



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У  
НОВОМ САДУ



Давид Егеља

**Једно решење за интеракцију рукама  
са тродимензионим моделима у  
проширеној стварности употребом  
Unity погона игара**

ДИПЛОМСКИ РАД  
Основне академске студије

Нови Сад, 2024.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, <b>РБР:</b>	
Идентификациони број, <b>ИБР:</b>	
Тип документације, <b>ТД:</b>	Монографска документација
Тип записа, <b>ТЗ:</b>	Текстуални штампани материјал
Врста рада, <b>ВР:</b>	Дипломски рад
Аутор, <b>АУ:</b>	Давид Егеља
Ментор, <b>МН:</b>	Проф. др Илија Башичевић
Наслов рада, <b>НР:</b>	Једно решење интеракција рукама са тродимензионим моделима у проширеној стварности употребом Unity погона игара
Језик публикације, <b>ЈП:</b>	Српски
Језик извода, <b>ЈИ:</b>	Српски
Земља публикавања, <b>ЗП:</b>	Република Србија
Уже географско подручје, <b>УГП:</b>	Војводина
Година, <b>ГО:</b>	2024
Издавач, <b>ИЗ:</b>	Ауторски репринт
Место и адреса, <b>МА:</b>	Нови Сад; трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, <b>ФО:</b> (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7/71/0/5/66/0/0
Научна област, <b>НО:</b>	Електротехника и рачунарство
Научна дисциплина, <b>НД:</b>	Рачунарска техника
Предметна одредница/Кључне речи, <b>ПО:</b>	Погон игара, Виртуелна стварност, Проширена стварност, Интеракције рукама
<b>УДК</b>	
Чува се, <b>ЧУ:</b>	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад
Важна напомена, <b>ВН:</b>	
Извод, <b>ИЗ:</b>	Овај рад се фокусира да интеракције унутар проширене стварности поједностави и направи интуитивније, како новим, тако и свим корисницима. Циљ је имплементација апликација у којој се рукама, на интуитиван начин, интерагује са дводимензионим и тродимензионим објектима и елементима.
Датум прихватања теме, <b>ДП:</b>	
Датум одбране, <b>ДО:</b>	
Чланови комисије, <b>КО:</b>	Председник: Проф. др Мирослав Поповић
	Члан: Проф. др Жељко Лукач
	Члан, ментор: Проф. др Илија Башичевић
	Потпис ментора



## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monographic publication
Type of record, <b>TR</b> :	Textual printed material
Contents code, <b>CC</b> :	Bachelor Thesis
Author, <b>AU</b> :	<b>David Egelja</b>
Mentor, <b>MN</b> :	<b>Ilija Bašičević, PhD</b>
Title, <b>TI</b> :	<b>One solution for hand interactions with three-dimensional models in extended reality using Unity game engine</b>
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	Vojvodina
Publication year, <b>PY</b> :	<b>2024</b>
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Novi Sad, Dositeja Obradovića sq. 6
Physical description, <b>PD</b> : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	<b>7/71/0/5/66/0/0</b>
Scientific field, <b>SF</b> :	Electrical Engineering
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	<b>Unity Engine, Virtual Reality, Extended Reality, Hand Interactions</b>
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, <b>N</b> :	
Abstract, <b>AB</b> :	<b>The focus of this paper is to simplify and make more intuitive interactions in extended reality for all users. The goal is to implement an application that, through intuitive hand interactions, supports interactions with two-dimensional and three-dimensional objects and elements.</b>
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	President: Miroslav Popović, PhD
	Member: Željko Lukač, PhD
	Member, Mentor: Ilija Bašičević, PhD
	Mentor's sign

## **Захвалност**

Овом приликом бих желео да се захвалим породици и пријатељима на подршци кроз читаво школовање.

Желим да се захвалим ментору проф. др Илији Башичевићу, Михајлу Милотићу и Душану Стојковићу као и свим колегама на саветима и стручној помоћи током израде рада.

## САДРЖАЈ

1. Увод.....	9
2. Теоријске основе.....	11
2.1 Проширена стварност.....	11
2.1.1 Виртуелна стварност.....	11
2.1.2 Аугментована стварност.....	12
2.2 Наочаре за виртуелну стварност.....	13
2.2.1 Meta Quest Pro.....	13
2.2.2 Passthrough.....	14
2.3 OpenXR стандард.....	15
2.4 Unity погон за видео игаре.....	16
2.4.1 Unity Editor.....	17
2.4.2 Unity сцена.....	18
2.4.3 Unity и XR.....	18
2.4.3.1 XR интеракције.....	19
3. Концепт решења.....	21
3.1 Модул корисника.....	21
3.1.1 XR Origin.....	21
3.1.1.1 Passthrough.....	22
3.1.1.2 Camera Offset и Camera.....	23
3.1.1.3 Коришћење руку.....	23
3.1.1.4 Руке и интеракције.....	25
3.1.2 Input Action Manager.....	26
3.1.3 XR Interaction Manager.....	27

---

3.2	Модул интерактивних објеката.....	27
3.2.1	Интеракције са тродимензионим објектима .....	27
3.2.1.1	Лежишта за спајање објеката .....	28
3.2.2	Интеракције са дводимензионим објектима и елементима.....	28
4.	Програмско решење.....	30
4.1	Подешавања пројекта .....	30
4.2	Структура Unity сцене .....	32
4.2.1	Модул корисника у решењу .....	32
4.2.1.1	Подешавање Input Action Manager компоненте .....	32
4.2.1.2	Input Action Manager подешавања .....	34
4.2.1.3	XR Origin компонента.....	35
4.2.2	Модул интерактивних објеката.....	47
4.2.2.1	Тродимензиони интерактивни елементи .....	48
4.2.2.2	Дводимензиони интерактивни елементи .....	52
4.2.2.2.1	Ручни мени .....	52
4.2.2.2.2	Водич.....	57
5.	Испитивање решења .....	59
6.	Закључак .....	69
7.	Литература.....	71

## СПИСАК СЛИКА

Слика 2.1.1 Meta Quest Pro VR сет .....	12
Слика 2.1.2 AR наочаре .....	13
Слика 2.2.1 Meta Quest 2 и Meta Quest Pro .....	13
Слика 2.2.2 Passthrough.....	15
Слика 2.3.1 Khronos Group .....	15
Слика 2.4.1 Unity Editor .....	17
Слика 2.4.1 Дијаграм главних модула.....	21
Слика 3.1.1 Дијаграм XR Origin .....	21
Слика 3.1.2 Passthrough слојеви .....	23
Слика 3.1.3 Гест притискања кажипрстом .....	24
Слика 3.1.4 Гест хватања прстима.....	25
Слика 3.1.5 Зрак за интераговање.....	25
Слика 3.1.6 Пример слојева интеракција.....	26
Слика 3.2.1 Интеракције са тродимензионим објектима .....	27
Слика 3.2.2 Дијаграм дводимензионих објеката.....	29
Слика 4.1.1 Промена платформе.....	31
Слика 4.1.2 Project settings OpenXR .....	31
Слика 4.2.1 Хијерархија пројекта .....	32
Слика 4.2.2 Хијерархија модула корисника .....	32
Слика 4.2.3 Мапа акција за праћење главе .....	33
Слика 4.2.4 Мапа акција за праћење руку .....	33
Слика 4.2.5 Мапа акција за праћење интеракција руку.....	33
Слика 4.2.6 Input Action Manager подешавања.....	34

---

Слика 4.2.7 Passthrough подешавања .....	34
Слика 4.2.8 Хијерархија XR Origin .....	35
Слика 4.2.9 Хијерархија главне камере .....	36
Слика 4.2.10 Подешавања главне камере .....	37
Слика 4.2.11 Хијерархија руке.....	39
Слика 4.2.12 Подешавања руке.....	39
Слика 4.2.13 Подешавања интерактора за притискање.....	40
Слика 4.2.14 Подешавања интерактора за хватање 1 .....	42
Слика 4.2.15 Подешавања интерактора за хватање 2 .....	42
Слика 4.2.16 Подешавања зрака за интераговање 1 .....	43
Слика 4.2.17 Подешавања зрака за интераговање 2 .....	43
Слика 4.2.18 Подешавања зрака за интераговање 3 .....	44
Слика 4.2.19 Подешавања зрака за интераговање 4 .....	44
Слика 4.2.20 Хијерархијска структура руке .....	45
Слика 4.2.21 Подешавања визуелизације руку .....	46
Слика 4.2.22 XR Hand .....	47
Слика 4.2.23 Хијерархија ручног менија .....	47
Слика 4.2.24 Хијерархија роботске руке .....	48
Слика 4.2.25 Слојеви интеракција .....	49
Слика 4.2.26 Socket Layer manager .....	49
Слика 4.2.27 Подешавања интерактора за хватање 1 .....	50
Слика 4.2.28 Подешавања интерактора за хватање 2 .....	50
Слика 4.2.29 Подешавања интерактора за хватање 3 .....	51
Слика 4.2.30 Подешавања интерактора за хватање 4 .....	51
Слика 4.2.31 Визуелизација програмског решења.....	51
Слика 4.2.32 Визуелизација тастера за ручни мени.....	52
Слика 4.2.33 Подешавања ручног менија 1 .....	52
Слика 4.2.34 Подешавања ручног менија 2 .....	53
Слика 4.2.35 Визуелизација ручног менија .....	53
Слика 4.2.36 Подешавања скрипте за ресетовање позиције.....	54
Слика 4.2.37 Подешавања скрипте за промену режима интераговања .....	55
Слика 4.2.38 Подешавања скрипте за аутоматско расклапање и склапање .....	56
Слика 4.2.39 Подешавања скрипте за спуштање и подизање роботске руке.....	57
Слика 4.2.41 Визуелизација водича.....	57
Слика 4.2.41 Хијерархија водича.....	58

---

Слика 4.2.1 Иницијално покретање апликације.....	60
Слика 4.2.2 Пример премештања роботске руке .....	61
Слика 4.2.3 Пример растављања роботске руке.....	62
Слика 4.2.4 Пример интераговања са ручним менијем.....	63
Слика 4.2.5 Пример аутоматског интераговања .....	64
Слика 4.2.6 Пример спуштања роботске руке.....	66
Слика 4.2.7 Пример постављања прикључка .....	67
Слика 4.2.8 Пример подизања роботске руке.....	68

---

## СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1 Испитивање функционалности .....	59
Табела 2 Испитивање функционалности .....	61
Табела 3 Испитивање функционалности .....	62
Табела 4 Испитивање функционалности .....	63
Табела 5 Испитивање функционалности .....	65

## СКРАЋЕНИЦЕ

<b>XR</b>	- <i>Extended Reality</i> , Проширена стварност
<b>VR</b>	- <i>Virtual Reality</i> , Виртуелна стварност
<b>AR</b>	- <i>Augmented Reality</i> , Аугментована стварност
<b>MR</b>	- <i>Mixed Reality</i> , Мешана стварност
<b>SDK</b>	- <i>Software Development Kit</i>
<b>IDE</b>	- <i>Integrated Development Environment</i>
<b>API</b>	- <i>Application Programming Interfaces</i>

## 1. Увод

Један од многобројних плодова брзог технолошког напретка дигиталног доба у којем живимо је проширена стварност (енгл. Extended Reality - XR). Проширена стварност је обећавајућа технологија која се сваког дана све више и брже развија, како са хардверске (енгл. Hardware) тако и са програмске (енгл. Software) стране.

Самим напретком технологије и већом доступношћу уређаја за проширену стварност долази и до све веће и шире примене ове технологије као и све већем бројем корисника. Проширена стварност своју примену проналази у разним секторима попут образовања и забаве у виду видео и индустрије видео игара, али исто тако и у медицини, инжењерингу, дизајну и многим другим.

Корисници, уз помоћ уређаја за виртуелну стварност (енгл. Virtual Reality - VR), имају прилику да доживе виртуелни свет на потпуно нови начин – као да су стварно у њему. Уз помоћ наочара и пара контролера за виртуелну стварност, корисник кроз посматрање и интеракцију са виртуелним светом стиче осећај као да је физички присутан у њему. Свет и интеракције са њим могу да буду тотално фикциони али исто тако и потпуна симулација стварности.

