

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 117

**DIZAJN I EVALUACIJA INTERAKCIJSKIH MEHANIKA U
MIJEŠANOJ STVARNOSTI**

Lucija Drozd

Zagreb, lipanj 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 117

**DIZAJN I EVALUACIJA INTERAKCIJSKIH MEHANIKA U
MIJEŠANOJ STVARNOSTI**

Lucija Drozd

Zagreb, lipanj 2023.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 117

Pristupnica: **Lucija Drozd (0036515978)**
Studij: Računarstvo
Profil: Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi
Mentorica: prof. dr. sc. Lea Skorin-Kapov

Zadatak: **Dizajn i evaluacija interakcijskih mehanika u miješanoj stvarnosti**

Opis zadatka:

Suvremeni sustavi za miješanu stvarnost (engl. Mixed Reality, MR) zasnovani su na tehnologiji koja omogućuje korisnicima interakciju s 3D virtualnim elementima prikazanim i pozicioniranim u stvarnom svijetu. Jedan od načina prikaza slike je pomoću pametnih naočala koje osiguravaju da se prikaz virtualnih elemenata točno poklapa sa stvarnim elementima u 3D prostoru te da se pomoću kamera prati orijentacija i položaj korisnika i objekata u stvarnom svijetu. Brojna istraživanja iz područja interakcije čovjek-računalo bave se dizajnom 3D korisničkih sučelja, koja se nameću kao alternativa klasičnim 2D sučeljima. 3D korisnička sučelja temelje se na implementaciji raznih vrsta interakcija, primjerice interakcije omogućene praćenjem gesti i pokreta ruku. Vaš zadatak je proučiti vrste interakcija s virtualnim objektima prikazanim u miješanoj stvarnosti. Nadalje, potrebno je identificirati parametre različitih interakcijskih mehanika koji utječu na iskustvo krajnjih korisnika. Potrebno je implementirati aplikaciju u miješanoj stvarnosti koja bi služila za testiranje utjecaja raznih konfiguracija interakcijskih mehanika na korisničko iskustvo. U okviru aplikacije, potrebno je implementirati korisničko sučelje koje omogućuje osobi koja provodi testiranje da konfigurira parametre pojedinog scenarija. Na kraju, potrebno je provesti korisničku studiju s ciljem ispitivanja utjecaja odabranih parametara interakcijskih mehanika na korisničko iskustvo.

Rok za predaju rada: 23. lipnja 2023.

Najprije se zahvaljujem svojoj mentorici prof. dr. sc. Lei Skorin-Kapov na suradnji, pomoći i vodstvu tijekom studija te asistentici Sari Vlahović na pomoći i savjetima tijekom izrade ovog rada. Hvala svim mojim prijateljima koji su uvijek bili tu za mene, motivirali me u teškim trenucima i učinili mi ovo razdoblje života ljepšim i lakšim. Veliko hvala mojoj obitelji, posebno roditeljima i sestri, koji su me podržavali u svakom trenutku moga školovanja i bili tu za mene kada je bilo najpotrebnije. Uvijek ću pamtiti sve što ste učinili za mene kako bih postala ono što danas jesam.

Sadržaj

Uvod.....	1
1. Interakcijske mehanike u miješanoj stvarnosti	3
1. 1. Klasifikacija MR interakcijskih tehnika.....	5
1. 2. Oblikovanje interakcijskih mehanika.....	7
1. 3. Primjeri testiranja interakcijskih mehanika.....	8
2. Izrada aplikacije <i>MRInteract</i>	11
2. 1. Opis i cilj aplikacije	11
2. 2. Korištene tehnologije.....	13
2. 2. 1. Unity	13
2. 2. 2. Microsoft Visual Studio	13
2. 2. 3. Mixed Reality Toolkit 2 (MRTK2)	13
2. 2. 4. Photon Unity Networking 2 (PUN 2).....	14
2. 2. 5. Microsoft HoloLens 2	15
2. 2. 6. Google obrasci.....	16
2. 3. Dizajn i implementacija scena	16
2. 4. Povezivanje s administratorskim sučeljem	20
2. 5. Parametri interakcijskih mehanika	26
2. 6. Prikupljanje podataka	31
3. Ispitivanje korisničkog iskustva	36
4. Rezultati ispitivanja	44
4.1. Scena <i>Pick and Place</i>	44
4.1.1. Objektivne metrike.....	44
4.1.2. Subjektivne metrike	46
4.1.3. Analiza rezultata	51
4.2. Scena <i>UI Form</i>	53

4.2.1. Objektivne metrike.....	53
4.2.2. Subjektivne metrike	54
4.2.3. Analiza rezultata	59
4.3. Scena <i>Scale and Rotate</i>	61
4.3.1. Objektivne metrike.....	61
4.3.2. Subjektivne metrike	64
4.3.3. Analiza rezultata	69
5. Moguća proširenja.....	71
Zaključak	72
Literatura	73
Sažetak	76
Summary.....	77
Dodatak	78

Uvod

Od pojave prvih računala i konzola pa sve do današnjih tehnologija, nastojalo se stvoriti iskustvo korištenja tehnologije koje će korisniku biti ono najbolje moguće. Zahtijeva se da interakcijske tehnike budu intuitivne, a to podrazumijeva da će korisnicima ostvarenje interakcije s tehnološkim uređajima biti što ugodnije i jednostavnije za korištenje [1]. Pojava novih tehnologija, pa tako i miješane stvarnosti (engl. *Mixed Reality*, MR) stvara nove korisničke interakcije za novo korisničko iskustvo (engl. *User Experience*, UX). MR je oblik tehnologije u kojem je virtualni sadržaj preslikan u stvarni prostor te korisnici mogu vršiti interakciju i s virtualnim i sa stvarnim objektima u stvarnom vremenu [2]. Korisničko iskustvo usmjereno je na razumijevanje korisničkih potreba prilikom stvaranja konačnog proizvoda – što trebaju, što im je važno, ali i koje su njihove mogućnosti i sposobnosti [3].

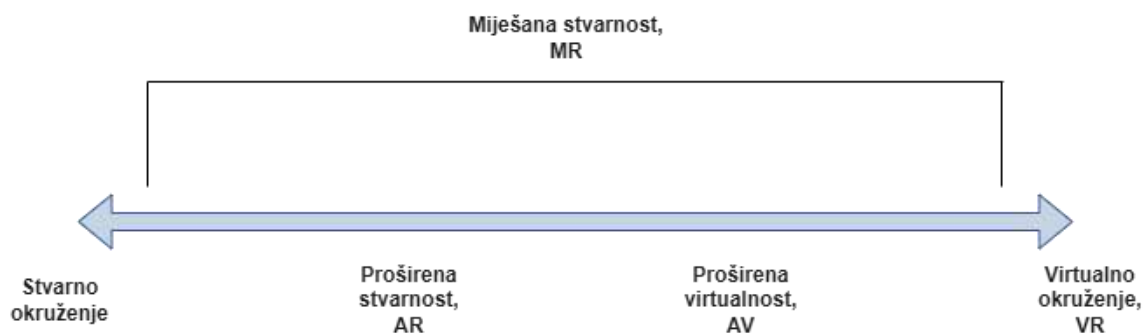
Budući da MR dodaje virtualni sadržaj stvarnom svijetu, klasične interakcije s digitalnim svijetom prebacuju se u trodimenzionalni prostor i samim time postaju zahtjevnije i ovisne o velikom broju parametara. Sa stajališta krajnjeg korisnika, MR interakcije zahtijevaju veće motoričke i kognitivne vještine, preciznost i prostorno snalaženje u usporedbi s tradicionalnim interakcijama [4]. Tradicionalne interakcije u ovome kontekstu predstavljaju interakcije s dvodimenzionalnim virtualnim svijetom, primjerice interakcije u računalnim igrama pomoću tipkovnice i miša. Velik broj različitih MR uređaja također komplicira dizajn MR aplikacija. Uglavnom su to uređaji u obliku pametnih naočala kao što su Meta Quest Pro, HoloLens 2, Varjo XR-3 i Lynx R-1 [5]. Svaki uređaj ima svoje specifičnosti i teško je stvoriti univerzalne smjernice za dizajn interakcija [6], a istovremeno se pitanje dizajna optimalnih MR interakcija tek počinje pomnije istraživati. To predstavlja jedinstvene izazove i prilike za dizajnere i istraživače, jer je potrebno osmisliti interakcije koje će biti upotrebljive u danom kontekstu i za koje je potrebno što manje vremena da se nauče.

Cilj je ovoga rada razviti testno okruženje za evaluaciju različitih MR interakcijskih tehnika, podešavajući pri tome parametre koji utječu na pojedinu interakciju. Testno okruženje prilagođeno je za prikaz na MR naočalama HoloLens 2. Na temelju testne aplikacije provedena je kratka korisnička studija u kojoj se analizirao utjecaj promjene pojedinih parametara na iskustvenu kvalitetu (engl. *Quality of Experience*, QoE).

Rad je podijeljen na pet glavnih poglavlja. U prvome poglavlju govorit će se o interakcijskim mehanikama u MR okruženju, njihovim podjelama te na koje načine se oblikuju. Teoretski dio poglavlja bit će potkrijepljen primjerima radova vezanih uz testiranje interakcija u miješanoj stvarnosti. Drugo poglavlje donosi proces implementacije aplikacije za testiranje MR interakcijskih mehanika nastaloj u sklopu ovoga rada. Opisat će se aplikacija, korištene tehnologije te implementacijski detalji kao što su spajanje administratorskog sučelja, prikaz interakcijskih parametara te pohrana podataka. Treće poglavlje opisat će metodologiju ispitivanja koje je provedeno pomoću implementirane aplikacije. U četvrtom poglavlju predstaviti će se rezultati ispitivanja pomoću objektivno i subjektivno prikupljenih podataka. Peto poglavlje opisat će moguća proširenja aplikacije. Završna poglavlja donose zaključak i reference na korištene izvore te sažetak ovoga rada na hrvatskom i engleskom jeziku. Dodatno je priložen primjer upitnika iz provedenog korisničkog ispitivanja.

1. Interakcijske mehanike u miješanoj stvarnosti

Koncept različitih virtualnih okruženja i njihove povezanosti najbolje opisuje pojam kontinuum stvarnost-virtualnost (engl. *Reality-Virtuality Continuum*), kojega su prvi puta opisali Milgram i sur. 90-ih godina prošloga stoljeća [7]. U kontinuumu prikazanom na slici 1.1 postoje dvije krajnje vrijednosti: stvarno okruženje, koje se sastoji samo od stvarnih ili fizičkih elemenata, i potpuno virtualno okruženje, odnosno virtualna stvarnost (engl. *Virtual Reality*, VR), koja se sastoji samo od virtualnih elemenata. Sve vrijednosti između tih ekstrema ubrajaju se pod miješanu stvarnost. MR prema njima obuhvaća proširenu stvarnost (engl. *Augmented Reality*, AR) koja se definira kao stvarni svijet u koji se ubacuju virtualni elementi te proširenu virtualnost (engl. *Augmented Virtuality*, AV) koja virtualnom okruženju dodaje stvarne objekte [8].



Slika 1.1 Kontinuum stvarnost-virtualnost

Jedan nedostatak kontinuumu je taj da je fokusiran uglavnom na vizualne prikaze, što ograničava neke nove poglede na MR koji su se razvijali kroz godine. U miješanoj stvarnosti moguće je postavljanje prostornog mapiranja, praćenje ljudskog pokreta i govora, ostvarivanje prostornog zvuka, pozicioniranje u fizičkim i virtualnim prostorima te višekorisnička suradnja [2]. Ovisno o korisnikovim potrebama, omjer virtualnosti i stvarnosti može ići prema određenom kraju spektra. Cilj je omogućiti kombinaciju virtualnog i stvarnog svijeta u stvarnom vremenu te istovremenu interakciju i s virtualnim i sa stvarnim objektima.

S obzirom na to da se tehnologija s vremenom mijenja, moguće je zaključiti kako današnja definicija miješane stvarnosti zapravo nadilazi „običnu“ proširenu stvarnost. Prema Kolla i sur. [9], MR i AR možemo razlikovati po modalitetu u kojem virtualni i

stvarni objekti komuniciraju međusobno, ali i s korisnikom. U AR-u se virtualni objekti samo pozicioniraju u stvarnom prostoru te korisnik ne može direktno komunicirati s njima, dok u MR-u korisnik može komunicirati s virtualnim objektima u prostoru te tako iskusiti veću imerziju.

U miješanoj stvarnosti zahtijeva se interakcija u stvarnome vremenu. Bitno je da je interakcija korisniku što je više moguće intuitivna i prirodna te je zbog toga za svaku MR aplikaciju ili igru potrebno odrediti prikladnu interakcijsku mehaniku. Mehanika igranja odnosi se na specifične radnje i ponašanja koja su definirana i kontrolirana pravilima te se korisnici u njih uključuju kako bi igra ispravno funkcionirala – započela i mala svoj tijek prema određenom cilju [10]. Usko je povezana i sa sposobnostima igrača koje su potrebne kako bi uspješno izveli mehaniku igre i ispunili zahtjeve koje na njih postavlja sustav igre. Interakcijska mehanika podrazumijeva specifičnu mehaniku igranja kontroliranu izravno s igračevim unosom [11]. Iako se u radovima [10] i [11] govori o specifičnom kontekstu mehanika u igrama, iste se definicije mogu primijeniti na MR interakcije općenito, neovisno o kontekstu. Interakcijskim se mehanikama određuje na koji će način korisnici stupiti u interakciju s pojedinim virtualnim okruženjem. Način izvedbe interakcija unutar igre ili aplikacije neposredno utječe i na korisničko iskustvo te tako interakcijske mehanike predstavljaju sponu koja povezuje aplikaciju i krajnjeg korisnika.

Stapanje virtualnog sa stvarnim svijetom u miješanoj stvarnosti nudi korisniku opcije interaktivnosti i s virtualnim i sa stvarnim dijelom. Time pruža veliki potencijal za što bolje interakcijske mehanike. U MR-u moguće je i provoditi tehniku takozvane ekološke zamjene objekata u kojoj korisnik vrši interakciju sa stvarnim objektima koji su sinkronizirani sa svojim virtualnim dvojnicima [12]. U aplikaciji se može prikazati virtualni čajnik koji korisnik ima u ruci, a u stvarnome svijetu zapravo drži kutiju čiji se pomaci u stvarnome vremenu preklapaju s pomakom virtualnog čajnika.

O tome koliko popularnost za imerzivnim tehnologijama raste najbolje govori podatak da se za tržište AR sklopovlja predviđa da će do kraja 2023. godine dosegnuti iznos od 2,30 milijardi eura [13]. S ponudom i potražnjom dolaze i velika očekivanja, korisnici žele što bolje i intuitivnije korisničko iskustvo. Ipak, treba uzeti u obzir da se MR tehnologija kakvu danas poznajemo tek počinje razvijati te kao takva predstavlja puno mogućnosti i zanimljivih rješenja, ali i izazov u određivanju najboljih interakcijskih mehanika za krajnjeg korisnika.

1. 1. Klasifikacija MR interakcijskih tehnika

Na području klasifikacije interakcijskih mehanika u MR postoje varijacije u području nazivanja i načinu grupiranja interakcija, no dvije glavne skupine prema kojima ih možemo klasificirati su: prema zadatku koji se obavlja nad okruženjem te prema modalitetu koji se upotrebljava [14]. Prema zadatku se interakcije mogu podijeliti na:

- **stvaranje**, u kojem korisnik omogućuje vizualnu pojavu objekata,
- **selekciju**, u kojoj korisnik odabire određeni objekt,
- **manipulaciju**, u kojoj korisnik izravno mijenja neka od svojstava virtualnog objekta
- te **tekstualni unos** u MR okruženju.

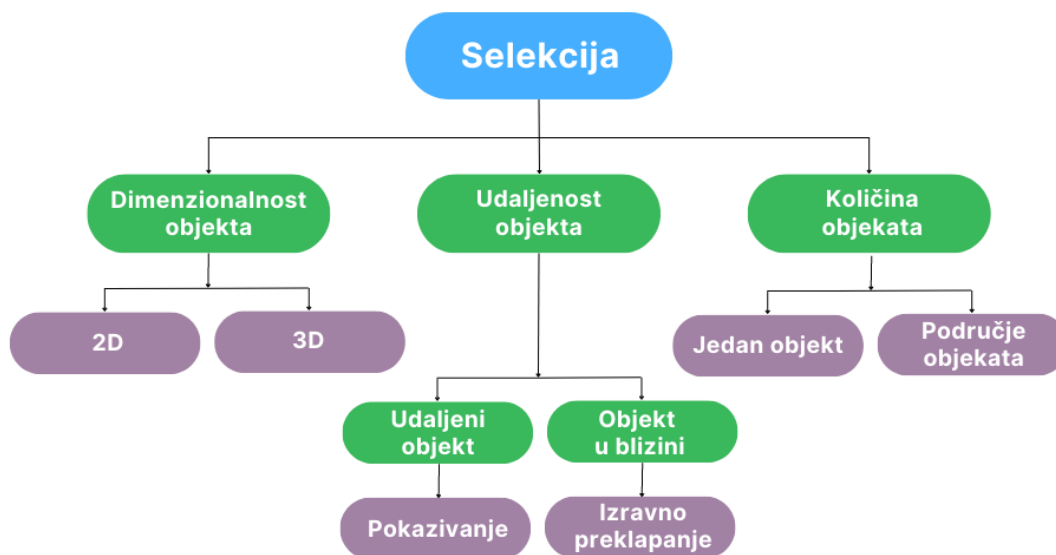
Modalitet koji interakcije u MR mogu koristiti su:

- **taktilne interakcije**, koje uvode fizičke objekte u interakciju pomoću dodira ili ulaznih uređaja kao što su kontroleri,
- **geste**, u koje se ubrajaju pokreti rukom, izrazi lica ili pokreti nogom,
- **glas**, odnosno interakcije prepoznavanjem govora,
- **pogled**, koji može biti pomoću praćenja pomaka očiju ili glave
- te **BCI** (engl. *Brain Computer Interface*), koji pomoću živčanih signala mogu vršiti interakcije.

Oba načina klasifikacije su međusobno zavisna jer su određeni modaliteti specijalizirani za određene zadatke. Također, svaki od zadataka ili modaliteta mogu biti korišteni zasebno ili se kombinirati s ostalima. Tako je moguće vršiti interakciju s objektom samo rukama, no moguća je pojava manipulacije objekta rukama u kombinaciji s pogledom. Za potrebe studije u sklopu ovoga rada fokus će biti na klasifikaciji na temelju zadatka, i to posebno područja selekcije i manipulacije koja će biti korištena kako bi se odredile interakcijske mehanike za što bolje korisničko iskustvo.

Selekcija virtualnog objekta jedna je od najčešćih zadataka u MR interakcijskoj mehanici [14]. Klasifikacija osnovnih vrsta selekcije u MR vidljiva je na slici 1.1.1. Glavne potkategorije selekcije temeljene su na rasporedu objekata koji se selektiraju, a to su 2D i 3D selekcija. U kontekstu 2D selekcije općenito se na neku ravnu plohu postavi jedan ili više virtualnih objekata, pri čemu ploha može biti pravi ili virtualni zid

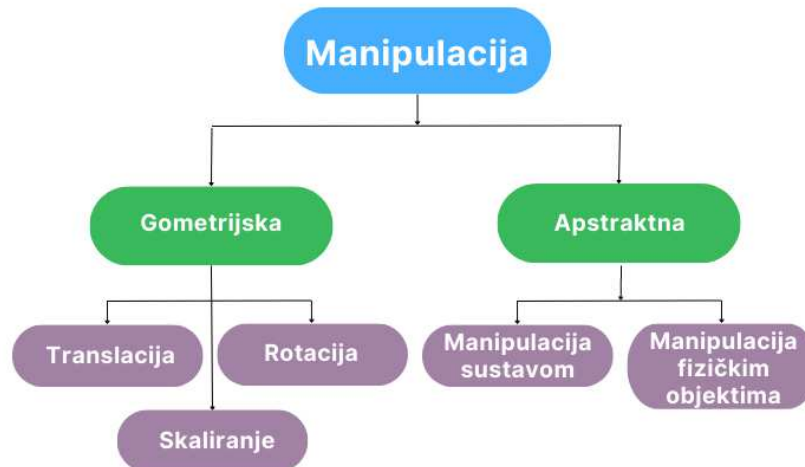
ili samo apstraktna ravnina [15]. Primjer takve selekcije je korisničko sučelje koje se nalazi u negdje u prostoru a na njemu se nalaze raspoređeni virtualni 2D gumbi. Kako bi se povećala upotrebljivost i praktičnost sučelja, ono može biti prikazano i na korisnikovoj ruci ili na podu, pri čemu se onda selekcija obavlja pomicanjem noge. Kod selekcije se uglavnom razlikuju i slučajevi kada su objekti blizu i kada su udaljeni [16]. Objekti koji se nalaze u korisnikovoj neposrednoj blizini uglavnom se selektiraju tako da se korisnikova ruka ili pritisak gumba na MR uređaju preklapa s virtualnim objektom, primjerice dodir ili uzimanje virtualnog objekta pomoću dlana. Udaljeni objekti se selektiraju pomoću pokazivanja (engl. *pointing*), koje je najčešće izvedeno koristeći pogled ili ruku. Pokazivanje najčešće zahtijeva da korisnik određenom akcijom (recimo pritiskom gumba na kontroleru) potvrdi da je odabrao taj virtualni objekt. Što je objekt udaljeniji, to ga je zahtjevnije za pokazati te je potrebna veća preciznost sinkronizacije virtualnog i stvarnog usmjerenja selekcije, pri čemu pomaže prikaz virtualne zrake od korisnika do udaljenog objekta. Osim odabira pojedinih virtualnih objekata moguće je odabrati i cijelo 2D ili 3D područje [14], koje se koristi u rjeđim slučajevima.



Slika 1.1.1 Vrste selekcije u MR

Interakcije manipulacije nad objektom u MR-u mogu biti geometrijske ili apstraktne [17], a generalna podjela je vidljiva i na slici 1.1.2. Pod geometrijske se podrazumijevaju izravne promjene nekog od svojstava virtualnog objekta. Translacija

mijenja poziciju objekta, rotacija mijenja orijentaciju objekta, dok skaliranje mijenja veličinu objekta. Specifičnost translacije i rotacije u MR okruženju je ta da se mogu istovremeno primijeniti i na stvarne i na virtualne objekte, dok je skaliranje vrsta manipulacije koja je moguća samo na virtualnim objektima. Primjenjivost geometrijskih manipulacija moguća je i na 2D objekte. Ako je dostupna virtualna ploča (engl. *panel*) ili izbornik, manipulacije obuhvaćaju listanje (engl. *scrolling*) kroz virtualne ploče, pomicanje klizača (engl. *slider*) i slično. Geometrijske interakcije mogu ograničiti i stupanj slobode (engl. *Degree Of Freedom, DOF*) pri interakciji s objektom kako bi spriječili dovođenje objekta ili okruženja u neželjeno stanje. Tako je moguće postaviti da se objekt rotira samo oko jedne osi, da se pomiče samo u određenim smjerovima ili da se skalira do određene veličine. Apstraktne manipulacije su one interakcije koje obuhvaćaju korisničke naredbe koje nisu izravno vezane uz neki virtualni objekt. Mogu mijenjati stanje sustava ili vršiti interakciju s fizičkim objektima, kao što su IoT (engl. *Internet of Things*) uređaji. Tako se recimo korištenjem IoT uređaja i određenih gesti rukama može upravljati glasnoćom zvuka iz zvučnika ili paljenjem i gašenjem svjetiljke [18].



Slika 1.1.2 Vrste manipulacije u MR

1. 2. Oblikovanje interakcijskih mehanika

Iako MR tehnologija pridonosi raznovrsnošću i bogatstvom mogućih interakcija, potrebno je paziti kada i kako određenu vrstu interakcije postaviti kroz interakcijsku mehaniku neke aplikacije ili igre. Korištenje i komunikacija s MR uređajem te metoda

interakcije bi trebali biti što intuitivniji kako bi se postigla prirodnost interakcije. Svako ometanje korisnikove pozornosti ili potreba za obavljanjem zadataka koji ga odvlače od primarnog zadatka aplikacije mogu umanjiti imerzivno iskustvo [17]. Izvođenje interakcija ne bi trebalo uzrokovati fizičku ili bilo koju drugu vrstu nelagode korisnika te je poželjno je da je krivulja učenja izvedbe pojedine interakcije bude što kraća. Također, jačanjem semantičke kontekstne veze između virtualnog i stvarnog dijela okruženja interakcije se mogu doimati stvarnijima [19]. Primjerice, virtualne bi objekte bilo dobro pozicionirati u skladu s postojećim stvarnim objektima tako da se oni međusobno ne preklapaju. To se može postići prepoznavanjem stvarnih objekata i površina u MR okruženju.

Ovisno o kontekstu, ponekad nije moguće potpuno pojednostaviti i prilagoditi interakcije za sve korisnike. Primjerice, za virtualne MR treninge u medicini potrebno je teoretsko predznanje u tome području te se samim time interakcije ne mogu svesti na suviše intuitivnu opciju za prosječnog korisnika. Ako je riječ o razvoju igara, mora se voditi računa o tome da se pogodi pravi balans između izazovnosti i sposobnosti igranja [20].

