BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

Excel@FIT 2018
http://excel.fit.vutbr.cz

Manipulácia virtuálnych objektov v rozšírenej realite pomocou tabletu.

Bc. Martin Pristaš*

Abstrakt
Táto práca sa zaoberá predovšetkým rôznymi spôsobmi ovládania pritimívnych virtuálnych objektov v rozšírenej realite. Využitie ovládania týchto virtuálnych objektov môže byť napríklad pri manipulácii s robotickým ramenom. Keďže sa rozšírená realita stáva čoraz viac populárnejšia aj v priemysle a rôznych iných odvetviach, práca demonštruje jej spôsoby využitia priamo na účelové priemyselné využitie robotického ramena.
V článku sú popísané spôsoby ovládania objektov, kde sú tieto spôsoby ovládania aplikované do experimentálnej aplikácie na tablet a demonštrované tak rôzne prístupy. Zaoberá sa predovšetkým tým, čo sa podarilo dosiahnúť postupným zlepšovaním užívateľského prístupu k ovládaniu objektov v rozšírenej realite.
Spomedzi výsledkov je hodnotené, čo sa osvedčilo a naopak nepodarilo pri vytváraní rôznych prístupov ovládania. Dôraz je kladený predovšetkým na jednoduchosť a zrozumiteľnosť UI, kde užívateľ môže vytvárať vlastné prostredie s virtuálnymi objektmi a narábať s nimi podľa potreby.

Kľúčové slová: ARKit, Rozšírená realita, iOS, užívateľské testovanie

Priložené materiály: Demostračné video

*xprist02@stud.fit.vutbr.cz, *Fakulta Informačních Technológií, Vysoké Učení Technické v Brně*

1. Úvod

Cieľom a hlavnou motiváciou práce je priniesť poznatok o ovládaní virtuálnych objektov v rozšírenej realite. Táto práca sa venuje rôznym možnostiam ovládania objektov v priestore, kde bolo potrebné riešiť samotné vkladanie objektov, úpravu – teda ich pohyb v priestore, zmena rotácie, mazanie objektov a podobne.

Keďže sa jedná o tému, ktorá sa dostáva do podvedomia priemyslu len krátku dobu, množstvo existujúcich riešení vlastne ani nepoznáme. O to zaujímavejšia je práca práve preto, lebo zisťujeme trend, kam sa môže priemysel uberať a dopomôcť tak k rôznym technikám vývoja prostredia pre priemysel v rozšírenej realite. Rozšírená realita, používaná v priemysle, využíva taktiež zobrazovanie dodatočných informácií do scény alebo aj priamu interakciu s rôznymi nástrojmi. Ako príklad použitia je zobrazovanie potrubia ktoré sa nachádza pod zemou a pri kopaní potrebujeme vedieť kde sa nachádza, alebo zobrazovanie informácií a návodov pre používateľa, napríklad pri skladaní rôznych komponentov. Zaujímavým projektom je aj **SmartPick** [1], kde sa rozšírená stará o rýchlejšie triedenie produktov do určených nádob. Prípadne už aj vyšetrenie alebo operácia u lekára môže využívať rozšírenú realitu [1]. V tomto je rozšírená realita veľmi prínosná,

[1] http://www.smartpick.be

keď že spája reálne a virtuálne prostredie, vďaka čomu máme väčší poznatok o tom, čo práve vidíme a robíme. O toľko lepšie je mať pred sebou pracovnú plochu s reálnymi a namodelovanými objektmi s ktorými vieme pracovať v reálnom čase. [2, 3, 4, 5]

Obrázok 1. SmartPick použitie rozšírenej reality v sklade pri triedení produktov. Pracovník má nasadené okuliare doplňujúce vizuálne vnímanie rozšírenou realitou ktoré skenujú QR kódy produktov. Zdroj: www.postscapes.com