Једна од мана виртуелне стварности је та што је главни вид интераговања са светом кроз поменуте контролере, односно корисницима који су први пут у виртуелној стварности неке интеракције путем контролера нису довољно интуитивне. Напретком ове технологије дошли смо у доба где наочаре, уз помоћ сензора и камера, детектују и подржавају интеракције рукама (енгл. Hand Tracking) без контролера. Самим тим, новим корисницима неке интеракције, попут додиривања и хватања предмета, постају доста интуитивније.

Passthrough је још једна значајна функционалност наочара за виртуелну стварност која омогућује кориснику да види стварни свет кроз наочаре. Служи како би кориснику показала потенцијалне препреке из стварног света, попут стола или столице, док користи наочаре али и као начин да споји виртуелни и стварни свет у једну аугментовану стварност (енгл. Augmented Reality - AR).

Аугментована стварност представља спој стварног света и дигиталног садржаја са којима корисник може да интерагује кроз уређаје за аугментовану стварност који могу бити од паметног телефона преко паметних наочара до наочара за виртуелну стварност које подржавају неки вид Passthrough технологије.

Овај рад се фокусира да уз помоћ руку, без контролера, кроз наочаре за виртуелну стварност уз употребу Passthrough технологије омогући корисницима прилагођене интеракције са виртуелним тродимензионим предметима на разне начине.

За имплементацију коришћен је Unity погон за видео игре као и OpenXR стандард који много доприноси преносивости овог пројекта на разне уређаје. Unity погон игара је одличан избор за било кога ко се бави проширеном стварношћу јер постоји добра документација као и огромна заједница људи који праве апликације за проширену стварност у њему.

За тестирање су коришћене Meta Quest Pro наочаре за виртуелну стварност које подржавају праћење руку и Passthrough технологију.

Рад је организован у седам поглавља где је горе наведени увод прво поглавље.

У другом поглављу је реч о теоријским основама на које се ослања концепт и програмско решење и неопходне су за разумевање даљег рада.

Треће поглавље представља концепт решења у којем се говори о детаљној идеји решења и структури решења по модулима. Сваки модул је посебно објашњен.

У четвртом поглављу, које се ослања на концепт решења, говори о самом решењу као и подешавању самог пројекта и Unity сцене. Сви описани модули из концепта решења су имплементирани у овом поглављу.

Пето поглавље представља евалуацију решења и реалан пример и приказ апликације. Испитане су све функционалности имплементиране у претходном поглављу и забележена њихова успешност спрам њиховог очекиваног понашања.

У шестом поглављу је закључак о целом раду и пројекту где су сумирани сви резултати испитивања и анализиран субјективни осећај коришћења апликације. Такође овде се налазе и потенцијална унапређења овог рада.

## 2. Теоријске основе

### 2.1 Проширена стварност

Проширена стварност се користи као термин који обухвата виртуелну стварност, аугментовану стварност и мешану стварност (енгл. Mixed Reality - MR). Сврха проширене стварности је да имитира или комбинује стварни свет са дигиталним светом омогућајући кориснику интеракције са таквим светом.

#### 2.1.1 Виртуелна стварност

Виртуелна стварност је технологија која кориснику, кроз специјалан хардвер, симулира виртуелни свет. Најчешћи вид хардвера који се користи јесте сет наочара за виртуелну стварност који се састоји из контролера за руке и самих наочара. У наочарима се налазе два мала екрана који за свако око посебно приказују слику. Тиме се кориснику симулира простор у три димензије кроз дводимензионе екране. Поред екрана, наочаре имају и разне сензоре и камере, попут акцелерометра и жirosкопа, које служе да прате корисникове покрете како би поравнале виртуелни свет са корисниковим очима у стварном свету.



Слика 2.1.1 Meta Quest Pro VR сет

### 2.1.2 Аугментована стварност

Аугментована стварност је технологија која кориснику, кроз специјалан хардвер или чак само паметан телефон, симулира дигитални садржај у стварном свету. Главна разлика између аугментоване и виртуелне стварности јесте то што у аугментованој стварности корисник се налази и види стварни свет преко ког је „налепљен” дигитални садржај, док у виртуелној стварности корисник се налази и види само виртуелни свет и његов садржај.

Паметни телефони, у данашње време, су способни и довољни да кориснику омогуће искуство у аугментованој стварности. Путем камере и других сензора, паметни телефони детектују површине (енгл. Plane Detection) и предмете (енгл. Object Detection) у стварном свету преко којег могу да „налепе” дигитални садржај. Поред паметних телефона постоје и специјални уређаји, попут наочара за аугментовану стварност, који служе да кориснику још више прошире ово искуство.



Слика 2.1.2 AR наочаре

## 2.2 Наочаре за виртуелну стварност

### 2.2.1 Meta Quest Pro

Meta Quest Pro, претходно познате и под именом Oculus Quest Pro, су наочаре за проширену, првенствено виртуелну, стварност базиране на Android оперативном систему. Наочаре заједно са контролерима за руке представљају самосталан комплет који може да функционише без другог рачунара или конзоле. За тестирање програмског решења овог рада коришћен је овај комплет али поред њега постоје и многи други попут Meta Quest 2 који представља приступачнији али и хардверски инфериорнији систем.



Слика 2.2.1 Meta Quest 2 и Meta Quest Pro

Android је оперативни систем отвореног кода (енгл. Android Open-Source Project) који је прилагођен раду на мобилним уређајима у виду ефикаснијег коришћења батерије и ресурса. Самим тим он представља одличну подлогу за оперативни систем и за наочаре за

проширену стварност. Поред тога, Android SDK (енгл. Software Development Kit) нуди програмерима API-је (енгл. Application Programming Interface) и алате потребне за креирање апликација. То је од посебног значаја за развој апликација за наочаре за проширену стварност јер нам то омогућује интеракцију са разним физичким компонентама комплета попут камера, сензора и многих других.

### 2.2.2 Passthrough

Камерама са предње стране наочара, преко екрана, корисник има могућност да види стварни свет док користи наочаре за виртуелну стварност. Ова функционалност се назива Passthrough. Како би заштитила корисника, ова функционалност се аутоматски пали да укаже на потенцијалне физичке препреке око корисника како се корисник не би повредио.

Passthrough такође може да се користи и за развој апликација. Уколико се Passthrough користи у апликацији како би се приказао стварни свет и преко њега приказивао дигитални садржај, ефективно се помоћу наочара за виртуелну стварност добија искуство аугментоване стварности.

Passthrough API аутоматски креира посебан Passthrough слој који директно шаље XR Compositor-у где он тај слој замењује са правим приказом Passthrough-а.

Аутоматска реконструкција окружења се користи ако се не зна геометрија окружења у напред што је углавном и случај. Самим тим корисник већину времена користи овај режим реконструкције окружења. Поред аутоматске реконструкције, постоји могућност коришћења Passthrough-а пројектованог на површине (енгл. Surface-Projected Passthrough). Користи се када се зна тачна геометрија где би се пројектовао Passthrough.

Два начина прилагођавања Passthrough-а су композитни слојеви (енгл. Composite Layering) и стил (енгл. Styling).

Помоћу композитних слојева се одређује положај Passthrough слоја у односу на остали виртуелни садржај у XR Compositor стеку. Passthrough може бити позициониран тако да се исцртава преко виртуелног садржаја (енгл. Overlay) или испод тако да се виртуелни садржај исцртава преко њега (енгл. Underlay). На тај начин се одређује како се стапају стварни и виртуелни садржај.

Путем стилизовања се могу истицати детектоване ивице, бојити цео Passthrough проток и вршити многе друге методе за обраду слике.

За израду овог пројекта коришћена је аутоматска реконструкција окружења и Passthrough тако да се садржај исцртава преко њега односно као Underlay.



Слика 2.2.2 Passthrough

## 2.3 OpenXR стандард

Khronos Group, удружење које стоји иза познатих отворених стандарда попут OpenGL-а (стандард за исцртавање 2Д и 3Д графике), WebGL-а (стандард за исцртавање 2Д и 3Д графике унутар web претраживача), стоји такође и иза OpenXR отвореног стандарда за приступ платформама за проширену стварност.



Слика 2.3.1 Khronos Group

OpenXR стандард представља интерфејс између улазног или излазног XR тока извршавања (енгл. XR runtime system) и саме апликације. Овај стандард пружа једноставан приступ физичкој архитектури, управљању периферним јединицама и сензорима уређаја али и композицији оквира (енгл. Frame Composition). Такође, ток извршавања XR система може да пружа подршку за проширења за специфичне уређаје. Узимајући све ово у обзир, OpenXR као свој циљ има да омогући и олакша развој апликација за проширену стварност на различитим XR уређајима, без обзира на њихову физичку конфигурацију или платформу.

OpenXR API пружа скуп стандардних функција за приступ функционалностима XR уређаја и он омогућава саму креацију као и интеракције са светом проширене стварности.

Стандардна библиотека, слој програмске подршке, представља посредника између физичке архитектуре XR уређаја и саме апликације. Она служи за комуникацију између XR уређаја и апликација које користе OpenXR API.

Програмски додаци (енгл. Plugin) су подржани од стране OpenXR библиотеке и то значи да се могу користити и други модули за подршку специфичних уређаја и специфичних функционалности и самим тим знатно доприносе и проширују могућности OpenXR-а.

Сесија је још један важан концепт и она представља захтев апликације да прикаже садржај кориснику. Сесија омогућава комуникацију и координацију између апликације и стандардне библиотеке.

## 2.4 Unity погон за видео игаре

Unity Game Engine (познат и само као Unity) је програмско окружење првенствено намењено за развој видео игара али и анимација и апликација разних намена за персоналне и серверске уређаје. Подржава развој апликација на разним платформама укључујући Android, iOS, Windows, Mac, Linux, Web, разне XR платформе попут Oculus (односно Meta) и многе друге. Само језгро Unity-а је писано у C и C++ програмском језику док се унутар Unity Едитор-а користе скрипте базиране најчешће на C# језику али и JavaScriptи и Boo језицима. Корисницима се такође пружа приступ самом језгру преко API-ја.

У склопу самог погона су уграђени и други погони попут погона за физику (Nvidia PhysX Engine за 3Д и Box2D за 2Д физику) и погона за графику. Помоћу погона за физику се симулирају физичке интеракције међу објектима док се помоћу погона за графику све то исцртава на екрану.

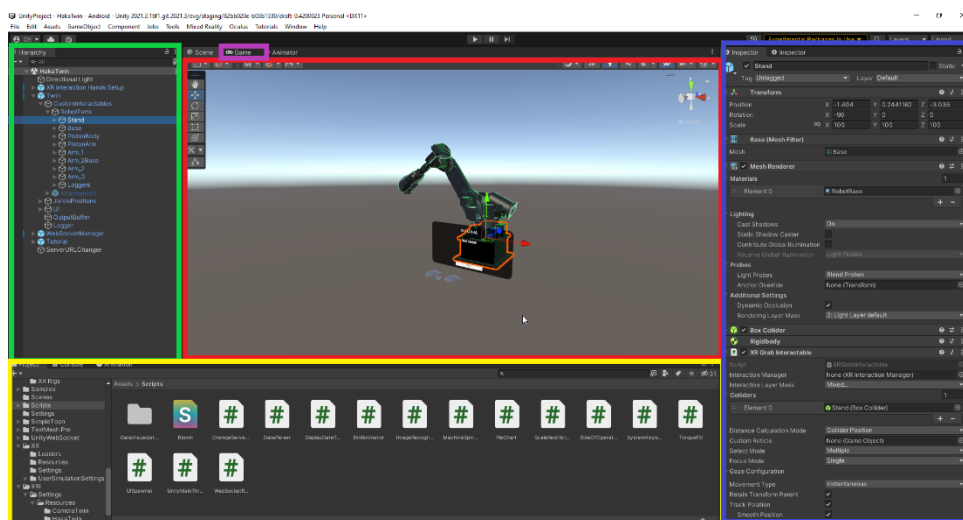
Још једна веома корисна ствар коју је битно поменути је Unity Asset Store која представља продавницу на којима програмери и дизајнери могу да пронађу готове моделе,

анимације, скрипте, шаблоне и друге компоненте које додатно олакшавају и убрзавају процес производње саме апликације.

### 2.4.1 Unity Editor

Unity се сматра интегрисаним развојним окружењем (енгл. Integrated Development Enviroment, IDE) што значи да програмери имају приступ свим потребним алатима на једном месту. Unity Едитор омогућава превлачење и пуштање (енгл. Drag and drop) елемената како би омогућио лакше и интуитивније манипулисање елемената унутар едитор-а.

