

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti Tehnička dokumentacija

Verzija 2.0

Studentski tim:

Marin Petric
Robert Kunštek
Eugen Preglej
Branimir Tomelj
Anteo Vukasović

Nastavnica:

prof. dr. sc. Lea Skorin-Kapov

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

Sadržaj

1.	Opis razvijenog proizvoda	3
2.	Tehničke značajke	10
3.	Upute za korištenje	14
4.	Literatura	15

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

Opis razvijenog proizvoda

1.1 Uvod

Ovaj projekt je osmišljen da iskoristi potencijal virtualne i proširene stvarnosti na području komunikacije. Virtualna stvarnost (engl. *Virtual Reality*, skr. *VR*) ^[1] je skup tehnologija koje kod korisnika stvaraju osjećaj potpune uronjenosti u virtualni svijet, a proširena stvarnost (engl. *Augmented Reality*, skr. *AR*) ^[2] je skup tehnologija koji korisniku omogućuje istodobno viđenje stvarnog svijeta proširenog određenim virtualnim elementima. Primjene ove tehnologije su razne te se ona može koristiti u svrhe medicine, vojske, obrazovanja, zabave i slično. Jedna od potencijalnih primjena koja je nama zanimljiva je primjena u komunikacijske svrhe. Ove tehnologije nude nove mogućnosti komunikacije, jer sudionici osim toga što mogu čuti glas i vidjeti sliku njihovog sugovornika, mogu dijeliti i virtualni prostor u kojem se nalaze. Korisnici mogu u isto vrijeme komunicirati i djelovati na okolinu što otvara prostor za razne nove scenarije komunikacije. Te mogućnosti pustaju još šire ukoliko je virtualni prostor u kojem se korisnici nalaze modeliran prema stvarnoj prostoriji opremljenoj pametnim uređajima međusobno povezanim prema konceptima Interneta stvari (engl. *Internet of Things*, skr. *IoT*).

Zadaća ovog projekta je izrada jednog komunikacijskog scenarija koji se vodi nekim osnovnim idejama iznesenim u ovom uvodu. Konačni proizvod je razvijena aplikacija koja demonstrira taj tip komunikacije i interakcije korisnika. U ovoj tehničkoj dokumentaciji iznosi se opis proizvod, tehnički detalji implementacije te upute za korištenje. Valja napomenuti kako rezultat projekta nije aplikacija spremna za široku uporabu već samo prototipna aplikacija koja demonstrira potencijal budućnosti komunikacije i interakcije udaljenih korisnika.

1.2 O proizvodu

Ovaj studentski projekt vezan je uz projekt „XR komunikacija i interakcija kroz dinamički ažuriranog digitalnog blizanca pametnog prostora – DIGIPHY“ kojeg financira Europska Unija – NextGenerationEU (NPOO.C3.2.R3-II.04.0070). Cilj tog projekta je napraviti istraživanje o razvoju i primjenama VR i AR tehnologija u komunikacijske svrhe. Idejno, u komunikaciji sudjeluju 2 korisnika, jedan AR i jedan VR korisnik. AR korisnik se nalazi u pametnoj sobi, prostoriji opremljenoj raznim senzorima i aktuatorima. VR korisnik se nalazi na fizički udaljenoj lokaciji, ali pomoću svojeg VR uređaj se prebacuje u virtualnu sobu koja je replika pametne sobe u kojoj se nalazi AR korisnik. Virtualna soba posjeduje virtualne objekte čija se svojstva kao što su položaj u prostoru ili primjerice u slučaju elektroničkih uređaja priključenost na izvor napajanja dinamički ažuriraju i prikazuju VR korisniku na temelju njihovog stvarnog stanja u pametnoj sobi. VR korisnik može manipulirati tim virtualnim objektima, primjerice pomicati ih po virtualnoj sobi. AR korisnik naravno neće to promjene vidjeti u stvarnom svijetu, no stvoriti će mu se virtualna kopija koju će moći vidjeti na svojem AR uređaju te će se položaj te kopije mijenjati u skladu s kretnjama koje obavlja VR korisnik. Ukoliko je neki uređaj u pametnoj sobi priključen na IoT platformu, neke akcije VR korisnika će moći biti vidljive i u stvarnoj pametnoj sobi. Primjerice, VR korisnik bi mogao s udaljene lokacije paliti svjetlo u pametnoj sobi. Kao i u klasičnim oblicima komunikacije, oba korisnika se mogu međusobno čuti i glasovno komunicirati, a također mogu i vidjeti avatara svog sugovornika u prostoriji. Na ovaj način se dodatno pojačava osjećaj imerzije.

