, „Mechatronics, Identification Tehnology, Industry 4.0 and Education,“ u *2019 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, 2019.
- [113] H. Demirkan i J. Spohrer, „Developing a framework to improve virtual shopping in digital malls with intelligent self-service systems,“ *Journal of Retailing and Consumer Services*, t. 21, br. 5, pp. 860-868, 2014.
- [114] S. Nemet, G. Ostojić, D. Kukolj, S. Stankovski i D. Jovanović, „Feature Selection Using Combined Particle Swarm Optimization and Artificial Neural Network Approach,“ *Journal of Mechatronics, Automation and Identification Technology*, t. 4, br. 4, pp. 7-19, 2019.
- [115] I. Baranovski, S. Stankovski, G. Ostojic i S. Horvat, „Support for Self-service Automated Parking Systems,“ u *2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, 2020.
- [116] I. Baranovski, S. Stankovski, G. Ostojić, S. Horvat i S. Tegeltija, „Augmented reality support for self-service automated systems,“ *J. Graph. Eng. Des*, t. 11, p. 63, 2020.
- [117] X. You, W. Zhang, M. Ma, C. Deng i J. Yang, „Survey on Urban Warfare Augmented Reality,“ *ISPRS international journal of geo-information*, t. 7, br. 2, p. 46, 2018.
- [118] S. L. Ullo, P. Piedimonte, F. Leccese i E. D. Francesco, „A Step toward the Standardization of Maintenance and Training Services in C4I Military Systems with Mixed Reality Application,“ *Measurement*, t. 138, pp. 149-156, 2019.
- [119] S. Irshad i D. R. B. Awang, „A UX Oriented Evaluation approach for Mobile Augmented Reality Applications,“ u *Proceedings of the 16th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia*, 2018.

- [120] J. Paavilainen, H. Korhonen, K. Alha, J. Stenros, E. Koskinen i F. Mayra, „The Pokémon GO Experience: A Location-Based Augmented Reality Mobile Game Goes Mainstream,“ u *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2017.
- [121] P. A. Rauschnabel, A. Rossmann i M. C. t. Dieck, „An adoption framework for mobile augmented reality games: The case of Pokémon Go,“ *Computers in Human Behavior*, t. 76, pp. 276-286, 2017.
- [122] M. Lorenz, S. Knopp i P. Klimant, „Industrial Augmented Reality: Requirements for an Augmented Reality Maintenance Worker Support System,“ u *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 2018.
- [123] G. W. Scurati, M. Gattullo, M. Fiorentino, F. Ferrise, M. Bordegoni i A. E. Uva, „Converting maintenance actions into standard symbols for Augmented Reality applications in Industry 4.0,“ *Computers in Industry*, t. 98, pp. 68-79, 2018.
- [124] P. Vávra, J. Roman, P. Zonča, P. Ihnát, M. Němec, J. Kumar, N. A. Habib i A. El-Gendi, „Recent Development of Augmented Reality in Surgery: A Review,“ *Journal of Healthcare Engineering*, t. 2017, pp. 4574172-4574172, 2017.
- [125] E. E. Cranmer, M. C. t. Dieck i P. Fountoulaki, „Exploring the value of augmented reality for tourism,“ *Tourism Management Perspectives*, t. 35, p. 100672, 2020.
- [126] A. J. Ocampo i T. Palaoag, „Improving tourism experience in open data environment with mobile augmented reality: needs and challenges,“ u *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.
- [127] K. Kim, M. Billingham, G. Bruder, H. B.-L. Duh i G. F. Welch, „Revisiting Trends in Augmented Reality Research: A Review of the 2nd Decade of ISMAR (2008–2017),“ *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, t. 24, br. 11, pp. 2947-2962, 2018.
- [128] S. Blanco-Pons, B. Carrión-Ruiz, M. Duong, J. Chartrand, S. Fai i J. L. Lerma, „Augmented Reality Markerless Multi-Image Outdoor Tracking System for the Historical Buildings on Parliament Hill,“ *Sustainability*, t. 11, br. 16, p. 4268, 2019.
- [129] F. Liu i S. Seipel, „Precision study on augmented reality-based visual guidance for facility management tasks,“ *Automation in Construction*, t. 90, pp. 79-90, 2018.
- [130] R. Romli, A. F. Razali, N. H. Ghazali, N. A. Hanin i S. Z. Ibrahim, „Mobile Augmented Reality (AR) Marker-based for Indoor Library Navigation,“ *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, t. 767, br. 1, p. 12062, 2020.
- [131] J. C. P. Cheng, K. Chen i W. Chen, „Comparison of Marker-Based and Markerless AR: A Case Study of An Indoor Decoration System,“ u *Lean and Computing in Construction Congress (LC3): Volume I*

Ð Proceedings of the Joint Conference on Computing in Construction (JC3), July 4-7, 2017, Heraklion, Greece, pp. 483-490, 2017.