Kako bi aplikacija bila upotrebljiva na visokoj razini moraju se preklopiti dva konceptualna modela – dizajnerov i korisnikov model [21]. Dizajnerov model temelji se na gledištu razvijatelja aplikacije te su u njemu zadovoljene sve tehničke odrednice implementiranog sustava. S druge strane, korisnikov model formira se od strane osoba koje najčešće nisu tehnološki stručnjaci te posjeduju samo vlastita iskustva i interakcije s implementiranim sustavom. Ako postoje veća odstupanja između modela, potrebno je ponovno razmotriti sustav i njegove slabosti. Upravo zbog toga, potrebno je testirati aplikacije kako bi se pronašle optimalne interakcijske mehanike i sa stajališta razvijatelja i sa stajališta krajnjeg korisnika.

1. 3. Primjeri testiranja interakcijskih mehanika

Testiranje interakcijske mehanike u miješanoj stvarnosti zbog novosti tehnologije tek se počinje pomnije proučavati i provoditi. Postoji nekoliko primjera radova u kojima se provode studije testiranja različitih MR interakcijskih tehnika, a koji bi mogli biti relevantni za temu ovoga rada.

Chaconas i Höllerer [22] dizajnirali su i evaluirali bimanualne geste u miješanoj stvarnosti koristeći MR naočale Microsoft HoloLens. Bimanualne geste podrazumijevaju sinkronizirano korištenje objema rukama kako bi se ostvarila određena interakcija u virtualnom okruženju. Implementirali su pet gesti za skaliranje i rotaciju virtualnog objekta – tri su interakcije zahtijevale korištenje obje ruke, jedna je bila rotacija objekta jednom rukom te također jedna skaliranje objekta korištenjem obje ruke. Tijekom provođenja studije zabilježili su metrike, kao i korisničke subjektivne preferencije između implementiranih gesti. Rezultati su pokazali kako bimanualne geste mogu konkurirati gestama koje zahtijevaju korištenje jedne ruke u objektivnom pogledu (brzina izvođenja i preciznost), ali i prema kvaliteti korisničkog iskustva.

Usporedbom interakcijskih tehnika bavili su se i Kang i sur. [23], koji su u svojoj studiji uspoređivali tri različite interakcijske tehnike koje koriste ruke – pogledaj i uhvati (engl. *Gaze and Pinch*), dotakni i zgrabi (engl. *Touch and Grab*) i svjetovi u malom (engl. *Worlds in Miniature*). Ove interakcijske tehnike su odabrane jer su jedne od popularnijih za izvođenje u MR-u, te se mogu međusobno usporediti. Uspoređivale su se u kategorijama selekcije i translacije virtualnog namještaja u prostoru. U studiji su korisnici morali obaviti niz zadataka – bilo je potrebno rukovati s korisničkim izbornikom, izvesti selekciju virtualnog objekta te pozicionirati taj objekt u prostoru. Zanimljivo je kako su korisnici naglasili kako više preferiraju direktnu manipulaciju virtualnim objektima nego udaljenu manipulaciju, kao što je udaljena selekcija pogledom. Također, o obliku virtualnog namještaja je ovisilo koje će geste korisnici radije upotrijebiti – je li to podizanje, uzimanje jednom rukom i slično.

Multimodalni interaktivni sustav u miješanoj stvarnosti razvili su Wang i sur. [24]. Koristeći modalitete praćenja pogleda, prepoznavanja gesti izvođenih rukama te prepoznavanje govora evaluirali su učinkovitost obavljanja dva zadatka – određivanje jačine svjetlosti lampe te manipulacija virtualnom kockom. Jačina svjetlosti virtualne lampe određivala se prema referentnoj lampi koja je svijetlila nekom jačinom, a korisnici su jačinu svjetlosti mijenjali pomoću klizača, pritiskom gumba '+/-' , izgovaranjem 'Posvijetli!'/'Potamni' ili gledanjem u gumb. Zadatak s kockom zahtijevao je da virtualnu kocku prenesu na mjesto gdje se nalazi ciljana virtualna kocka hvatanjem prstima, gledanjem u kocku ili povlačenjem kocke kažiprstom. Kroz studiju su se mjerile objektivne značajke kao što je brzina izvedbe i preciznost te subjektivna

korisnička preferencija. Rezultati studije donijeli su neke od preporuka za poboljšanje interakcija u MR:

- uvođenje modaliteta pogleda za ubrzanje pojedinih korisničkih interakcija,
- definiranje pravilne veličine virtualnog objekta kojim se manipulira ovisno o kontekstu,
- te uvođenje više modaliteta interakcijskih mehanika (pogled/govor/geste rukama).

U sveukupnom pregledu relevantnih radova koji su uglavnom novijeg datuma (godina objavljivanja 2018. ili kasnija) pokazana je usporedba različitih modaliteta ili njihovih kombinacija pri interakciji u MR. Primjerice, uspoređivale su se različite geste rukama kako bi se pronašla ona najprikladnija gesta. Prema proučenom, nije pronađen rad koji bi se fokusirao na pojedinu interakciju, određeni zadatak ili modalitet, te prilagođavao više parametara kako bi se dobila interakcija optimalna za korisnika u danom kontekstu.

2. Izrada aplikacije *MRInteract*

U ovome poglavlju bit će opisan razvoj prototipne aplikacije za testiranje interakcijske mehanike u miješanoj stvarnosti. Naglasak će biti na opisu same aplikacije, tehnologijama pomoću kojih se razvijala te pojedinosti vezane uz glavne komponente aplikacije. Spomenut će se i određivanje te izvoz odabranih vrijednosti parametara pojedine interakcijske mehanike i prikupljenih objektivnih metrika.

2. 1. Opis i cilj aplikacije

Aplikacija *MRInteract* razvijena u svrhu ovoga rada namijenjena je testiranju korisničkih interakcija za MR okruženje. Unutar aplikacije su omogućene tri različite scene sa zasebnim parametrima koji se konfiguriraju, a u svakoj su predstavljene neke od osnovnih interakcija za manipulaciju i selekciju objekata u MR. U prvoj sceni testira se interakcijska mehanika *pokupi i smjesti* (engl. *Pick and Place*) te je cilj pokupiti objekt i premjestiti ga na ciljno mjesto. Druga scena sastoji se od korisničkog obrasca u kojem se pomoću različitih gumba mijenjaju određene osobitosti tekstova prikazanih na obrascu (boja, veličina ili font) te je cilj proći kroz obrazac i pronaći one parametre koji su korisniku najprimjereniji za prikaz u MR-u. U trećoj sceni cilj je objekt rotirati i skalirati tako da se veličinom i orijentacijom preklapa s ciljnim objektom.

Budući da nije pronađen formalni opis dizajna za aplikacije koje testiraju interakcije u MR, slični opisi primjenjivi su i iz područja VR-a. Razvojni okvir INTERACT [11] za smjernice u dizajnu aplikacije za testiranje interakcijske mehanike u VR-u predlaže sljedeće:

- **nezavisna sučelja**, za administratora koji konfigurira scenarij i korisnika koji će testirati taj scenarij,
- **neutralizacija varijabli koje smetaju/zbunjuju**, odnosno održavanje nekih varijabli scene konstantnima, ali i uključivanje razine slučajnosti pri implementaciji scenarija,
- **praćenje više mjera**, pod što se ubraja mjerenje različitih objektivnih parametara pri odrađivanju pojedinog scenarija,
- **izvoz prikupljenih rezultata**, u bazu podataka ili lokalno, u određenom tekstualnom formatu, te grupiranih prema testnom scenariju,

- **dizajn za ponovljivost**, odnosno spremanje postavki kako bi se iste mogle što lakše ponovno evaluirati,
- **automatizacija procesa**, koja podrazumijeva automatsko prilagođavanje scenarija upisanim parametrima,
- **prilagođavanje** i pružanje što većeg broja opcija pri oblikovanju scenarija,
- **cjelovitost VR iskustva igranja** (u ovome slučaju primjenjivost i na MR) – uzimanje cjelokupnog korisničkog iskustva u obzir s ciljem odabira razumne konfiguracije parametara za evaluaciju.

Kako bi udovoljila osnovnim smjernicama za dizajn aplikacije za testiranje interakcija, omogućena je verzija aplikacije za računalo u kojoj se nalazi administratorsko sučelje te se na njemu podešavaju parametri interakcijske mehanike. S druge strane, ispitanici ne vide to sučelje nego samo scenarije koje testiraju. Neutralizacija se postigla tako da se pri testiranju parametara u grupi scenarija mijenja samo jedan parametar po scenariju u odnosu na polazni scenarij te grupe. Postavljeni parametri te objektivne mjere koje se računaju izvoze se lokalno u obliku tekstualnih datoteka. Ponovljivost scenarija moguća je popunjavanjem administratorskog sučelja odgovarajućim vrijednostima parametara koji se nalaze u izvezenoj datoteci. Nakon što su parametri uneseni u sučelje, pritiskom gumba scena se prema njima automatski inicijalizira za testni scenarij. Za svaku scenu aplikacije moguće je postaviti veći broj parametara te je zbog toga moguće imati nekoliko grupa testnih scenarija u kojima će se mijenjati neki parametar scene. Svaka će scenarijska grupa imati parametre podešene unutar granica izvedivosti kako bi ispitanici bez nelagode uspješno odradili određeni scenarij.

Cilj je ove aplikacije kreirati okruženje pomoću kojeg će se moći pronaći parametri koji stvaraju dobar temelj za konfiguriranje interakcija u MR okruženju s ciljem da se postigne što bolje iskustvo krajnjih korisnika. Najbolja konfiguracija testiranih parametara interakcije moći će se odrediti analizom i usporedbom objektivnih metrika prikupljenih kroz aplikaciju i subjektivnih metrika prikupljenih pomoću upitnika.

2. 2. Korištene tehnologije

2. 2. 1. Unity

Unity je softver za razvijanje višeplatformskih igara, aplikacija te ostalih interaktivnih virtualnih iskustava [25]. Pomoću moćnog Unity uređivača i njegovih alata moguće je implementirati aplikacije u 2D ili 3D obliku te koristiti elemente za razvijanje u području VR-a ili MR-a. Unutar uređivača, aplikacija koja se implementira sastoji se od scena. U svakoj sceni se elementi mogu dodavati po intuitivnom principu povuci i spusti (engl. *drag and drop*) te premještati ili duplicirati iz jedne u drugu scenu. Osim ovoga principa moguće je i pisati vlastite skripte u jeziku C#, kako bi se ostvarile naprednije funkcionalnosti jer se sva logika aplikacije ili igre pretače u C# kod. Korisna opcija Unityja je trgovina Asset Store, u kojoj se nalaze različiti dodaci (skripte, modeli, materijali i drugi alati) koji se zatim dodaju u scenu, a mogu se preuzeti besplatno ili uz plaćanje. Pri implementaciji aplikacije za testiranje interakcija u MR korištena je Unity verzija 2020.3.47f1.

2. 2. 2. Microsoft Visual Studio

Microsoft Visual Studio je integrirano razvojno okruženje (engl. *Integrated Development Environment*, IDE) koje se koristi za razvoj web i mobilnih aplikacija i usluga [26]. Može se koristiti za izradu, uređivanje koda te otklanjanje pogrešaka u kodu. Osim svega što i ostali IDE-ovi nude, omogućuje kompajlere, alate za dovršavanje koda, grafičke dizajnere i druge značajke za poboljšanje procesa razvoja programa. Za potrebe izrade aplikacije u okviru ovoga rada korišten je Microsoft Visual Studio 2022, u kojemu je pisano nekoliko skripti u jeziku C# koje implementiraju logiku aplikacije.

2. 2. 3. Mixed Reality Toolkit 2 (MRTK2)

Mixed Reality Toolkit je skup alata koji omogućuju brži razvoj višeplatformskih MR aplikacija u Unityju, a razvijen je u Microsoftu [27]. Neke od značajki koje nudi su sljedeće:

- **sustav unosa** (engl. *Input System*) – moguće je konfigurirati aplikacije tako da nude različite vrste unosa, recimo glas, pokrete rukama ili pogled,
- **konfiguracijski profili** (engl. *Configuration Profiles*) – uključuju neke tipične postavke, kao što su postavke kamere, teleportacija ili granični sustavi, koje se po potrebi mogu modificirati,
- **kontrole korisničkog sučelja** (engl. *User Interface Controls*) – postoji niz građevnih blokova od kojih se korisničko sučelje može sastojati,
- **rješavatelji** (engl. *Solvers*) – elementi koji pomažu pri izračunu lokacije i orijentacije objekta te pruža neke korisne opcije kao što su objekti koji prate korisnika na temelju smjera njegovog pogleda,
- **prostorna svjesnost** (engl. *Spatial Awareness*) – nudi sustave koji pomoću skupa mreža izračunavaju geometriju okoline te se prema njima slažu virtualni elementi,
- **sustav za dijagnostiku** (engl. *Diagnostic System*)– brine se o analizi grešaka i performansi aplikacije.

MRTK2 podržava velik broj uređaja i kontrolera za proširenu i miješanu stvarnost. Verzija MRTK2 korištena pri izradi aplikacije u ovome radu je 2.8.

2. 2. 4. Photon Unity Networking 2 (PUN 2)

Photon Unity Networking 2 je paket koji omogućuje implementaciju višekorisničkih umreženih igara pomoću Unityja [28]. Brza i (opcionalno) pouzdana komunikacija odvija se pomoću Photon poslužitelja tako da se klijenti ne spajaju međusobno, već se koristi arhitektura klijent-poslužitelj. Igrači se fleksibilno mogu spojiti u sobe koje predstavljaju instance aplikacije u kojima se objekti sinkroniziraju putem mreže. PUN 2 ima dvije opcije:

- **PUN 2 Free** - besplatna verzija paketa, omogućuje istovremeno spajanje do 20 klijenata, odnosno igrača u jednu aplikaciju te povezivanje aplikacije s nekim od postojećih Photon poslužitelja,
- **PUN 2 Plus** – nudi opcije koje ima i PUN 2 Free uz opciju spajanja na vlastito razvijene poslužitelje.

Neke od korisnih značajki PUN-a 2 su pozivi udaljenih metoda, prilagođena svojstva te Photon događaji „niske razine“. Za potrebe razvijanja aplikacije u sklopu ovoga rada korištena je verzija PUN 2 Free.

2. 2. 5. Microsoft HoloLens 2

Microsoft HoloLens 2 je zaslon za postavljanje na glavu (engl. *Head Mounted Display*, HMD) koji se koristi za prikaz MR okruženja [29]. Kombinacija je stereoskopskih i mješovitih pametnih naočala u boji koje je razvila i proizvela tvrtka Microsoft. Mogućnosti ovog uređaja su:

- **razumijevanje čovjeka** – praćenje pokreta ruku, praćenje pogleda te prepoznavanje govora,
- **razumijevanje okoliša** – praćenje šest stupnjeva slobode (engl. *Six Degrees of Freedom*, 6DoF), prostorno mapiranje te snimanje miješane stvarnosti (u obliku slike ili videozapisa).

Sam uređaj sastoji se od prozirnih holografskih leća te sadrži optimizaciju zaslona za 3D poziciju oka. Od senzora ima četiri svjetlosne kamere za praćenje pokreta glave, dvije infracrvene kamere za praćenje pogleda, dubinski senzor, akcelerometar, žiroskop i magnetometar te kameru za snimanje fotografija i videozapisa. HoloLens 2 radi na Windows Holographic operacijskom sustavu, a temelji se na Windows 10 operacijskom sustavu koji korisnicima pruža robusnu i sigurnu platformu. Na slici 2.2.5.1 prikazane su HoloLens 2 naočale za MR, kakve su korištene za potrebe ovoga rada.



Slika 2.2.5.1 Microsoft HoloLens 2 uređaj [24]

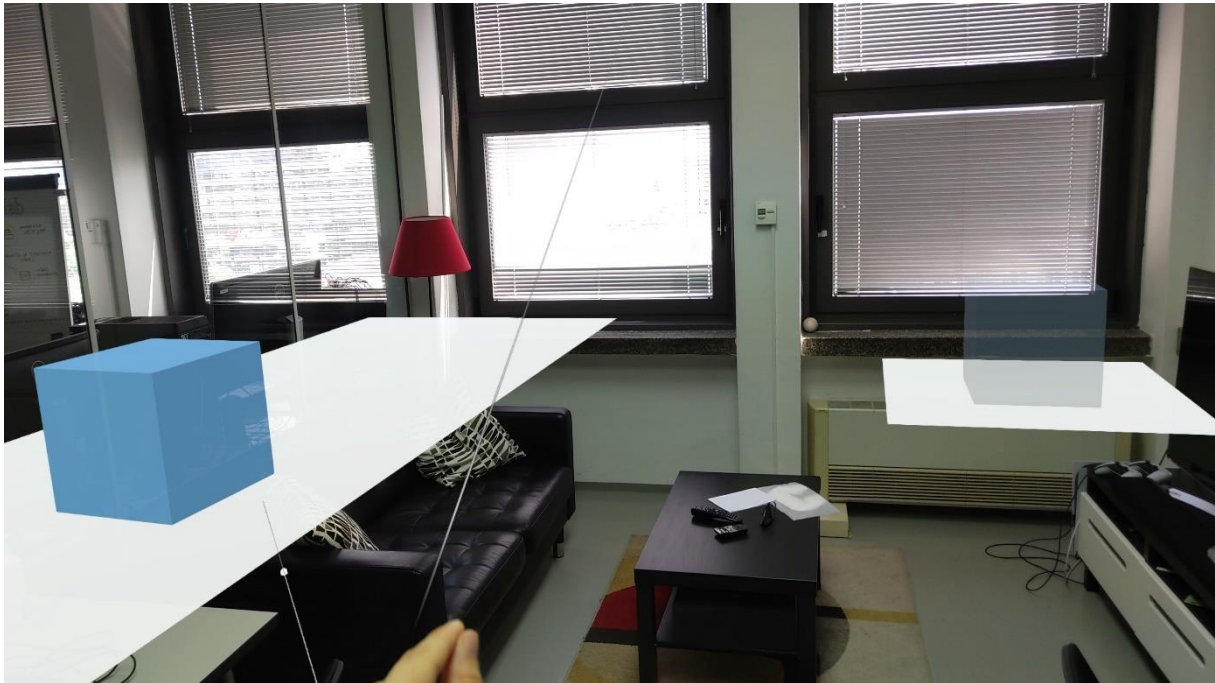
2. 2. 6. Google obrasci

Google obrasci su alat za izradu online obrazaca i anketa, a dio su i Googleovog besplatnog paketa s alatima, Google Workspace [30]. Uključuje mogućnost dodavanja dvanaest vrsta polja: devet vrsta pitanja, zajedno s poljima za tekst, fotografiju ili videozapis. Polja se unutar obrasca mogu povući i spustiti u željenom redosljedu. Nakon što se odgovori unesu kroz obrazac, nudi se analiza odgovora s automatskim sažecima koji sadrže statistiku odgovora korisnika. Odgovori se također mogu izvesti u obliku datoteke u *.csv formatu.

2. 3. Dizajn i implementacija scena

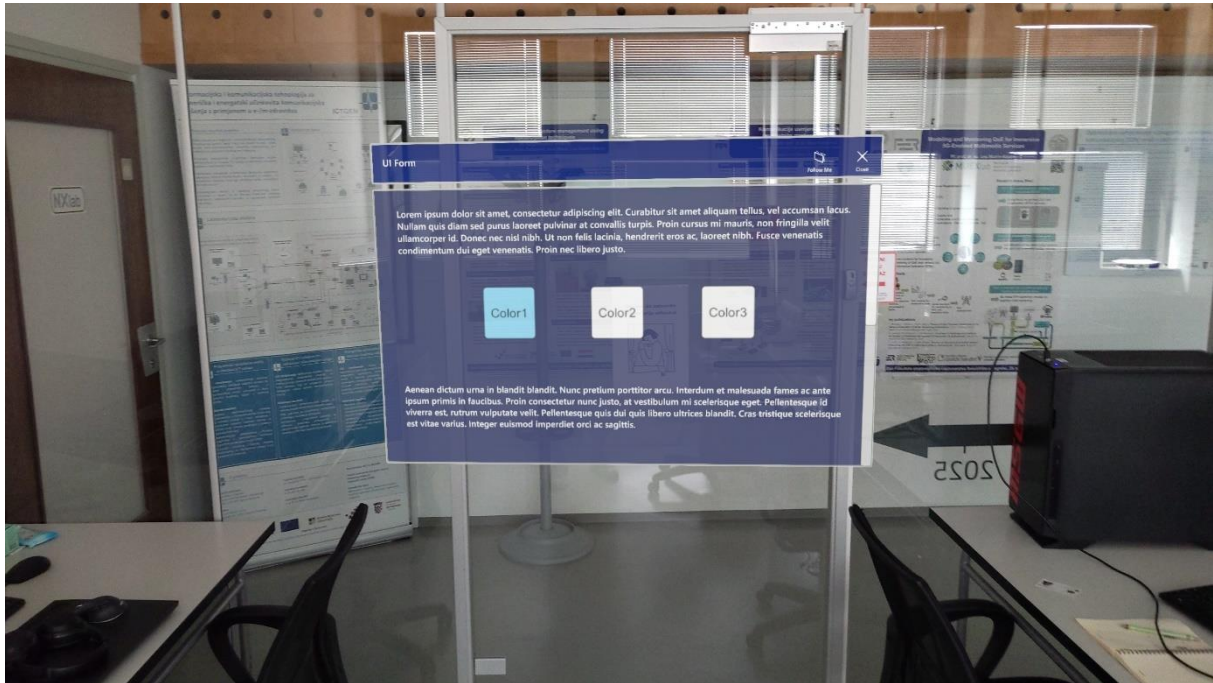
Razvijena aplikacija *MRInteract* sastoji se od 3 glavne scene koje pružaju iskustvo s različitim tipovima interakcijske mehanike. U sceni *Pick and Place* cilj je isprobati kombinaciju interakcija selekcije i manipulacije, odnosno odabira i premještanja objekta u prostoru. Kod scene *UI Form* naglasak je na selekciji elemenata u korisničkom obrascu, dok je u sceni *Scale and Rotate* naglasak na interakcijskoj mehanici skaliranja i rotacije objekta.

Scena *Pick and Place* sadrži dvije plohe – na jednoj se nalazi polazni objekt kojim korisnik mora manipulirati, a na drugoj se plohi nalazi ciljni objekt koji je statičan i kojim se ne manipulira. Oba objekta su jednake veličine, orijentacije i oblika. Razlika između polaznog i ciljnog objekta je u prozirnosti – ciljni objekt je poluproziran, dok je polazni objekt neproziran. Prikaz scene *Pick and Place* nalazi se na slici 2.3.1. Slijed scene ide tako da igrač rukom mora uzeti polazni objekt te ga postaviti unutar ciljnog objekta.



Slika 2.3.1 Prikaz scene *Pick and Place*

Scena *UI Form* sadrži korisnički obrazac koji se nalazi u prostoru, ispred korisnika. Obrazac je podijeljen na tri glavna dijela i svaki dio sadrži tekst i pripadajući skup gumba ili klizač. U prvome dijelu nalazi se tekst i ispod njega tri gumba od kojih svaki mijenja pripadajući tekst u drugu boju. Moguće boje su: Cyan plava (heksadecimalni kod: 85FFFF), žuta (heksadecimalni kod: FDF280) i bijela (heksadecimalni kod: FFFFFFFF). Drugi dio sadrži tekst i tri gumba, a svaki gumb mijenja tekstu stil fonta. Mogući stilovi fonta su: serifni, neserifni i disleksični. Posljednji dio obrasca ima tekst i klizač koji svojim pomicanjem lijevo ili desno smanjuje ili povećava veličinu fonta. Prikaz početnog stanja scene *UI Form* vidljiv je na slici 2.3.2. Svrha ove scene je da korisnik isproba osnovne interakcije s korisničkim obrascem u MR okruženju te ujedno odabirom postavki teksta odabere one postavke koje mu najviše odgovaraju u danom okruženju. Mora odabrati preferiranu boju teksta, stil fonta i veličinu teksta.



Slika 2.3.2 Prikaz scene *UI Form*

U sceni *Scale and Rotate* nalaze se dva objekta. Oba objekta su jednakog oblika, no različite su rotacije, veličine i prozirnosti. Scena je prikazana na slici 2.3.3. Gledajući interakciju scene, cilj je pomaknuti polazni objekt na mjesto ciljnog objekta te ga skalirati i rotirati tako da je orijentacija i veličina polaznog objekta jednaka orijentaciji i veličini ciljnog objekta.