Cilj ovog projekta je na temelju postojećeg prototipa izgraditi jedan novi scenarij komunikacije. Scenarij je zamišljen kao demonstracija popravka određenih pokvarenog ili neispravnog objekta. U našem slučaju koristimo jednostavni primjer; AR korisnik je suočen s problemom pokvarene svjetiljke, a VR korisnik je stručnjak na udaljenoj lokaciji koji će mu pomoći u popravku. Stručnjak u virtualnoj sobi vidi virtualnu instancu svjetiljke koju on može uhvatiti kako bi stvorio njenu virtualnu kopiju. Na toj virtualnoj kopiji stručnjak demonstrira korisniku kako pristupiti problemu, tj. u našem slučaju kako promijeniti žarulju koja više ne radi. Kao pomoćni alat stručnjak može koristiti razvijeni sustav anotacija, konkretno linije u 3D prostoru. Stručnjak može stvarati virtualne linije kojima može istaknuti ili zaokružiti ključne dijelove procesa na koje korisnik treba paziti. Linije su naravno vidljive i korisniku pomoću njegovog AR uređaja. Jednom kada stručnjak iznese sve što bi korisniku trebalo za popravak, korisnik krene u obavljanje popravka na stvarnom primjerku svjetiljke. Kada je popravak obavljen stvarna svjetiljka proradi i svijetli. S obzirom da je svjetiljka povezana s pametnom utičnicom stručnjak također vidi da je svjetiljka proradila na njenoj virtualnoj instanci.

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

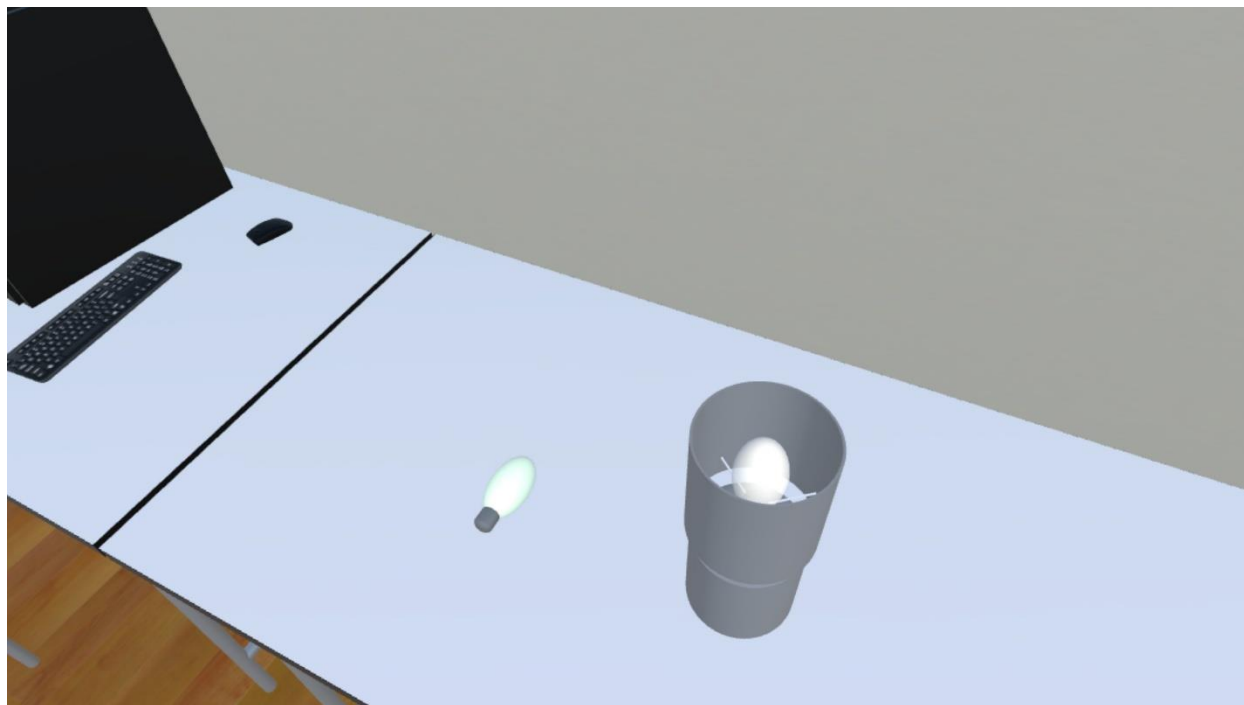
Za potrebe razvoja ovog scenarija koriste se određene komponente postojećeg prototipa razvijenog za potrebe projekta DIGIPHY. Razvijene komponente u pitanju su 3D model pametne sobe u kojoj se nalazi AR korisnik te uspostava komunikacije između 2 udaljena korisnika. Također, koriste se i slični koncepti umrežavanja i sinkronizacije položaja objekta u prostoru, u našem slučaju svjetiljke. Prema tome, razvoj ovog proizvoda može se podijeliti na 3 osnovna dijela:

- dizajn i izrada virtualne svjetiljke i njene funkcionalnosti,
- razvoj sustava anotacija te
- povezivanje pametne utičnice i virtualne svjetiljke.

1.3 Svjetiljka

Posao oko virtualnog modela svjetiljke u ovom projektu može se podijeliti iduće dijelove: izrada modela svjetiljke, stvaranje virtualne kopije svjetiljke, umrežavanje i povezivanje s pametnom utičnicom, Povezivanje s pametnom utičnicom će biti obrađeno u zasebnom potpoglavlju, dok ćemo se sada fokusirati na prva 3 od navedenih dijelova.