- [132] W. Hürst i C. v. Wezel, „Gesture-based interaction via finger tracking for mobile augmented reality,“ *Multimedia Tools and Applications*, t. 62, br. 1, pp. 233-258, 2013.
- [133] S. C.-Y. Yuen, G. Yaoyuneyong i E. Johnson, „Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education,“ *Journal on Educational Technology*, t. 4, br. 1, p. 11, 2011.
- [134] D. B. Espíndola, C. E. Pereira, E. Schneider i R. Ventura, „Improving Maintenance Operations Through Application of Mixed Reality Systems,“ *IFAC Proceedings Volumes*, t. 46, br. 7, pp. 11-16, 2013.
- [135] T. Liao, „Future directions for mobile augmented reality research: Understanding relationships between augmented reality users, nonusers, content, devices, and industry,“ *Mobile media and communication*, t. 7, br. 1, pp. 131-149, 2019.
- [136] J. Gabbard i J. Swan, „Usability Engineering for Augmented Reality: Employing User-Based Studies to Inform Design,“ *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, t. 14, br. 3, pp. 513-525, 2008.
- [137] J. E. Swan i J. L. Gabbard, „Survey of User-Based Experimentation in Augmented Reality,“ , 2005.
- [138] A. Dünser, R. Grasset i M. Billinghamurst, „A survey of evaluation techniques used in augmented reality studies,“ u *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 courses*, 2008.
- [139] A. Dey, M. Billinghamurst, R. W. Lindeman i J. E. Swan, „A Systematic Review of Usability Studies in Augmented Reality between 2005 and 2014,“ *2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)*, t. 2016, pp. 49-50, 2016.
- [140] A. Poushneh i A. Z. Vasquez-Parraga, „Discernible impact of augmented reality on retail customer's experience, satisfaction and willingness to buy,“ *Journal of Retailing and Consumer Services*, t. 34, pp. 229-234, 2017.
- [141] E. Pantano i R. Servidio, „Modeling innovative points of sales through virtual and immersive technologies,“ *Journal of Retailing and Consumer Services*, t. 19, br. 3, pp. 279-286, 2012.
- [142] T. Domina, S.-E. Lee i M. MacGillivray, „Understanding factors affecting consumer intention to shop in a virtual world,“ *Journal of Retailing and Consumer Services*, t. 19, br. 6, pp. 613-620, 2012.
- [143] A. K. Barlow, N. Q. Siddiqu i M. Mannion, „Developments in information and communication technologies for retail marketing channels,“ *International Journal of Retail & Distribution Management*, 2004.

- [144] S. G. Dacko, „Enabling smart retail settings via mobile augmented reality shopping apps,“ *Technological Forecasting and Social Change*, t. 124, pp. 243-256, 2017.
- [145] P. Spreer i K. Kallweit, „Augmented Reality in Retail: Assessing the Acceptance and Potential for Multimedia Product Presentation at the PoS,“ *SOP Transactions on Marketing Research*, t. 1, br. 1, pp. 23-31, 2014.
- [146] „Augmented Reality in Retail,“ 2020. [Na mreži]. Available: <https://thinkmobiles.com/blog/augmented-reality-retail/>. [Poslednji pristup 15 February 2020].
- [147] S. Gatter, V. Hüttl-Maack i P. A. Rauschnabel, „Can augmented reality satisfy consumers' need for touch?,“ *Psychology & Marketing*, t. 39, p. 508–523, 2022.
- [148] S. T. Kumar i others, „Study of retail applications with virtual and augmented reality technologies,“ *Journal of Innovative Image Processing*, t. 3, p. 144–156, 2021.
- [149] Y.-C. Tan, S. R. Chandukala i S. K. Reddy, „Augmented reality in retail and its impact on sales,“ *Journal of Marketing*, t. 86, p. 48–66, 2022.
- [150] S. Stankovski, G. Ostojic, I. Baranovski, M. Babic i M. Stanojevic, „The Impact of Edge Computing on Industrial Automation,“ u *2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, 2020.
- [151] G. O. T. L. M. S. a. M. B. S. Stankovski, „Challenges of IoT Payments in Smart Services,“ *Annals of DAAAM & Proceedings*, p. 4–9, 2019.
- [152] I. Baranovski, S. Stankovski, G. Ostojić, V. Nikolić, M. Simnonović i M. Stanojević, „TOWARD A SMART ECOSYSTEM WITH AUTOMATED SERVICES,“ *Facta Universitatis. Series: Mechanical Engineering*, br. <https://doi.org/10.22190/FUME123456001A>.
- [153] „SocialCompare,“ [Na mreži]. Available: <https://socialcompare.com/en/comparison/augmented-reality-sdks>. [Poslednji pristup 21 01 2022].
- [154] J. Larsen, Bike-sharing programs hit the streets in over 500 cities worldwide, Earth Policy Institute Washington, DC, 2013.
- [155] I. Baranovski, S. Stankovski, G. Ostojić, D. Oros i S. Horvat, „Software support for self-service automated systems,“ u *2018 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, 2018.
- [156] V. Basarić, D. Ilić, J. Mitrović, V. Bogdanović, Z. Despotović i N. Ruškić, „Results of" NS Bike" system implementation: a case study,“ u *Transport Research Arena (TRA) 5th Conference: Transport Solutions from Research to Deployment* European Commission Conference of European Directors of Roads (CEDR) European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC)