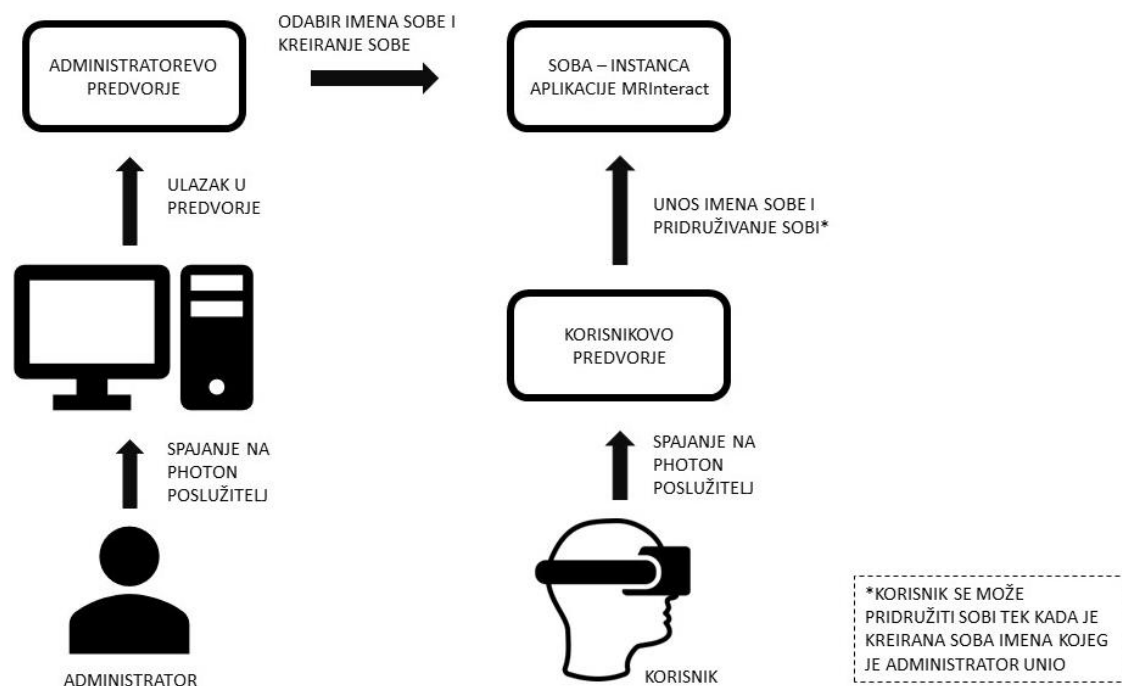
Slika 2.3.3 Prikaz scene *Scale and Rotate*

Na objekte koje je potrebno pomicati, rotirati i skalirati dodane su unaprijed definirane MRTK2 C# skripte za interakciju. *ObjectManipulator.cs* dodaje se na objekt kako bi se na objekt moglo utjecati ulaznim podražajima s korisničke strane. Kako bi objekt reagirao na pokrete rukama na objekt je potrebno dodati *NearInteractionGrababble.cs* skriptu. Za oblikovanje granica kolizije koje se opcionalno mogu nalaziti oko objekta te oblikovanju tih granica koristi se skripta *BoundsControl.cs*. U sceni *Pick and Place* te sceni *Scale and Rotate* dodane su prethodno navedene skripte na polazne objekte.

Za dodavanje fizikalnih svojstava objektima moguće je dodati *Rigidbody* komponentu. Za potrebe scene *Pick and Place* unutar komponente su korištene opcije aktiviranja gravitacije objekta, kako bi se objekt ponašao kao da njega djeluje gravitacijska sila te aktiviranje kinematike objekta kako bi objekt mogao ostati na poziciji na kojoj je ostavljen, bez utjecaja gravitacijske sile. Komponenta je u sceni dodana na polazni objekt.

2. 4. Povezivanje s administratorskim sučeljem

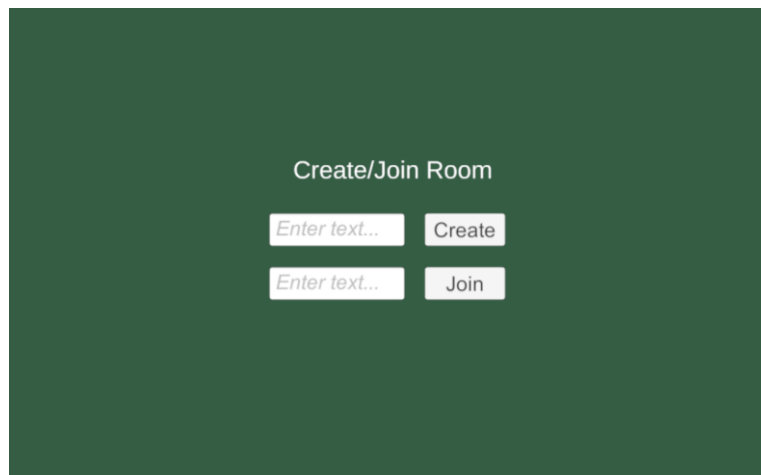
Kako bi se mogla ostvariti nezavisna sučelja za administratora i korisnika aplikacije, aplikacija je umrežena pomoću PUN 2 Free Unity dodatka. Za spajanje i stvaranje soba pomoću PUN-a koriste se metode klase *PhotonNetwork* te su metode korištene za potrebe ove aplikacije prikazane u tablici 2.4.1. Ulaskom u aplikaciju prvo se otvara scena spajanja i lokalni klijent se povezuje s Photon poslužiteljem. Pri uspješnom spajanju otvara se scena predvorja, u kojemu se može kreirati soba ili pridružiti jednoj od postojećih soba. Za potrebe ove studije osoba koja je administrator aplikaciju pokreće na računalu, kreira sobu sa željenim imenom te tako postaje glavni klijent (engl. *Master Client*). Korisnik koji koristi HoloLens 2 za pokretanje aplikacije pridružuje se kreiranoj sobi tako da u sceni predvorja unese isti naziv sobe u polje za pridruživanje sobi. Na slici 2.4.1 nalazi se slijed pridruživanja administratora i korisnika instanci aplikacije. Slika 2.4.2 prikazuje predvorje za administratora, dok se na sličan način ploča na kojoj su akcije za kreiranje ili pridruživanje sobi pojavljuje i korisniku, što je prikazano na slici 2.4.3.



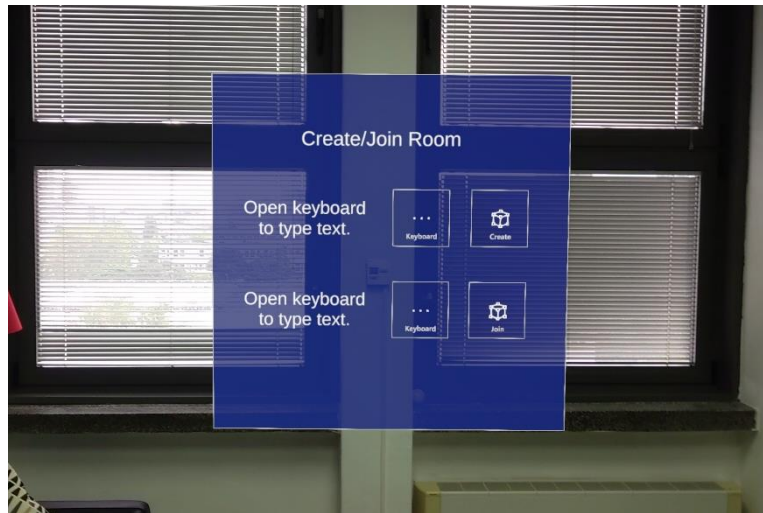
Slika 2.4.1 Skica spajanja sudionika u instancu aplikacije

Tablica 2.4.1 Korištene metode klase *PhotonNetwork*

Metoda	Opis metode
<code>bool ConnectUsingSettings();</code>	Povezuje lokalnog korisnika na Photon poslužitelj.
<code>bool JoinLobby();</code>	Pridružuje lokalnog korisnika u predsoblje.
<code>bool CreateRoom(string roomName);</code>	Kreira sobu imena <code>roomName</code> i pridružuje lokalnog korisnika u istoimenu sobu.
<code>bool JoinRoom(string roomName);</code>	Pridružuje lokalnog korisnika u sobu imena <code>roomName</code> .
<code>bool LoadLevel(string sceneName);</code>	Učitava scenu imena <code>sceneName</code> .
<code>bool LeaveRoom();</code>	Omogućuje da lokalni korisnik napusti sobu u kojoj se trenutno nalazi.

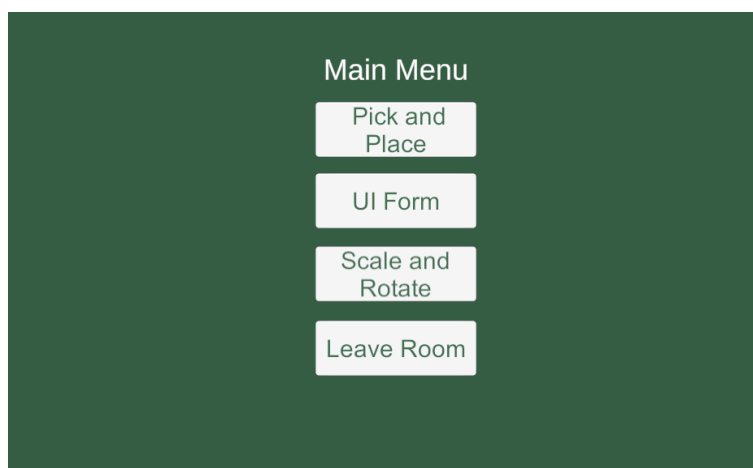


Slika 2.4.2 Predvorje za administratora



Slika 2.4.3 Predvorje za korisnika

Nakon uspješnog ulaska u instancu aplikacije, odnosno sobu, administratoru se otvara izbornik s glavnim scenama ove aplikacije – *Pick and Place*, *UI Form* te *Scale and Rotate* te opcijom napuštanja sobe. Tijekom procesa odabira scene koja se će biti pokrenuta, korisnik ne vidi taj izbornik, već samo ploču na kojoj je natpis da se scena učitava te gumb za izlazak iz sobe. Prikaz izbornika za administratora i korisnika nalaze se na slikama 2.4.4 i 2.4.5.

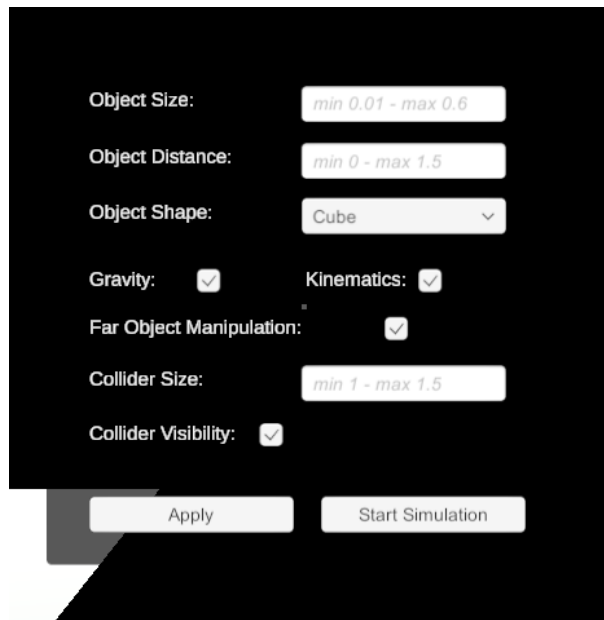


Slika 2.4.4 Glavni izbornik za administratora

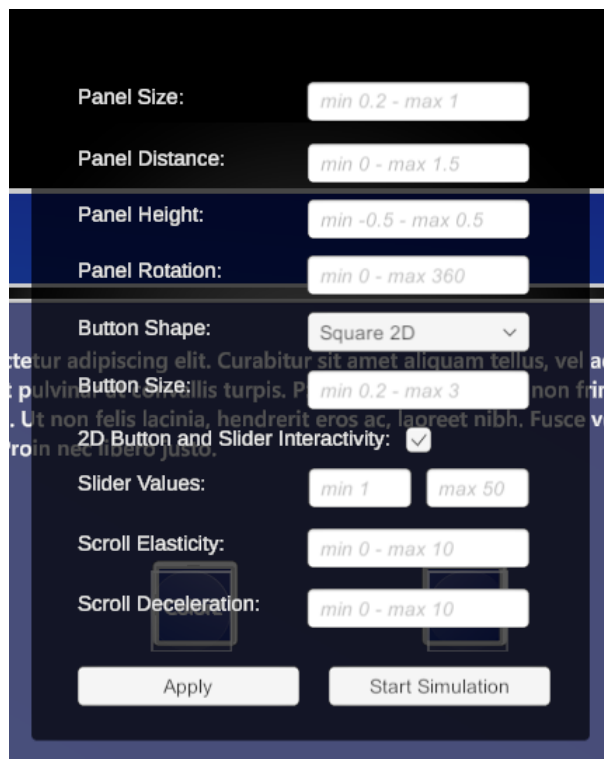


Slika 2.4.5 Glavni izbornik za korisnika

Odabirom scene koja se pokreće, ona se automatski otvara i administratoru i korisniku. Sljedeća stvar koja se otvara samo administratoru je ploča s parametrima, a primjer ploča za svaku scenu nalazi se na slikama 2.4.6, 2.4.7. i 2.4.8. Nakon što administrator unese potrebne parametre u polja za unos, odabire gumb „Apply“ te se scena prema postavljenim parametrima ažurira i administratoru i korisniku. Kako bi se svim klijentima prikazalo trenutno stanje instance aplikacije, svaki objekt koji se modificira na sebi treba imati skriptu *PhotonView.cs*, koja ga putem identifikatora ViewID identificira unutar mreže. Navedeni identifikator svakog objekta šalje se u metodi koju Photon poziva na udaljenim računalima, a metoda mora sadržavati atribut [PunRPC]. Unutar metode se preko identifikatora dohvaćaju objekti te se oni svim klijentima mijenjaju prema postavkama navedenim u administratorskom sučelju. RPC metoda se poziva nad *PhotonViewom* objekta koji sadrži skriptu s tom metodom. Definicija poziva RPC metode je `void RPC(string methodName, RpcTarget target, params object[] parameters)`, gdje se navodi ime metode, na koga se primjenjuje te parametri pozvane metode. Primjer poziva RPC metode u aplikaciji nalazi se na slici 2.4.9. Primjer pripadajuće RPC metode iz aplikacije nalazi se na slici 2.4.10.



Slika 2.4.6 Ploča za unos parametara scene *Pick and Place*



Slika 2.4.7 Ploča za unos parametara scene *UI Form*

Objects Shape:

Objects Position Z Axis:

Objects Position Y Axis:

Ghost Rotation X Axis:

Ghost Rotation Y Axis:

Ghost Object Size:

Object Size:

Far Object Manipulation:

Collider Size:

Collider Visible:

Slika 2.4.8 Ploča za unos parametara scene *Scale and Rotate*

```

photonView.RPC("ModifyObjects", RpcTarget.All, objects, planeID, startPlaneID,
resizeInputField.text, transformZInputField.text, colliderSizeInputField.text,
shapeDropdown.options[shapeDropdown.value].text, gravityToggle.isOn,
kinematicsToggle.isOn, farManipulationToggle.isOn, colliderToggle.isOn);

```

Slika 2.4.9 Primjer poziva RPC metode *ModifyObjects*

```

[PunRPC]
private void ModifyObjects(int[] gameObjectIDs, int planeID, int startPlaneID, string resizeInput, string transformZInput,
    string colliderInput, string shapeInput, bool gravity, bool kinematics, bool farManipulation, bool collider)
{
    float size = float.Parse(resizeInput);
    float zPosition = float.Parse(transformZInput);
    float colliderSize = float.Parse(colliderInput);
    string shapeName = shapeInput;

    GameObject targetPlane = PhotonNetwork.GetPhotonView(planeID).gameObject;

    targetPlane.transform.position = new Vector3(
        targetPlane.transform.position.x,
        targetPlane.transform.position.y - (colliderSize * size) / 2,
        targetPlane.transform.position.z);

    GameObject startPlane = PhotonNetwork.GetPhotonView(startPlaneID).gameObject;
    startPlane.transform.position = new Vector3(
        startPlane.transform.position.x,
        startPlane.transform.position.y - (colliderSize * size)/2,
        startPlane.transform.position.z);

    for (int i = 0; i < gameObjectIDs.Length; i++)
    {
        GameObject gameObject = PhotonNetwork.GetPhotonView(gameObjectIDs[i]).gameObject;
        gameObject.transform.localScale = new Vector3(size, size, size);

        if (gameObject.name == "SphereGhost" || gameObject.name == "CubeGhost")
        {
            gameObject.transform.position = new Vector3(
                gameObject.transform.position.x,
                gameObject.transform.position.y,
                gameObject.transform.position.z);
        } else
        {
            gameObject.transform.position = new Vector3(
                positionX,
                gameObject.transform.position.y,
                zPosition);
            ChangeGravityAndKinematics(gameObject, gravity, kinematics);
            AllowFarManipulation(gameObject, farManipulation);
            ChangeColliderSize(gameObject, colliderSize);
            SetColliderBounds(gameObject, collider);
        }

        SetObjectShape(gameObject, shapeName);
    }
}

```

Slika 2.4.10 Primjer RPC metode

Nakon što je korisnik završio zadatak u sceni, ona se zatvara tako što administrator pritisne tipku „Escape“ na tipkovnici, te se i korisnik i administrator prebacuju na scenu glavnog izbornika. Potom je potrebno da administrator i korisnik izađu iz sobe tako da svatko u svojem sučelju pritisne gumb „Leave Room“.

2. 5. Parametri interakcijskih mehanika

Ploča za unos parametara navedena u poglavlju 2.4. sadrži parametre čija će promjena vrijednosti ovisno o sceni utjecati na određenu interakcijsku mehaniku. Svaki od parametara ima svoj predloženi raspon vrijednosti koje može poprimiti, odnosno

minimalnu i/ili maksimalnu vrijednost čiji se prijedlog opcionalno nalazi unutar pripadajućeg polja za unos.

Scena *Pick and Place* na svojoj ploči za unos parametara sadrži osam parametara interakcijske mehanike koji se mogu prilagođavati. Parametri se uglavnom odnose na polazni objekt kojim se manipulira, a oni su:

- **Object Size** – veličina polaznog objekta u metrima.
- **Object Distance** – pozicija polaznog objekta na z-osi. Predstavlja udaljenost početne pozicije polaznog objekta od korisnika u metrima.
- **Object Shape** – oblik polaznog i ciljnog objekta. Sastoji se od padajućeg izbornika u kojem je potrebno odabrati jednu vrijednost.
- **Gravity** – odabirom ove opcije polazni objekt postaje podložan utjecaju gravitacijske sile. To znači da će objekt pri ispuštanju iz ruke pasti na tlo ili površinu koja se već nalazi na tlu. U suprotnom, objekt se ponaša kao da na njega ne djeluje gravitacijska sila te pri ispuštanju lebdi po prostoru.
- **Kinematics** – odabir ove opcije uklanja djelovanje fizikalnih sila na objekt te se on ponaša tako da ostaje na poziciji na kojoj je u prostoru ostavljen.
- **Far Object Manipulation** – odabir ove opcije omogućuje da se polazni objekt odabere iz daljine, odnosno omogućuje selekciju pokazivanjem.
- **Collider Size** – veličina granica kolizije polaznog objekta koje služe da se odredi područje na kojem će se objekt sudariti ili međudjelovati na drugi način s drugim objektima koji također imaju svoje granice. Veličina granica određuje se relativno u odnosu na veličinu objekta.
- **Collider Visibility** – odabirom ove opcije granice kolizije postaju vidljive.

Parametri scene *Pick and Place* imaju svoje predložene osnovne (engl. *default*) vrijednosti. Ako ih je potrebno ograničiti, predložene su minimalne i maksimalne vrijednosti svakog od parametara koji se prilagođavaju. Tablica 2.5.1 prikazuje sve parametre scene *Pick and Place* te njihove minimalne, maksimalne i osnovne vrijednosti.

Tablica 2.5.1 Vrijednosti parametara scene *Pick and Place*

Interakcijski parametar	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost	Osnovna vrijednost	Mjerna jedinica
Object Size	0.01	0.4	0.2	metar
Object Distance	0	1.5	0.5	metar
Object Shape	Cube/Sphere		Cube	-
Gravity	True/False		False	-
Kinematics	True/False		True	-
Far Object Manipulation	True/False		True	-
Collider Size	1	1.5	1	Unity jedinica
Collider Visibility	True/False		False	-

Za scenu *UI Form* na ploči za unos parametara moguće je postaviti vrijednosti za jedanaest parametara. Sljedeći parametri mijenjaju korisnički obrazac i elemente unutar nje:

- **Panel Size** – relativna veličina korisničkog obrasca.
- **Panel Distance** – pozicija korisničkog obrasca na z-osi. Predstavlja udaljenost korisničkog obrasca od korisnika u metrima.
- **Panel Height** – pozicija korisničkog obrasca na y-osi. Predstavlja visinu korisničkog obrasca s obzirom na razinu očiju korisnika.
- **Panel Rotation** – nagib korisničkog obrasca u stupnjevima.
- **Button Shape** – oblik gumba na korisničkom obrascu. Sastoji se od padajućeg izbornika u kojem je potrebno odabrati u kojem će se obliku gumbi prikazati korisniku.
- **Button Size** – veličina gumba na korisničkom obrascu u metrima.
- **2D Button and Slider Interactivity** – odabirom ove opcije vidljiva je promjena boje gumba i klizača pri korisničkoj interakciji s njima.
- **Slider Minimum Value** – minimalna vrijednost koju klizač može poprimiti.

- **Slider Maximum Value** – maksimalna vrijednost koju klizač može poprimiti.
- **Scroll Elasticity** – relativna elastičnost pri listanju kroz sadržaj korisničkog obrasca.
- **Scroll Deceleration** – relativno usporavanje pri prestanku listanja kroz sadržaj korisničkog obrasca.

U sceni *UI Form* parametri imaju svoju predloženu osnovnu vrijednost, te po potrebi minimalnu i maksimalnu vrijednost. Tablica 2.5.2 prikazuje navedene vrijednosti za svaki od interakcijskih parametara ove scene.

Tablica 2.5.2 Vrijednosti parametara scene *UI Form*

Interakcijski parametar	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost	Osnovna vrijednost	Mjerna jedinica
Panel Size	0.2	1	0.6	Unity jedinica
Panel Distance	0	1.5	0.5	metar
Panel Height	-0.5	0.5	0	metar
Panel Rotation	0	360	0	stupanj
Button Shape	Square 2D/Square 3D/Circle 3D		Square 2D	-
Button Size	0.2	3	1.5	Unity jedinica
2D Button and Slider Interactivity	True/False		True	-
Slider Minimum Value	1	Slider Maximum Value	5	-
Slider Maximum Value	Slider Minimum Value	50	40	-
Scroll Elacticity	0	10	0.1	-
Scroll Deceleration	0	10	0.2	-

U sceni *Scale and Rotate* deset je parametara koji se mogu podesiti i tako utjecati na interakcijsku mehaniku scene. Parametri su redom:

- **Ghost Object Size** – veličina ciljnog objekta u metrima.
- **Objects Position Z Axis** – pozicija polaznog i ciljnog objekta na z-osi. Odnosi se na udaljenost navedenih objekata od korisnika u metrima.
- **Objects Position Y Axis** – pozicija polaznog i ciljnog objekta na y-osi. Odnosi se na to na kojoj su visini objekti postavljeni u prostoru s obzirom na razinu očiju korisnika.
- **Ghost Rotation X Axis** – rotacija ciljnog objekta oko x-osi u stupnjevima.
- **Ghost Rotation Y Axis** – rotacija ciljnog objekta oko y-osi u stupnjevima.
- **Objects Shape** - oblik polaznog i ciljnog objekta. Sastoji se od padajućeg izbornika u kojem je potrebno odabrati jednu vrijednost.
- **Object Size** – veličina polaznog objekta u metrima.
- **Far Object Manipulation** – odabir ove opcije omogućuje interakciju pokazivanjem unutar okruženja.
- **Collider Size** – relativna veličina granica kolizije polaznog objekta u odnosu na objekt.
- **Collider Visibility** - odabirom ove opcije granice kolizije su vidljive u okruženju.

Parametri scene *Scale and Rotate* imaju predloženu zadanu vrijednost te ako je potrebno minimalnu i maksimalnu vrijednost na koju se mogu postaviti. Tablica 2.5.3 prikazuje minimalne, maksimalne i osnovne vrijednosti za svaki od interakcijskih parametara ove scene.

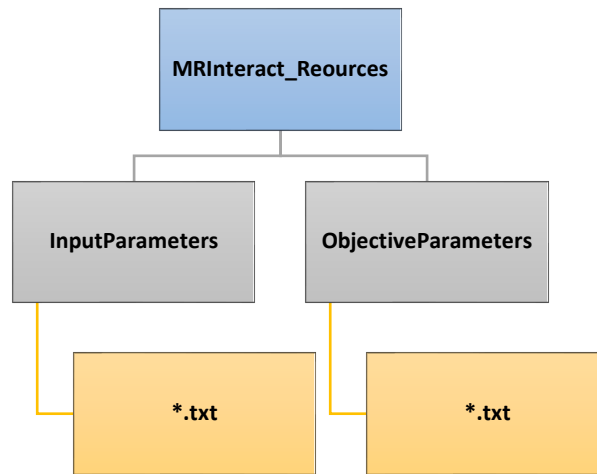
Tablica 2.5.3 Vrijednosti parametara *Scale and Rotate* scene

Interakcijski parametar	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost	Osnovna vrijednost	Mjerna jedinica
Objects Shape	Cube/Cylinder		Cube	-
Objects Position Z Axis	0	1.5	1	metar

Objects Position Y Axis	- 1	0.5	- 0.2	metar
Ghost Rotation X Axis	0	360	20	stupanj
Ghost Rotation Y Axis	0	360	45	stupanj
Ghost Object Size	0.01	0.4	0.3	metar
Object Size	0.01	0.4	0.15	metar
Far Object Manipulation	True/False		True	-
Collider Size	1	1.5	1	Unity jedinica
Collider Visibility	True/False		False	-

2. 6. Prikupljanje podataka

Kroz aplikaciju implementiranu u sklopu ovoga rada izvoze se dvije vrste podataka – parametri za unos i prikupljene objektivne metrike. Obe grupe podataka izvoze se lokalno na računalo administratora u obliku zasebnih *.txt datoteka. Parametri za unos u pojedinoj sceni predstavljaju vrijednosti interakcijskih parametara koje prije pokretanja scene unosi administrator, a postupak unosa je detaljnije objašnjen u poglavlju 2.4.. Nakon unosa parametara i pritiska gumba „Apply“ na ploči za unos parametara, unesene vrijednosti parametara izvoze se u obliku datoteke u direktorij *InputParameters* koja se nalazi lokalno na administratorovom računalu. Prikupljene objektivne metrike predstavljaju određene mjere koje su provedene ovisno o sceni i zabilježene po završetku korištenja scene. Prilikom izlaska iz scene pomoću tipke „Escape“, kao što je opisano u poglavlju 2.4., izvoze se pripadajući objektivni parametri zabilježeni tijekom korištenja instance određene scene. Objektivne metrike se izvoze u datoteku koja se pozicionira u direktorij *ObjectiveParameters*, a on se nalazi lokalno na administratorovom računalu. Hijerarhiju pohranjivanja prikazuje slika 2.6.1.