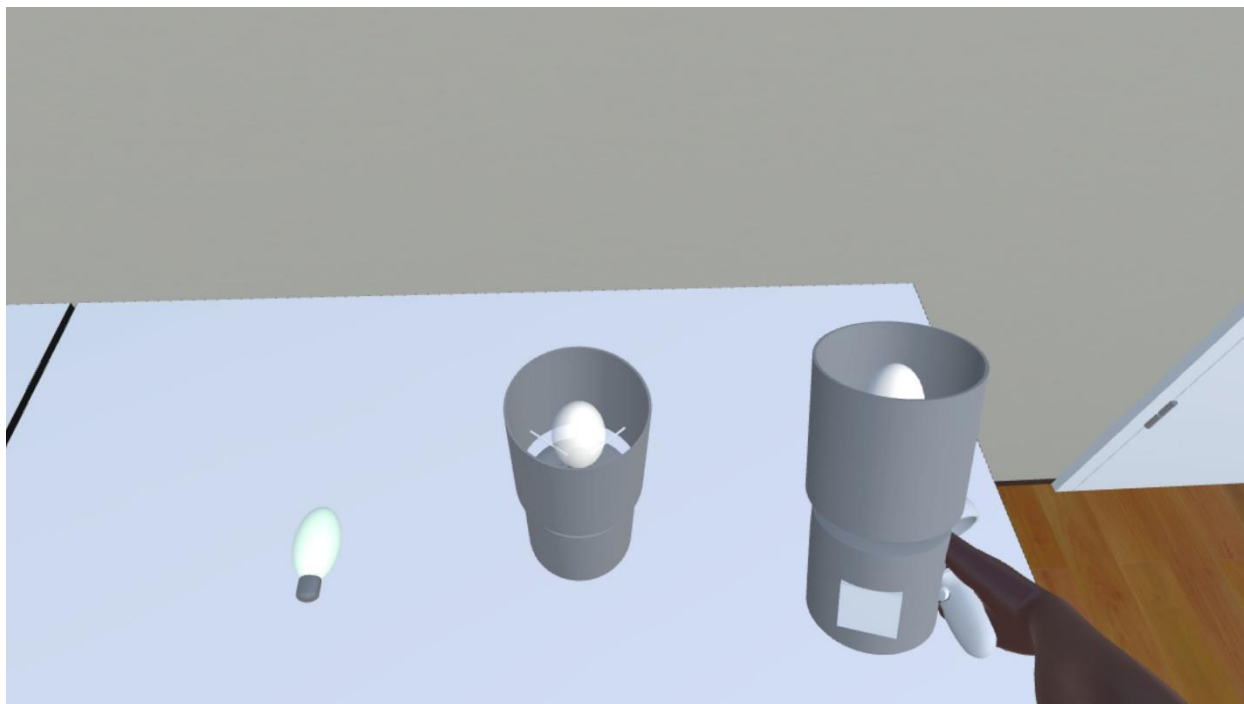
Model svjetiljke izrađen je u Blenderu, alatu za modeliranje 3D objekata. Izrađena je svjetiljka sa tipkom za paljenje i gašenje te žarulja koja se može priključiti. I svjetiljka i žarulja mogu se hvatati i pomicati u pozicioniranjem virtualnih ruku na svjetiljku (ili žarulju) te pritiskom „grip“ tipke na kontroleru VR uređaja. Primicanjem žarulje prema grlu svjetiljke žarulja se može spojiti na svjetiljku, a ukoliko je žarulja već priključena može se odspojiti pomicanjem žarulje od svjetiljke. Tipka na svjetiljki je funkcionalna te služi za paljenje i gašenje svjetiljke ukoliko je žarulja priključena. Model svjetiljke vidljiv je na slici 1.1.



Slika 1.1: Model virtualne svjetiljke i žarulja

Svjetiljka se u virtualnoj sobi nalazi na istom mjestu gdje se stvarna svjetiljka nalazi u stvarnoj sobi. VR korisnik (stručnjak) za demonstraciju procesa popravka svjetiljke koristi virtualnu kopiju svjetiljke. Kopija se stvara hvatanjem svjetiljke i njenim premještanjem. Kada je kopija stvorena njom se može manipulirati; pomicati po prostoru, rotirati te spajati i odspajati žarulju. Kopija virtualne svjetiljke vidljiva je na slici 1.2.

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025



Slika 1.2: Stvorena kopija virtualne svjetiljke

Svjetiljku je bilo potrebno umrežiti kako bi oba korisnika mogla vidjeti žarulju u svakom trenutku na jednakoj poziciji te u jednakom stanju (slika 1.3). Također, to stanje je potrebno konstantno ažurirati s obzirom na nastale promjene. Primjerice, ako VR korisnik stvori virtualnu kopiju i pomakne je sa stola na pod to mora biti reflektirano na strani AR korisnika. Umrežavanje je obavljeno pomoću Photon Fusion 2 biblioteke specijalizirane za umrežavanje projekata napravljenih u Unity-u [\[3\]](#).