Mojím riešením je zvoliť si niekoľko rôznych spôsobov manipulácie s objektmi v rozšírenej realite, aplikovať a testovať ich, prečo by sme práve týmito prístupmi mali s objektom manipulovať alebo práve naopak, prečo nie. Keďže v tejto oblasti nie je dostupné priame porovnanie niekoľkých rôznych metód ovládania. Pri manipulácii s objektmi riešim množstvo otázok ktoré prichádzajú postupným vytváraním a popisovaním predstavy o manipulácii objektu. Ide najmä napríklad o to, **ako nový objekt vytvoriť**, či poskytnúť používateľovi nastavenia objektu hneď na začiatku, alebo objekt priamo usmiestniť niekde do scény, prípadne **kde nový objekt umiestniť** v scéne a aké mu dať počiatočné súradnice. Po vložení objektu riešiť otázky napríklad **ako s objektom pracovať**, ako ho posúvať, ako objekty medzi sebou označovať, ako objekty mazať a prispôsobovať ich. Počas manipulácie objektov sa vyskytli dalšie problémy ktorým som musel čeliť, a to napríklad **ako s objektom pracovať maximálne presne** alebo **ako urýchliť jeho pohyb**. Toto všetko sa pokúsim opísať v nasledujúcich kapitolách a takisto odpovedať na otázky, ktorými som sa zaoberal.

Snažím sa poukázať na to, čomu sa vyvarovať pri návrhu aplikácií pre rozšírenú realitu ktoré budú využívať istú užívateľskú interakciu. Manipulácia s objekatmi znie síce pomerne jednoducho, avšak musíme riešiť rôzne nepresnosti a mapovanie dostupných vstupov zo zariadenia na objekty ktoré chceme ovládať. Dôležitým prínosom práce bude užívateľské testovanie pomocou ktorého vieme určiť, ako efektívne pracovať s objektmi v rozšírenej realite.

2. Systém a technická realizácia

2.1 Požiadavky na systém

Cieľom práce je vytvorenie systému pre manipuláciu s objektmi vytvorenými v rozšírenej realite pomocou tabletu. Či už ide o objekt typu kocka, guľa, ihlan alebo krivka v 3D, každý z týchto objektov má svoje vlastnosti ako vlastné vnútorné parametre a relatívne parametre vzhľadom na scénu v rozšírenej realite.

Požiadavkou systému a jeho kľúčovou vlastnoťou je určenie (alebo nájdenie) vhodného spôsobu, ako s objektom pracovať v rozšírenej realite. Vieme teda, že systém na prácu s objektom by mal mať nasledovné vlastnosti:

- Vkladanie objektu
- Posúvanie objektu
- Rotácia objektu
- Mazanie objektu

Vkladanie objektu si vyžaduje otázku, kam a ako objekt vkladať. Môžeme sa teda riadiť pozíciou kamery vo vytvorenom virtuálnom priestore a objekt vkladať priamo pred kameru, prípadne do nejakej vopred určenej pozície. Pokiaľ však ide o manipuláciu reálnych objektov robotickým ramenom, musíme predpokladať, že dané rameno má obmedzený dosah a pracuje vo vlastnej "pracovnej ploche", teda vo vlastnom vymedzenom priestore ktorým disponuje. Nemôžeme teda virtálne objekty vkladať rôzne do prostredia a následne im nastavovať korektnú pozíciu. Ideálne je objekt vkladať priamo na pracovnú plochu.

Po vložení objektu chceme v systéme umožniť **ovládanie pozície a rotácie objektu** tak, aby užívateľ napríklad nestratil prehľad o tom, kde sa objekt nachádza, minimalizovať užívateľské vstupy a v neposlednom rade dbať na to, aby si vlastnou interakciou po displeji tabletu/telefónu nebránil v prehliadaní scény na obrazovke. Vieme vytvoriť pomerne veľké množstvo rozdielnych ovládacích prvkov pre manipuláciu s objektom, no nie každý spôsob ovládania je vhodný, to už popíšem v následujúcej kapitole.

Mazanie vytvorených objektov nie je príliš častá operácia a preto stačí len pri označení objektu ponúknuť užívateľovi objekt zmazať.