Сам едитор се састоји из више прозора од којих су најбитнији приказани на слици.



Слика 2.4.1 Unity Editor

Хијерархијски прозор (енгл. Hierarchy) је означен зеленом бојом. Он нам омогућава увид у структуру објеката у сцени на врло прегледан начин. У хијерархији се налазе сви објекти постављени у сцени као и њихов однос са другим објектима у виду родитеља и деце објеката (енгл. Parent-Child relationship). Кроз овај прозор се омогућава организовање објеката хијерархијску структуру.

Прозор пројекта (енгл. Project Window) је означен жутом бојом. Он приказује структуру пројекта у виду фолдера и фајлова. Сврха овог прозора је да организује фајлове, ресурсе, скрипте и друге компоненте у фолдере ради њиховог лакшег проналажења и коришћења.

Инспектор (енгл. Inspector) је означен плавом бојом. Он представља прозор који исписује детаље изабраних компоненти као и њихова подешавања. Инспектор нам омогућава да мењамо и прилагођавамо подешавања и детаље објеката као и да вежемо скрипте за њих.

Сцена (енгл. Scene) је главни и највећи прозор едитора и означен је црвеном бојом. Приказ сцене нам омогућује да визуелно подешавамо објекте унутар виртуелног света. Само постављање објекта у виртуелни свет се ради превлачењем објеката из прозора пројекта. Као што у прозору инспектора можемо да мењамо позицију, ротацију и величину исто тако можемо те исте карактеристике да интуитивније мењамо и кроз прозор сцене.

Прозор игре (енгл. Game View) је прозор сличан прозору сцене и означен је розом бојом. Представља прозор где се види виртуелни свет са једном кључном разликом у односу на прозор сцене. У овом прозору се приказује тренутно стање игре, односно апликације, и њеног света и објеката које се дешавају унутар њега. Служи за тестирање јер приказује како покренута игра, односно апликација, тренутно изгледа и функционише и даје репрезентативан приказ како би крајњи корисник видео игру, односно апликацију.

### **2.4.2 Unity сцена**

Unity сцена (енгл. Unity Scene) представља скуп објеката, околине, карактера и других објеката које поређане заједно представљају један ниво (у случају видео-игара) или један дигитални простор (у случају апликације). Сцене се користе за организацију и сам дизајн различитих делова дигиталног света што омогућује програмерима и дизајнерима да раде засебно што на крају када се споји даје једно кохезивно искуство. Унутар једне апликације може постојати више сцена које се могу мењати или кроз које се може пролазити.

### **2.4.3 Unity и XR**

За израду XR апликација, Unity се издваја као један од најбољих алата првенствено због добре документације и велике заједнице али и широког и разноврсног спектра интеракција које корисник може да има са сценом, односно виртуелном околином у којој се налази.

Подрживост рада на више платформи (енгл. Cross-Platform Support) такође доприноси популарности и доброј репутацији Unity-ја за развој свих врста апликација и игара укључујући и XR апликације. Unity такође подржава и рад на различитим XR уређајима почевши од модерних паметних телефона па до разних врста специјалних наочара за VR и MR попут Meta Quest наочара, HTC Vive, Valve Index, HoloLens и многих других.

Високо квалитетна графика и физика, уграђених Unity погона, помаже при креирању и стварању реалистичних визуелних приказа као и реалистичних физичких интеракција са светом. Ово оставља веома леп и јак утисак на крајњег корисника, као да се стварно налази и као да је део тог света.

### 2.4.3.1 XR интеракције

Поред већ поменутих физичких интеракција између објеката, попут судара, постоје и специјалне интеракције везане за XR апликације и уређаје. За овај рад најбитније су интеракције засноване на праћењу руку и интеракције засноване на праћењу кретања.

Интеракције засноване на праћењу руку су од великог значаја за овај рад те ће о њима бити речи и нешто касније у склопу програмског решења. Као што им и име каже, ове интеракције се базирају на праћењу корисникових руку у реалном времену користећи специјално постављене камере и сензоре. Наравно поред камера и сензора користе се и алгоритми за обраду слике и алгоритми рачунарског вида (енгл. Computer Vision) како би се физичко померање руку и прстију што боље и прецизније пренело у дигитални формат. Овим путем се кориснику омогућује да, поред саме дигиталне визуелизације руку, интерагује са околином користећи руке у виду хватања предмета шаком, притискања тастера прстима и слично. Ово, у комбинацији са праћењем кретања, представља најприроднији и најинтуитивнији начин интераговања у XR свету.

Интеракције засноване на праћењу кретања се заснива на праћењу физичке позиције и кретању корисника како би се то могло репликовати у дигиталном свету. Дакле, шетањем и померањем у физичком свету, корисник се помера и у дигиталном свету. XR уређај прати позицију корисника на основу иницијалне позиције (XROrigin) где се уређај налазио на почетку рада апликације и спрема тога даље репликује корисниково кретање.

Поред праћења руку и самог кретања постоје и друге, за овај рад мање битне, интеракције.

Интеракције засноване на погледу (енгл. Gaze Interactions), прате корисникове очи и где корисник гледа. Спрема тога где или у шта гледа, корисник интерагује са околином. Овај вид интераговања је погодан за VR и друге уређаје који подржавају праћење очију (енгл. Eye Tracking).

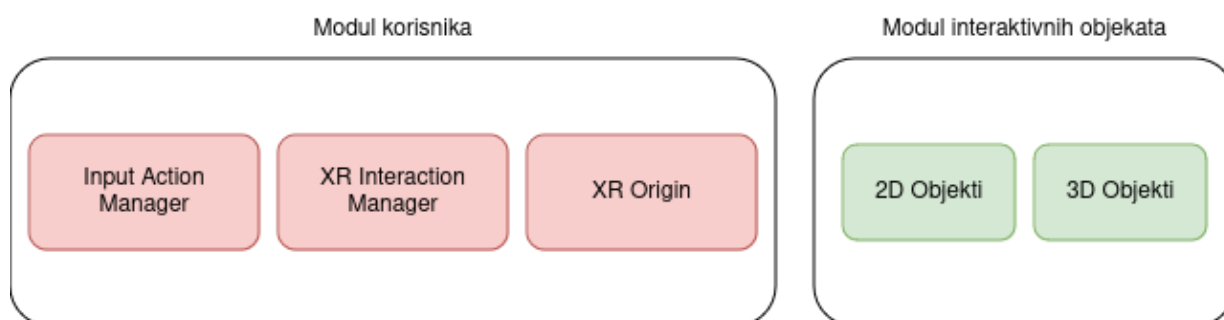
Интеракције засноване на гласовним командама (енгл. Voice Interactions) омогућавају корисницима да путем гласа и гласовних команди интерагују са околином.

Интеракције засноване на коришћењу контролера (енгл. Controller Interactions) најближе имитира интеракције базиране на праћењу руку. Најчешће коришћени уз VR

наочаре, контролери се држе у рукама и цео систем прати њихово кретање и тиме имитира праћење руку. Сами контролери на себи имају паметно смештене тастере те се лако и интуитивно користе али ипак мање интуитивно него интераговање самим рукама.

### 3. Концепт решења

У овом поглављу биће речи о идеји решења за интеракцију рукама са тродимензионим објектима унутар проширене стварности. Решење је подељено по модулима који међусобно комуницирају и који се састоје из мањих модула. Груб приказ главних модула је приказан на следећој слици.



Слика 2.4.1 Дијаграм главних модула

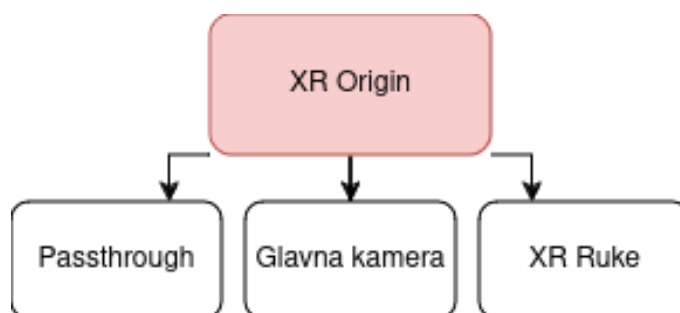
Црвеном бојом су означени модули корисника (играча) који су одговорни за праћење кретања и интеракција корисника.

Зеленом бојом су означени модули интерактивних објеката који су задужени да прате када је и на који начин корисник у интеракцији са њима.

#### 3.1 Модул корисника

Најинтересантнији модул за овај рад јесте модул корисника односно модул играча. У склопу њега се налазе модул XR Origin који служи за праћење простора у XR сцени, модул Input Action Manager који служи за праћење корисникових улазних интеракција и модул XR Interaction Manager који служи за праћење XR интеракција.

##### 3.1.1 XR Origin



Слика 3.1.1 Дијаграм XR Origin

Главна сврха овог модула је да трансформише и уклопи податке са XR подсистема за праћење кретања у дигитални свет. Логика уклапања се заснива на памћењу почетне позиције уређаја након паљења апликације и постављања референтног система спрам ње односно постављање новог координатног система са координатним почетком у тачки паљења уређаја односно апликације. Све даље калкулације кретања и померања корисника у дигиталном свету, односно сцени, се рачунају спрам овог новог референтног система. XR Origin је родитељ у хијерархијској структури свим другим објектима везаним за корисника.

Постоје два режима рада праћења (енгл. Tracking Origin Mode) и то су праћење уређаја и праћење пода.

У режиму праћења уређаја, праћење се базира на тачној иницијалној позицији уређаја са тачном висином где се уређај налази (на висини главе). Овај режим рада је погодан за апликације где се корисник не мора поравнати са физичким светом, рецимо уколико се не креће већ седи.

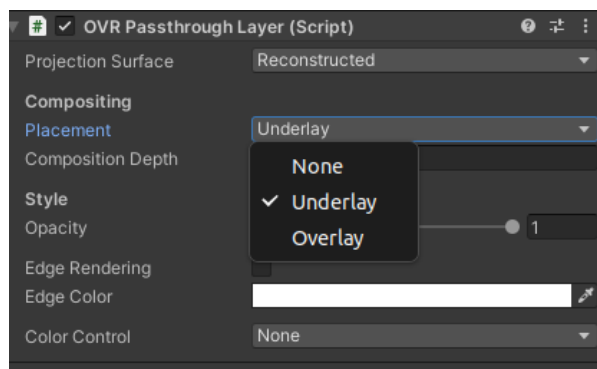
У режиму праћења спрам пода, као координатни почетак се узима иницијална позиција уређаја али спуштена за висинску разлику између пода и главе. Овај режим рада је погодан за апликације где се корисник физички креће те је потребно тачно поравнавање са физичким светом.

### **3.1.1.1 Passthrough**

Као хијерархијско дете објекта XR Origin, Passthrough је објекат помоћу којег омогућавамо коришћење Passthrough технологије. Коришћењем Passthrough слоја (енгл. Passthrough Layer) се омогућава исцртавање физичке околине у два режима рада.

У надслој (енгл. Overlay) режиму рада, очитана слика са камера уређаја се исцртава преко дигиталног садржаја, односно дигитални свет је иза слике и не види се.

У подслој (енгл. Underlay) режиму, слика се исцртава испод дигиталног садржаја те се стиче осећај боравка у стварном физичком свету у ком се налазе дигитални елементи.



Слика 3.1.2 Passthrough слојеви

### 3.1.1.2 Camera Offset и Camera

Објекат главне камере (енгл. Main Camera) је објекат кроз који се кориснику приказује апликација из одређење перспективе и то не само у XR апликацијама већ и у свим другим. Разлика је што у случају коришћења VR уређаја је потребно приказати две различите слика за два ока што Unity подржава преко XR Плуг-ин-а.

Camera Offset је хијерархијско дете XR Origin-а и служи за подешавање жељеног положаја односно померености камере и других објеката у XR Origin-у. Најчешће се користи како би се камера и други елементи вертикално померили на горе како би били добро позиционирани спрам корисника. У режиму рада праћења пода неопходно је специфицирати жељену висину на којој ће се налазити корисникова глава односно објекат камере.