Slika 1.3: Stvaranje virtualne svjetiljke u VR sceni na odgovarajućoj poziciji s obzirom na položaj fizičke svjetiljke

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

1.4 Anotacije

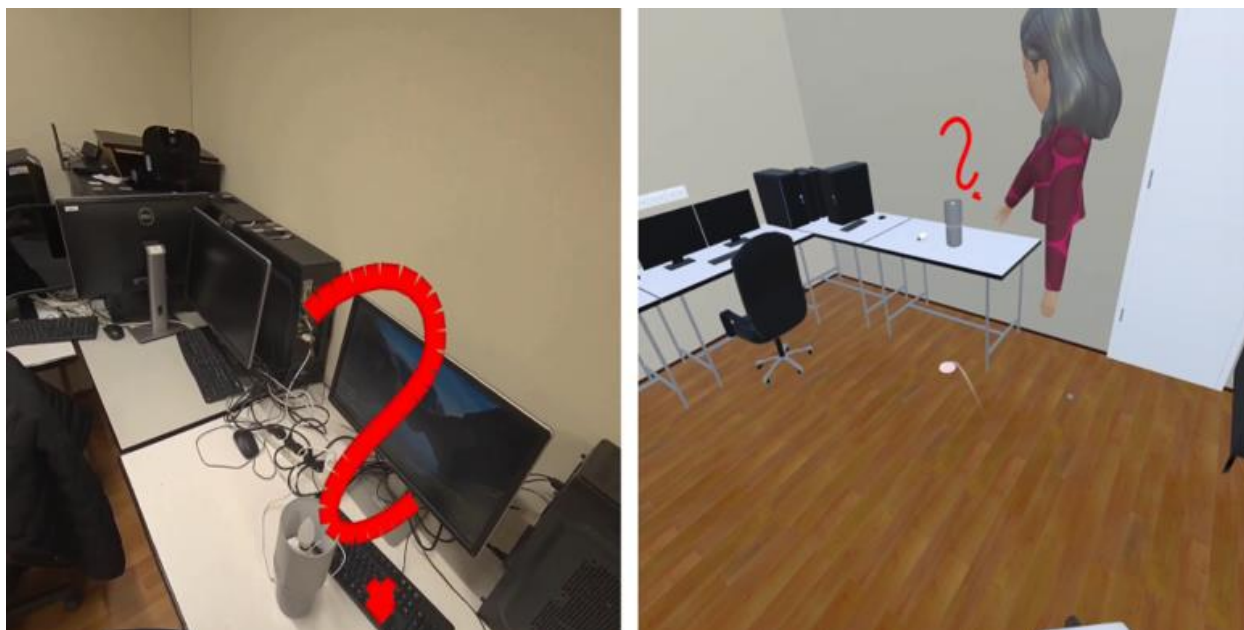
Iako AR i VR korisnik cijelo vrijeme mogu pričati jedan s drugim te AR korisnik može vidjeti na koji način njegov sugovornik rukuje s virtualnom kopijom svjetiljke, dobro je imati i neki način naglašavanja ključnih dijelova procesa popravka svjetiljke. U tu svrhu razvijen je sustav anotacija. Anotacije su u stvari trodimenzionalne linije koje VR korisnik povlači u prostoru. Linije se iscrtavaju kada korisnik drži „trigger“ tipku pritisnutu na desnom kontroleru svog uređaja, a iscrtavaju se tamo gdje korisnik prolazi sa svojim kontrolerom. Osim iscrtavanja, korisnik može brisati kreirane linije. Brisanje se obavlja pritiskom na tipku B desnog kontrolera VR uređaja. Linije se iscrtavaju korištenjem *LineRenderer* klase u Unity-u. Primjer anotacije vidljiv je na slici 1.4.



Slika 1.4: Primjer anotacija

Kao i svjetiljka, linije anotacije su umrežene s obzirom da je potrebno da ih vide i AR korisnik i VR korisnik. Oba korisnika mogu vidjeti anotacije kako se crtaju, ali i kad se djelomično obrišu. Umrežavanje je slično kao i umrežavanje svjetiljke obavljeno pomoću Photon Fusion 2 biblioteke. Primjer umrežavanja i sinkronizacije anotacija vidljiv je na slici 1.5.

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025



Slika 1.5: Primjer sinkroniziranih anotacija

1.5 Pametna utičnica

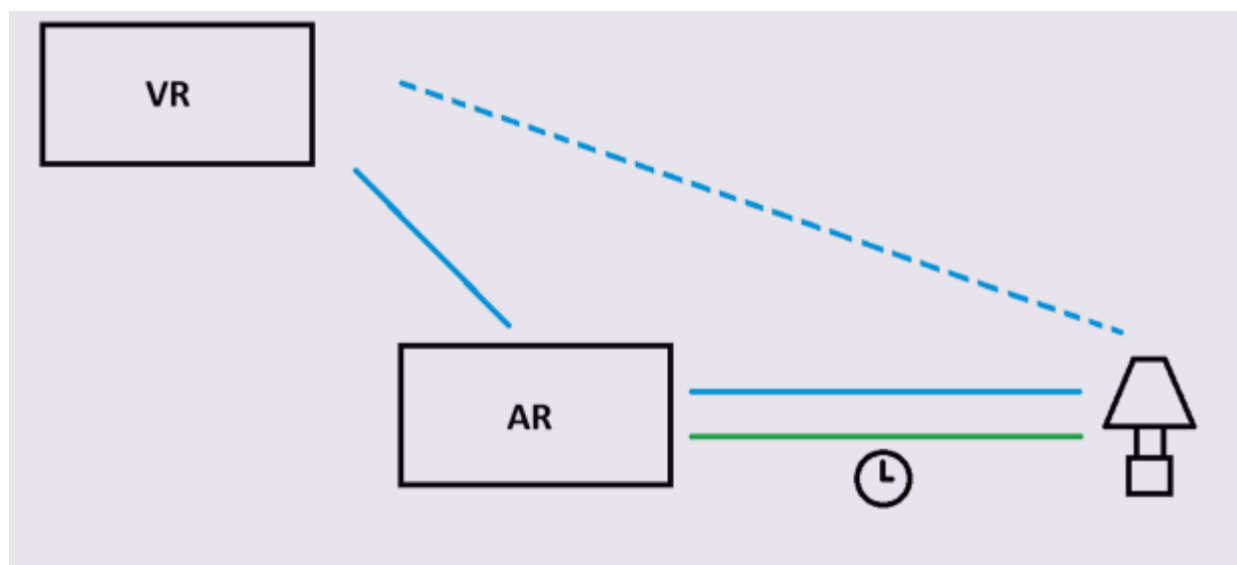
Pametna utičnica korištena u ovom projektu jest *Delock WLAN Power Socket Switch*^[4]. Pametna utičnica je vidljiva na slici 1.6. Korištenje pametne utičnice omogućava slanje informacija o stanju fizičke svjetiljke u stvarnoj sobi VR korisniku. U našem slučaju koristimo detektiranje protjecanja električne struje kao indikator rada svjetiljke. Kada je svjetiljka uključena u struju i žarulja prosvijetli šalje se signal AR korisniku te se na virtualnoj instanci svjetiljke pali svjetlo. S obzirom na umreženost svjetiljke VR korisnik također vidi da se virtualna instanca svjetiljke upalila..