Práca s objektmi nebude jediná dôležitá v tomto systéme. Rozhodol som sa do neho pridať aj možnosť vytvárania ciest vedúcich napríklad od objektu, k objektu, alebo tvorbu cesty po určitej ploche. Toto by nám umožňovalo vytvoriť pohyb ramena za určitým objektom, alebo napríklad "pritlačiť" jeden objekt ku tomu druhému.

Ako som už spomínal, zobrazovacie zariadenie môže byť mobilný telefón s uhlopriečkou do 6”, alebo tablet, kde obrazovky siahajú až do veľkosti 13”. Pokiaľ chceme, aby užívateľ disponoval s čo najväčším pracovným priestorom, mal čo najlepšie možnosti zobrazovania ovládacích prvkov a čo najpohodlnejšie sa pohyboval so zariadením v priestore pričom by nestratil prehľad o scéne, môžeme považovať mobil ako zobrazovacie zariadenie za nepoužiteľné, čo som si overil aj spočiatku, keď som začal na práci pracovať.

2.2 Technický popis a realizácia

Experimentálny systém pre ovládanie virtuálnych objektov pomocou tabletu som sa rozhodol vytvoriť v operačnom systéme iOS, ktorý od verzie 11 podporuje knižiciu rozšírenej reality od Apple nazvanú **ARKit**. ARKit umožňuje pohodlne a presne pracovať v priestore v rozšírenej realite a využíva technológiu pomenovanú ako “Visual Inertial Odometry”[2]. Ide o detekciu priestoru na základe detekovania významných bodov zo vstupu a kombinovaním údajov čidiel z telefónu ako je gyroskop, akcelerometer a pod.

Nakoľko ARKit nedisponuje s rozpoznávaním značiek umiestnených na vodorovnej ploche, je potrebné si na začiatku umiestniť vlasnú pracovnú plochu ramena tam, kam potrebujeme a budeme s ňou pracovať. Po spustení aplikácie ARKitom sa inicializuje prostredie, kde je potrebné pohybovať so zariadením po okolí. Po detekcii prostredia je možné vyžiadať detekciu vodorovných plôch tak, aby sme získali dostatočne veľkú plochu na umiestnenie virtuálnej pracovnej plochy ramena.

Po detekcii priestoru sa umiestni počiatočný súradnicový systém na základe polohy telefónu. V tomto súradnicovom systéme môžeme pracovať s objektmi pomocou známych parametrov osí X, Y, Z. Súradnice, vzhľadom k objektu, sú v ARKite vedené v mierke meter. Všetky prvky ktoré vkladáme do virtuálneho priestoru využívajú tzv uzly. Uzly na seba nadväzujú a ich pozície sú relatívne k rodičovskému uzlu. Vďaka tomu je možné sem po pridaní pracovnej plochy vkladať objekty, na základe relatívnej pozície, voči uzlu danej plochy. Uzly majú teda vlastnú pozíciu X, Y, Z a aj rotáciu pomocou týchto osí.

ARKit poskytuje v reálnom čase údaje o pohybe zariadenia v priestore, jeho pozíciu a rotáciu. Vďaka týmto údajom vieme s objektmi manipulovať presne podľa pohybu a rotácie zariadenia. V nasledujúcej kapitole som sa venoval návrhom rozhrania ktoré využívali aj tento spôsob ovládania a popíšem v nej ich výhody a nevýhody.

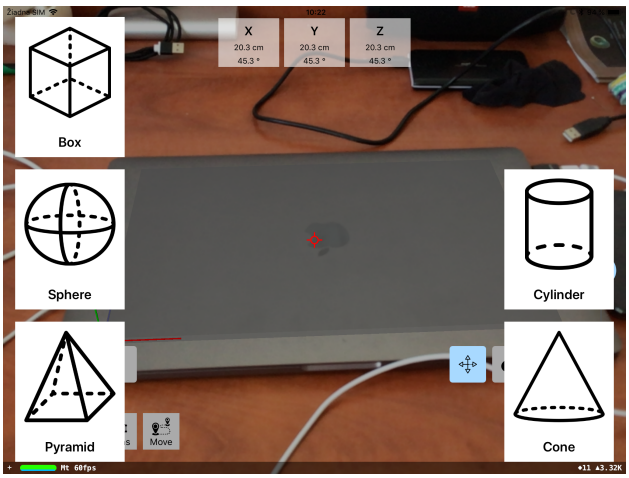
[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_odometry