Slika 2.6.1 Hijerarhija pohranjivanja parametara u tekstualne datoteke

Parametri za unos koji su se spremali u *.txt datoteku za scenu *Pick and Place* su sljedeći:

- veličina polaznog objekta,
- udaljenost polaznog objekta od korisnika,
- veličina granica kolizije polaznog objekta,
- utječe li gravitacija na polazni objekt,
- koristi li se kinematika na polaznom objektu,
- je li moguća udaljena manipulacija nad polaznim objektom,
- jesu li granice kolizije vidljive na polaznom objektu
- te kojeg je oblika polazni objekt,

a primjer sadržaja datoteke nalazi se na slici 2.6.2. Objektivni parametri koji se spremaju za scenu *Pick and Place* u *.txt datoteku su:

- vrijeme potrebno za odrađivanje zadatka
- te preciznost postavljanja polaznog objekta na mjesto ciljnog objekta,

a primjer takve datoteke prikazuje slika 2.6.3.

Input parameters for the scenario:

```
Object Size: 0.2
Object Distance: 0.5
Collider Size: 1
Gravity: False
Kinematics: True
Far Object Manipulation: True
Collider Visibility: False
Object Shape: Sphere
```

Slika 2.6.2 Primjer parametara za unos scene *Pick and Place*

Objective parameters for the Pick And Place scenario:

```
Time passed (in seconds): 51
Object position difference: 1.761908
```

Slika 2.6.3 Primjer objektivnih parametara scene *Pick and Place*

U sceni *UI Form*, parametri za unos koji su pohranjivani u *.txt datoteku su:

- veličina korisničkog obrasca,
- udaljenost korisničkog obrasca od korisnika,
- visina korisničkog obrasca,
- kut pod kojim je rotiran korisnički obrazac,
- veličina gumba,
- minimalna vrijednost klizača,
- maksimalna vrijednost klizača,
- elastičnost listanja korisničkog obrasca,
- usporavanje listanja korisničkog obrasca,
- jesu li 2D gumbi i klizač interaktivni
- te oblik gumba,

a primjer sadržaja datoteke nalazi se na slici 2.6.4. Objektivni parametri koji se pohranjuju u *.txt datoteku scene *UI Form* su:

- vrijeme potrebno za odrađivanje zadatka,
- preferirana boja teksta,
- preferirani stil fonta teksta
- te preferirana veličina fonta teksta

za korisnički obrazac koja se nalazi u sceni. Primjer sadržaja datoteke objektivnih parametara scene *UI Form* nalazi se na slici 2.6.5.

```
Input parameters for the scenario:  
  
Panel Size: 0.6  
Panel Distance: 0.5  
Panel Height: 0  
Panel Rotation: 0  
Button Size: 2  
Slider Min Value: 5  
Slider Max Value: 40  
Scroll Elasticity: 0.1  
Scroll Deceleration: 0.2  
2D Button and Slider Interactivity: True  
Button Shape: Square 2D
```

Slika 2.6.4 Primjer parametara za unos scene *UI Form*

```
Objective parameters for the UI Form scenario:  
  
Time passed (in seconds): 40  
Preferable color for text: RGBA(1.000, 1.000, 1.000, 1.000)  
Preferable font type for text: seguiseb SDF  
Preferable font size for text: 23
```

Slika 2.6.5 Primjer objektivnih parametara scene *UI Form*

Parametri za unos koji se spremaju u *.txt datoteku za scenu *Scale and Rotate* su sljedeći:

- udaljenost objekata od korisnika,
- visina na kojoj su objekti postavljeni,
- rotacija ciljnog objekta po X-osi,
- rotacija ciljnog objekta po Y-osi,
- veličina ciljnog objekta
- veličina polaznog objekta,
- veličina granica kolizije nad polaznim objektom,
- je li omogućena udaljena manipulacija nad polaznim objektom,
- vidljivost granica kolizije nad polaznim objektom
- te oblik objekata,

a primjer sadržaja takve datoteke nalazi se na slici 2.6.6. Objektivni parametri koji se pohranjuju u *.txt datoteku scene *Scale and Rotate* su:

- vrijeme potrebno za odrađivanje zadatka,
- preciznost postavljanja polaznog objekta na mjesto ciljnog objekta,
- preciznost u skaliranju polaznog objekta u odnosu na ciljni objekt
- te preciznost u orijentaciji polaznog objekta u odnosu na ciljni objekt,

a primjer sadržaja takve datoteke prikazuje slika 2.6.7.

```
Input parameters for the scenario:
```

```
Objects Position Z Axis: 0.5  
Objects Position Y Axis: 0  
Ghost Rotation X Axis: 20  
Ghost Rotation Y Axis: 60  
Ghost Object Size: 0.3  
Object Size: 0.15  
Collider Size: 1  
Far Object Manipulation: True  
Collider Visible: False  
Objects Shape: Cube
```

Slika 2.6.6 Primjer parametara za unos scene *Scale and Rotate*

```
Objective parameters for the Scale and Rotate scenario:
```

```
Time passed (in seconds): 15  
Object position difference: 0.01872931  
Object scale difference: -0.001974136  
Object Euler Angle difference: (3.5, 278.0, 355.3)
```

Slika 2.6.7 Primjer parametara za unos scene *Scale and Rotate*

3. Ispitivanje korisničkog iskustva

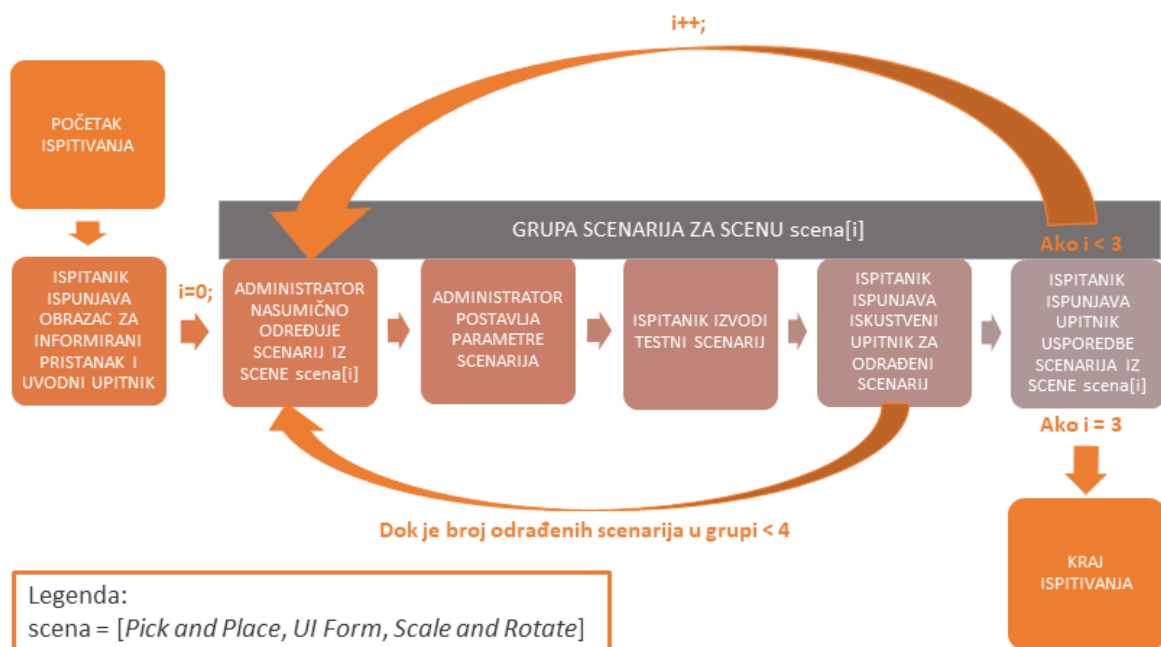
Za potrebe ovoga rada provedena je korisnička studija u kojoj se ispitivao utjecaj odabranih parametara MR interakcijskih mehanika na iskustvenu kvalitetu korisnika. Glavna svrha ispitivanja bila je uz pomoć objektivnih i subjektivnih QoE metrika odrediti parametre koji će dati optimalnu interakcijsku mehaniku. Također, ovo ispitivanje služilo je za utvrđivanje primjenjivosti implementirane aplikacije za potencijalne buduće studije. Ispitivanje je provedeno koristeći HoloLens 2 [25] naočale i računalo, te je svaki od uređaja imao zasebno instaliranu instancu implementirane aplikacije. Ispitanici su koristili HoloLens 2, dok je računalo služilo samo za administratorske potrebe.

Prije početka glavnog dijela studije, ispitanici su potpisali Obrazac za informirani pristanak u kojemu se nalaze glavne informacije o provođenju studije. Potpisom su potvrdili svoje dobrovoljno sudjelovanje u studiji. Zatim su popunili uvodni upitnik u kojemu se tražila dob ispitanika, rod te razina iskustva s MR tehnologijom.

Kroz studiju su korisnici prolazili ukupno tri grupe testnih scenarija scena opisanih u poglavlju 2.3. – *Pick and Place*, *UI Form* te *Scale and Rotate*. Scene su za svakog ispitanika ispitane istim redoslijedom. Za određenu grupu testnih scenarija, prvo je pokazan primjer scene sa osnovnim vrijednostima interakcijskih parametara opisanim u poglavlju 2.5 kako bi se korisnika upoznalo sa zadatkom te demonstriralo kako se vrši određena interakcija u danom okruženju. Pokaznim scenarijima nisu se pohranjivali parametri niti su ih korisnici morali evaluirati.

Testni scenariji podijeljeni su u grupe tako da su se za svaku scenu testirala sveukupno četiri scenarija. Jedan od scenarija je ostao nepromijenjen po parametrima, odnosno ostao je istovjetan probnoj sceni sa osnovnim vrijednostima interakcijskih parametara. Kod ostala tri scenarija mijenjana je vrijednost po jednog interakcijskog parametra u odnosu na scenarij sa osnovnim vrijednostima parametara, a ostali parametri bili su konstantni. Nakon svakog scenarija ispitanici su ispunili upitnik o iskustvu korištenja tog scenarija, a nakon testirane grupe scenarija ispunili su upitnik u kojem su morali usporediti scenarije unutar te grupe. Zbog vidljivosti stvarnog svijeta kroz HoloLens 2 naočale, korisnici nisu imali potrebe za skidanjem naočala za vrijeme ispunjavanja upitnika, kojeg su ispunjavali na računalo. Ukupno trajanje studije za pojedinog ispitanika bilo je okvirno 60 minuta. Scenariji unutar određene grupe svakome su ispitaniku bili raspoređeni nasumičnim redoslijedom. Zbog ograničenja

ispitanika i vremena u okviru ovoga rada nije bilo moguće ispitati sve dostupne parametre, te je za svaku scenu odabran podskup od tri interakcijska parametra čiji će se utjecaj ispitati. Trajanje svakog scenarija ovisilo je o ispitaniku te je u prosjeku svaki trajao oko jednu minutu. Slika 3.1. prikazuje tijek metodologije za provedenu studiju.



Slika 3.1 Skica metodologije korisničke studije

Prva scena koja se testirala bila je scena *Pick and Place*. Od mogućih interakcijskih parametara, parametri koji su se mijenjali u odnosu na osnovne vrijednosti interakcijskih parametara (opisanih u poglavlju 2.5) u ovoj sceni bili su veličina polaznog objekta, vidljivost granica kolizije te oblik objekta. Tablica 3.1 prikazuje testirane scenarije za pripadajuću scenu te parametre koji su se mijenjali i na koje vrijednosti. Kao primjer promjene parametara u ovoj sceni slika 3.2 prikazuje početno stanje scenarija *pc* u kojem su objekti oblika sfere, a slika 3.3 početno stanje scenarija *pd* u kojem je vidljiva granica kolizije na polaznom objektu.

Tablica 3.1 Scenariji scene *Pick and Place*

Identifikator scenarija	Interakcijski parametar	Vrijednost parametra
pa	-	-
pb	Object Size	0.05 m
pc	Object Shape	Sphere
pd	Collider Visibility	True



Slika 3.2 Prikaz scenarija u kojem su objekti oblika sfere

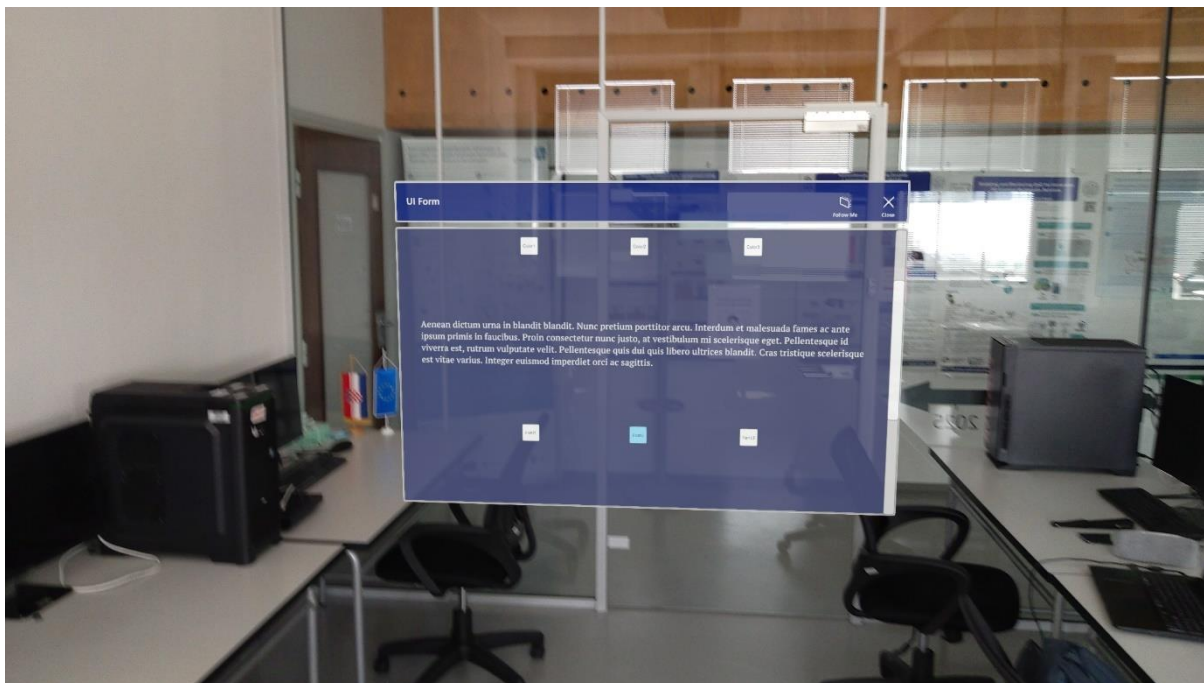


Slika 3.3 Prikaz scenarija u kojem je vidljiva granica kolizije polaznog objekta

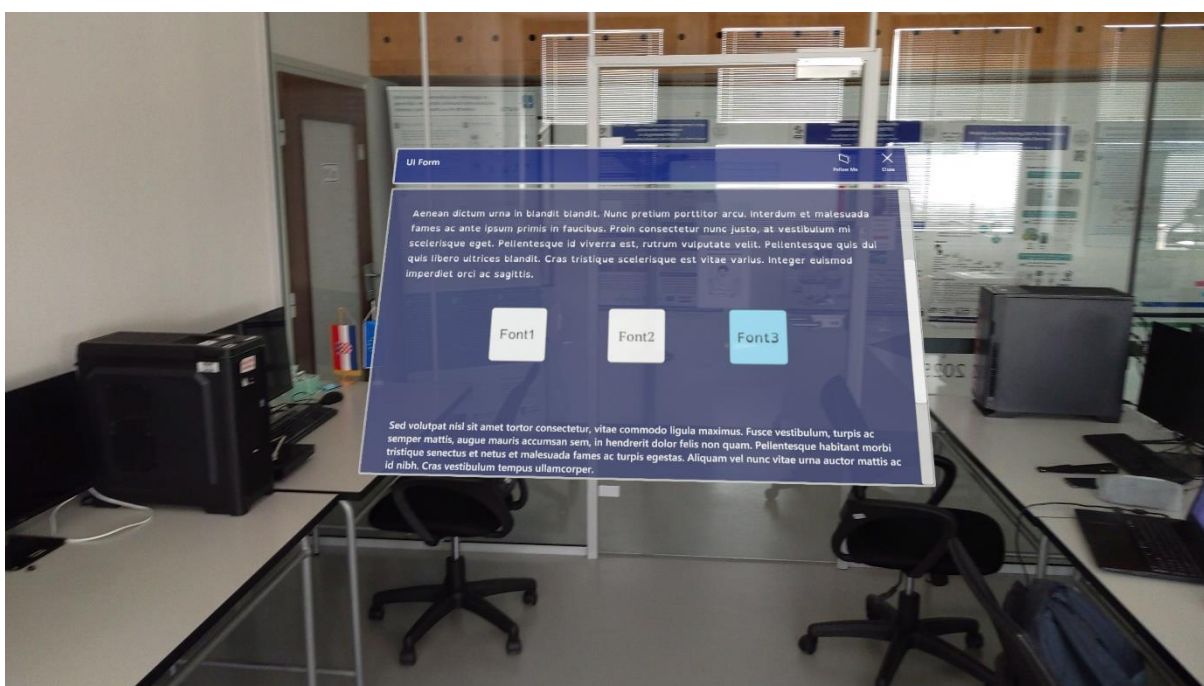
Sljedeći su se testirali scenariji scene *UI Form*. Kroz scenarije, interakcijski parametri koji su bili promijenjeni su interaktivnost 2D gumba i klizača, veličina gumba te rotacija korisničkog obrasca. Pripadajuće scenarije prikazuje tablica 3.2. Kao primjer promjene parametara u ovoj sceni slika 3.4 prikazuje scenarij *uc* u kojem su gumbi smanjeni na veličinu 0.5 Unity jedinica, a slika 3.5 prikazuje scenarij *ud* u kojem je obrazac zarotiran.

Tablica 3.2 Scenariji scene *UI Form*

Identifikator scenarija	Interakcijski parametar	Vrijednost parametra
<i>ua</i>	-	-
<i>ub</i>	2D Button Size and Interactivity	False
<i>uc</i>	Button Size	0.5 Unity jedinica
<i>ud</i>	Panel Rotation	30°



Slika 3.4 Prikaz scenarija u kojem su gumbi veličine 0.5 Unity jedinica



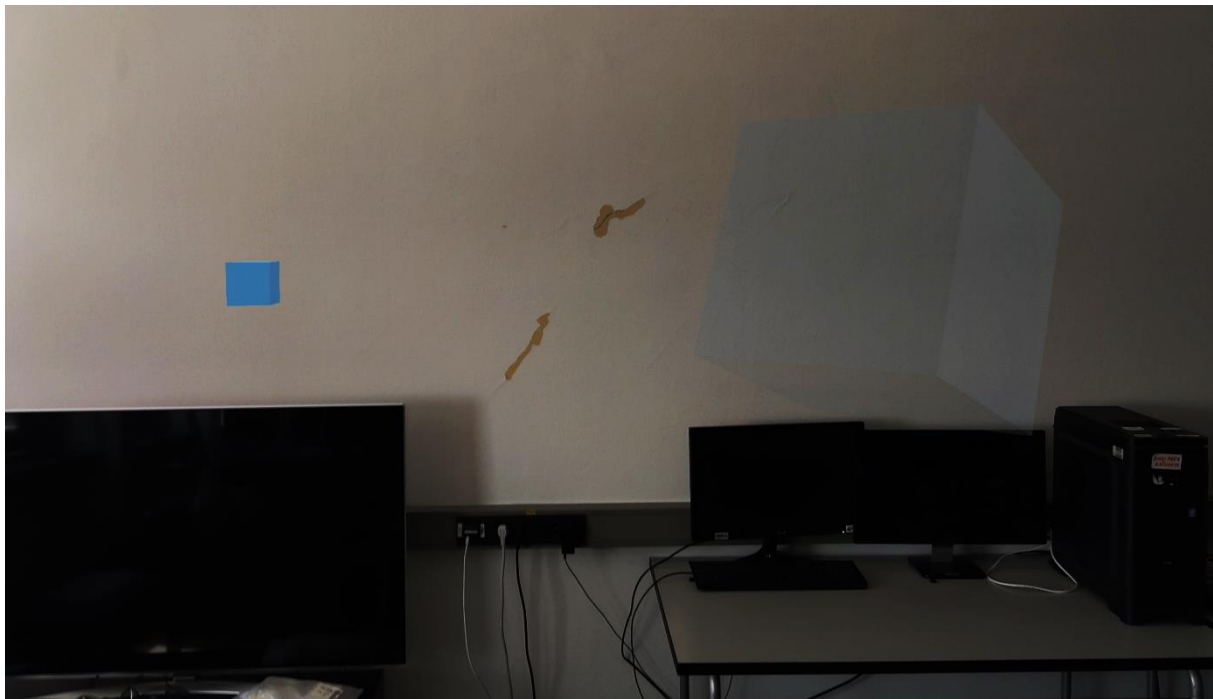
Slika 3.5 Prikaz scenarija u kojem je obrazac zarotiran

Posljednja je testirana scena *Scale and Rotate*. Interakcijski parametri koji su se mijenjali kroz scenarije su veličina polaznog objekta, vidljivost granica kolizije te relativna visina položaja objekata. Tablica 3.3 prikazuje navedene postavke scenarija.

Kao primjer promjene parametara u ovoj sceni slika 3.6 prikazuje scenarij *sb* u kojem je polazni objekt smanjen na 0.05 Unity jedinica, a slika 3.7 prikazuje scenarij *sc* u kojem je na polaznom objektu vidljiva granica kolizije.

Tablica 3.3 Scenariji scene *Scale and Rotate*

Identifikator scenarija	Interakcijski parametar	Vrijednost parametra
<i>sa</i>	-	-
<i>sb</i>	Object Size	0.05 m
<i>sc</i>	Collider Visibility	True
<i>sd</i>	Objects Position Y Axis	- 0.7 m



Slika 3.6 Prikaz scenarija u kojem je polazni objekt smanjen na 0.5 Unity jedinica



Slika 3.7 Prikaz scenarija u kojem polazni objekt ima vidljive granice kolizije

Upitnik koji su ispitanici morali ispunjavati nakon svakog scenarija sadržavao je skup pitanja čiji su odgovori uglavnom bili u obliku Likertove skale, ljestvice odgovora kojom je moguće izraziti stupanj slaganja odnosno neslaganja sa stavom izraženim u pitanju ili tvrdnji. Za sve odgovore koristi se skala od pet odgovora, kojima su pridruženi brojevi od 1 do 5. U prvome pitanju upitnika ispitanici su trebali ocijeniti ukupnu kvalitetu iskustva korištenja scenarija, gdje je 1 predstavljalo „Loše“, a 5 „Odlično“. Zatim je slijedio skup pitanja vezan uz kvalitetu interakcije preuzet iz Prilagodljivog upitnika za evaluaciju interakcija s objektima u proširenoj/virtualnoj stvarnosti [31] i prilagođen potrebama ove studije. Bilo je potrebno ocijeniti koliko su odgovori virtualnog svijeta na ispitanikove radnje u skladu s njihovim očekivanjima te koliko su precizno mogli obaviti interakciju sa sustavom, oba u rasponu od 1 što je predstavljalo „Nimalo“ do 5 što je predstavljalo „Iznimno“. Na pitanje kojom je brzinom virtualni svijet reagirao na njihove akcije mogli su odgovoriti u rasponu od 1 što je predstavljalo „Vrlo sporo“ do 5 što je predstavljalo „Vrlo brzo“. Sljedeći skup pitanja odnosio se na to koliko im je testirana interakcija bila jednostavna te koliko im se interakcija činila prirodnom, oba na ljestvici od 1 što je predstavljalo „Nimalo“ do 5 što je predstavljalo „Iznimno“ te preuzeta iz [23] i po potrebi prilagođena. Pitanje vezano uz to koliko im je zadatak bio umarajuć preuzet je iz NASA-TLX upitnika [32], a odgovor na pitanje je bio moguć u

rasponu od 1 što je predstavljalo „Nimalo“ do 5 što je predstavljalo „Iznimno“. Na kraju upitnika odgovorili su na pitanje bi li nastavili s korištenjem scenarija u ovakvim uvjetima.