Slika 1.6: Pametna utičnica korištena u izradi projekta, preuzeto s ^[4]

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

Komunikacija pametne utičnice i VR korisnika se odvija se u dva dijela, a ilustrirana je na slici 1.7. Budući da se pametna utičnica nalazi u pametnoj prostoriji, spojena je na istu lokalnu mrežu kao i Meta Quest 3 uređaj kojeg koristi AR korisnik. Zelena linija na slici 1.7 prikazuje periodičnu komunikaciju između originalne virtualne svjetiljke i pametne utičnice na koju je fizička svjetiljka spojena. Na taj način AR korisnik dobiva informaciju o uključenosti fizičke svjetiljke. Kako bi se ta informacija propagirala do virtualne svjetiljke, VR korisnik periodično šalje HTTP upite pametnoj utičnici. Kada utičnica detektira promjenu napona koji prolazi kroz nju, u idućem HTTP odgovoru šalje svoj novi status i tada se pali originalna virtualna svjetiljka. Budući da se VR korisnik nalazi u udaljenoj prostoriji, a fizička svjetiljka nije spojena na IoT platformu, za komunikaciju VR korisnika i pametne utičnici se koristi AR kao posrednik. AR korisnik prima informacije pametne utičnice o uključenosti te ih isporučuje VR korisniku. Isto vrijedi i u suprotnom smjeru; kada VR korisnik poželi promijeniti stanje uključenosti stvarne svjetiljke on pritisne prekidač na virtualnoj kopiji svjetiljke. Ta informacija se šalje AR korisniku koji pametnoj utičnici javlja kako je potrebno prekinuti dotok električne struje pravoj svjetiljci. Isprekidana plava linija na slici 1.7 prikazuje asocijaciju kopije virtualne svjetiljke u VR sceni i pametne utičnice, a pune plave linije prikazuju stvarni smjer komunikacije – virtualna kopija svjetiljke u VR sceni povezana je s virtualnom kopijom u AR sceni, a ona je preko lokalne mreže povezana s pametnom utičnicom. Na slici 1.8 vidljiv je rezultat ove komunikacije, sinkronizirano stanje uključenosti virtualne i stvarne svjetiljke.



Slika 1.7: Prikaz komunikacije pametne utičnice s AR i VR korisnicima

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025



Slika 1.8: Sinkronizacija stanja uključenosti virtualne i stvarne svjetiljke

Ovakvo rješenje ograničava stvarnu primjenu proizvoda van same demonstracije. Kako bi proizvod dobio širu primjenu u industriji, potrebno je spajanje na neku IoT platformu koja bi omogućila komunikacije pametne utičnice i AR korisnika neovisno o mreži na koju su spojeni, međutim zbog ograničenja pametne utičnice korištene u ovom projektu i otežanog pristupa IoT platformi u našem projektu to nije realizirano.

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

2. Tehničke značajke

Program je razvijen koristeći programski alat za razvoj igara Unity Engine u sklopu kojeg se koristi programski jezik C# za pisanje skripti, odnosno programsku implementaciju pojedinih značajki razvijene aplikacije. Za implementaciju funkcionalnosti virtualne i proširene stvarnosti korištene su OpenXR i Meta OpenXR biblioteke. Također, za lakšu kolaboraciju sudionika i bolju kontrolu programskog koda korišten je sustav git te servis GitHub.

2.1 Korišteni alati

2.1.1 Unity Engine

Unity Engine^[5] programski je alat za razvoj igara koji se, osim za videoigre, koristi i za razvoj interaktivnih aplikacija u stvarnom vremenu. Neke od funkcionalnosti koje omogućuje, a bitne su za ovaj program, uključuju kreiranje vlastite virtualne okoline i objekata, umrežavanje te implementacija željenih funkcionalnosti za virtualnu i proširenu stvarnost korištenjem odgovarajućih radnih okvira.