### 3.1.1.3 Коришћење руку

Поред праћења главе и приказивања слике играчу, односно кориснику, други веома битан део јесте детектовање и праћење руку. Детектовањем и праћењем руку омогућујемо да одређење покрете руку претворимо у одређење покрете и интеракције у дигиталном свету. Детекција и праћење су могући захваљујући сету наочара за виртуелну стварност које подржавају детектовање и праћење руку или других уређаја који ово подржавају. Наочаре и систем за детекцију такође прате и детектују одређење покрете и гестове руку који нам служе да интерагујемо на разне начине са дигиталном околином. Битно је напоменути да играч, односно корисник, може да користи обе руке истовремено јер се свака рука посебно детектује и прати.

Најбитнији гестови руку помоћу којих играч, односно корисник, интерагује са дигиталним садржајем су хватање прстима (енгл. Pinch) и притискање кажипрстом (енгл.

Рокс) поред којих постоји много других гестова. Битно је поменути да могу да се креирају и нови прилагођени гестови и да могу да им се доделе опције и контроле када се детектују.

Поред интераговања путем гестова, што представља и главни вид интеракција рукама са дигиталним светом и садржајем, постоји и интеракција путем зрака за интераговање (енгл. Ray Interactor). Уколико играч, односно корисник, испружи руку и усмери длан ка објектима који су у даљини или ван домашаја руке, из шаке односно из длана излази зрак за интераговање. Уколико тај зрак буде заустављен од стране неког објекта са којим му је дозвољена интеракција, играч односно корисник може, на пример, да ухвати тај објекат прстима као да је објекат ухваћен прстима. Зрак дакле може да oponaша све интеракције руку и представља на неки начин „дигитални продужетак руке” али може да има и другу намену. Поред таквих интеракција такође је могуће подесити да се ухваћени објекат аутоматски привуче у руку (енгл. Force Grab) где даље играч, односно корисник, наставља да интерагује са објектом по жељи.



Слика 3.1.3 Гест притискања кажипрстом



Слика 3.1.4 Гест хватања прстима



Слика 3.1.5 Зрак за интераговање

#### 3.1.1.4 Руке и интеракције

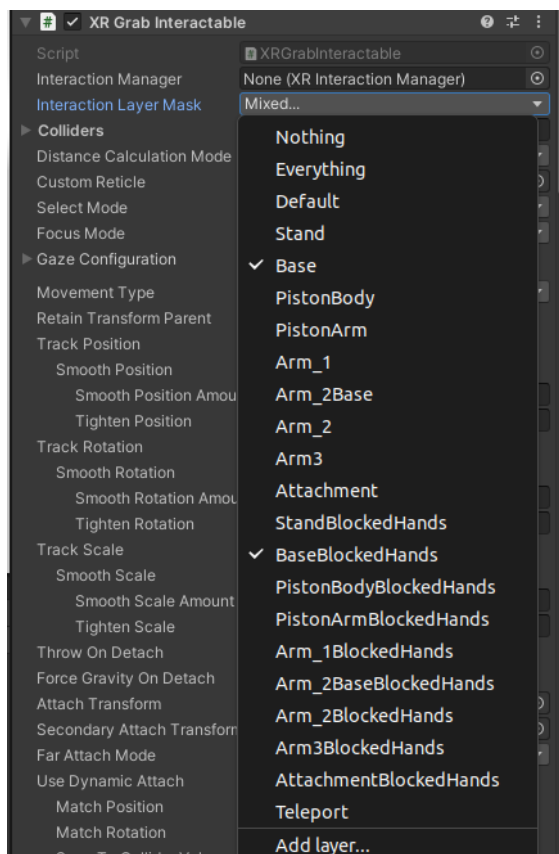
Руке су дакле објекти који интерагују (енгл. Interactor Object), који започињу интеракцију са интерактивним објектима (енгл. Interactable Object). Пошто зрак представља „дигитални продужетак руке” и он представља објекат који започиње интеракцију, односно и он је интерактор.

Да би интеракција била могућа, интерактор и интерактивни објекат морају да буду на истом интерактивном слоју (енгл. Interaction Layer). Интерактивни слојеви служе како би се прецизније управљало интеракцијама, односно дефинишу који објекат може да интерагује са којим. Веома слично се понашају као слојеви за физику (енгл. Physics Layers).

Битно је напоменути да како постоје слојеви интеракција помоћу којих се прецизније дефинишу интеракције тако постоје и различите врсте интерактора и интерактивних објеката које још доприносе тој прецизности. У питању су интерактори и интерактивни

објекти за хватање и додиривање(енгл. XR Direct Interactor и XR Grab Interactable), притискање (енгл. XR Poke Interactor и XR Poke Interactable) као и многи други.

Дакле, да би два објекта могла да интерагују морају да имају одговарајући тип интерактора и интерактивног објекта као и да буду на истом интерактивном слоју чиме се ефективно врши филтрирање дозвољених интеракција.



Слика 3.1.6 Пример слојева интеракција

### 3.1.2 Input Action Manager

Input Action Manager, као што му име каже, представља компоненту која је задужена за управљање улазним акцијама. Он мапира улазне акције играча, односно корисника, на одговарајуће акције и догађаје унутар апликације и самим тим представља централизовано место где су дефинисане и намапиране улазне акције на одговарајуће акције у апликацији (енгл. Input Action Asset), односно грубо речено представља „контроле” игре, односно апликације.

Битно је напоменути да је могуће креирати и мапирати више различитих сетова улазних акција као на пример сет улазних акција корисникових руку и сет улазних акција контролера чиме се кориснику пружа флексибилност у виду избора коришћења руку или

контролера. Исто тако се могу правити и различити сетови акција за различите уређаје што доприноси преносивости игре, односно апликације.

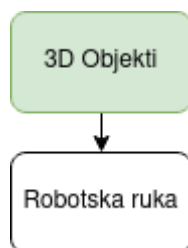
### 3.1.3 XR Interaction Manager

XR Interaction Manager представља мост између интерактора и интерактивних објеката, односно представља компоненту која управља интеракцијама између поменутих објеката. Ова компонента је задужена да прати све интеракторе и интерактивне објекте и детектује и управља интеракцијама. Такође ова компонента је задужена да води рачуна о већ поменутих интерактивним слојевима и типовима интерактора и спрам тога координише интеракције.

## 3.2 Модул интерактивних објеката

Овај модул се односи на све објекте са којима је предвиђено да корисник интерагује. Као што је већ поменуто, за овај рад два најбитнија вида интераговања корисника са објектима јесу хватање и притискање. Хватање се односи на све тродимензионе објекте док се притискање односи на интеракцију са менијем који је намењен да корисника упозна са основним контролама и циљевима апликације (енгл. Tutorial) и главним менијем апликације.

### 3.2.1 Интеракције са тродимензионим објектима



Слика 3.2.1 Interакције sa trodimenzionim objektima

Поред интеракција са једном руком, о којима је било речи раније у тексту, могуће су и интеракције са две руке. Ове интеракције се базирају на томе да се објекат прво ухвати једном руком и држи се у њој за време чега се могу започети интеракције и са другом руком. За овај рад је најбитнија интеракција ротирања објекта једном руком око тачке где је објекат ухваћен другом руком. Поред ротације, постоји и могућност увећавања и смањивања (енгл. Scaling) која је мање битна за овај рад.

### 3.2.1.1 Лежишта за спајање објеката

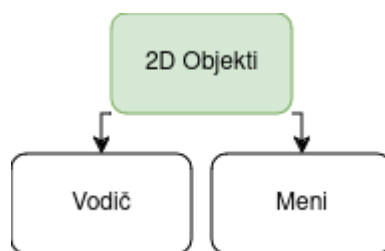
Један важан и занимљив део тродимензионих интерактивних објеката лежиште спајања (енгл. XR Socket Interactor). Лежиште спајања функционише слично као интерактор за хватање и додиривање код руку. Оно интерагује са интерактивном компонентом за хватање са других интерактивних објеката. Помоћу предефинисане позиције на коју треба да се прикључи као и позиције до које треба да се приближи други објекат да би до прикључивања дошло, други објекат се прикључује за лежиште и позиционира на одговарајуће место (енгл. Snapping).

Понашање лежишта и интерактивног објекта у њему се може описати као понашање родитеља и детета објекта унутар Unity сцене. Померањем родитеља, односно у нашем случају објекта који има компоненту интерактора лежишта, помера се и дете, односно интерактивни објекат за хватање. Хватањем и померањем самог интерактивног објекта који се налази у лежишту он се раздваја од свог интерактора лежишта, односно лежиште престаје да га држи везаним, након чега се даље понаша као засебан објекат.

Веома је битно напоменути да као што интерактор за хватање и додиривање и интерактивни објекат за хватање функционишу само уколико су на истом слоју за интеракције, исто тако и интерактор лежишта и интерактивни објекат за хватање функционишу. Уколико филтрирамо односно уколико направимо да сваки интерактор лежишта има тачно један одговарајући објекат који може да се прикључи, постиже се ефекат тачног склапања и расклапања комплекснијих објеката. Уколико се овако нешто не подеси сваки објекат који на себи има интерактор за хватање може да се прикључи на сваки интерактор лежишта те се може десити да се споје два погрешна објекта где се могу даље дешавати и већи проблеми попут колизије физике (енгл. Physics Collision), грешке приликом исцртавања (енгл. Z-Fighting) и многе друге.

Поред поменутих специјализованих компоненти за интеракције, постоје и класичне, мање битне за овај рад, интеракције физичког сударања међу објектима у сцени које се дешавају по слојевима за физику.

### 3.2.2 Интеракције са дводимензионим објектима и елементима



Слика 3.2.2 Дијаграм дводимензионих објеката

Други вид објеката који се често јављају су дводимензиони објекти и елементи, најчешће у облику неког корисничког интерфејса (енгл. User Interface) или менија. Притискање тестера у менију је одличан пример интеракције. На руци, односно на кажипрсту, би се налазио интерактор за притискање тастера док би тастер представљао интерактивни објекат за притискање. Регистравањем притискања тастера извршила би се функција закачена за тај тастер, исто као да је у питању обичан тастер који је притиснут мишем.

## 4. Програмско решење

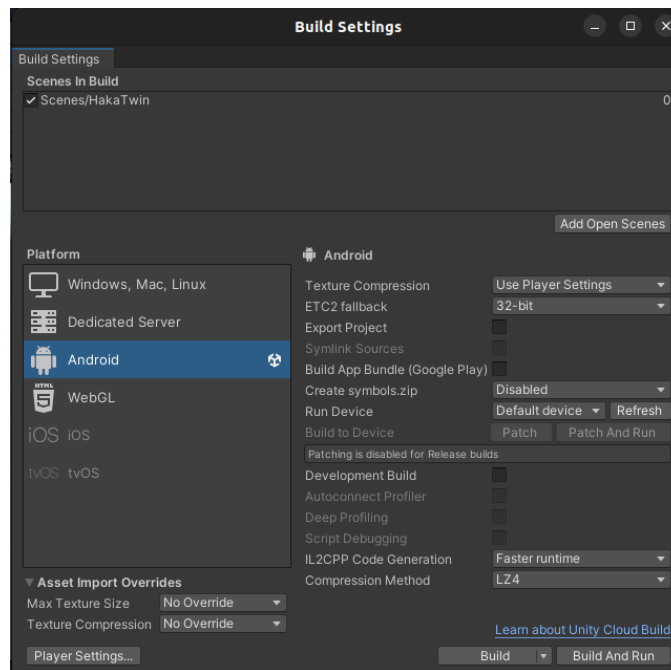
Ово поглавље је о самом програмском решењу и имплементацији истог. Као што је поменуто у уводу, задатак је направити апликацију која уз помоћ детекције руку и прилагођених контрола за исте омогућује кориснику да интерагује са тродимензионим објектима. Главни алати и технологије који су коришћени су: Unity погон за видео игре, Passthrough технологија, OpenXR стандард за израду XR апликација као и Microsoft Visual Studio и Visual Studio Code који су послужили за писање Unity скрипти у Ц# језику. За тестирање су коришћене су коришћене Meta Quest Pro наочаре за виртуелну стварност, базиране на Android оперативном систему, које подржавају Passthrough технологију.

Главни фокус током израде програмског решења је био на интуитивном корисничком искуству кроз правилну организацију компоненти интерактора и компоненти интерактивних објеката као и дефинисању једноставних, по корисника, улазних акција. Све ово доприноси да се корисник лако снађе и прилагоди и да без претераног размишљања, о томе како, интерагује са околином.