Nakon testiranja grupe scenarija, ispitanici su ispunili upitnik u kojem su morali usporediti scenarije koje su testirali u toj grupi. Bilo je potrebno odabrati najviše preferirani scenarij te zatim najmanje preferirani scenarij. Svi upitnici koje su ispitanici morali ispunjavati nalaze u dodatku na kraju ovoga rada.

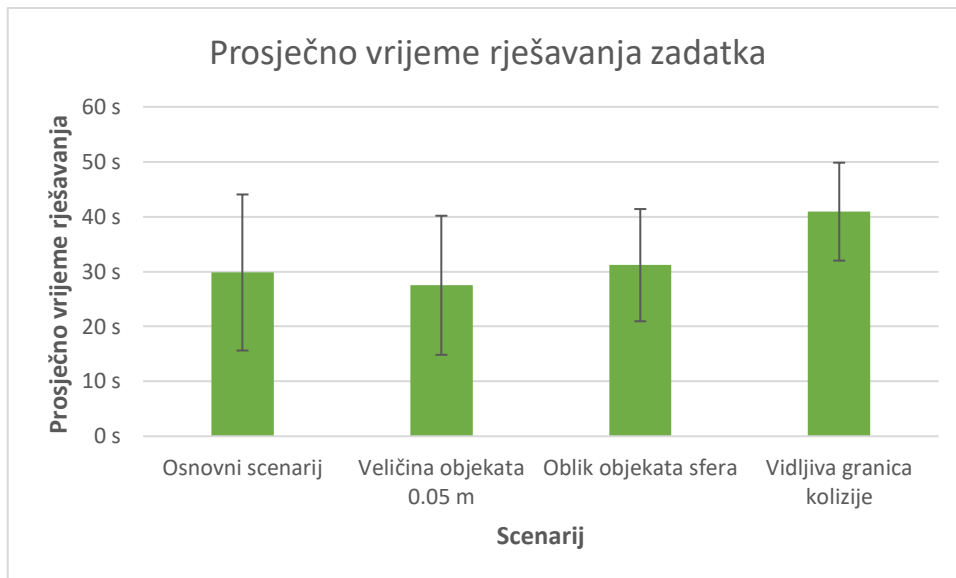
4. Rezultati ispitivanja

U provedenoj studiji sudjelovalo je ukupno 12 ispitanika, od čega je osam žena i četiri muškarca. Dob ispitanika kreće se od 21 do 26 godina, a prosječna dob iznosi 23.25 godina starosti. Kada se gleda iskustvo s MR tehnologijom, ukupno šest ispitanika nije nikada koristilo MR, četvero ih je MR isprobalo samo jednom, a dvoje je MR koristilo nekoliko puta. Ispitanici koji su isprobali MR uglavnom su ga koristili u kontekstu obrazovanja ili za zabavu. U nastavku će biti opisani rezultati prema scenama koje su se testirale.

4.1. Scena *Pick and Place*

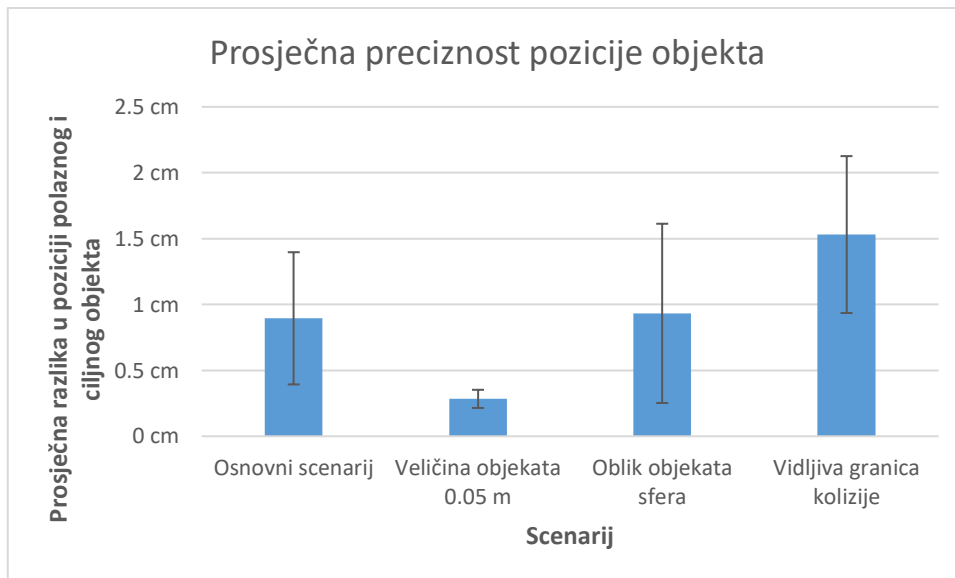
4.1.1. Objektivne metrike

Prvi objektivni parametar koji se pratio u sceni *Pick and Place* bio je vrijeme koje je potrebno da ispitanik riješi zadatak premještanja polaznog objekta na zadano mjesto. U scenariju u kojem je polazni objekt imao vidljive granice kolizije bilo im je potrebno najviše vremena za rješavanje zadatka, prosječno 40.92 sekunde. Za scenarij u kojem su ciljni i polazni objekt oblika sfere u prosjeku im je bilo potrebno 31.17 sekundi za rješavanje zadatka. U osnovnom scenariju ispitanicima je u prosjeku trebalo 29.83 sekunde da riješe zadatak. Najmanje vremena za rješavanje bilo im je potrebno u scenariju u kojem je veličina objekata bila postavljena na 0.05 metara, prosječno 27.5 sekundi. Slika 4.1.1.1 prikazuje prosječno vrijeme rješavanja zadatka *Pick and Place* po scenarijima.



Slika 4.1.1.1 Prosječno vrijeme rješavanja zadatka

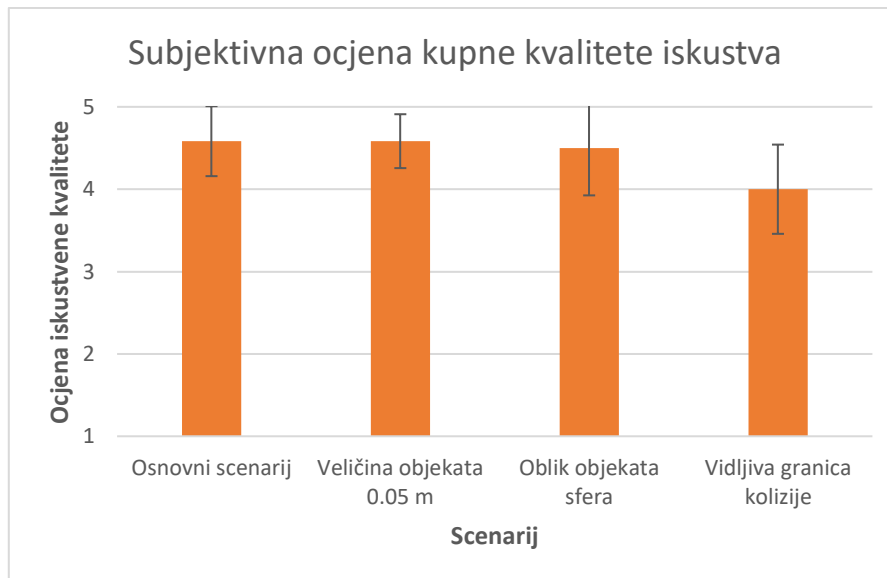
Sljedeća metrika koja se pratila bila je preciznost, odnosno razlika u poziciji polaznog i ciljnog objekta nakon riješenog zadatka. Scenarij u kojem je polaznom objektu bila vidljiva granica kolizije imao je najveće razlike u pozicijama polaznog i ciljnog objekta, u prosjeku 1.53 centimetra. U scenariju u kojem su objekti bile sfere razlika u pozicijama prosječno je iznosila 0.93 centimetra, dok je u osnovnom scenariju prosječna razlika u pozicijama u prosjeku iznosila 0.9 centimetara. Najmanja razlika u pozicijama bila je u scenariju u kojem je veličina objekata bila 0.05 metara te je iznosila prosječno 0.28 centimetara. Slika 4.1.1.2 prikazuje preciznosti u poziciji polaznog objekta za scenu *Pick and Place*.



Slika 4.1.1.2 Prosječna preciznost pozicije polaznog objekta

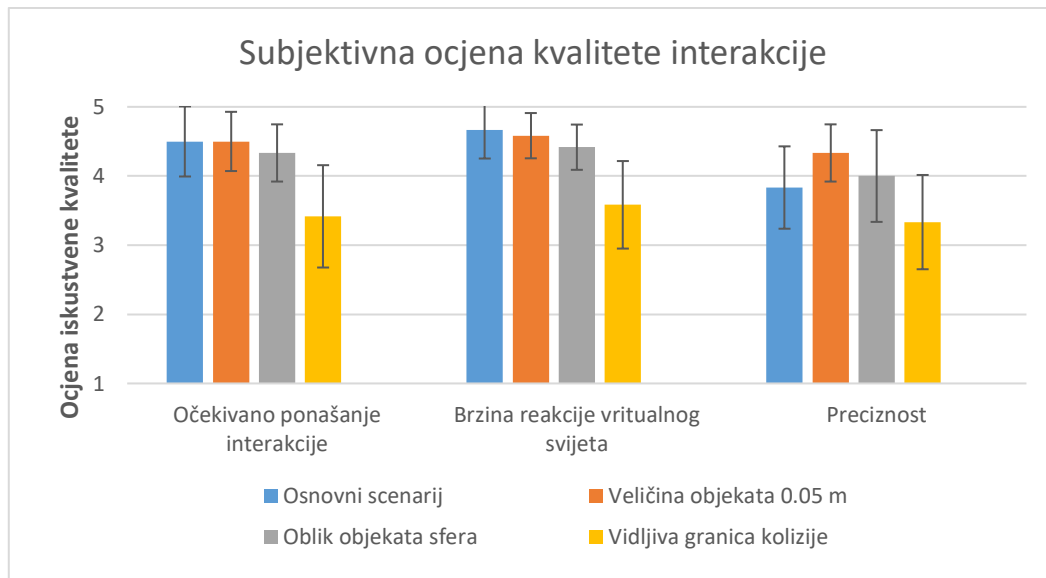
4.1.2. Subjektivne metrike

Nakon svakog scenarija korisnici su ispunjavali upitnik o subjektivnom doživljaju odrađenog scenarija scene *Pick and Place*. Prvo pitanje odnosilo se na ukupnu kvalitetu korisničkog iskustva pri odrađivanju zadatka u danom scenariju, a odgovarali su ocjenama od 1 do 5, gdje je 5 predstavljalo „Odlično“, a 1 „Loše“. Slična je ljestvica bila i za ostala pitanja u upitniku. Najlošija prosječna ocjena ukupne iskustvene kvalitete bila je za scenarij u kojem su bile vidljive granice kolizije polaznog objekta, prosječno 4 od 5. Najbolju ukupnu iskustvenu kvalitetu korisnicima su omogućili osnovni scenarij te scenarij u kojem je veličina objekata bila 0.05 metara, a u oba slučaja ocjena je prosječno iznosila 4.58 od 5. Veoma mala razlika u ocjeni bila je za scenarij u kojem su objekti bili u obliku sfere, a u prosjeku je iznosila 4.5 od 5. Slika 4.1.2.1 prikazuje ocjene ukupne iskustvene kvalitete prema scenarijima scene *Pick and Place*.



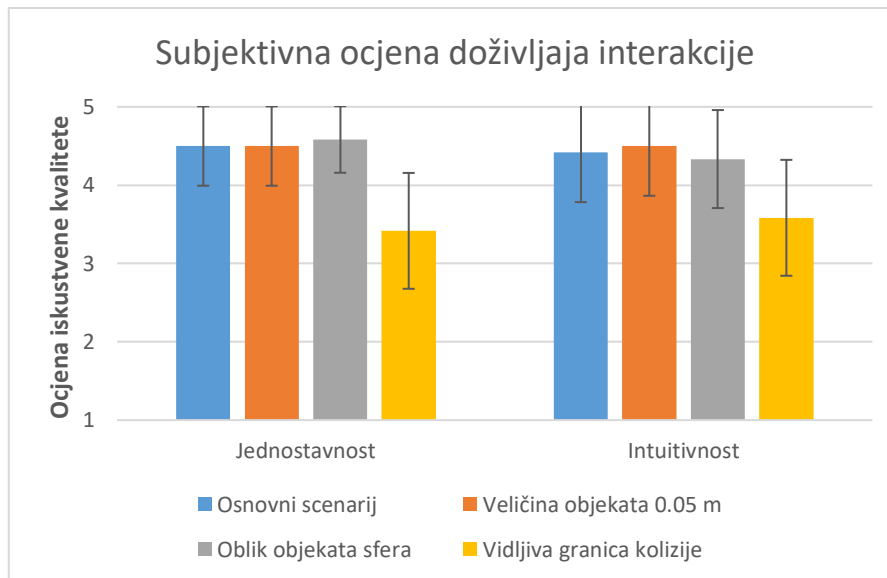
Slika 4.1.2.1 Subjektivna ocjena ukupne kvalitete iskustva (u rasponu od 1: „Loše“ do 5: „Odlično“)

Sljedeći skup pitanja odnosio se na kvalitetu interakcije *Pick and Place*, a pripadajuće prosječne ocjene korisnika vidljive su na slici 4.1.2.2. Za očekivano ponašanje interakcija tijekom scenarija najvišu ocjenu dijele osnovni scenarij i scenarij u kojem je veličina objekata 0.05 metara, a iznosi prosječno 4.5 od 5, gdje 5 predstavlja iznimno očekivano ponašanje interakcija. Za scenarij u kojem su objekti oblika sfere ocjena za očekivano ponašanje interakcije iznosi prosječno 4.33 od 5, dok je najniža ocjena za scenarij u kojem su vidljive granice kolizije, a iznosi prosječno 3.42 od 5. Što se tiče brzine reakcije virtualnog svijeta na korisnikove akcije, najvišu prosječnu ocjenu ima osnovni scenarij, a ona iznosi 4.67 od 5, gdje je 5 vrlo brza reakcija virtualnog svijeta. Kada je veličina objekata 0.05 metara prosječna ocjena za brzinu reakcije virtualnog svijeta iznosi 4.58 od 5, a za scenarij u kojem je oblik objekata kugla ocjena je prosječno 4.42 od 5. Najniža prosječna ocjena za brzinu reakcije virtualnog svijeta ponovno pripada scenariju u kojem su granice kolizije vidljive, a ona iznosi 3.58 od 5. Gledajući doživljaj preciznosti interakcija za pojedini scenarij, najveća prosječna ocjena za preciznost pripala je scenariju u kojem je veličina objekata 0.05 metara, a ona iznosi 4.33 od 5, gdje 5 predstavlja iznimno precizno obavljanje interakcija. Kada su objekti oblika sfere, ocjena za preciznost u prosjeku iznosi 4 od 5. Nešto je niža prosječna ocjena za osnovni scenarij, a ona iznosi 3.83 od 5, dok najniža ocjena za preciznost pripada scenariju u kojem se vide granice kolizije na polaznom objektu, a prosječno iznosi 3.33 od 5.



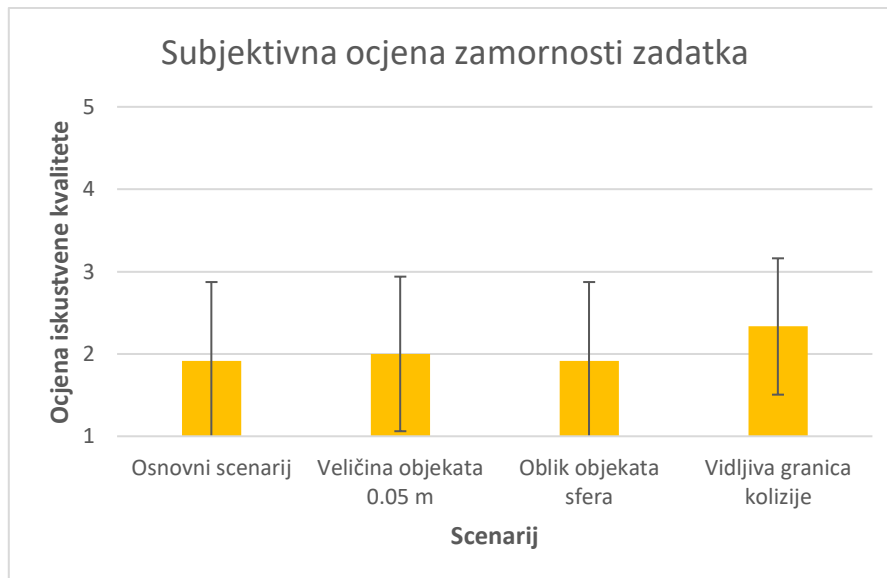
Slika 4.1.2.2 Subjektivna ocjena (u rasponu od 1: „Nimalo“ do 5: „Iznimno“) očekivanog ponašanja, očekivane preciznosti te brzine reakcije virtualnog svijeta (u rasponu od 1: „Vrlo sporo“ do 5: „Vrlo brzo“)

Ispitanici su također morali odgovoriti na pitanja o doživljaju interakcije u sceni. Za pitanje jednostavnosti interakcije, najveću prosječnu ocjenu ima scenarij u kojem su objekti bili oblika sfere, a ona iznosi 4.58 od 5, gdje 5 predstavlja iznimno jednostavnu interakciju. Osnovni scenarij i scenarij čija je veličina objekata 0.05 metara za jednostavnost imaju prosječnu ocjenu 4.5 od 5, dok najnižu prosječnu ocjenu za isto svojstvo ima scenarij u kojem je polaznom objektu vidljiva granica kolizije, a ona iznosi 3.42 od 5. Mjera intuitivnosti i prirodnosti interakcije dobila je najveću ocjenu u scenariju u kojem je veličina objekata 0.05 metara, a ona iznosi 4.5 od 5, gdje je 5 iznimno intuitivna interakcija. Za osnovni scenarij prosječna ocjena intuitivnosti je 4.42 od 5, a za scenarij u kojem su objekti oblika sfere prosječna ocjena istoga svojstva iznosi 4.33 od 5. Najnižu prosječnu ocjenu za intuitivnost interakcije dobio je scenarij u kojem su vidljive granice kolizije polaznog objekta, a ocjena iznosi 3.58 od 5. Slika 4.1.2.3 prikazuje prosječne ocjene za doživljaj interakcije scenarije scene *Pick and Place*.



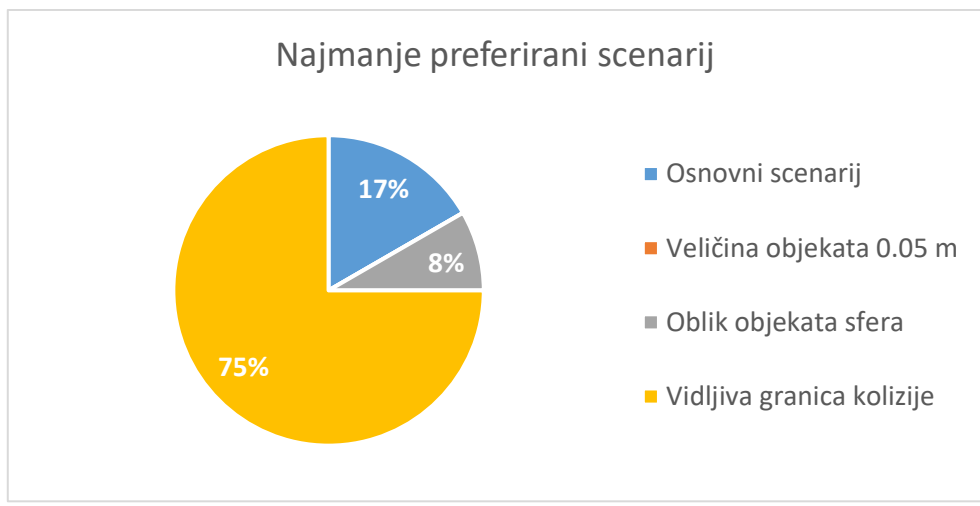
Slika 4.1.2.3 Subjektivna ocjena jednostavnosti i intuitivnosti interakcije (u rasponu od 1: „Nimalo“ do 5: „Iznimno“)

Za prosječnu ocjenu koliko je zadatak bio umarajuć ispitanici su odgovarali u rasponu od 1 do 5, gdje je 1 predstavljao nimalo umarajuć zadatak, a 5 iznimno umarajuć zadatak. Najniže su prosječne ocjene za navedeno svojstvo dobili osnovni scenarij i scenarij u kojem su objekti bili oblika sfere, a iznose 1.92 od 5. Scenarij u kojem je veličina objekata 0.05 metara dobio je prosječnu ocjenu 2 od 5, dok je najvišu prosječnu ocjenu dobio scenarij u kojem su granice kolizije na polaznom objektu bile vidljive, a iznosi 2.33 od 5. Slika 4.1.2.4 prikazuje ocjene zamornosti po *Pick and Place* scenarijima.

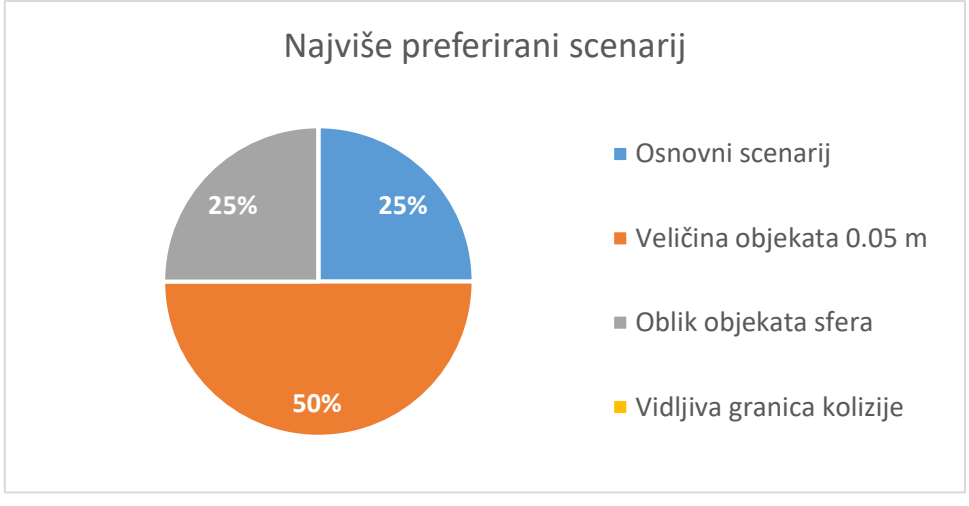


Slika 4.1.2.4 Subjektivna ocjena zamornosti zadatka (u rasponu od 1: „Nimalo“ do 5: „Iznimno“)

Za scenarij u kojem je veličina objekata 0.05 metara svi su se izjasnili da bi nastavili s njegovim korištenjem u ovakvim uvjetima. Kod osnovnog scenarija se 11 od 12 ispitanika izjasnilo da bi nastavili koristiti takvu scenu, a za scenarij u kojem su objekti oblika sfere 10 od 12 ispitanika se izjasnilo da bi također nastavili s korištenjem. U slučaju scene u kojoj polazni objekt ima vidljive granice kolizije samo je 6 od 12 ispitanika tvrdilo da bi nastavilo koristiti scenu u takvim uvjetima. Rezultaima ovog pitanja u prilog ide i podatak da je kao najmanje preferirani scenarij u 75% slučajeva odabran upravo scenarij s vidljivim granicama kolizije (slika 4.1.2.5), a kao najviše preferirani scenarij pokazao se onaj u kojemu je veličina objekata 0.05 metara i odabran je od strane ispitanika u 50% slučajeva (slika 4.1.2.6).



Slika 4.1.2.5 Prikaz odabira najmanje preferiranog *Pick and Place* scenarija



Slika 4.1.2.6 Prikaz odabira najviše preferiranog *Pick and Place* scenarija

4.1.3. Analiza rezultata

Gledajući objektivne metrike, vrijeme rješavanja je slično kod osnovnog scenarija, scenarija u kojem je veličina objekata 0.05 metara te kod scenarija u kojem su objekti oblika sfere, dok je nešto veći skok od skoro 10 sekundi u vremenu rješavanja vidljiv u scenariju u kojem su na polaznom objektu vidljive granice kolizije. Slična stvar vidljiva je i u slučaju kada se mjerila razlika pozicija između polaznog i ciljnog objekta. Valja uzeti u obzir promjenu koja se pojavila na grafu sa slike 4.1.1.2 – vidljivo najmanja razlika u pozicijama nastala je kod scenarija u kojem je veličina objekta 0.05 metara jer je objekt u odnosu na osnovne postavke smanjen s osnovne

veliĉine od 0.2 metra. U ostalim sluĉajevima veliĉina objekta je ista, ali je razlika u poloŹaju polaznog i ciljnog objekta puno veća kod vidljivih granica kolizije.

Dobivene subjektivne metrike podupiru prethodno navedene objektivne metrike. Subjektivna ocjena ukupne kvalitete iskustva otprilike je sliĉna kod svih scenarija dok se malo veći pad ocjene prepoznaje kod sluĉaja vidljivih granica kolizije na polaznom objektu. Ispitanici su za sve kategorije kvalitete interakcije također vidljivim granicama kolizije dali nešto niŹe ocjene. Na grafu sa slike 4.1.2.2 moguće je uoĉiti kako za oĉekivanu preciznost ispitanici u svim scenarijima dali neznatno niŹe ocjene, te im se najpreciznijom ĉini interakcija u kojoj je veliĉina objekta manja nego u ostalim scenarijima. Kada se gleda jednostavnost i intuitivnost ponovno se vidi kako ispitanike smetaju vidljive granice kolizije. U kategoriji jednostavnosti interakcije prosjeĉna ocjena za scenarij s vidljivim granicama kolizije je otprilike za jednu ocjenu manja nego za ostale scenarije (slika 4.1.2.3). Što se tiĉe zamornosti zadatka, on je ispitanicima za sve scenarije nimalo do malo zamoran.