2.1.2 OpenXR

OpenXR^[6] dodatak je Unity Engine-u koji pruža univerzalno aplikacijsko programibilno sučelje (engl. *Application Programming Interface*, skr. *API*) za razvoj aplikacija u virtualnoj i proširenoj stvarnosti na velikom broju AR/VR uređaja, a njegov standard održava Khronos grupa.

2.1.3 Meta OpenXR

Meta OpenXR^[7] također je dodatak Unity Engine-u za razvoj AR i VR aplikacija, ali s fokusom na specijalizaciju aplikacija za Meta Quest uređaje. Meta OpenXR implementira OpenXR standard, ali i pruža značajke koje su specifične za Meta uređaje.

2.1.4 Visual Studio

Visual Studio^[8] je integrirano razvojno okruženje (engl. *Integrated Development Environment*, skr. *IDE*) koje se koristi za razvoj softvera. Podržava velik broj programskih jezika, a koristi se kao industrijski standard za programiranje Unity skripti. Također, nudi i mogućnost izgradnje AR i VR aplikacija za razne uređaje i platforme.

2.1.5 Git i Github

Git^[9] distribuirani je sistem za kontrolu verzija programskog koda prikladan za aplikacije koje razvija više ljudi istovremeno. GitHub^[10] je platforma koja koristi Git kako bi programerima omogućila pohranjivanje, upravljanje i dijeljenje programskog koda i povezanih datoteka.

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

2.2 Skripte

U Unity Engine-u, skripte korisniku pružaju personaliziranu implementaciju ponašanja objekata (engl. *Game Object*) u sceni korištenjem programskog jezika C#. Većina skripti nasljeđuje klasu *MonoBehaviour* koja definira ponašanje objekta pri pokretanju aplikacije ili scene (pozivom funkcije *Start*) te ponašanje objekta tijekom izvođenja scene (uzastopnim pozivima funkcije *Update*).

2.2.1 Annotation Generator

Ova je skripta pridružena *Camera Rig* objektu u scenama oba korisnika te im omogućuje kreiranje i brisanje virtualnih linija u prostoru (slika 2.1). Kreiranje linija provodi se na sljedeći način: u svakom se okviru prati pozicija ruke te trenutno odabrana opcija: crtanje, brisanje ili nijedna. Pritiskom na gumb za crtanje stvara se novi objekt tipa *NetworkedLine*. U svakom idućem okviru u kojem se drži gumb za crtanje i ruka se nalazi van granice udaljenosti od njene prethodne pozicije, smatra se da korisnik produljuje već postojeću liniju te se točka koja predstavlja trenutnu poziciju ruke spaja s prethodnom. Ako korisnik otpusti i ponovo pritisne gumb za crtanje, tada se stvara novi *NetworkedLine* objekt koji nije spojen s prethodnim. U slučaju kada korisnik pritisne i drži gumb za brisanje, tada se prelaskom ruke preko neke od već postojećih točaka briše cijela linija kojoj ta točka pripada.



Slika 2.1: Primjer anotacije

2.2.2 Networked Line

Ova je skripta zadužena za stvaranje istoimenih objekata - linija određenih vektorom točaka stvorenim pomoću skripte *Annotation Generator*. Svaki *Networked Line* objekt sastoji se od umreženog vektora pozicija koje predstavljaju pozicije u kojima je korisnik držao gumb za crtanje. Umreženost vektora omogućuje da se linija koju je stvorio AR korisnik na istom mjestu prikazuje VR korisniku i obratno.

2.2.3 Status Response

Ova se skripta koristi pri komunikaciji aplikacije s pametnom utičnicom na koju je spojena fizička svjetiljka. Sadrži unutarnju klasu *StatusSNS* koja se sastoji od klase *ENERGY*. Različite vrijednosti klase *ENERGY* predstavljaju različite parametre žarulje koji se dohvaćaju zahtjevom na URL koji predstavlja pristupnu točku pametnoj utičnici.