3. Metódy manipulácie s virtuálnymi objektmi

Na základe systémových požiadaviek budem pracovať na návrhu aplikácie pre tablet s rôznymi spôsobmi ovládania objektov. Postupne ako užívateľ začne pracovať so scénou v rozšírenej realite riešim spôsoby pridávania objektov, označovania, ich manipulácie a podobne.

3.1 Vkladanie objektov

Pridávanie objektov je vytvorené tak, že po stranách tabletu kde užívateľ drží tablet je zobrazených niekoľko primitívnych objektov ktoré užívateľ môže vytvoriť. Po kliknutí na obrázok objektu sa objekt vytvorí s počiatočnými súradnicami $0, 0, 0$. Pre jednoduchú manipuláciu objektov sa na obrazovke zobrazí terčík, ktorý indikuje to, či užívateľ “mieri” na nejaký objekt. Pokiaľ áno, môže objekt ovládať stlačením postranného tlačidla vpravo. Postranné tlačidlo je navrhnuté tak, aby bolo možné nastavovať aj sentizitivu pohybu zariadenia. Toto ovládanie pripomína spôsob nazývaný aj “Drag&Drop”. Nechýba ani prepínacie tlačidlo pre ovládanie pohybu a rotácie. Rotáciu riadime s určitou senzitivitou ktorú si užívateľ nastaví pridržaním tlačidla a následným tvorením uhla okolo objektu. Mazanie objektov je taktiež podmienené “mierením” na objekt, kde užívateľ iba použije tlačidlo zmazania umiestnené v pravej strane obrazovky pod tlačidlom ovládania senzitivity.

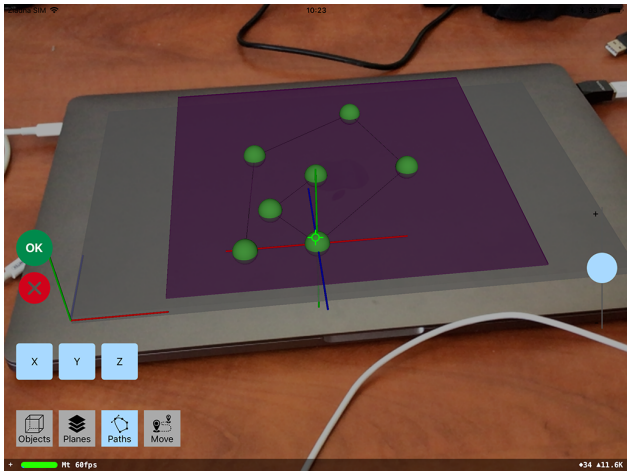


Obrázok 2. Výber a vkladanie objektov v experimentálnej aplikácii prebieha pomocou zoznamu dostupných objektov.

3.2 Vkladanie cesty

Virtuálna cesta a jej tvorenie je podmienená použitím pomocných rovín a objektov v priestore. Pomocné

roviny slúžia na vkladanie bodov cesty v jednej rovine ktorú si užívateľ vytvorí pokiaľ nechce body vkladať priamo na objekty. Vkladanie nových bodov cesty je vytvorené mierením na objekt alebo pomocnú rovinu kde terčík umiestnený v strede obrazovky indikuje možnosť vloženia nového bodu. Vytvorené body sa automaticky spájajú čiarami. Pri editovaní cesty sa body zväčšia aby bolo možné s nimi manipulovať a mazať tak, ako to je pri práci s virtuálnymi objektmi. **Nahrávanie voľného pohybu** je veľmi podobné vytvoreniu virtuálnej cesty a vkladá body na pomocnú rovinu súčasne s pohybom terčíka po ploche. Užívateľ takto voľne nahrá pohyb po pracovnej rovine v niektorých prípadoch rýchlejšie ako pri vkladaní bodov virtuálnej cesty.