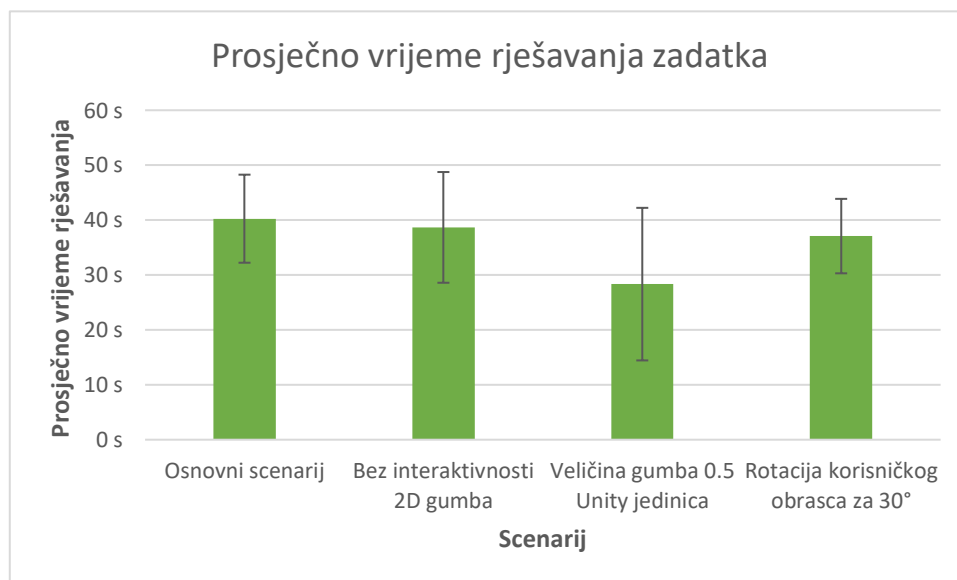
Konaĉna usporedba scenarija također govori kako je ispitanicima uvjerljivo najloŹiji od viđenih scenarija bio onaj s vidljivim granicama kolizije te se ĉak 75% ispitanika izjasnilo da ga najmanje preferira. Također, polovica ispitanika uopće ne bi nastavilo koristiti scenarij. Moguće da je ispitanike zbunjivala pojava granica te nisu vidjeli potrebu za njihovim pojavljivanjem u sceni u kontekstu zadatka kojeg trebaju obaviti. S druge strane, 50% ispitanika izjasnilo se da im je najbolji scenarij onaj u kojem je veliĉina objekata 0.05 metara. Manji objekt ispitanicima je više odgovarao jer su njime mogli lakše i preciznije manipulirati te bi ga svi nastavili koristiti. Ostala dva scenarija, osnovni scenarij i scenarij u kojem su objekti oblika sfere, također su imala vrlo dobre subjektivne ocjene te bi ih više od 90% ispitanika nastavilo koristiti.

Pokazano je kako su vidljive granice kolizije suvišne za interakciju s objektima *pokupi i smjesti*. Manji objekti bolji su za vršenje navedene interakcije, no i nešto veći objekti ostavljaju dobar utisak na interakciju. Oblik objekta također nema veliki utjecaj na ovu interakcijsku mehaniku, što su pokazale pripadajuće subjektivne i objektivne metrike.

4.2. Scena *UI Form*

4.2.1. Objektivne metrike

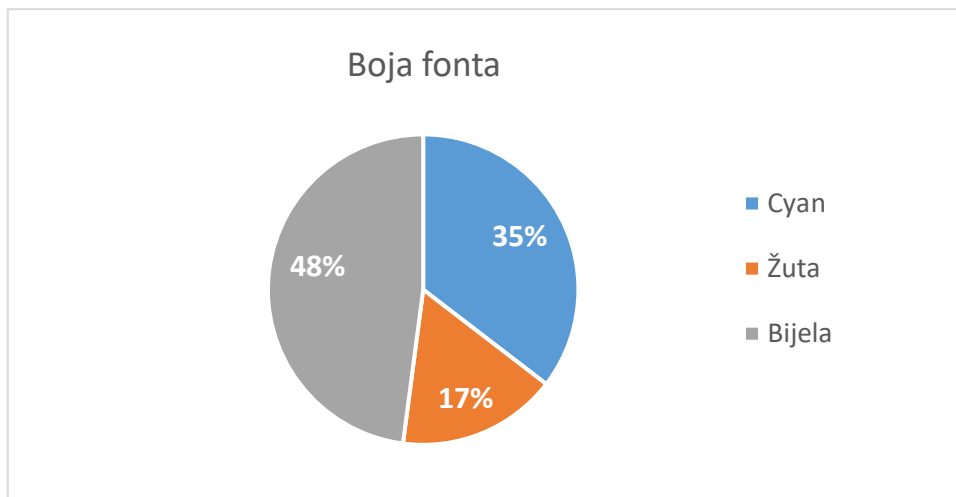
Metrika koja je bila praćena u scenarijima scene *UI Form* uključivala je prosječno vrijeme rješavanja zadatka, odnosno vrijeme potrebno da korisnik odabere preferirane postavke u korisničkom obrascu. Najviše vremena korisnici su proveli u osnovnom scenariju, prosječno 40.25 sekundi. Malo manje vremena bilo im je potrebno da prođu obrasce u scenariju bez interaktivnosti gumba, u prosjeku 38.67 sekundi, i u scenariju u kojem je korisnički obrazac bio rotiran za 30°, u prosjeku 37.08 sekundi. Scenarij s najmanjim prosječnim vremenom bio je onaj u kojem je smanjena veličina gumba na 0.5 Unity jedinica (odnosno gumb smanjen na trećinu veličine u odnosu na osnovne postavke), a iznosi 28.33 sekundi. Slika 4.2.1.1 prikazuje prosječna vremena rješavanja zadatka prema scenarijima scene *UI Form*.



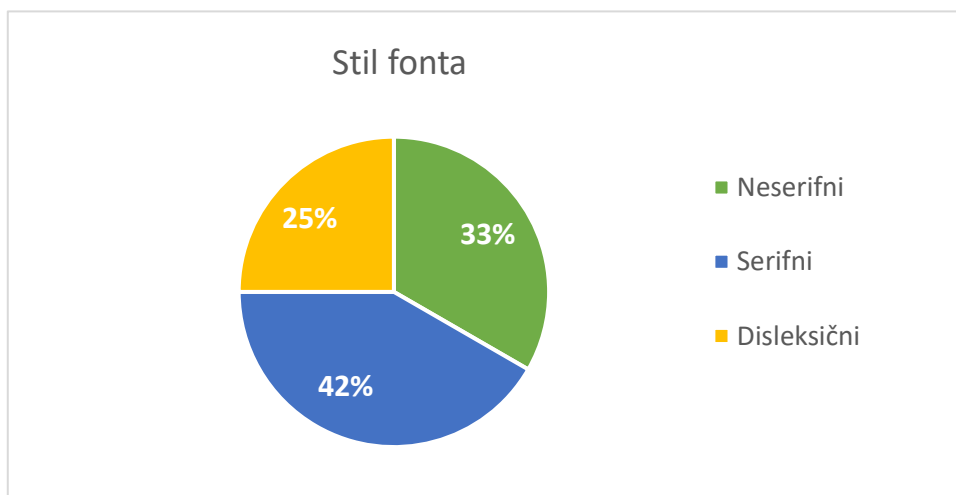
Slika 4.2.1.1 Prosječno vrijeme rješavanja zadatka

Sljedeće objektivne metrike koje su se pratile odnose se na čitav skup od po četiri odrađena scenarija kod dvanaest ispitanika. Gledalo se koja je od ponuđenih boja fonta korisnicima najviše preferirana, koji je od ponuđenih stilova fonta najviše preferiran te koja je veličina fonta koju korisnici najviše preferiraju za dani korisnički obrazac u MR okruženju. Za boju fonta (slika 4.2.1.2), u 48% slučajeva ispitanici su

odabrali bijelu, u 35% slučajeva Cyan plavu boju te u samo 17% slučajeva žutu boju. Od ponuđenih stilova fonta (slika 4.2.1.3) najviše puta ispitanici su odabrali serifni font (42% slučajeva), u 33% slučajeva odabrali su neserifni font, a u 25% slučajeva odabran je disleksični font. Pri odabiru veličine fonta slova prosječan iznos veličine fonta u MR korisničkom obrascu iznosi 17.



Slika 4.2.1.2 Preferirana boja fonta u korisničkom obrascu

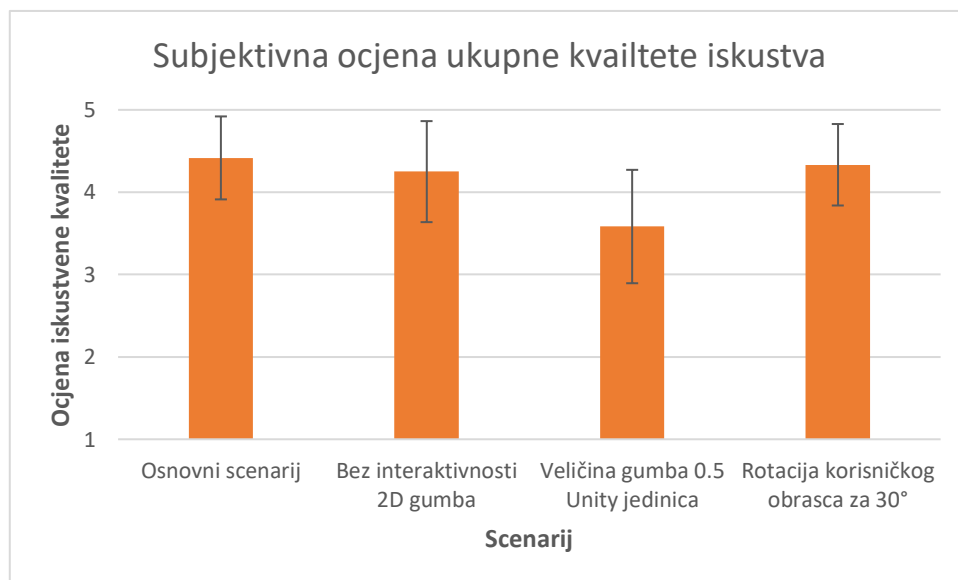


Slika 4.2.1.3 Preferirani stil fonta u korisničkom obrascu

4.2.2. Subjektivne metrike

Nakon svakog scenarija korisnici su ispunjavali upitnik o subjektivnom doživljaju odrađenog scenarija scene *UI Form*. Prvo pitanje odnosilo se na ukupnu kvalitetu

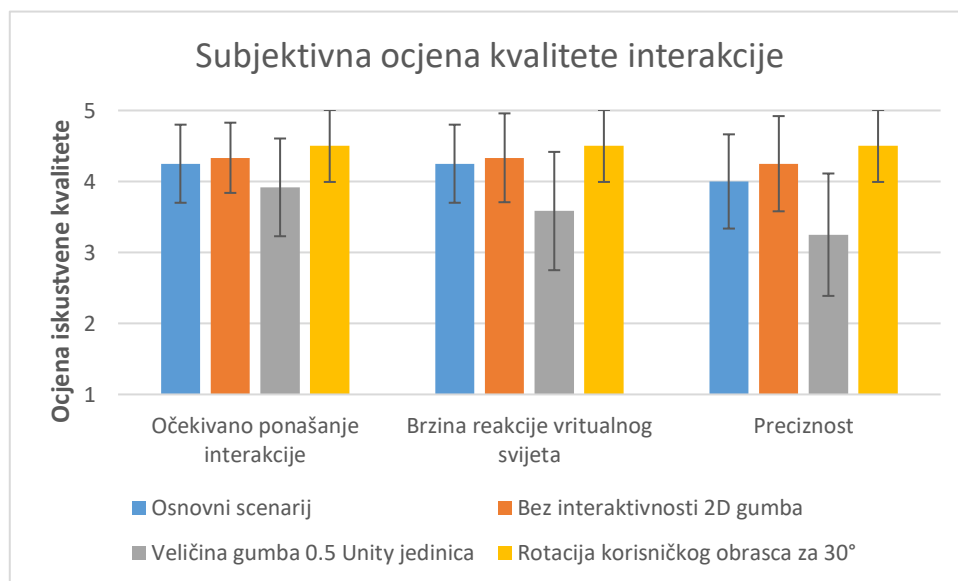
korisničkog iskustva pri odrađivanju zadatka u danom scenariju, a odgovarali su ocjenama od 1 do 5, gdje je 5 predstavljalo „Odlično“, a 1 „Loše“. Slična je ljestvica bila i za ostala pitanja u upitniku. Najbolju prosječnu ocjenu ukupne kvalitete iskustva imao je osnovni scenarij, a ona iznosi 4.42 od 5. Malo niže ocjene imao je scenarij čiji je korisnički obrazac bio zarotiran za 30°, prosječno 4.33 od 5, te scenarij u kojem nije bilo interaktivnosti gumba, prosječno 4.25 od 5. Najniže ocjene dobio je scenarij u kojem je veličina gumba smanjena na 0.5 Unity jedinica, a prosjek iznosi 3.58 od 5. Slika 4.2.2.1 prikazuje prosječne ocjene ukupne kvalitete iskustva za scenarije scene *UI Form*.



Slika 4.2.2.1 Subjektivna ocjena ukupne kvalitete iskustva (u rasponu od 1: „Loše“ do 5: „Odlično“)

Sljedeći skup pitanja odnosi se na subjektivnu ocjenu kvalitete interakcije scene *UI Form*, a pripadajuće prosječne ocjene korisnika vidljive su na slici 4.2.2.2. Za očekivano ponašanje interakcija tijekom scenarija najvišu ocjenu dobio je scenarij u kojem je korisnički obrazac rotiran za 30°, a iznosi prosječno 4.5 od 5, gdje 5 predstavlja iznimno očekivano ponašanje interakcija. Scenarij bez interaktivnosti gumba dobio je prosječnu ocjenu 4.33 od 5, a osnovni scenarij 4.25 od 5. Najniža prosječna ocjena pripala je scenariju u kojem veličina gumba iznosi 0.5 Unity jedinica, a ona iznosi 3.92 od 5. Što se tiče brzine reakcije virtualnog svijeta na korisnikove akcije, najvišu prosječnu ocjenu ima scenarij u kojem je korisnički obrazac rotiran za 30°, a ona iznosi 4.5 od 5, gdje je 5 vrlo brza reakcija virtualnog svijeta. Za scenarij u

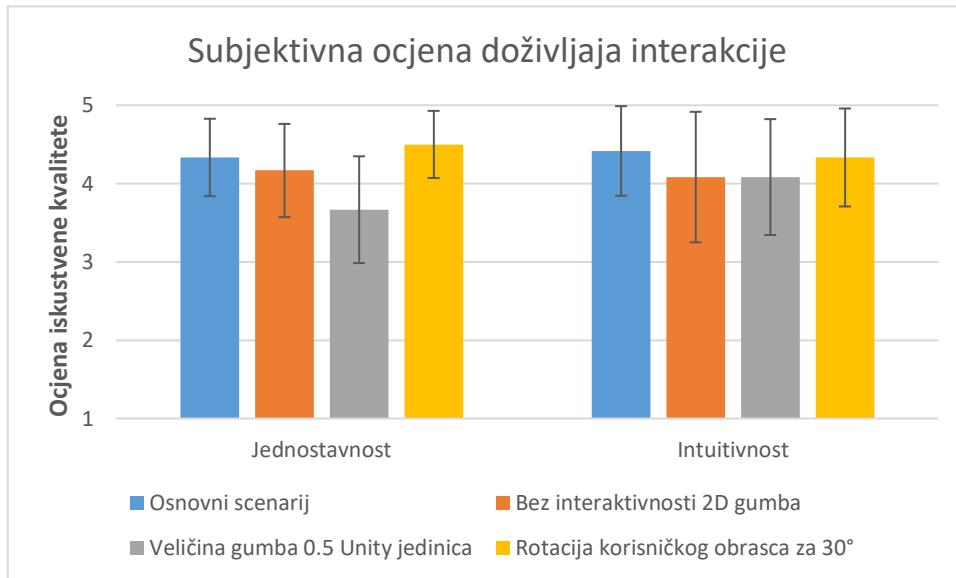
kojem nema interaktivnosti gumba prosječna je ocjena brzine reakcije 4.33 od 5. Kod osnovnog scenarija prosječna je ocjena za ovo svojstvo 4.25 od 5, dok su najniže ocjene pripale scenariju u kojem je veličina gumba postavljena na 0.5 Unity jedinica, a prosjek iznosi 3.58 od 5. Gledajući doživljaj preciznosti interakcija za pojedini scenarij, najveća prosječna ocjena za preciznost pripala je scenariju u kojem je korisnički obrazac rotiran za 30°, a ona iznosi 4.5 od 5, gdje 5 predstavlja iznimno precizno obavljanje interakcija. U scenariju u kojem nema interaktivnosti gumba korisnici su za doživljaj preciznosti prosječno dodijelili ocjenu 4.25 od 5, u osnovnom scenariju za isto pitanje prosječna je ocjena 4 od 5. Najniže ocjene za očekivanu preciznost ima scenarij u kojem je veličina gumba postavljena na 0.5 Unity jedinica, a njihov prosjek iznosi 3.25 od 5.



Slika 4.2.2.2 Subjektivna ocjena (u rasponu od 1: „Nimalo“ do 5: „Iznimno“) očekivanog ponašanja, očekivane preciznosti te brzine reakcije virtualnog svijeta (u rasponu od 1: „Vrlo sporo“ do 5: „Vrlo brzo“)

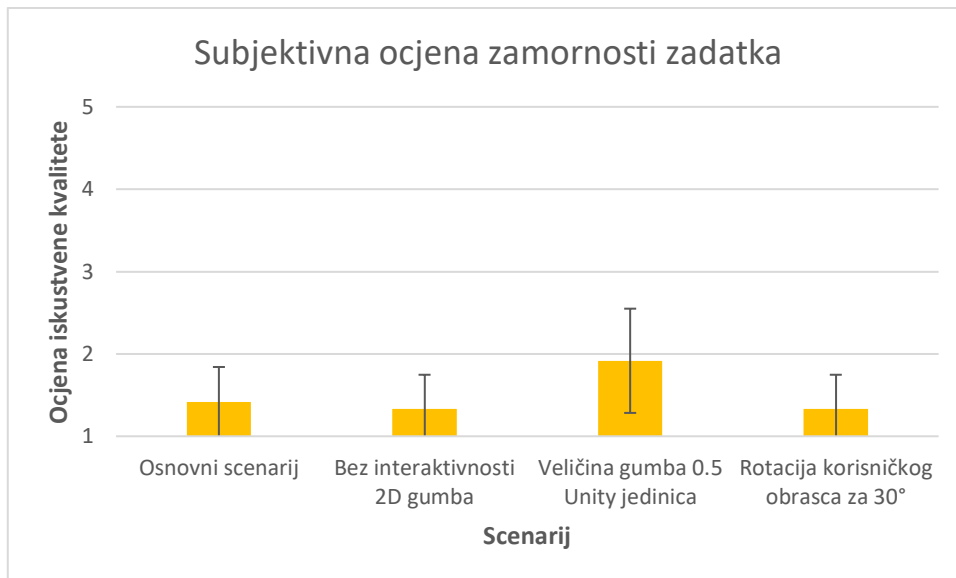
Ispitanici su također morali odgovoriti na pitanja o doživljaju interakcije u sceni. Za pitanje jednostavnosti interakcije, najveću prosječnu ocjenu ima scenarij u kojem je korisnički obrazac zarotiran za 30°, a iznosi 4.58 od 5, gdje 5 predstavlja iznimno jednostavnu interakciju. Nešto niže ocjene imaju osnovni scenarij, s prosječnom ocjenom 4.33 od 5, i scenarij u kojem nema interaktivnosti gumba, s prosječnom ocjenom 4.17 od 5. Scenarij u kojem je veličina gumba 0.5 Unity jedinica ima najnižu prosječnu ocjenu za jednostavnost, a ona iznosi 3.67 od 5. Mjera intuitivnosti i

prirodnosti interakcije dobila je najveću ocjenu u osnovnom scenariju, a ona prosječno iznosi 4.42 od 5, gdje je 5 iznimno intuitivna interakcija. Neznatno nižu prosječnu ocjenu, 4.33 od 5, dobio je scenarij u kojem je korisnički obrazac rotiran za 30°. Najniže prosječne ocjene za intuitivnost dijele scenarij bez aktivnosti gumba i scenarij u kojem je veličina gumba 0.5 Unity jedinica, a ocjena iznosi 4.08 od 5. Slika 4.2.2.3 prikazuje prosječne ocjene za doživljaj interakcije scenarije scene *UI Form*.



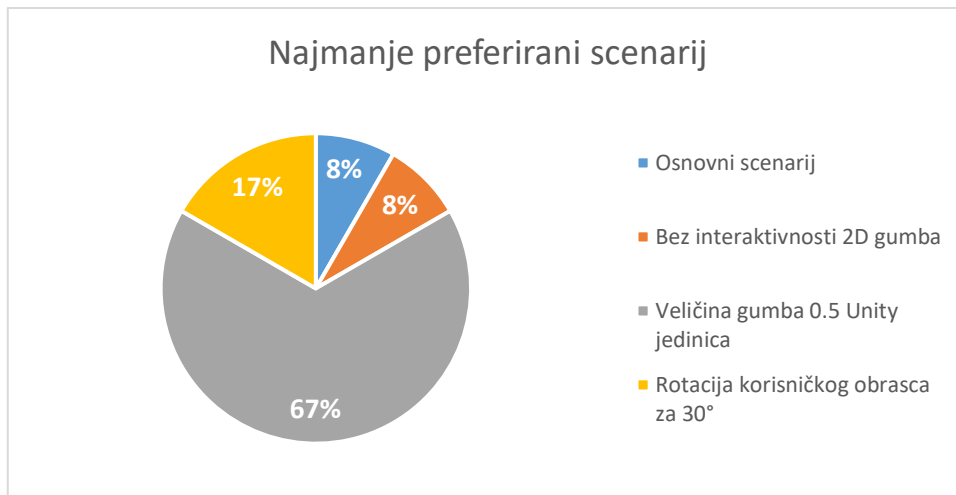
Slika 4.2.2.3 Subjektivna ocjena jednostavnosti i intuitivnosti interakcije (u rasponu od 1: „Nimalo“ do 5: „Iznimno“)

Za prosječnu ocjenu koliko je zadatak bio umarajuć ispitanici su odgovarali u rasponu od 1 do 5, gdje je 1 predstavljao nimalo umarajuć zadatak, a 5 iznimno umarajuć zadatak. Najniže su prosječne ocjene za navedeno svojstvo dobili scenarij bez aktivnosti gumba te scenarij u kojem je korisnički obrazac rotiran za 30°, a ocjena iznosi 1.33 od 5. Osnovni je scenarij dobio neznatno višu prosječnu ocjenu koja iznosi 1.42 od 5, dok je najvišu prosječnu ocjenu dobio scenarij u kojem je veličina gumba 0.5 Unity jedinica, a ona iznosi 1.92 od 5. Slika 4.2.2.4 prikazuje ocjene zamornosti po scenarijima scene *UI Form*.

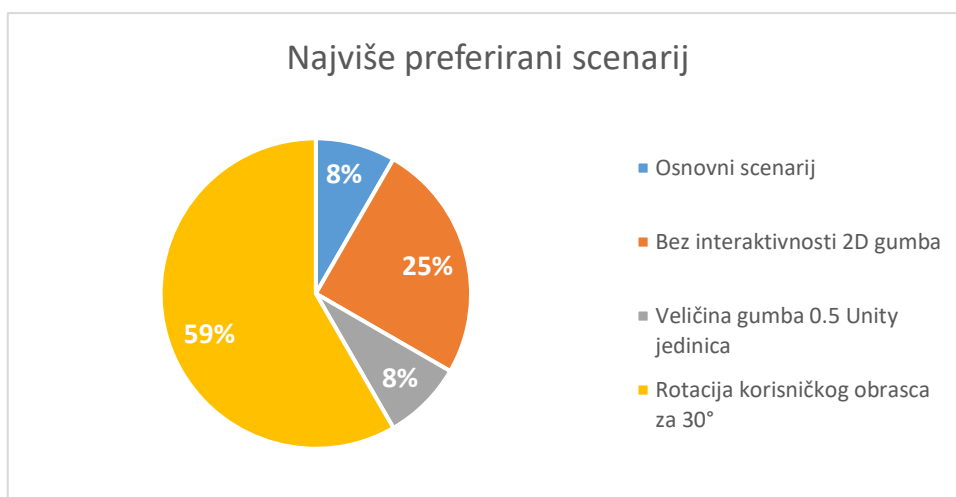


Slika 4.2.2.3 Subjektivna ocjena zamornosti zadatka (u rasponu od 1: „Nimalo“ do 5: „Iznimno“)

U osnovnom scenariju te scenariju u kojem je korisnički obrazac rotiran za 30° 10 od 12 ispitanika izjasnilo se da bi željelo nastaviti scenarije u takvim uvjetima. Kod scenarija u kojem nema interaktivnosti gumba 9 od 12 ispitanika izjasnilo se da bi nastavili koristiti takvu scenu. U slučaju scene u kojoj je veličina gumba postavljena na 0.5 Unity jedinica samo je 5 od 12 ispitanika tvrdilo da bi nastavilo koristiti scenu u takvim uvjetima. S rezultatima ovog pitanja slaže se i podatak da je kao najmanje preferirani scenarij u 67% slučajeva odabran upravo scenarij u kojem je veličina gumba 0.5 Unity jedinica (slika 4.2.2.5), a kao najviše preferirani scenarij pokazao se onaj u kojemu je korisnički obrazac rotiran za 30° te je odabran od strane ispitanika u 59% slučajeva (slika 4.2.2.6).