### 4.1 Подешавања пројекта

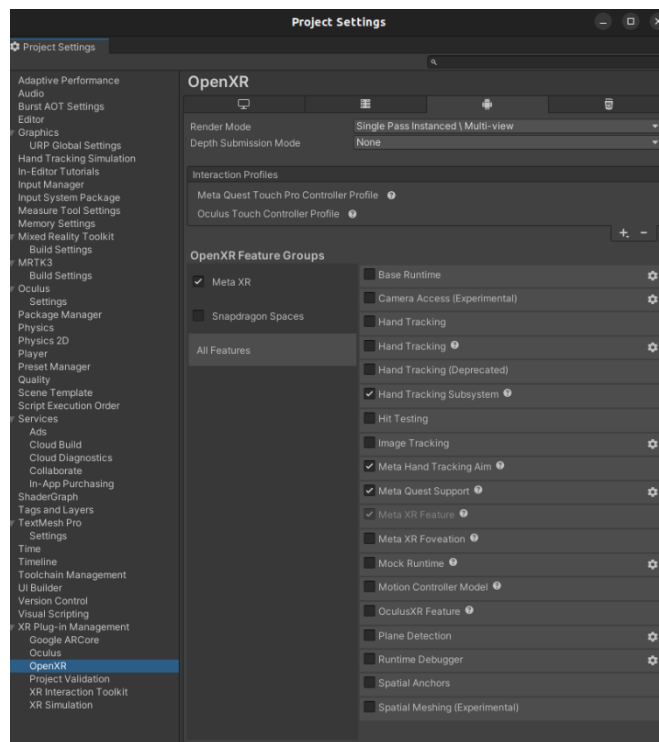
Пре детаљнијег залажења у решења главних модула, потребно је подесити неколико битних подешавања које даље омогућавају рад истих.

Пре свега потребно је подесити платформу на за коју се прави апликација. Као што је поменуто, за тестирање су коришћене Meta Quest Pro наочаре за виртуелну стварност базиране на Android оперативном систему те самим тим је потребно платформу подесити на Android.



Слика 4.1.1 Промена платформе

Поред постављања платформе битно је подесити и OpenXR подешавања у Player Settings-у као што је приказано на слици.



Слика 4.1.2 Project settings OpenXR

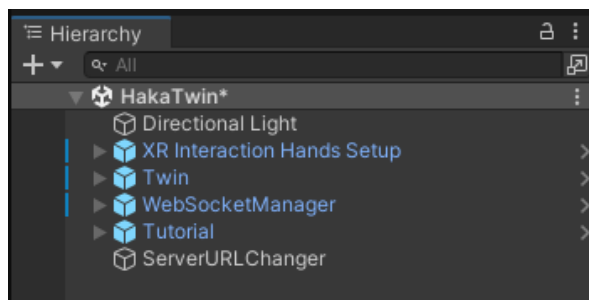
## 4.2 Структура Unity сцене

Најбитнији објекти у сцени за овај рад су:

XR Interaction Hands Setup, модул корисника;

Twin, модул интерактивних тродимензионих објеката;

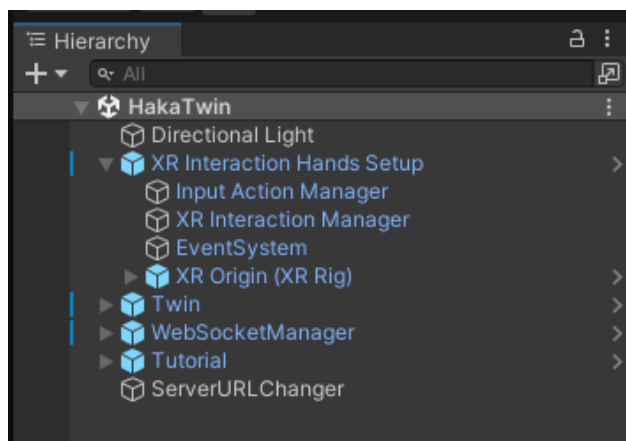
Tutorial и Hand Menu, модул интерактивних дводимензионих објеката.



Слика 4.2.1 Хијерархија пројекта

### 4.2.1 Модул корисника у решењу

Модул корисника, у овом случају XR Interaction Hands Setup, се састоји из својих већ поменутих модула: Input Action Manager, XR Interaction Manager и XR Origin.

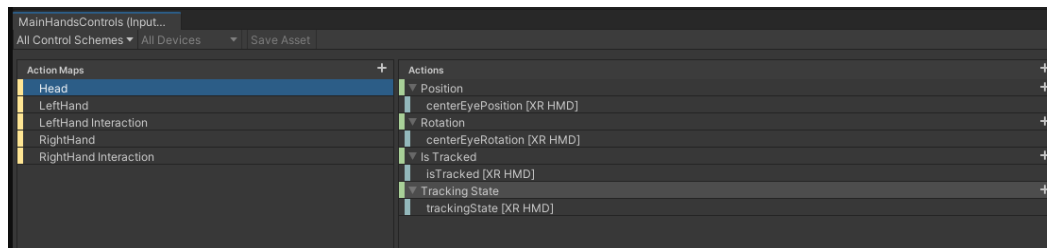


Слика 4.2.2 Хијерархија модула корисника

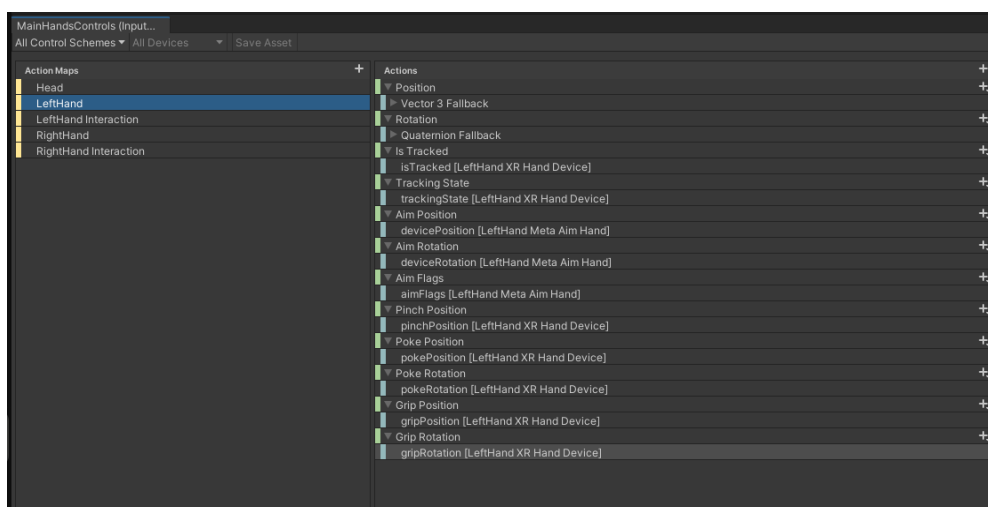
#### 4.2.1.1 Подешавање Input Action Manager компоненте

За подешавање Input Action Managera потребно је направити прилагођени сет улазних акција, односно контрола, које подржавају рад са детектованим рукама као и сет за праћење

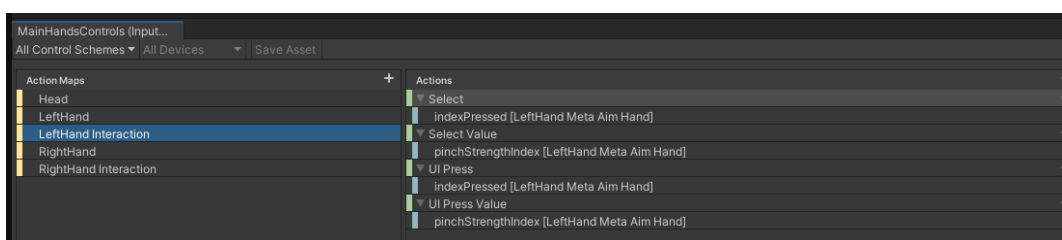
покрета главе. За ове потребе се креира прилагођена мапа акција, назваћемо га MainHandsControls.



Слика 4.2.3 Мапа акција за праћење главе

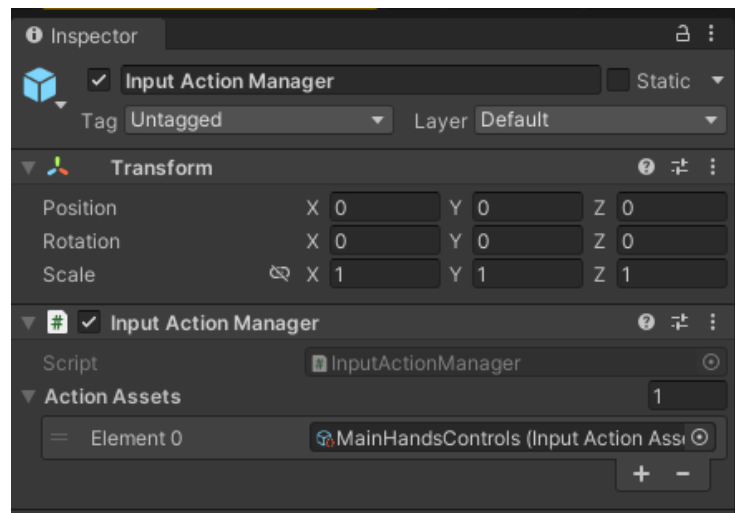


Слика 4.2.4 Мапа акција за праћење руку



Слика 4.2.5 Мапа акција за праћење интеракција руку

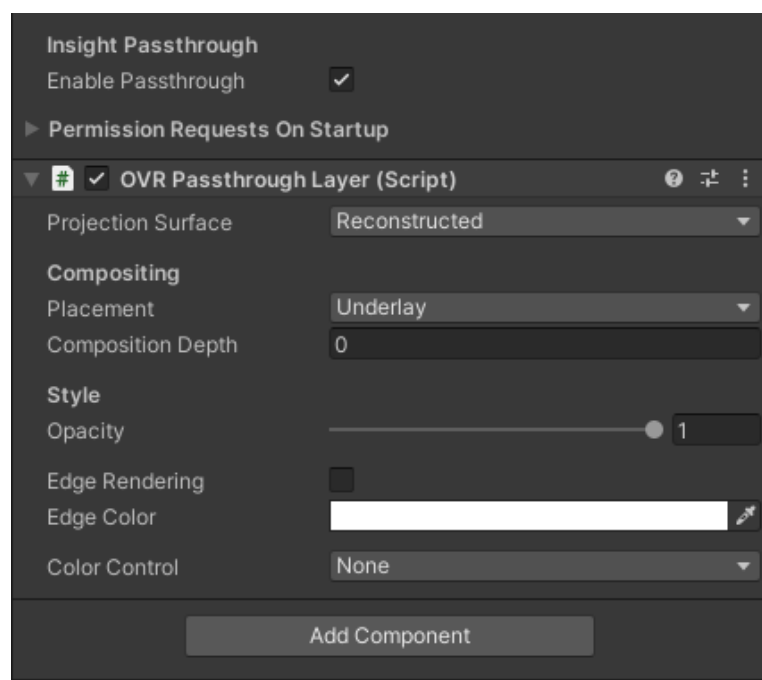
Након креиране прилагођене мапе акција која сада подржава акције покрета главе и руку, потребно је проследити ту нову прилагођену мапу у Input Action Manager-у.



Слика 4.2.6 Input Action Manager подешавања

#### 4.2.1.2 Input Action Manager подешавања

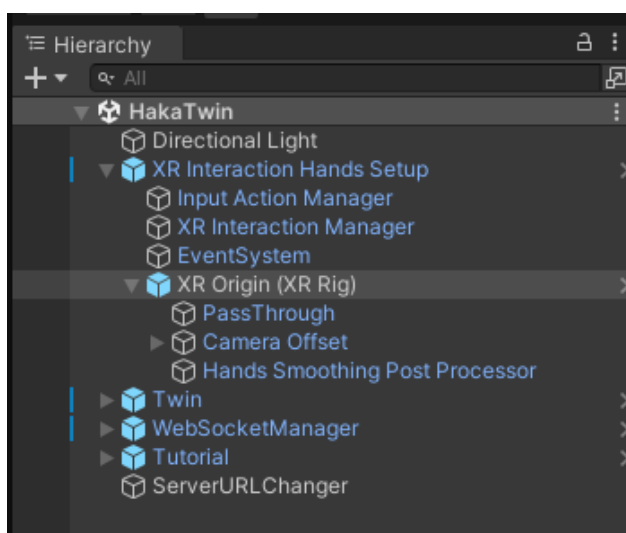
Помоћу ове компоненте се омогућује кориснику да види стварни свет на екрану наочара. Потребно је омогућити рад и подесити Passthrough у режим рада као подслој како би се кориснику испод дигиталног садржаја исцртавао стварни свет. Овом техником се постиже да апликација ради као и свака друга AR апликација. Пошто не знамо у напред геометрију физичког простора у којем се корисник налази, користимо аутоматску реконструкцију.