Obrázok 3. Vkladanie a editácia trajektórie pramiek v experimentálnej aplikácii, pri editovaní sa body zväčšia a dá sa s nimi manipulovať ako pri klasickom ovládaní objektu.

3.3 Výber objektu

Výber objektu bude tvorený automaticky pomocou mierenia na objekt terčíkom umiestneným v strede obrazovky. Pokiaľ užívateľ namieri na objekt, objekt sa automaticky označí ako aktívny a môže s ním užívateľ pracovať. Pre vizuálnu kontrolu označenia objektu má aktívny objekt zobrazené osy X, Y, Z.

3.4 Manipulácia s objektmi

3.4.1 Priama manipulácia

Pod pojmom manipulácia objektu si môžeme predstaviť ovládanie objektu na základe zmeny polohy zariadenia v priestore. Pokiaľ sa zariadenie pohne z bodu A do bodu B o 10cm, objekt sa taktiež posunie týmto smerom o 10cm. Už zo začiatku pri návrhu som myslel na to, aby mohol užívateľ nastavovať pohyb osí po ktorých sa objekt pohybuje, teda vypnúť/zapnúť učitý smer pohybu pri nepatrnom pohybe napríklad po osi Y. Výhodou tohto ovládania je, že virtuálny objekt priamo kopíruje pohyby zariadenia.

S manipuláciou objektu úzko súvisí aj rotácia objektu. Rotovať objekt môžeme na základe rotovania zariadenia a mapovať tak uhly otočenia zariadenia na objekt. Pokiaľ chceme objekt rotovať napríklad o 45°, užívateľ jednoznačne stratí objekt z displeja zariadenia, čo sa dá považovať veľkú nevýhodu aj napriek tomu že tento spôsob je pomerne dosť intuitívny.

3.4.2 Tiahlo a rotácia po druhé

Další z možných spôsobov manipulácie s objektom je označený (aktívny) objekt "posúvať" po jednej z osí X, Y, Z. Toto posúvanie objektu môže byť realizované "tiahlom", ktoré iteratívne posúva objekt v kladnom alebo zápornom smere po jednej osi vzhľadom na súradnicový systém na základe zvolenej citlivosti. Užívateľ si musí ručne prepínať s ktorou osou ide pracovať a pohybom tiahla ovládať objekt čo sa dá považovať za miernu nevýhodu keď že toto ovládanie nieje moc rýchle. Naopak však spôsob tohto ovládania môže byť presnejší pri detailnejšom a jemnejšom zaobchádzaní s objektom.

Pri tejto metóde som skúsil aj novú metódu rotovania objektu na základe uhlu počiatočnej a koncovej pozície zariadenia pri rotovaní objektu okolo svojej osi, teda aký uhol zoviera zmena pozície zariadenia. Pri tejto rotácii objektu užívateľ nestráca prehlad o tom, kde sa objekt nachádza a o objekt sa v podstate natáča vždy smerom k zariadeniu. Vzhľadom na to, že objekt môžeme rotovať vo väčších uhloch a sú potrebné rôzne presnosti alebo zaokrúhlovania na celé stupne je táto metóda skvelý základ pre to, aby sme ju mohli rozšíriť o nastavenie citlivosti rotácie 3.5.

3.4.3 Kombinácia metód

Prvá varianta sa ukázala ako varianta s väčšími výhodami, kde pohyb objektu ktorý odrážal pohyb zariadenia. Na základe pohybu zariadenia vieme s objektom manipulovať vo všetkých smeroch a tento pohyb je celkom prirodzený pre nás a nespôsobuje chaos v porovnaní s tiahlom. Spôsob ovládania tiahla však ukazuje vyššiu presnosť pri detailnejšom zaobchádzaní s objektom. Pri rotácii objektu nám viac vyhovuje druhá metóda, ktorá pôsobí prirodzenejšie ako prvá metóda. Pri rotácii objektu je dôležité dbať na to, aby užívateľ nestratil prehlad o scéne a aby objekt rotoval vrámci celého kontextu scény.