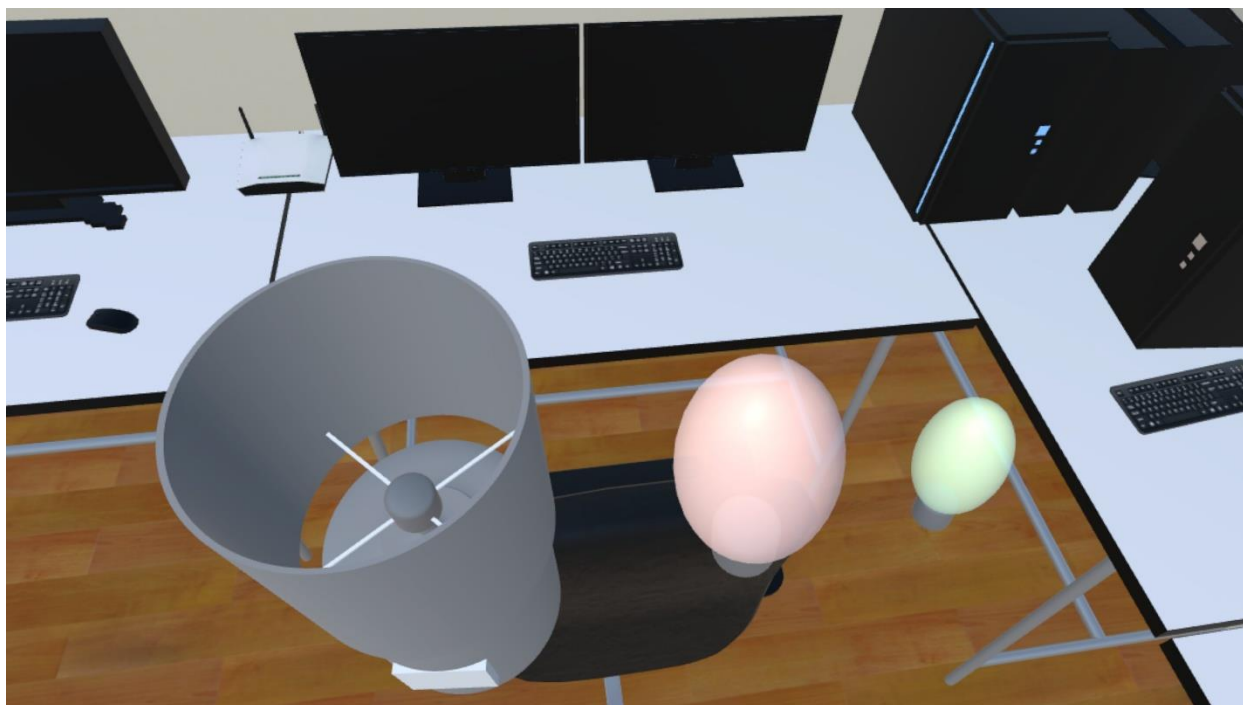
Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

2.2.4 Switch Control

Ova je skripta pridružena je *Prefabu* svjetiljke te je zadužena za komunikaciju između virtualne svjetiljke i pametne utičnice. Skripta svake dvije sekunde provjerava status utičnice spojene na istu mrežu kao i AR uređaj slanjem upita na njenu web adresu te sprema odgovor u klasu *ENERGY*. Dobivene rezultate uspoređuje s prethodnim stanjem utičnice te ako je došlo do promjene, mijenja vizualni prikaz objekta *Lamp Networked* kako bi se promjena propagirala do VR i AR korisnika.

2.2.5 Lamp Networked

Ova je skripta također pridružena *Prefabu* svjetiljke te je zadužena za sve funkcionalnosti koje se tiču virtualne svjetiljke. Na početku izvođenja aplikacije, virtualna svjetiljka dostupna je samo VR korisniku. Nakon prve interakcije VR korisnika s njom, stvara se umrežena kopija virtualne svjetiljke kojom mogu manipulirati oba korisnika, a koja se sinkronizira između njihovih scena korištenjem funkcionalnosti *Fusion* biblioteke i *Object Grabbed Event Sender* skripte. Sa svjetiljke se može odvrnuti i zavrnuti žarulja koja se pali ili gasi, ovisno o tome je li žarulja ispravna, je li uključena pomoću gumba za paljenje i gašenje svjetiljke te je li svjetiljka spojena na izvor struje. U sceni postoje dvije kopije žarulje, od kojih je jedna ispravna, a jedna neispravna. Osim funkcionalnosti spajanja žarulje i gumba za uključivanje i isključivanje, ova skripta također sadrži i metode kojima *Switch Control* skripta može upravljati njenim paljenjem i gašenjem, ovisno o prethodno spomenutim parametrima koje dobiva u odgovoru od pametne utičnice. Modeli svjetiljke i žarulja vidljivi su na slici 2.2.



Slika 2.2: Modeli virtualne svjetiljke te ispravne i neispravne žarulje

2.2.6 Lamp Spawner

Ova je skripta zadužena za stvaranje virtualne kopije svjetiljke. Pridružena je objektu *Lamp Spawner* u VR sceni. Kada se VR korisniku učita scena, tada se na unaprijed određenoj lokaciji stvori virtualna kopija svjetiljke. Skripta također osigurava da je to jedina virtualna kopija svjetiljke u sceni.

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

2.2.7 PowerButton

Ova je skripta zadužena za interakciju korisnika i gumba za uključivanje, odnosno isključivanje svjetiljke (slika 2.3). Kada korisnikova ruka dođe u kontakt sa sudaračem oko gumba, tada se u *Lamp Networked* skripti poziva funkcija koja mijenja stanje upaljene svjetiljke.



Slika 2.3: Paljenje fizičke svjetiljke pritiskom na PowerButton gumb na virtualnoj svjetiljci

2.2.8 Anchor Placement

Ova je skripta pridružena objektu *Anchor Creator* koji se nalazi u sceni AR korisnika. Njena je odgovornost stvaranje objekta tipa *OVR Spatial Anchor* koji služe za kreiranje fiksnih točaka u virtualnom prostoru, a koje zadržavaju svoje pozicije s obzirom na stvarni prostor kojim je AR korisnik okružen. *Anchor* kojeg korisnik stvori sprema se lokalno na uređaj, a dalje u programu koristi se u *AR Spawner* skripti.

2.2.9 AR Spawner

Ova je skripta pridružena istoimenom objektu u sceni AR korisnika koja služi za učitavanje već postojećih *OVR Spatial Anchor* lokalno spremljenih na uređaj AR korisnika. Nakon što se učita *anchor*, na njegovu poziciju se učitavaju unaprijed određeni objekti. U primjeru AR scene, ti unaprijed određeni objekti su svjetiljka sa svim svojim dijelovima i rezervna žarulja.