Slika 4.2.2.5 Prikaz odabira najmanje preferiranog *UI Form* scenarija



Slika 4.2.2.6 Prikaz odabira najviše preferiranog *UI Form* scenarija

4.2.3. Analiza rezultata

S obzirom na specifičnost scene *UI Form*, izazov je predstavljao izmjeriti objektivne metrike koje će biti značajne za usporedbu scenarija u kontekstu ispitivanja interakcijske mehanike. Najkraće vrijeme korištenja korisničkog obrasca pokazalo se u scenariju kada su Unity gumbi bili smanjeni na trećinu osnovne veličine, odnosno sa 1.5 na 0.5 Unity jedinica, dok su vremena korištenja u ostalim scenarijima slična. Što se tiče postavki teksta koje korisnici odabrali, uglavnom im odgovara (odabran u 48% slučajeva) da je boja teksta za osnovni MR korisnički obrazac bijela te da je stil fonta serifni (odabran u 42% slučajeva), a veličina fonta oko 17. Ostale boje, iako vrlo slične bijeloj odabirali su u manjoj mjeri. Neuobičajeno je to što su čitljiviji stilovi fontova, a to

su neserifni i disleksični, odabrani u manjoj mjeri. Rezultat preferencija drugačijih postavki teksta vjerojatno je posljedica i manjeg broja ispitanika, od kojih svaki od njih ima svoje specifične zahtjeve za izgled teksta.

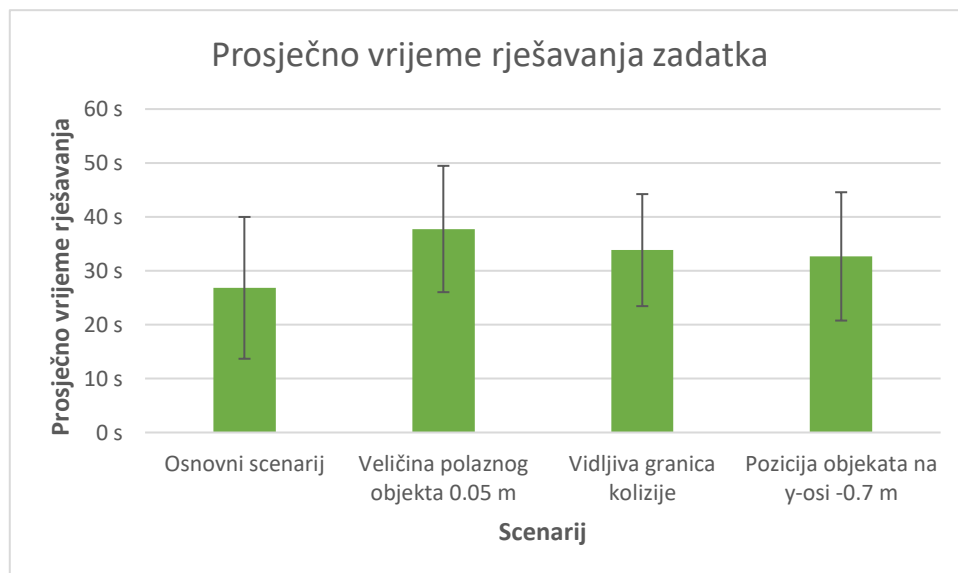
Subjektivna ocjena ukupne kvalitete iskustva korištenja scenarija pokazuje najmanju prosječnu ocjenu za scenarij u kojem je veličina gumba 0.5 Unity jedinica dok je za ostale scenarije ocjena slična. Ovako niska ocjena može se dovesti u kontekst s vremenom potrebnim za odrađivanje zadatka – moguće je da su se ispitanici najkraće zadržali na scenariju s manjim gumbima jer im je najmanje odgovaralo koristiti takav scenarij. Tu odluku su pokazali i u pitanju za najmanje preferirani scenarij, gdje su u 67% slučajeva odabrali upravo scenarij s gumbima veličine 0.5 Unity jedinica te 58.33% ispitanika ne bi željelo nastaviti koristiti takav scenarij. Kod ocjena kvalitete interakcije, u koje spadaju očekivano ponašanje interakcije, brzina reakcije virtualnog svijeta te očekivana preciznost interakcije navedeni je scenarij imao najniže ocjene. Iz grafa slike 4.2.2.2 dalo bi se primijetiti da ostali scenariji imaju slične vrijednosti ocjena za navedene parametre, no uvijek je ocjena za scenarij u kojem je korisnički obrazac rotiran za 30° imao najviše ocjene. Preferencija scenarija u kojem je korisnički obrazac rotiran vidljiva je i u odgovorima na pitanje o najviše preferiranom scenariju – čak 59% ispitanika odabralo ga je kao najviše preferirani scenarij. Prema subjektivnim ocjenama pokazalo se da je u prosjeku najjednostavnije koristiti upravo taj scenarij. Vjerojatno je s obzirom na stvarne interakcije korisnicima lakše pritisnuti gumb koji nije na obrascu koji samo lebdi ispred njega, nego je malo nagnut. S druge strane, ocjene intuitivnosti nisu pokazale razliku između scenarija te su svi ocijenjeni sličnim ocjenama kao vrlo intuitivne i prirodne interakcije. Kod procjene zamornosti zadatka, scenarij s veličinom gumba 0.5 Unity jedinica ocijenjen je kao skoro dvostruko više zamoran nego ostali scenariji (slika 4.2.2.3).

Pokazalo se kako je ispitanicima prilikom interakcije s korisničkim obrascem najviše zasmetala previše premala veličina gumba na obrascu. Scenarij u kojem nema interaktivnosti gumba nije im previše zasmetao, što možemo povezati s neiskustvom korištenja MR tehnologije koja je prisutna kod većine ispitanika. Interakcija s korisničkim obrascem u MR okruženju ispitanicima će biti još iskustveno bolja ako je obrazac zarotiran u prostoru.

4.3. Scena *Scale and Rotate*

4.3.1. Objektivne metrike

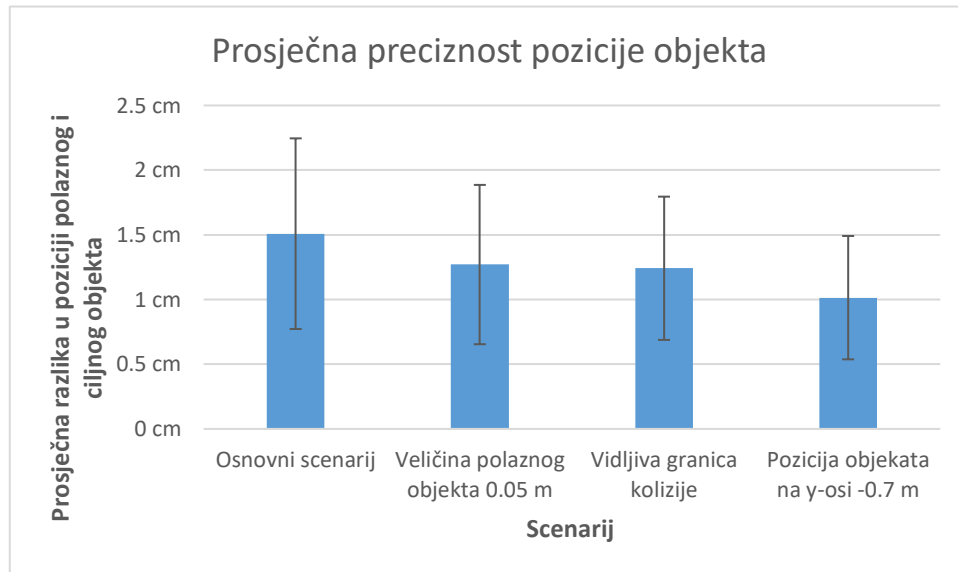
Prva objektivna metrika koja se mjerila u sceni *Scale and Rotate* bila je vrijeme koje je potrebno da se riješi zadatak promjene veličine i rotacije objekta. Najviše vremena je bilo potrebno za zadatak u scenariju u kojem je veličina objekta bila 0.05 metara, u prosjeku 37.75 sekundi. Slična prosječna vremena rješavanja zadatka imaju scenarij u kojem je vidljiva granica kolizije polaznog objekta, prosječno 33.83 sekunde, te scenarij u kojem je pozicija objekata na y-osi iznosila -0.7 metara, prosječno 32.67 sekundi. Najmanje vremena bilo je potrebno da ispitanici obave zadatak u osnovnom scenariju, u prosjeku 26.83 sekunde. Slika 4.3.1.1 prikazuje prosječno vrijeme rješavanja zadatka *Scale and Rotate* po scenarijima.



Slika 4.3.1.1. Prosječno vrijeme rješavanja zadatka

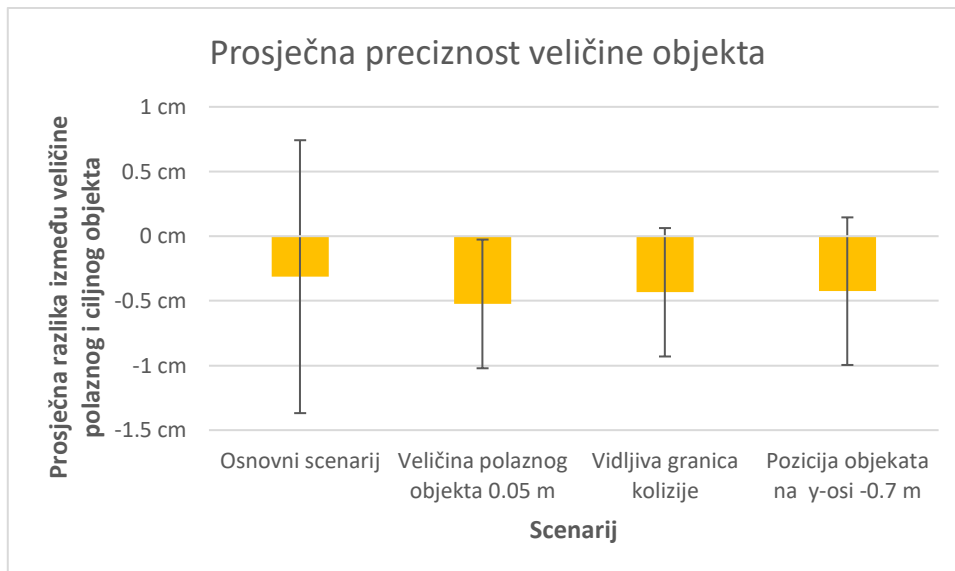
Sljedeća metrika koja se pratila bila je preciznost, odnosno razlika u poziciji polaznog i ciljnog objekta nakon riješenog zadatka. Najveća razlika u poziciji osnovnog i ciljnog objekta bila je u osnovnom scenariju, u prosjeku 1.51 centimetar. Slične su razlike u pozicijama imali scenarij u kojem je veličina polaznog objekta bila 0.05 metara, gdje razlika prosječno iznosi 1.27 centimetara, te scenarij u kojem je na polaznom objektu vidljiva granica kolizije, gdje razlika prosječno iznosi 1.24 centimetra. Najmanja razlika u pozicijama bila je u scenariju u kojem je pozicija objekata na y-osi

bila -0.7 metara, a prosječno je iznosila 1.01 centimetar. Slika 4.3.1.2 prikazuje preciznosti u poziciji polaznog objekta za scenu *Scale and Rotate*.



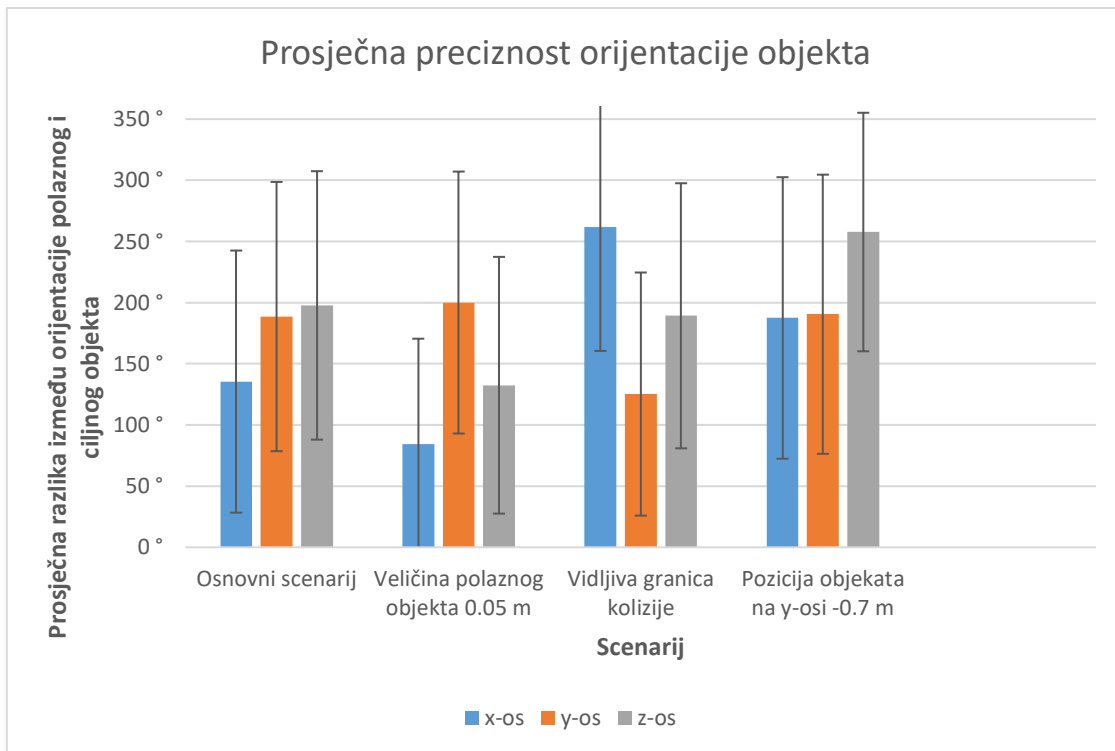
Slika 4.3.1.2 Prosječna preciznost pozicije polaznog objekta

Kod mjerenja razlike u veličini polaznog i ciljnog objekta pozitivna vrijednost razlike označava da je polazni objekt veći od ciljnog objekta, dok negativna vrijednost označava da je polazni objekt manji od ciljnog objekta. Najveća razlika u veličini polaznog i ciljnog objekta bila je u scenariju u kojem je veličina polaznog objekta iznosila 0.05 metara, a ta razlika je prosječno iznosila -0.53 centimetra. Malo manja razlika veličine polaznog i ciljnog objekta bila je u scenariju u kojem je polaznom objektu bila vidljiva granica kolizije te u scenariju u kojem je pozicija objekata na y-osi bila -0.7 metara – u oba slučaja prosječno -0.43 centimetra. Najmanja je razlika u veličinama bila u osnovnom scenariju, a u prosjeku je iznosila -0.31 centimetar. Slika 4.3.1.3 prikazuje preciznosti u poziciji polaznog objekta za scenu *Scale and Rotate*.



Slika 4.3.1.3 Prosječna preciznost veličine polaznog objekta

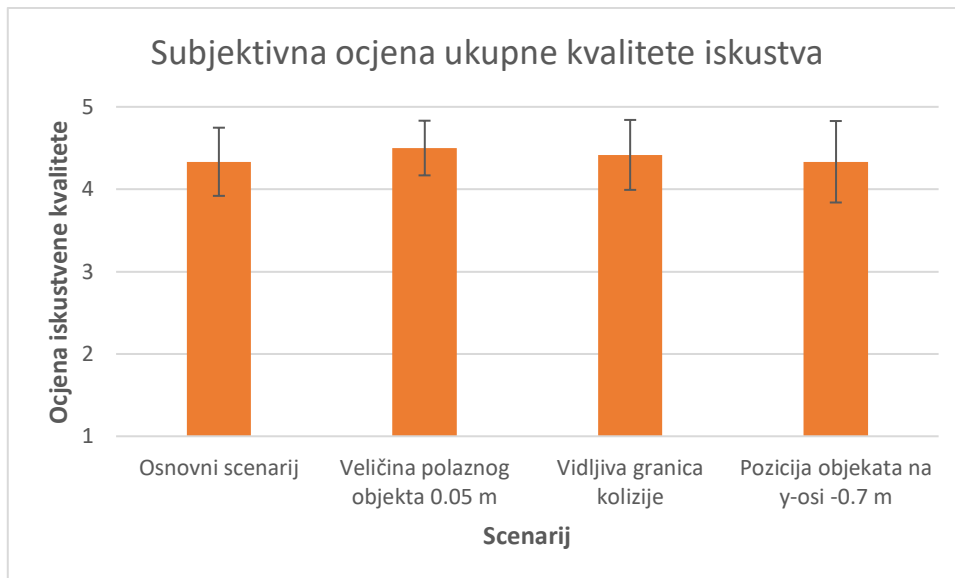
Mjerenjem razlike u orijentaciji polaznog i ciljnog objekta mjerila se razlika u kutovima po svakoj od koordinatnih osi (x, y i z). Najveće razlike u orijentaciji pokazao je scenarij u kojem je pozicija objekata na y-osi bila -0.7 metara – prosječno 187.45° za x-os, 190.5° za y-os te 257.69° za z-os. Scenarij u kojem je bila vidljiva granica kolizije na polaznom objektu ima prosječne vrijednosti 261.72° za x-os, 125.36° za y-os te 189.23° za z-os. Za osnovni scenarij prosječne su vrijednosti razlika u orijentaciji za x-os 135.42°, za y-os 188.59° te za z-os 197.72°. Najmanje razlike u orijentaciji polaznog i ciljnog objekta prosječno su pokazane u scenariju u kojem je veličina polaznog objekta 0.05 metara – 84.13° za x-os, 200.06° za y-os te 132.47° za z-os. Slika 4.3.1.4 prikazuje preciznosti u orijentaciji polaznog objekta za scenu *Scale and Rotate*.



Slika 4.3.1.4 Prosječna preciznost orijentacije polaznog objekta

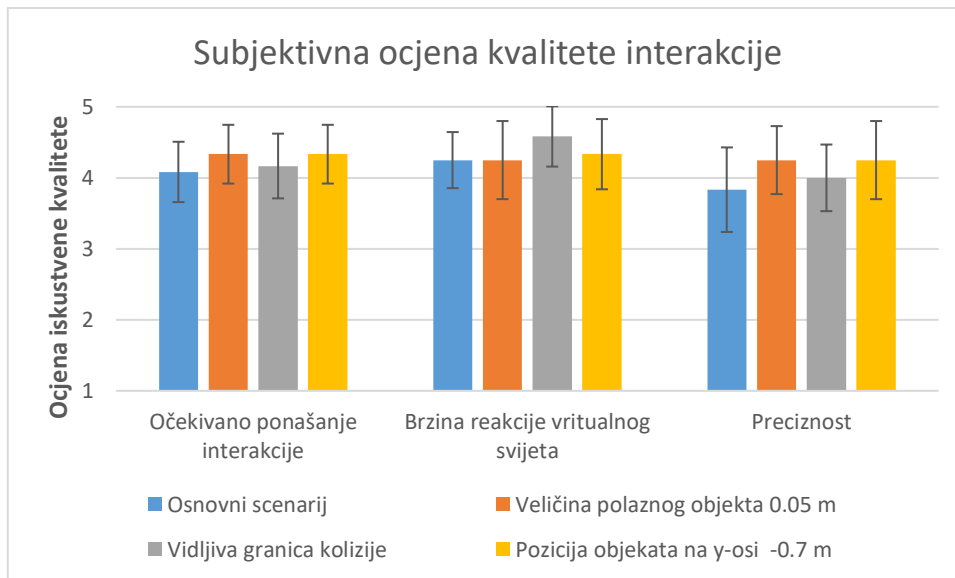
4.3.2. Subjektivne metrike

Nakon svakog scenarija korisnici su ispunjavali upitnik o subjektivnom doživljaju odrađenog scenarija scene *Scale and Rotate*. Prvo pitanje odnosilo se na ukupnu kvalitetu korisničkog iskustva pri odrađivanju zadatka u danom scenariju, a odgovarali su ocjenama od 1 do 5, gdje je 5 predstavljalo „Odlično“, a 1 „Loše“. Slična je ljestvica bila i za ostala pitanja u upitniku. Za prosječnu ocjenu ukupne kvalitete iskustva scenariji su imali slične prosječne ocjene. Najvišu prosječnu ocjenu imao je scenarij u kojem je veličina polaznog objekta bila 0.05 metara, a iznosila je 4.5 od 5. Scenarij u kojem je vidljiva granica kolizije ima prosječnu ocjenu 4.42 od 5. Osnovni scenarij i scenarij u kojemu je pozicija objekata na y-osi bila -0.7 metara imali su prosječne ocjene 4.33 od 5. Slika 4.3.2.1 prikazuje ocjene ukupne iskustvene kvalitete prema scenarijima scene *Scale and Rotate*.



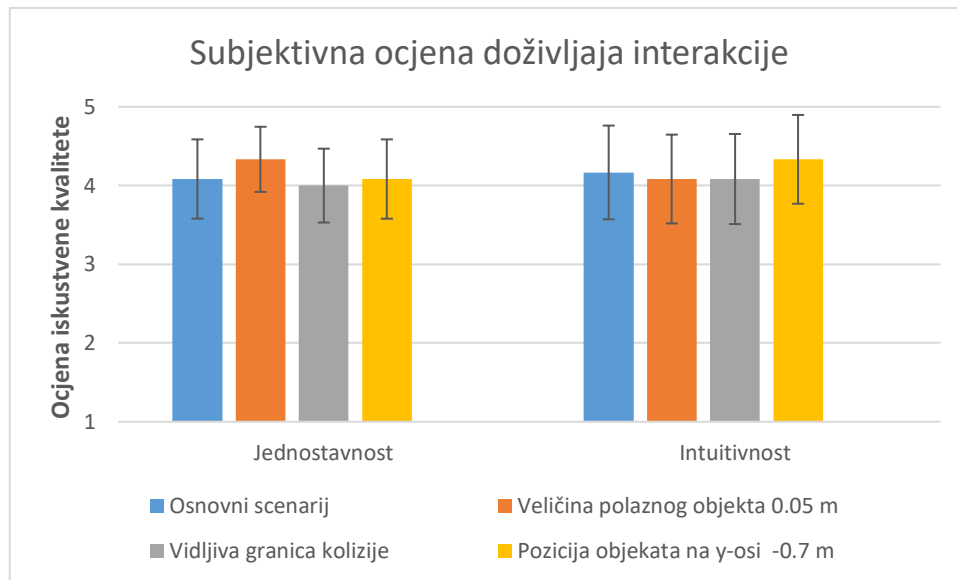
Slika 4.3.2.1 Subjektivna ocjena ukupne kvalitete iskustva (u rasponu od 1: „Loše“ do 5: „Odlično“)

Sljedeći skup pitanja odnosi se na subjektivnu ocjenu kvalitete interakcije scene *Scale and Rotate*, a pripadajuće prosječne ocjene korisnika vidljive su na slici 4.3.2.2. Za očekivano ponašanje interakcija tijekom scenarija najvišu ocjenu dobili su scenarij u kojem je veličina polaznog objekta bila 0.05 metara te scenarij u kojem je pozicija objekata na y-osi bila -0.7 metara, a ocjena je prosječno 4.33 od 5, gdje 5 predstavlja iznimno očekivano ponašanje interakcije. Scenarij u kojem je vidljiva granica kolizije na polaznom objektu dobio je prosječnu ocjenu 4.17 od 5. U osnovnom scenariju ispitanici su za očekivano ponašanje interakcija dodijelili prosječnu ocjenu 4.08 od 5. Gledajući brzinu reakcije virtualnog svijeta na korisnikove akcije, najvišu prosječnu ocjenu ima scenarij u kojem je vidljiva granica kolizije a ona iznosi 4.58 od 5, gdje je 5 vrlo brza reakcija virtualnog svijeta. Scenarij u kojem je pozicija objekata na y-osi -0.7 metara za isto je svojstvo dobio prosječnu ocjenu 4.33 od 5. Malo nižu prosječnu ocjenu za brzinu reakcije dobili su osnovni scenarij te scenarij u kojem je veličina polaznog objekta 0.05 metara, a ocjena iznosi 4.25 od 5. Što se tiče doživljaja preciznosti interakcija za pojedini scenarij, najveća prosječna ocjena za očekivanu preciznost pripala je scenariju u kojem je veličina polaznog objekta 0.05 metara te scenariju u kojem je pozicija objekata na y-os -0.7 metara, a ona iznosi 4.25 od 5, gdje 5 predstavlja iznimno precizno obavljanje interakcija. Scenarij u kojem je vidljiva granica kolizije dobio je prosječnu ocjenu 4 od 5. Najnižu ocjenu za doživljaj preciznosti dobio je osnovni scenarij s prosjekom 3.83 od 5.