3.5 Zmena citlivosti

Niektoré operácie si vyžadujú prácu s rôznou citlivosťou. Jedná sa teda o zrýchlený pohyb objektov alebo naopak, spomalený. Tým, že pracujeme v rozšírenej

realite a potrebujeme s objektmi narábať rôzne a nejde to vždy v meradle 1:1 (pohyb zariadenia odráža presne pohyb objektu). Citlivosť pohybu objektu v priestore môže určovať rýchlosť a zároveň presnosť pohybu po osách X, Y, Z. Citlivosť rotácie nám určuje, v akom pomere objekt rotovať vzhľadom na pohyb zariadenia v priestore. V nastavovaní citlivosti môžeme rotovať objekt napríklad priamo po určitom stupňovom rozsahu, napríklad vždy o 5°.

4. Experimentálna aplikácia

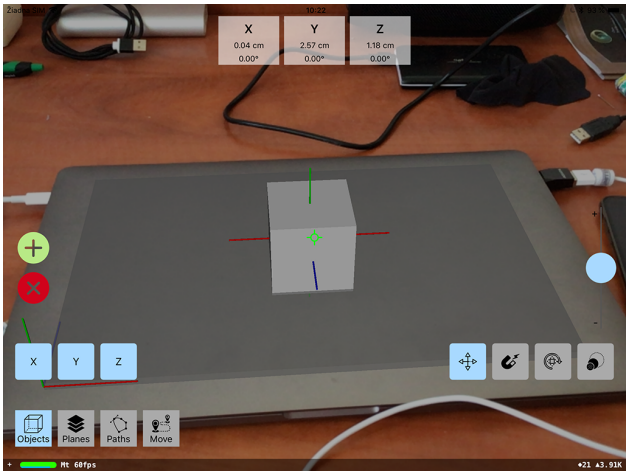
Na základe testovania rôznych metód som vytvoril výslednú aplikáciu, ktorá odráža najlepšie spôsoby manipulácie s objektom. Dôležitým rozhraním filnálnej aplikácie je umiestnenie tlačidiel na ovládanie. Užívateľ zvyčajne drží tablet po krajoch a tak môže vykonávať len dotyky ktoré niesú vzdialené od okrajov obrazovky.

4.1 Cieľ aplikácie

Význam aplikácie je vizualizovať prácu s objektmi a testovať tak, ktorý spôsob ovládania je vhodnejší. Aplikácia má zobraziť pracovnú plochu v rámci ktorej bude možné s objektmi pracovať rôznymi spôsobmi. Aplikácia by mala umožniť vytvorenie pracovnej plochy ako virtuálneho podkladu alebo ako “virtuálny pracovný stôl” a následne vytvárať, mazať a upravovať objekty pomocou rozšírenej reality.

4.2 GUI

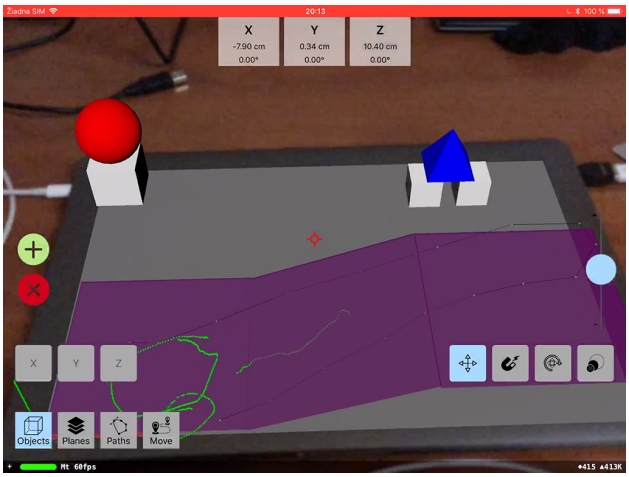
Keďže spôsob držania a manipulácie s tabletom je prevažne na šírku a musíme sa vyhnúť ovládacím prvkom zasahujúcim do zobrazovacej scény, je potrebné dbať na to, aby ovládacie prvky aplikácie boli výlučne po stranách tabletu, kde má užívateľ jednoduchý dosah s prstami. Viac napovie samotný screenshot aplikácie:



Obrázok 4. Základné GUI pri manipulácii s objektom, ikonky v pravo umožňujú rôzne variácie manipulácie s objektom, - pohyb odrážajúci pohyb tabletu, tiahlo, rotácia, zmena veľkosti objektu.

4.3 Testovanie na užívateľoch

Testovanie bude prebiehať tak, že užívateľ dostane vizuálnu podobu vytvorenej scény ktorú bude musieť napodobniť. Užívateľ nebude mať informácie ktoré ovládacie prvky na čo slúžia, nakoľko chceme skúmať aj zrozumiteľnosť UI ikón. Scéna bude pozostavená z viacerých virtuálnych objektov ako sú guľa, kocka, ihlan. Okrem virtálnych objektov bude musieť užívateľ vytvoriť aj virtuálnu cestu pomocou spojených bodov uložených na pomocných rovinách. Pomocné roviny budú tri, z toho jedna rovina bude natočená o nejaký uhol a budú spojené jednou hranou. Pri testovaní budem sledovať to, ako sa užívateľ orientuje v nastavovaní a prepínaní tlačidiel scény, ako sa mu tieto tlačidlá ovládajú a následne ako prebieha manipulácia s vytvorenými objektmi.



Obrázok 5. Predloha scény na užívateľské testovanie. Predloha sa skladá z virtuálnych objektov štvorca, pyramídy a gule, pomocných rovín ktoré sú vytvarované do “svahu” a trajektórie pomocou priamiek a bodov.

4.4 Vyhodnotenie testovania

Video ukážku predlohy scény som ukázal užívateľovi na ktorom budem môj experimentálny systém testovať. Užívateľovi som neukazoval ktorými prvkami UI sa ovládajú objekty alebo vytvárajú virtuálne cesty. Užívateľ po spustení aplikácie mal okamžite tendenciu nevyužívať prvok UI tlačidlo na vloženie pracovnej plochy do priestoru, ale klikať na tablete po obrazovke kam chce plochu umiestniť. Po umiestnení plochy mal pridať virtuálny objekt štvorca, zmenšiť ho a premiestniť do rohu pracovnej plochy. Užívateľ nevedel ako s objektom pohnúť aj napriek tomu, že stláčal rôzne kombinácie tlačidiel na tablete a snažil sa dotykom vložiť objekt alebo potiahnuť ho po ploche. Bol navigovaný aby zapol ovládanie osí X, Y, Z. Po pridaní objektu a zorientovaní s prostredím a ovládaním objektov sa užívateľ rýchlo zorientoval a ďalšie objekty pridával a nastavoval do pár sekúnd narozdiel od prvého, kde pridanie a správne umiestnenie trvalo vyše jednej minúty.

Užívateľ preferoval ovládanie objektu odrážaním pohybu zariadenia v priestore a s nastavovaním citlivosti. Spočiatku sa mu ovládanie pomocou tiahla páčilo viac avšak získaval veľké nepresnosti s nastavovaním objektu do správnej polohy pomocou neho. Po správnom vložení virtuálnych objektov prešiel na vkladanie pomocných rovín, kde už automaticky využil pohyb objektu spôsobom drag&drop. Čo sa týka rotácie pomocnej roviny, spočiatku vyskúšal rotovať rovinu na základe rotovania telefónu intuitívne čo sa však nedalo a následne do pár sekúnd zistil ako správne rotovať rovinu a že sa jedná o rotáciu okolo osi Z. Pri rotácii si všímal o koľko stupňov daný objekt rotuje na informačných popiskoch umiestnených na vrchu displeja.