2.2.10 Object Grabbed Event Sender

Ova je skripta pridružena pojedinim komponentama *prefaba* svjetiljke koje predstavljaju dijelove od kojih se svjetiljka sastoji – tijelo svjetiljke, gumb za uključivanje i isključivanje te žarulja. Skripta definira delegate koji se okidaju kada korisnik zgrabi, pomiče i ispusti svjetiljku, a služe za sinkronizaciju stanja virtualne svjetiljke u scenama AR i VR korisnika pomoću *Lamp Networked* skripte.

2.2.11 Singleton

Ova skripta služi za implementaciju *Singleton* programskog uzorka, tj. mogućnost stvaranja samo jedne instance klase koja nasljeđuje *Singleton*. Ovu skriptu nasljeđuju objekti tipa *Ar Spawner* i *Vr Room Synchronizer*.

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

3. Upute za korištenje

Za korištenje ove aplikacije potrebna su dva korisnika, svaki sa svojim Meta Quest uređajem te svjetiljka spojena na pametnu utičnicu.

3.1 AR scena

Korisnik koji na svom Meta Quest 3 uređaju ima aplikaciju s AR scenom nalazi se u fizičkoj prostoriji laboratorija za istraživanje multimedijске iskustvene kvalitete (engl. *Multimedia Quality of Experience Research Laboratory*, skr. *MUEXlab*). U prostoriji se također nalazi stvarna svjetiljka s pokvarenom žaruljom spojena na pametnu utičnicu te jedna rezervna žarulja. Meta Quest uređaj i pametna utičnica spojene su na istu lokalnu mrežu laboratorija. Prilikom učitavanja scene, korisnik se prikazuje virtualni avatar VR korisnika koji će mu demonstrirati popravak stvarne lampe na virtualnom modelu. Nakon što VR korisnik stvori virtualnu kopiju, ona se prikazuje i AR korisniku te obojica mogu upravljati njome. VR korisnik na virtualnoj kopiji demonstrira postupak popravka svjetiljke. AR korisnik zatim popravljа stvarnu svjetiljku u sobi. Nakon što se stvarna svjetiljka popravi, ona zasvijetli, a virtualna svjetiljka periodičnim upitima prema pametnoj utičnici saznaje tu informaciju te i ona zasvijetli. Nakon što su obje svjetiljke (stvarna svjetiljka i njena umrežena virtualna kopija) zasvijetlile, postupak je gotov.

3.2 VR scena

Za korisnika koji na svom Meta Quest 2 uređaju ima aplikaciju s VR scenom nije bitno gdje se nalazi. Prilikom učitavanja aplikacije, korisnika se smješta u virtualnu repliku laboratorija u kojem se nalazi AR korisnik. U njoj se pojavljuje virtualni avatar AR korisnika s kojim može komunicirati glasovno te dijeljena virtualna svjetiljka. VR korisnik hvatanjem virtualne lampe stvara umreženu kopiju kojom oba korisnika mogu manipulirati. Zadaća VR korisnika jest da manipulacijom te umrežene kopije svjetiljke simulira popravak stvarne. Nakon što virtualna svjetiljka u sceni VR korisnika zasvijetli, znamo da je stvarna svjetiljka popravljena i postupak je gotov.

Komunikacija i kolaboracija udaljenih korisnika primjenom tehnologija virtualne i proširene stvarnosti	Verzija: 2.0
Tehnička dokumentacija	Datum: 31/01/2025

Literatura

- [1] Henry E. Lowood, Britannica, 2025., *virtual reality*, URL: <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>, pristupljeno 22.1.2025.
- [2] SAP, 2024., *What is augmented reality (AR)?*, URL: <https://www.sap.com/products/scm/industry-4-0/what-is-augmented-reality.html>, pristupljeno 22.1.2025.
- [3] Photon Engine, 2025., *Photon Fusion 2*, URL <https://doc.photonengine.com/fusion/current/fusion-intro#>, pristupljeno 31.1.2025.
- [4] Delock, *Delock Products 11827 Delock WLAN Power Socket Switch MQTT with energy monitoring*, URL: <https://www.delock.com/produkt/11827/merkmale.html?f=s>, pristupljeno 22.1.2025.
- [5] Unity Engine, 2024., *Real-Time 3D Development Platform & Editor/ Unity*, URL: <https://unity.com/products/unity-engine>, pristupljeno 19.1.2025.
- [6] OpenXR, 2025., *OpenXR Overview - The Khronos Group Inc*, URL: <https://www.khronos.org/openxr/>, pristupljeno 19.1.2025
- [7] Meta OpenXR, 2024., *Unity OpenXR: Meta | Unity OpenXR Meta | 1.0.2*, URL: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.meta-openxr@1.0/manual/index.html>, pristupljeno 19.1.2025.
- [8] Visual Studio, 2025., *Visual Studio: IDE and Code Editor for Software Developers and Teams*, URL: <https://visualstudio.microsoft.com/>, pristupljeno 19.1.2025.
- [9] Git, 2025., *Git*, URL: <https://git-scm.com/>, pristupljeno 19.1.2025.
- [10] GitHub, 2025., *GitHub*, URL: <https://github.com/>, pristupljeno 19.1.2025.