Слика 4.2.7 Passthrough подешавања

### 4.2.1.3 XR Origin компонента

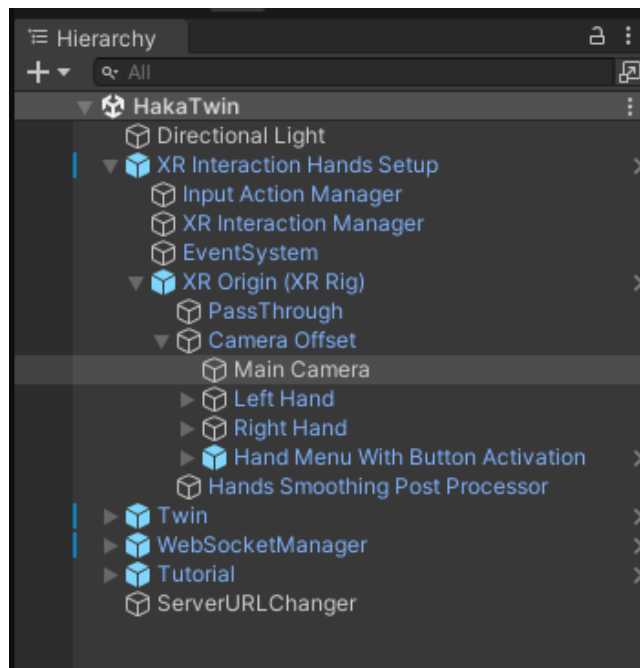
Најбитнији и најобимнији подмодул корисничког модула јесте XR Origin. Он је хијерархијски родитељ свим даљим подмодулима везаних за корисника и представља референтну тачку помоћу које се прати корисничко кретање у простору. У склопу њега се налазе Passthrough подмодул као и подмодул главне камере.



Слика 4.2.8 Хијерархија XR Origin

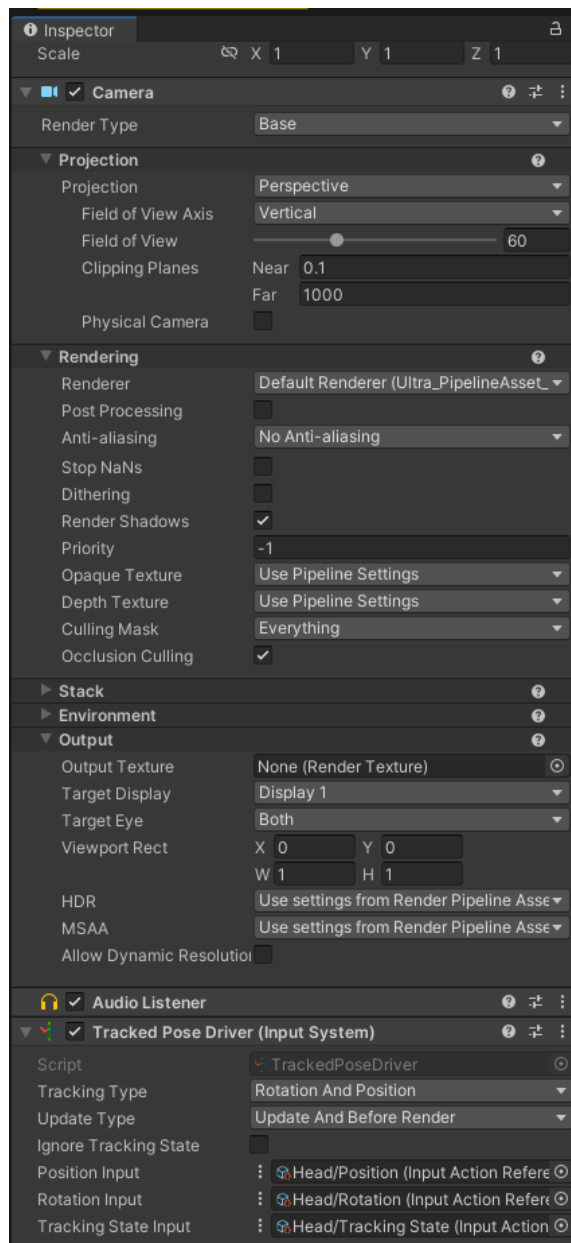
- **Main Camera**

Главна камера је компонента која служи да кориснику исцртава приказ сцене, дакле служи како би корисник видео сцену. Ова компонента је задужена и да прати и поравнава покрете корисникове главе са дигиталним приказом.



Слика 4.2.9 Хијерархија главне камере

На наредној слици се виде подешавања камере као и подешавања прилагођених улазних акција за праћење корисникове главе.



Слика 4.2.10 Подешавања главне камере

Тип исцртавања (енгл. *Render Type*) служи како бисмо дефинисали, уколико постоји више камера унутар исте сцене, која камера врши исцртавање преко које односно да ли је камера постављена као базна (енгл. *Base*) или слој изнад (енгл. *Overlay*) па се исцртава преко базне. За потребе овог пројекта, главна камера је постављена у базни тип исцртавања.

Следеће битно подешавање је подешавање видног поља (енгл. *Field of View*) где се подешава, изражено у степенима, колико камера уско или широко може да прикаже слику кориснику. Уколико се видно поље подеси превише уско, корисник ће имати осећај као да му је све ближе него што заправо јесте и имаће слабу прегледност. Уколико се подеси превише широко, јесте да ће имати већу прегледност али ће и слика изгледати облије и

---

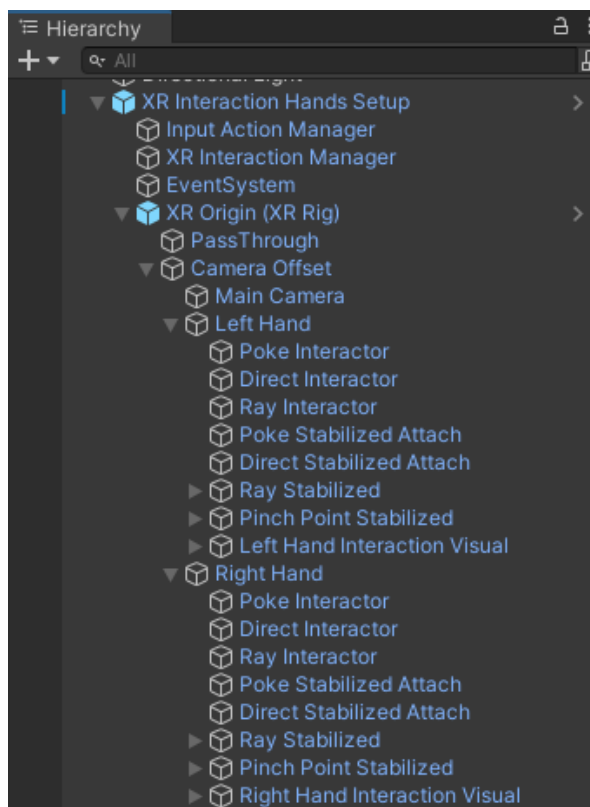
закривљено више него што заправо јесте. Такође овакво подешавање може код неких корисника брзо да изазове снажне реакције попут мучнине (енгл. Motion Sickness). Угао од 60 степени представља одличан баланс прегледности и пријатности коришћења.

Наредно битно подешавање је подешавање циљног ока (енгл. Target Eye) у којем се дефинише којем оку ће се приказивати слика. За потребе овог пројекта коришћена је опција за оба ока како би се на оба ока исцртавало прилаз сцене.

Поред главних подешавања камере, постоје и компонента за пријем и обраду звука (енгл. Audio Listener) као и за праћење покрета корисникове главе (енгл. Tracked Pose Driver). Компоненту за праћење покрета главе је потребно подесити сходно новим прилагођеним контролама, односно мапи улазних акција.

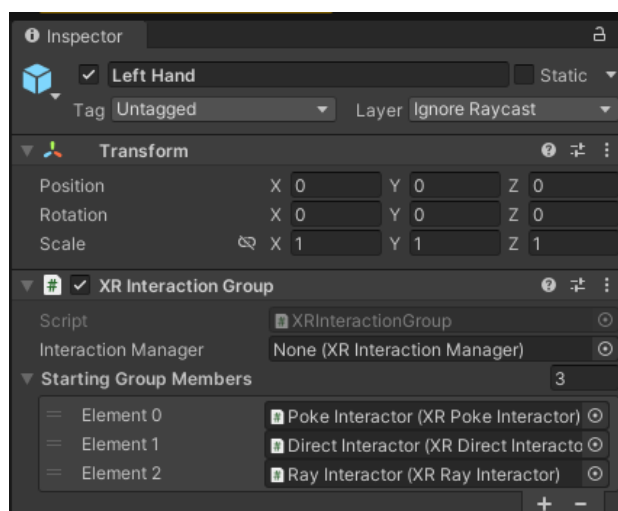
- **Лева и десна рука**

Објекти леве и десне руке су идентични осим, наравно, што објекат леве руке је задужен за праћење кретања и праћење интеракција леве руке док објекат десне руке за праћење десне. Укратко речено, све што је могуће радити са левом руком у апликацији, могуће је и са десном. Даља објашњења ће, из тог разлога, бити образлагана само на примеру леве руке.



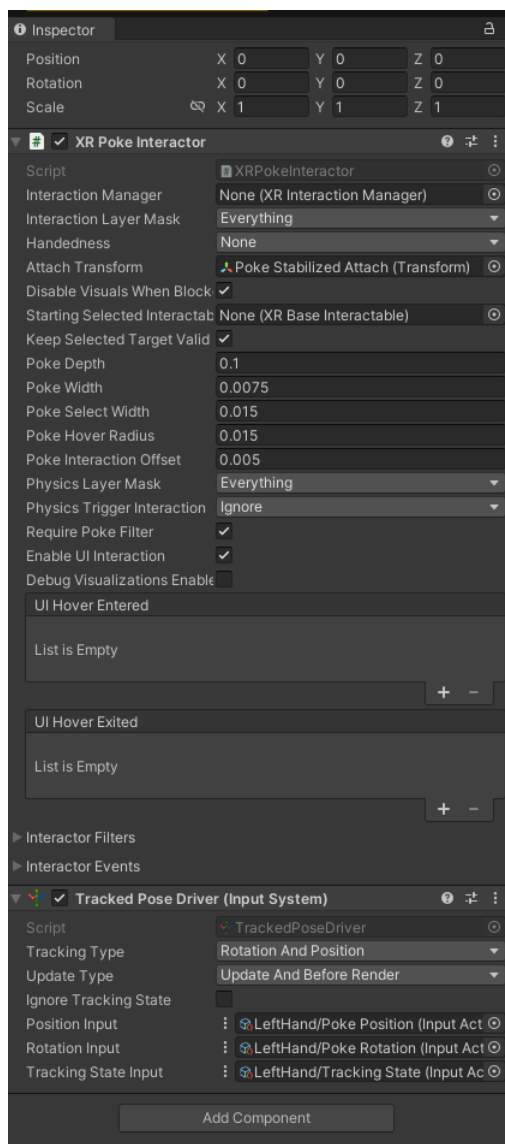
Слика 4.2.11 Хијерархија руке

На самом објекту руке налази се скрипта за груписање интеракција (енгл. XR Interaction Group). Она служи за организовање и управљање више различитих типова интеракција у исто време. Помоћу ове скрипте се дефинишу приоритети као и међусобно интераговање међу интеракторима приликом интеракција са интерактивним објектима. У њој су подешени интерактори за притискање, хватање и додиривање као и зрака за интераговање.