WATERBORNE^{TP}European Rail Research Advisory Council (ERRAC) Institut Francais des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR) Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2014.

- [157] Y. Siriwardhana, P. Porambage, M. Liyanage i M. Ylianttila, „A survey on mobile augmented reality with 5G mobile edge computing: architectures, applications, and technical aspects,“ *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, t. 23, p. 1160–1192, 2021.

Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Самоуслужни аутоматизовани системи са подршком проширене реалности
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
а) Универзитет у Новом Саду б) в)
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
Истраживање је реализовано у оквиру израде докторске дисертације на студијском програму Мехатроника
1. Опис података
<p><i>1.1 Врста студије</i></p> <p><i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i></p> <p>Анкетирање корисника извршено је са циљем да се провери утицај примене проширене реалности на квалитет рада самоуслужних аутоматизованих система. Други циљ је био да се добије критичко мишљење самих корисника везаних за начин приказа виртуелног садржаја и интеракцију са њим.</p> <p>1.2 Врсте података</p> <p>а) квантитативни</p> <p>б) квалитативни</p>

1.3. Начин прикупљања података

- а) **анкете**, упитници, тестови
- б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи
- в) генотипови: навести врсту _____
- г) административни подаци: навести врсту _____
- д) узорци ткива: навести врсту _____
- ђ) снимци, фотографије: навести врсту _____
- е) текст, навести врсту **литературни извори**
- ж) мапа, навести врсту _____
- з) остало: описати _____

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

- а) Excel фајл, датотека **korisnici.csv, admin.csv**
- б) SPSS фајл, датотека _____
- в) PDF фајл, датотека _____
- г) Текст фајл, датотека _____
- д) JPG фајл, датотека _____
- е) Остало, датотека _____

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- а) број варијабли 14
- б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) 43

1.3.3. Поновљена мерења

а) да

б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) временски размак између поновљених мера је _____
- б) варијабле које се више пута мере односе се на _____
- в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

а) *Да*

б) *Не*

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

а) експеримент, навести тип _____

б) корелационо истраживање, навести тип _____

ц) анализа текста, навести тип **Анализа доступне литературе**

д) остало, навести шта _____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) Колики је број недостајућих података? _____
 - б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да **Не**
 - в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података
-

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Квалитет података је контролисан тако што су у статистичку обраду узети само потпуни одговори испитаника који су попунили комплетан упитник.

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

Валидација података је реализована од стране ментора истраживања

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у **репозиторијум докторских дисертација на Универзитету у Новом Саду.**

3.1.2. URL адреса **<https://www.cris.uns.ac.rs/searchDissertations.jsf>**

3.1.3. DOI _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

а) Да

б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____

в) Не

Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? **Стандард који примењује Репозиторијум докторских дисертација Универзитета у Новом Саду**

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? **неограничено**

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да **Не**

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да **Не**

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да **Не**

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и

одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да **Не**

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да **Не**

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- а) Подаци нису у отвореном приступу
 - б) Подаци су анонимизирани
 - ц) Остало, навести шта
-
-

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

а) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

ауторство - некомерцијално

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Игор Барановски baran.h012@gmail.com

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Игор Барановски baran.h012@gmail.com

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Игор Барановски baran.h012@gmail.com