Vytvorenie a mierna editácia virtuálnej cesty na pomocných rovinách prebehla intuitívne na základe vizuálneho značenia na tlačidlách UI rozhrania. Cestu tak užívateľ vytvoril automaticky a nemal s tým žiadny problém.

Toto testovanie prebehlo na základe jedného užívateľa a ukázalo tak už niekoľko nedostatkov ktoré nám v systéme chýbajú, jedná sa napríklad o navádzacie popisy čo má užívateľ robiť, systém automaticky prepínal medzi objektmi aj pokiaľ sa s jedným objektom aktívne pracovalo čo zmiatlo používateľa. Chýba nám tlačidlo na zavretie okna s výberom objektov na vloženie, užívateľ sa snažil kliknúť niekde mimo na pracovnú plochu a zavrieť tak toto okno.

5. Ďalší rozvoj aplikácie

V nasledujúcom kroku by som aplikáciu napojil na systém robotického ramena pomocou operačného systému ROS. Po napojenní by bolo možné demonštrovať jednotlivé spôsoby ovládania aj v reálnom prostredí. Dalej by podľa vodivých značiek bolo možné synchronizovať a zdielať data medzi viacerými tabletmi a umožniť tak viacerým používateľom sa podielať na tvorbe jednotného virtuálneho obsahu. Aplikácia, resp. vytvorený systém by mal umožniť pracovať v lokálnom a globálnom súradicovom systéme, prípadne zobrazovať vodiace čiary určujúce rozostup medzi objektmi alebo polohu virtuálneho objektu vzhľadom na pracovnú plochu a podobne. Možno by stálo za zváženie aj demonštrovať pôsobenie gravitácie na objekty pokiaľ objekt uchopím do určitej výšky a pustím, aký to bude mať dopad, čo sa s objektom stane atď.

6. Záver

Práca sa venuje navrhnutiu a vytvoreniu UI pre manipuláciu s virtuálnymi objektmi v rozšírenej realite na mobilnom zariadení. Postupne sme si stanovili požiadavky na experimentálny systém ktoré by mal spĺňať a ako by mal pracovať. Navrhol som niekoľko metód na pohyb a rotáciu objektov ktoré plynuli z požiadaviek na systém. Vytvoril som experimentálnu aplikáciu pre systém iOS pomocou ARKitu na testovanie užívateľského rozhrania a manipulácii s objektmi. Zisťoval som postupným spracovávaním a testovaním UI ako užívateľovi prispôsobovať prvky tak, aby bolo jednoduché s objektmi pracovať.

Literatúra

[1] P. Vávra, J. Roman, P. Zonca, P. Ihnát, M. Nemec, J. Kumar, N. Habib, and A. El-Gendi. Recent development of augmented reality in surgery: A review. *J Healthc Eng*, 2017:4574172, Aug 2017. 29065604[pmid].

[2] Sotiris Makris, Panagiotis Karagiannis, Spyridon Koukas, and Aleksandros-Stereos Matthaiakis. Augmented reality system for operator support in human–robot collaborative assembly. *CIRP Annals*, 65(1):61 – 64, 2016.

[3] Scott A. Green, J. Geoffrey Chase, Xiaoqi Chen, and Mark Billinghurst. Evaluating the augmented reality human-robot collaboration system. *2008 15th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice*, pages 521–526, 2008.

[4] George Michalos, Panagiotis Karagiannis, Sotiris Makris, Önder Tokçalar, and George Chrys-

solouris. Augmented reality (ar) applications for supporting human-robot interactive cooperation. *Procedia CIRP*, 41:370 – 375, 2016. Research and Innovation in Manufacturing: Key Enabling Technologies for the Factories of the Future - Proceedings of the 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems.

[5] Nirit Gavish, Teresa Gutiérrez, Sabine Webel, Jorge Rodríguez, Matteo Peveri, Uli Bockholt, and Franco Tecchia. Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6):778–798, 2015.