Слика 4.2.12 Подешавања руке

**Интерактор за притискање** на себи има закачену скрипту која је задужена за праћење положаја руке и детекције самог покрета за притискање (Tracked Pose Driver) као и главну скрипту задужењу да тај покрет претвори у интеракцију (XR Poke Interactor).



Слика 4.2.13 Подешавања интерактора за притискање

Потребно је подесити на којим слојевима интеракција (Interaction Layer Mask) ће рука моћи да интерагује, за потребе пројекта постављено је да може да интерагује на свим слојевима.

---

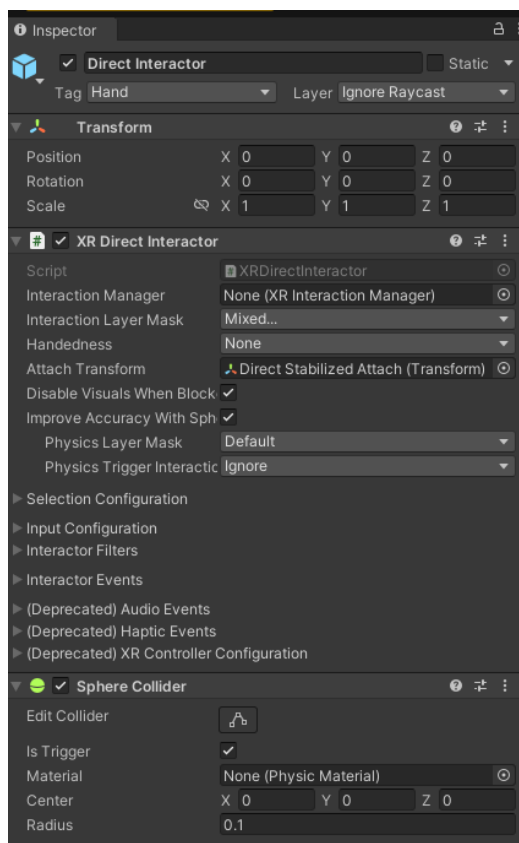
Поред слојева могуће је поставити и разликовати руке (енгл. Handedness) те прецизније направити интеракције. Као што је раније поменуто, у овом пројекту обе руке су подједнаке.

Место где интеракција притискања започиње (енгл. Attach Transform) се налази на кажипрсту руке и то је потребно специфицирати. Мало касније ћемо видети како изгледа структура руке као објекта у сцени.

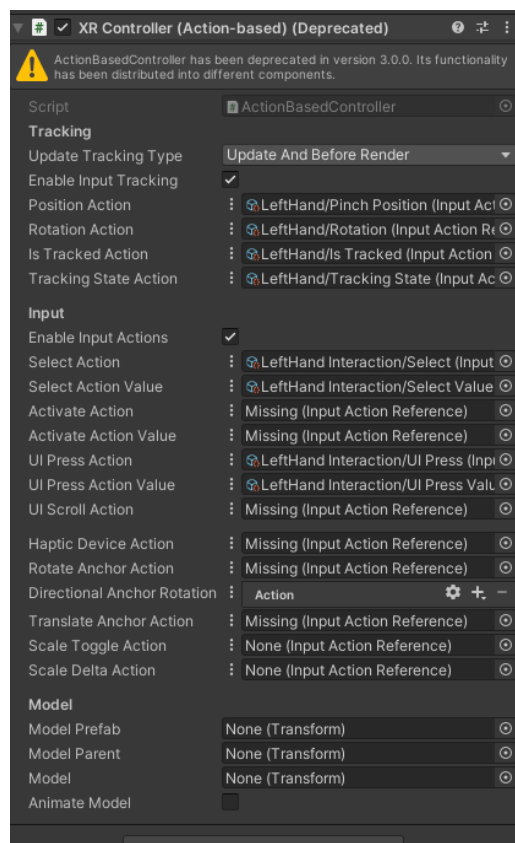
Поред ових најважнијих, постоје и други параметри попут дубине притискања(енгл. Depth), ширине (енгл. Width) самог интерактора односно прста као и други.

Скрипту, задужену за праћење положаја руке и детекције самог покрета за притискање, потребно је подесити тако да прихвата ново креиране контроле, односно улазне акције.

**Интерактор за хватање и додиривање** на себи има већ поменути скрипту задужену за праћење положаја руке и детекције самог покрета за хватање (XR Controller) као и главну скрипту задужењу да тај покрет претвори у интеракцију (XR Direct Interactor). Поред ове две скрипте, интерактор за хватање и додиривање има и сферну област за детекцију судара (енгл. Sphere Collider).



Слика 4.2.14 Подешавања интерактора за хватање 1



Слика 4.2.15 Подешавања интерактора за хватање 2

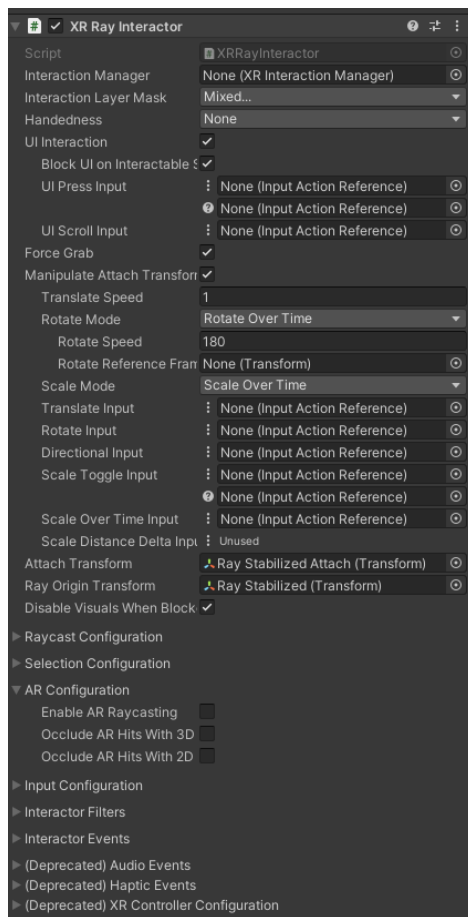
Исто као код интерактора за притискање, треба подесити на којим слојевима интеракција (Interaction Layer Mask) ће рука моћи да интерагује, односно хвата и додирује предмете у сцени. Детаљи овог подешавања биће објашњени нешто касније у секцији о тродимензионим објектима у сцени.

Разликовање руку, као и код интерактора за притискање, није потребно.

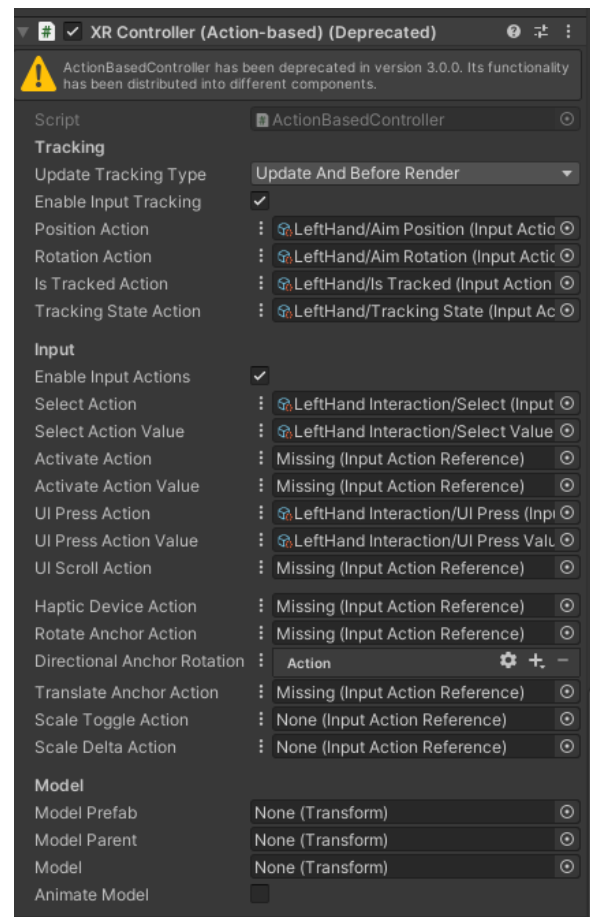
Потребно је подесити место где интеракција притискања започиње (енгл. Attach Transform) да буде негде у центру шаке ради интуитивније руковања апликацијом.

Потребно је подесити и скрипту задужену за праћење и детектовање интеракције хватања тако да прихвата ново креиране контроле, односно улазне акције.

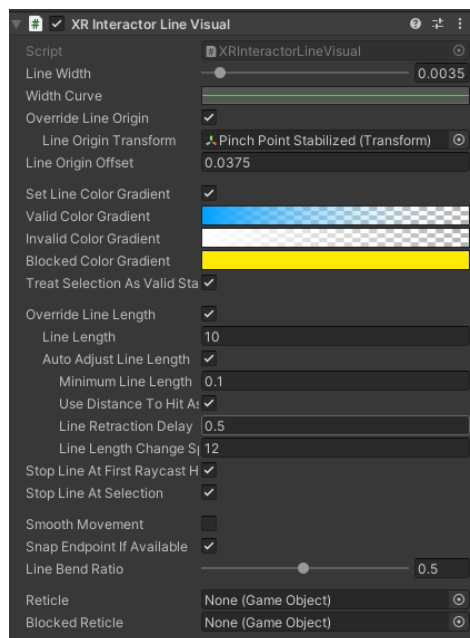
**Зрак за интераговање** на себи такође поседује скрипту задужену за праћење положаја руке и детекције самог покрета за испаливање зрака (XR Controller), главну скрипту за интераговање (XR Ray Interactor) и скрипту за исцртавање и визуализацију зрака.



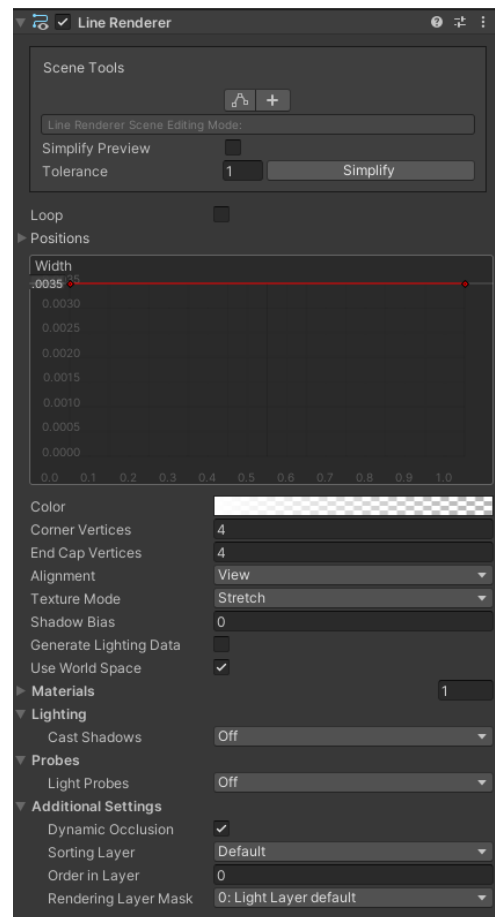
Слика 4.2.16 Подешавања зрака за интераговање 1



Слика 4.2.17 Подешавања зрака за интераговање 2



Слика 4.2.18 Подешавања зрака за интераговање 3



Слика 4.2.19 Подешавања зрака за интераговање 4

Главну функцију зрака интерактора треба подесити идентично као главну функцију интерактора за хватање и додиривање јер зрак представља „дигитални продужетак руке”. Битно је напоменути да је за потребе овог пројекта опција аутоматског привлачења у руку (Force Grab) укључена.

Потребно је подесити и скрипту задужену за праћење положаја руке и детекције самог покрета за испаливање зрака тако да прихвата ново креиране контроле, односно улазне акције.

Скрипте за исцртавање зрака потребно је подесити као на сликама горе.

Кроз хијерархијску структуру **руке као тродимензионог објекта** у сцени можемо прилагођавати сваки прст, сваки зглоб у шасти појединачно. На наредној слици се види та хијерархија.