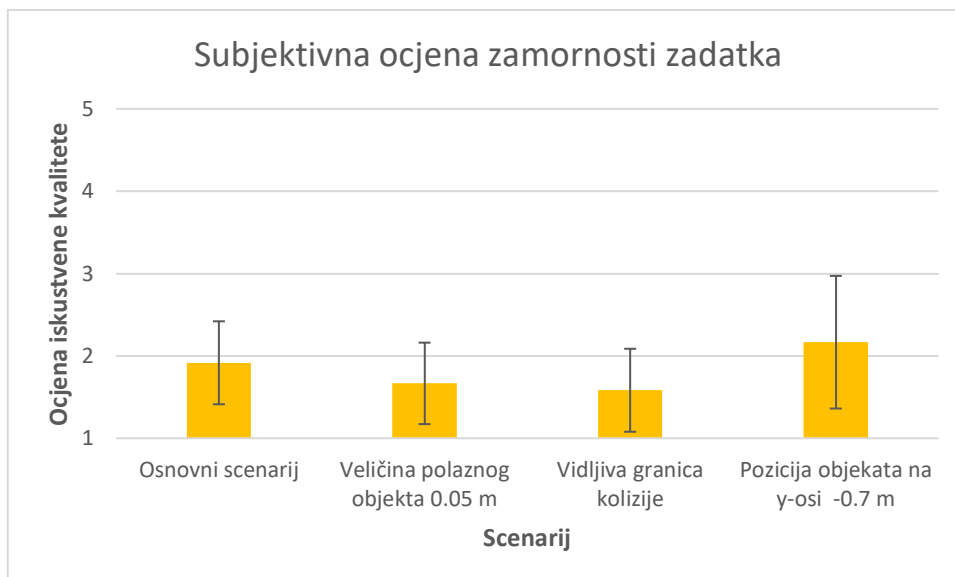
Slika 4.3.2.2 Subjektivna ocjena (u rasponu od 1: „Nimalo“ do 5: „Iznimno“) očekivanog ponašanja, očekivane preciznosti te brzine reakcije virtualnog svijeta (u rasponu od 1: „Vrlo sporo“ do 5: „Vrlo brzo“)

Ispitanici su također morali odgovoriti na pitanja o doživljaju interakcije u sceni. Za pitanje jednostavnosti interakcije, najveću prosječnu ocjenu ima scenarij u kojem je veličina polaznog objekta 0.05, a ocjena iznosi 4.33 od 5, gdje 5 predstavlja iznimno jednostavnu interakciju. Nešto niže ocjene imaju osnovni scenarij i scenarij u kojem nema interaktivnosti gumba, s prosječnom ocjenom 4.33 od 5. Scenarij s vidljivom granicom kolizije na polaznom objektu ima prosječnu ocjenu 4 od 5. Mjera intuitivnosti i prirodnosti interakcije dobila je najveću ocjenu u scenariju u kojem je pozicija objekata na y osi postavljena na -0.7 metara, a iznosi 4.33 od 5, gdje je 5 iznimno intuitivna interakcija. Neznatno nižu prosječnu ocjenu, 4.08 od 5, dobio je scenarij u kojem je veličina polaznog objekta 0.05 metara i scenarij u kojem je na polaznom objektu vidljiva granica kolizije. Osnovnom su scenariju za intuitivnost korisnici dodijelili prosječnu ocjenu 4.16 od 5. Slika 4.3.2.3 prikazuje prosječne ocjene za doživljaj interakcije scenarije scene *Scale and Rotate*.



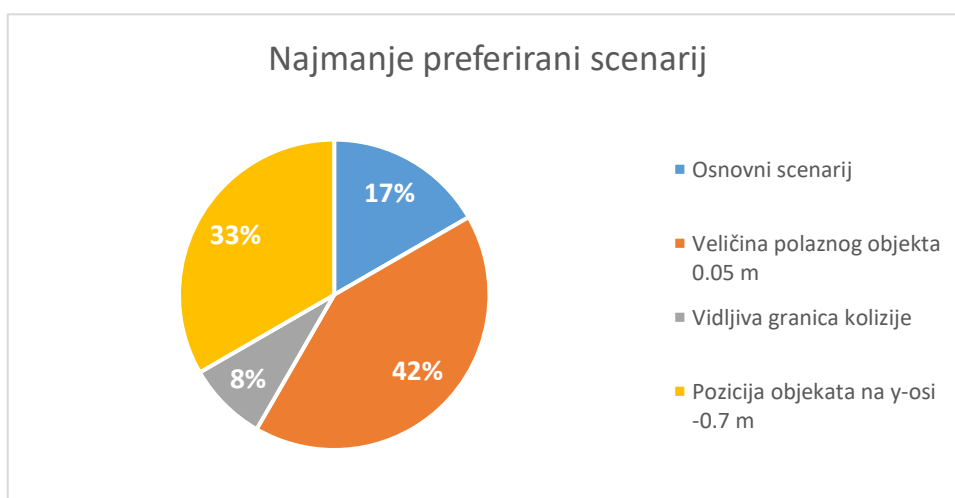
Slika 4.3.2.3 Subjektivna ocjena jednostavnosti i intuitivnosti interakcije (u rasponu od 1: „Nimalo“ do 5: „Iznimno“)

Za prosječnu ocjenu koliko je zadatak bio umarajuć ispitanici su odgovarali u rasponu od 1 do 5, gdje je 1 predstavljao nimalo umarajuć zadatak, a 5 iznimno umarajuć zadatak. Najnižu prosječnu ocjenu za navedeno svojstvo dobio je scenarij u kojem su na polaznom objektu vidljive granice kolizije, a ocjena iznosi 1.58 od 5. Scenarij u kojem je veličina polaznog objekta 0.05 metara dobio je prosječnu ocjenu 1.67 od 5. Za osnovni scenarij prosječna je ocjena 1.92 od 5. Najvišu prosječnu ocjenu dobio je scenarij u kojem je pozicija objekata na y-osi -0.7 metara, a ocjena iznosi 2.17 od 5. Slika 4.3.2.4 prikazuje ocjene zamornosti po scenarijima scene *Scale and Rotate*.

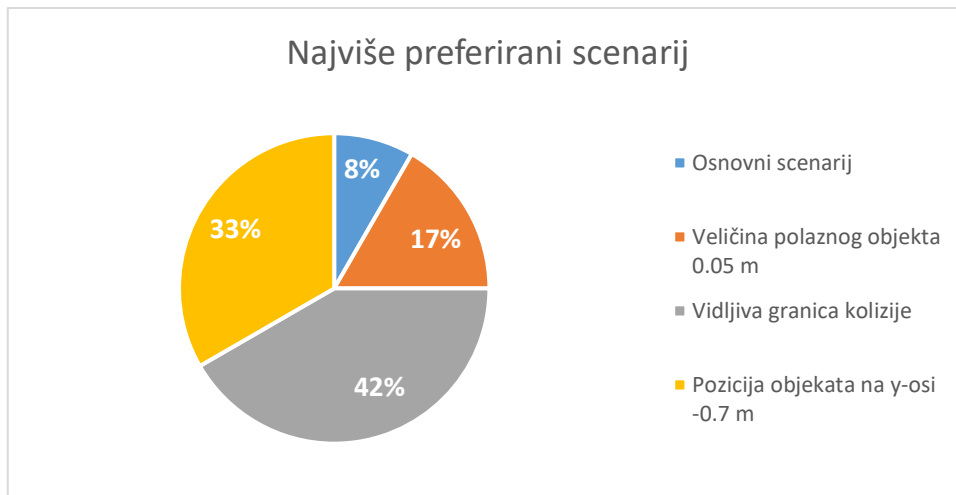


Slika 4.3.2.4 Subjektivna ocjena zamornosti zadatka (u rasponu od 1: „Nimalo“ do 5: „Iznimno“)

Za osnovni scenarij 10 od 12 osoba se izjasnilo da bi nastavilo koristiti scenarij u ovakvim uvjetima. U svim ostalim scenarijima 11 od 12 ispitanika izjasnilo se da bi nastavili koristiti isti scenarij. Što se tiče odabira najmanje preferiranog scenarija, 42% ispitanika izjasnilo se da im je najmanje preferirani scenarij onaj kojem je veličina polaznog objekta 0.05 metara (slika 4.3.2.5). Kao najviše preferirani scenarij 42% ispitanika odabralo je scenarij u kojem su vidljive granice kolizije (slika 4.3.2.6).



Slika 4.3.2.5 Prikaz odabira najmanje preferiranog *Scale and Rotate* scenarija



Slika 4.3.2.6 Prikaz odabira najmanje preferiranog *Scale and Rotate* scenarija

4.3.3. Analiza rezultata

Prosječno vrijeme rješavanja zadatka izmjerena je objektivna metrika za koju su vrijednosti u svim scenarijima slične, no najveću vrijednost imao je scenarij u kojem je veličina objekta smanjena na 0.05 metara. Iz grafa sa slike 4.3.2.1 vidljivo je najveće odstupanje u razlici veličina polaznog i ciljnog objekta u istome scenariju, a najmanje odstupanje imao je osnovni scenarij, dok su odstupanja za preostala dva scenarija bila približno jednaka. U prosjeku su ispitanici postavljali veličinu polaznog objekta tako ona ne prelazi veličinu ciljnog objekta te su zbog toga sve vrijednosti na spomenutom grafu negativne. S druge strane, kada se gleda preciznost u poziciji polaznog i ciljnog objekta osnovni je scenarij imao najveća odstupanja, dok su ostala bila sličnih vrijednosti. Što se tiče orijentacije objekta, pokazalo se kako je ispitanicima najteže bilo orijentirati objekte koji su u prostoru bili postavljeni 0.5 metara niže nego u ostalim scenarijima kada su im objekti bili postavljeni otprilike u razini očiju.

Subjektivna svojstva uglavnom nisu pokazala prevelika odstupanja pojedinog scenarija. Sve ocjene ukupne kvalitete iskustva imale su podjednak prosjek po scenarijima. Isto vrijedi i za očekivano ponašanje interakcije, brzinu reakcije virtualnog svijeta i očekivanu preciznost prilikom interakcije te jednostavnost i intuitivnost interakcije u kojima nema značajnih odstupanja u prosječnim ocjenama. Ocjene su uglavnom bile oko vrijednosti 4 od 5. Kod procjene zamornosti zadatka vidljivo je iz grafa sa slike 4.3.2.1 da niža pozicija objekata (-0.7 metara) povećava zamornost zadatka. To se može povezati s podacima preciznosti orijentacije, da je ispitanicima

bilo više naporno rotirati objekt koji se nalazi niže u prostoru nego u ostalim scenarijima.

Kada se gleda sveukupnost usporedbe viđenih scenarija, svaki bi scenarij 90% ispitanika ili više nastavilo koristiti u danim uvjetima. Kao najbolji scenarij, njih 42% izdvojilo je scenarij s vidljivim granicama kolizije, vjerojatno zbog toga što su u tom slučaju uz pomoć granica kolizije mogli rotirati i mijenjati veličinu na više načina nego na ostalim scenarijima. Od danih scenarija najviše im je smetalo kada je polazni objekt bio manji nego u drugim scenarijima, te su taj scenarij također u 42% ispitanici označili kao najmanje preferiran od viđenih scenarija.

Pokazalo se kako je ispitanicima u interakcijskoj mehanici manipulacije objektom, odnosno mijenjanja veličine i rotacije uglavnom bilo u redu koristiti sve navedene scenarije. Više im se sviđjelo kada se vide granice kolizije, a manje kada je polazni objekt veličinom manji što se osim u subjektivnoj preferenciji vidjelo i u nekim objektivnim metrikama. Također im je više naporno kada su objekti kojima moraju manipulirati nalaze niže, a ne u razini očiju.

5. Moguća proširenja

U kontekstu implementirane aplikacije MRInteract, moguća su proširenja dodatnim interakcijskim mehanikama. Bilo bi dobro da dodatne interakcije obuhvaćaju nove zadatke i modalitete, kao što su interakcije pogledom ili interakcije glasovnim naredbama. Mogle bi se uvesti i interakcije koje su kombinacija više modaliteta, primjerice pogled i geste rukama, te usporediti jesu li bolje u odnosu na interakcije koje koriste samo jedan modalitet.

Trenutnim interakcijskim mehanikama moguće je dodati još više parametara koji se mogu podešavati prije korištenja svake interakcije. MRTK 2 paket nudi velik broj opcija kojima se može modelirati pojedina interakcija. Za interakcije rukama korisno je vidjeti kako će korisnik reagirati ako su njegove ruke prekrivene virtualnim rukama, ili ako mu iz ruku opcionalno ide virtualna zraka pomoću koje može udaljeno odabrati objekt. Također, potencijalno proširenje bila bi usporedba korištenja manipulacijskih gesti s objema rukama i samo s jednom rukom.

Zbog trenutnog ograničenja tehnologije, nije moguće ostvariti taktilne interakcije i haptičke podražaje, no one bi svakako bile zanimljive za isprobati. Potencijalna zamjena za taktilnim interakcijama je ostavljanje stvarnih objekata kao ciljnih objekata preko kojih bi se mogli aktivirati pripadajući virtualni objekti te bi se virtualni i stvarni objekt zajedno sinkronizirali u stvarnome vremenu. Također, korištenje specijaliziranih rukavica ili kontrolera za osjet haptičkih podražaja omogućilo bi implementaciju taktilne interakcijske mehanike.

Aplikacija bi se mogla proširiti s većim skupom objekata kojima bi se moglo manipulirati, ovisno o interakcijskoj mehanici. Osim klasičnih geometrijskih tijela, u scene bi se mogli postaviti razni trodimenzionalni objekti koji mogu, ali i ne moraju postojati i u stvarnome svijetu. Ako se žele uvesti realistični objekti, moguće je ocijeniti koliko dobro u interakciji ti virtualni objekti zamjenjuju stvarne objekte. Također, moguća je i usporedba interakcije s realističnim i nerealističnim objektima u MR okruženju.

Zaključak

Spajanjem virtualnog i fizičkog svijeta u stvarnom vremenu interakcijske mehanike u MR-u nude veliki potencijal za stvaranje intuitivnih imerzivnih korisničkih iskustava. Proizvođači i korisnici to prepoznaju - sve je više MR uređaja koji se plasiraju na tržište, a i potražnje od strane krajnjih korisnika ne nedostaje. Uz konstantan rast MR industrije ali i novost MR tehnologije, dolazi do problema nedostatka ispitivanja kvalitete interakcijskih mehanika u MR okruženju.

U sklopu ovoga rada implementirana je aplikacija *MRInteract* za testiranje MR interakcijskih mehanika. Aplikacija ima verziju za računalo koja služi za administratora koji vodi testiranje te verziju za naočale HoloLens 2 koju koristi ispitanik, odnosno krajnji korisnik. Tri su glavne interakcijske mehanike korištene u ovoj aplikaciji – interakcija odabira i translacije objekta, interakcija s korisničkim obrascem i njegovim elementima te interakcija skaliranja i rotacije objekta. Svaka od navedenih interakcija ima vlastite parametre koje administrator može podešavati prije početka korištenja, a imaju utjecaj na određenu interakcijsku mehaniku.

Nakon implementacije aplikacije provedena je korisnička studija u kojoj se promatrao utjecaj pojedinih parametara za unos na interakcijske mehanike. Prikupljene su i analizirane neke od objektivnih i subjektivnih metrika. Pokazano je kako neki parametri imaju utjecaj na kvalitetu i doživljaj određenih interakcijskih mehanika, dok za neke interakcijske mehanike nije bilo velikih razlika ni u objektivnim ni subjektivnim rezultatima. Navedeno testno okruženje i aplikacija mogu biti dobar temelj za konfiguriranje interakcijskih mehanika u MR okruženju, koji će korisnicima pružiti što bolje iskustvo korištenja.

Literatura

- [1] O'Brien, M. A., Rogers, W. A., & Fisk, A. D. (2008). Developing a framework for intuitive human-computer interaction. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 52, No. 20, pp. 1645-1649). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- [2] What is mixed reality?, URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>, pristupano: 25.5.2023.
- [3] User Experience Basics, URL: <https://www.usability.gov/what-and-why/user-experience.html>, pristupano: 19.6.2023.
- [4] Radu, I. (2016). *Exploring the usability of augmented reality interaction techniques during children's early elementary-school years* (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).
- [5] What is Mixed Reality and how do XR headsets work?, URL: <https://mixed-news.com/en/mixed-reality-xr-headset-definition-differences/>, pristupano: 19.6.2023.
- [6] Ciccarelli, M., Brunzini, A., Papetti, A., & Germani, M. (2022). Interface and interaction design principles for Mixed Reality applications: the case of operator training in wire harness activities. *Procedia Computer Science*, 204, 540-547.
- [7] Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- [8] Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Telem manipulator and telepresence technologies* (Vol. 2351, pp. 282-292). Spie.
- [9] Kolla, S. S. V. K., Sanchez, A., & Plapper, P. (2021). Comparing software frameworks of Augmented Reality solutions for manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 55, 312-318.
- [10] Järvinen, A. (2008). *Games without frontiers: Theories and methods for game studies and design*. Tampere University Press.
- [11] Vlahović, S., Sužnjević, M., & Skorin-Kapov, L. (2022). A Framework for the Classification and Evaluation of Game Mechanics for Virtual Reality Games. *Electronics*, 11(18), 2946.

- [12] Gerini, L., Solari, F., & Chessa, M. (2022). A cup of coffee in Mixed Reality: analysis of movements' smoothness from real to virtual. In *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)* (pp. 566-569). IEEE.
- [13] AR Hardware, URL: <https://www.statista.com/outlook/amo/ar-vr/ar-hardware/worldwide>, pristupano: 25.5.2023.
- [14] Hertel, J., Karaosmanoglu, S., Schmidt, S., Bräker, J., Semmann, M., & Steinicke, F. (2021). A taxonomy of interaction techniques for immersive augmented reality based on an iterative literature review. In *2021 IEEE international symposium on mixed and augmented reality (ISMAR)* (pp. 431-440). IEEE.
- [15] Kytö, M., Ens, B., Piumsomboon, T., Lee, G. A., & Billinghamurst, M. (2018). Pinpointing: Precise head-and eye-based target selection for augmented reality. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-14).
- [16] Argelaguet, F., & Andujar, C. (2013). A survey of 3D object selection techniques for virtual environments. *Computers & Graphics*, *37*(3), 121-136.
- [17] Irshad, S., & Rambli, D. R. B. A. (2014). User experience of mobile augmented reality: A review of studies. In *2014 3rd international conference on user science and engineering (i-USEr)* (pp. 125-130). IEEE.
- [18] Sun, Y., Armengol-Urpi, A., Kantareddy, S. N. R., Siegel, J., & Sarma, S. (2019, March). Magichand: Interact with iot devices in augmented reality environment. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 1738-1743). IEEE.
- [19] Papadopoulos, T., Evangelidis, K., Kaskalis, T. H., Evangelidis, G., & Sylaiou, S. (2021). Interactions in Augmented and Mixed Reality: An Overview. *Applied Sciences*, *11*(18), 8752.
- [20] Chen, J. (2007). Flow in games (and everything else). *Communications of the ACM*, *50*(4), 31-34.
- [21] LaViola Jr, J. J., Kruijff, E., McMahan, R. P., Bowman, D., & Poupyrev, I. P. (2017). *3D user interfaces: theory and practice*. Addison-Wesley Professional.

- [22] Chaconas, N., & Höllerer, T. (2018). An evaluation of bimanual gestures on the microsoft hololens. In *2018 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR)* (pp. 1-8). IEEE.
- [23] Kang, H. J., Shin, J. H., & Ponto, K. (2020). A comparative analysis of 3d user interaction: How to move virtual objects in mixed reality. In *2020 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR)* (pp. 275-284). IEEE.
- [24] Wang, Z., Wang, H., Yu, H., & Lu, F. (2021). Interaction with gaze, gesture, and speech in a flexibly configurable augmented reality system. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 51(5), 524-534.
- [25] Unity, URL: <https://unity.com/>, pristupano: 30.5.2023.
- [26] Visual Studio, URL: <https://visualstudio.microsoft.com/>, pristupano: 30.5.2023.
- [27] Mixed Reality Toolkit 2 Developer Documentation, URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk2/?view=mrtkunity-2022-05>, pristupano: 1.6.2023.
- [28] Photon Unity Networking, URL: <https://www.photonengine.com/pun>, pristupano: 9.6.2023.
- [29] About Hololens 2, URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/hololens/hololens2-hardware>, pristupano: 9.6.2023.
- [30] Google Forms, URL: <https://www.google.com/forms/about/>, pristupano: 9.6.2023.
- [31] Gao, M., & Boehm-Davis, D. A. (2022). Development of a customizable interactions questionnaire (CIQ) for evaluating interactions with objects in augmented/virtual reality. *Virtual Reality*, 1-18.
- [32] Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Vol. 52, pp. 139-183). North-Holland.

Sažetak

U ovome radu objašnjeno je korištenje interakcijskih mehanika u miješanoj stvarnosti te je dan kratak pregled podjele tih mehanika i primjeri njihovih testiranja. Implementirana je aplikacija za testiranje tri različite interakcijske mehanike – interakcija odabira i translacije objekta, interakcija s korisničkim obrascem te interakcija skaliranja i rotacije objekta. Za svaku se interakciju mogu podesiti specifični parametri koji na nju utječu. Provedena je i korisnička studija u kojoj se uz pomoć navedene aplikacije ispitivao utjecaj promjene podešavanih parametara na korisničko iskustvo. Dobiveni su podaci u obliku objektivnih i subjektivnih metrika, te su obrađeni i analizirani kako bi se iz njih navedene interakcijske mehanike mogle prilagoditi za što bolje korisničko iskustvo.

Ključne riječi: miješana stvarnost, interakcijska mehanika, HoloLens 2, MRTK2, korisničko iskustvo

Summary

This paper explains the use of interaction mechanics in mixed reality and provides a brief overview of their categorization and examples of their testing. An application was implemented to test three different interaction mechanics: object selection and translation interaction, interaction with a user form, and object scaling and rotation interaction. Specific parameters that affect each interaction can be adjusted. A user study was conducted using the mentioned application to examine the impact of changing these adjustable parameters on the user experience. Data was collected in the form of objective and subjective metrics, which were then processed and analyzed in order to adapt the mentioned interaction mechanics for an enhanced user experience.

Keywords: mixed reality, interaction mechanics, HoloLens 2, MRTK2, user experience

Dodatak

Ispitivanje interakcijske mehanike u MR okruženju

Istraživanje se provodi u sklopu diplomskog rada studentice Lucije Drozd na Fakultetu elektrotehnike i računarstva pod mentorstvom prof. dr. sc. Lee Skorin-Kapov i asistentice mag. ing. Sare Vlahović

* Označava obavezno pitanje

Demografski upitnik

1. Ime i prezime *

2. Dob *

3. Rod *

Označite samo jedan oval.

Žena

Muškarac

Ne želim se izjasniti

4. Prethodno iskustvo s tehnologijom miješane stvarnosti (engl. *Mixed Reality*, MR) *

Označite samo jedan oval.

nikada nisam koristio/la MR

isprobao/la sam MR jednom

koristio/la sam MR nekoliko puta

povremeno koristim MR, ali rjeđe od jednom mjesečno (u prosjeku)

koristim MR jednom mjesečno ili češće

5. Ako ste koristili MR, navedite u kojim područjima ste ga koristili.

Moguća područja: obrazovanje, posao, zabava, marketing, sport, turizam itd.

Interakcija 1

Ispitivanje interakcija u **Pick and Place** sceni.

Interakcija 1 - Scenarij 1/4

6. Unesite identifikator scenarija *

7. Kako biste ocijenili ukupnu kvalitetu ovoga iskustva? *

Označite samo jedan oval.

Loše

1

2

3

4

5

Odlično

8. U kojoj mjeri su odgovori virtualnog svijeta na Vaše radnje u skladu s Vašim očekivanjima? *

Označite samo jedan oval.

Nimalo

1

2

3

4

5

Iznimno

9. Kojom brzinom je virtualni svijet reagirao na Vaše akcije? *

Označite samo jedan oval.

Vrlo sporo

1

2

3

4

5

Vrlo brzo

10. Koliko precizno ste mogli obaviti interakciju sa sustavom? *

Označite samo jedan oval.

Nimalo

1

2

3

4

5

Iznimno

11. U kojoj je mjeri interakcija sa sustavom bila jednostavna za korištenje? *

Označite samo jedan oval.

Nimalo

1

2

3

4

5

Iznimno

12. U kojoj se mjeri interakcija s virtualnim objektom činila prirodnom i intuitivnom? *

Označite samo jedan oval.

Nimalo

1

2

3

4

5

Iznimno

13. U kojoj je mjeri zadatak bio umarajuć? *

Označite samo jedan oval.

Nimalo

1

2

3

4

5

Iznimno

14. Biste li nastavili koristiti sustav u ovakvim uvjetima? *

Označite samo jedan oval.

Da

Ne

Interakcija 1 - Usporedba

42. Koji scenarij u ovoj grupi najviše preferirate? *

Označite samo jedan oval.

- Scenarij 1
 Scenarij 2
 Scenarij 3
 Scenarij 4

43. Koji scenarij u ovoj grupi najmanje preferirate? *

Označite samo jedan oval.

- Scenarij 1
 Scenarij 2
 Scenarij 3
 Scenarij 4