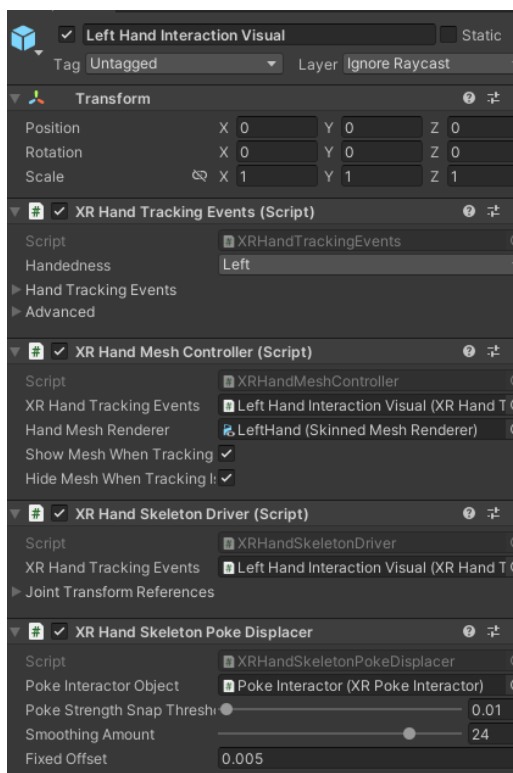


Слика 4.2.2.2.1.1

Слика 4.2.20 Хијерархијска структура руке

Кроз овако широку композицију шаке могуће је и веома прецизно подешавати којим делом шаке односно којим прстом се интерагује на који начин. Као што је горе у тексту поменуто, овде тачно можемо видети и подесити положај врха кажипрста (`L_IndexTip`) да буде интерактор за притискање.

На сам објекат за визуелизацију руке (енгл. `Left Hand Interaction Visual`) закачене су скрипте за праћење догађаја руке (енгл. `XR Hand Tracking Events`), скрипта за исцртавање тродимензионог модела руке (енгл. `XR Hand Mesh Controller`) као и скрипте које омогућавају померање делова костура руке (енгл. `XR Hand Skeleton Driver` и `XR Hand Skeleton Poke Displacer`).

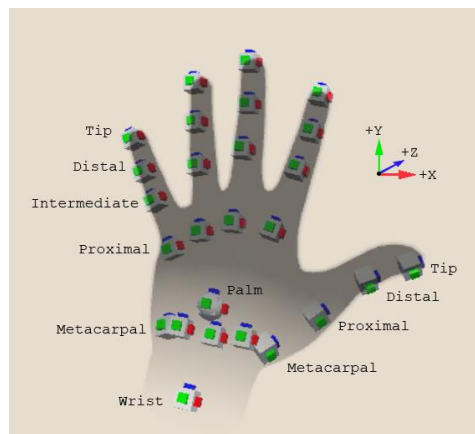


Слика 4.2.21 Подешавања визуелизације руку

Скрипта за праћење догађаја руке управља догађајима везаним за праћење руку, као што су препознавање специфичних покрета и стања или гестова руке. Битно је подесити о којој руци је реч (Handedness) како би праћене функционисало.

Скрипта за исцртавање тродимензионог модела руке, као што јој и име каже, служи за исцртавање руке у тродимензионом простору сцене.

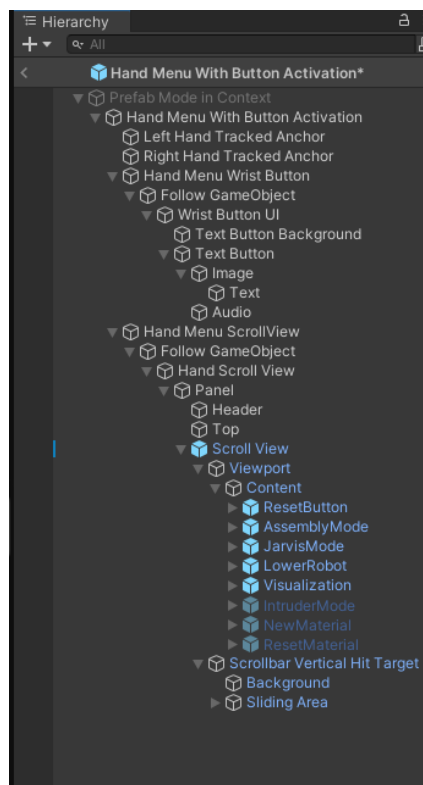
Ради реалистичнијег померања шаке у којој постоји много зглобова, уводе се и скрипте које омогућавају померање делова костура руке. Оне симулирају виртуелни костур који би се налазио у шапи и самим тим и зглобове око којих би се прсти окретали и померали.



Слика 4.2.22 XR Hand

#### 4.2.2 Модул интерактивних објеката

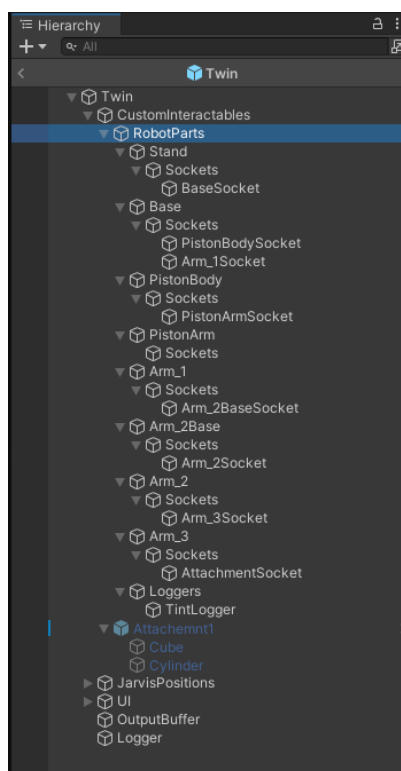
По типу објекта са којим се интерагује, модул интерактивних објеката се може поделити на два подмодула: модул за интеракције са тродимензионим и модул за интеракције са дводимензионим објектима.



Слика 4.2.23 Хијерархија ручног менија

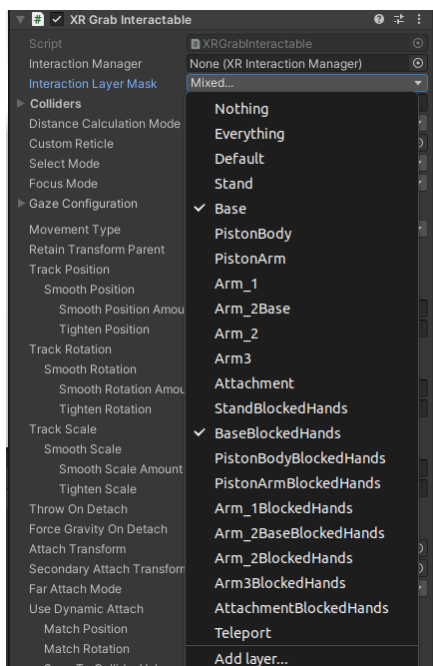
### 4.2.2.1 Тродимензиони интерактивни елементи

Главни вид интеракција и суштина овог рада је о интеракцијама са тродимензионим објектима. Тродимензиони објекат са којим корисник интерагује и овој апликацији је роботска рука која се састоји из више делова. Делови су: постоље на којем се налази робот (енгл. Stand), база робота која је причвршћена за постоље (енгл. Base), хидраулични цилиндар и клип који симулирају покрете (енгл. PistonBody и PistonArm) и три дела који представљају роботску руку (енгл. Arm\_1, Arm\_2, Arm\_3). Поред ових делова постоји и прикључак (енгл. Attachment) о којем ће бити речи касније.



Слика 4.2.24 Хијерархија роботске руке

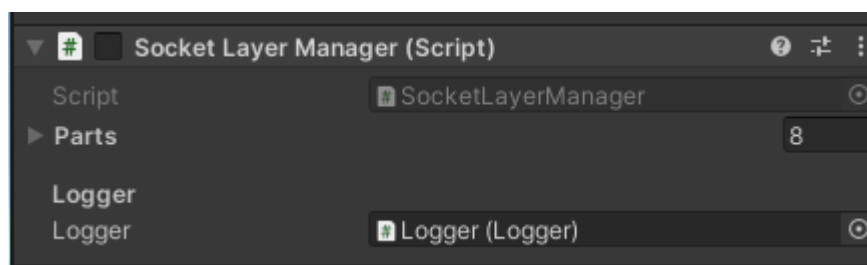
Као што се види на слици изнад, сваки део робота у себи садржи и лежиште за одговарајућу компоненту која се спаја са истим. Као што је објашњено раније у тексту, свако лежиште је подешено на јединствени слој за интераговање, исти са одговарајућим делом који треба да се споји. Овим се постиже да само одговарајући део може да се споји са својим лежиштем.



Слика 4.2.25 Слојеви интеракција

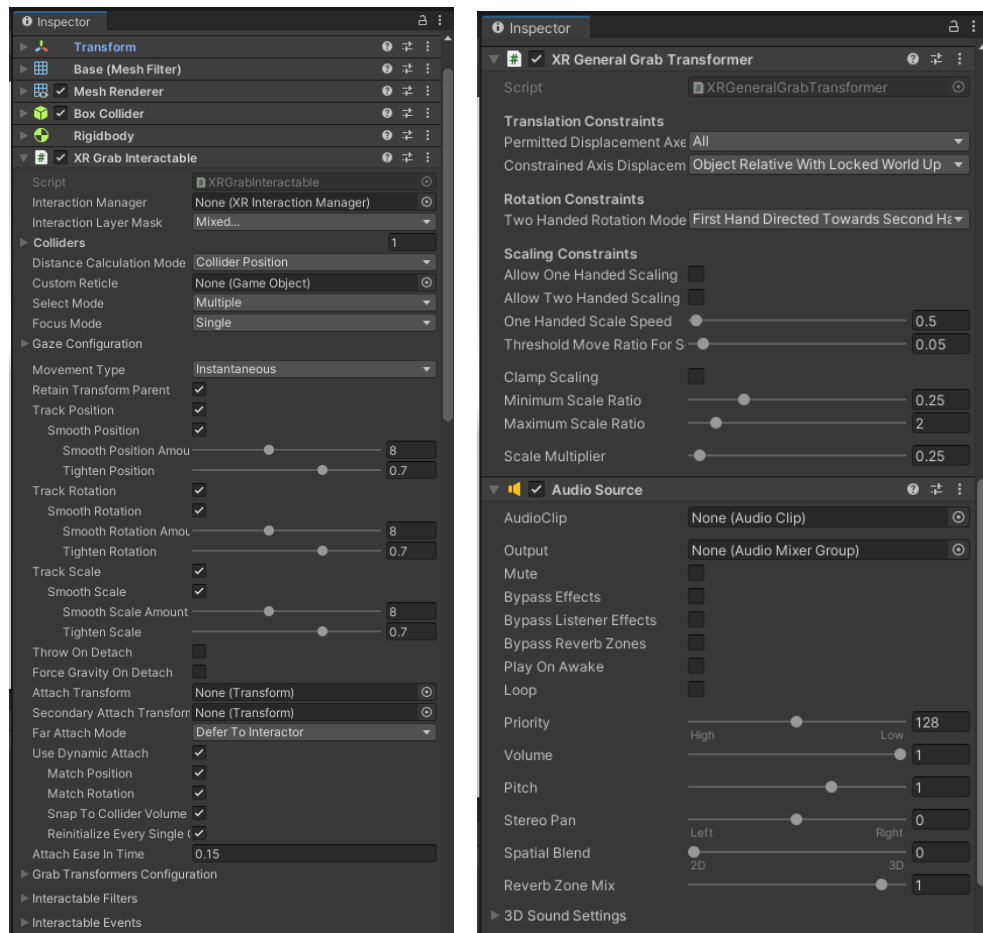
Као што се да за приметити на слици изнад, постоје два означена слоја интеракција. Први означава слој којем руке имају приступ у било ком тренутку док други, са суфиксом „BlockedHands”, представља слој којем руке немају приступ. Овим се постиже да у неким ситуацијама, попут растављања по неком редоследу, не можемо да ухватимо део који нам је блокиран.

Скрипта за контролисање интерактивних слојева лежишта (енгл. Socket Layer Manager) је пример горе поменуте особине. У овој скрипти је дефинисан редослед којим се роботска рука раставља, односно дефинисано је који део се може раставити након ког дела. Као улазне параметре прима делове роботске руке.



Слика 4.2.26 Socket Layer manager

На наредним слика се виде компоненте и скрипте сваког тродимензионог дела роботске руке.



Слика 4.2.27 Подешавања интерактора за хватање 1

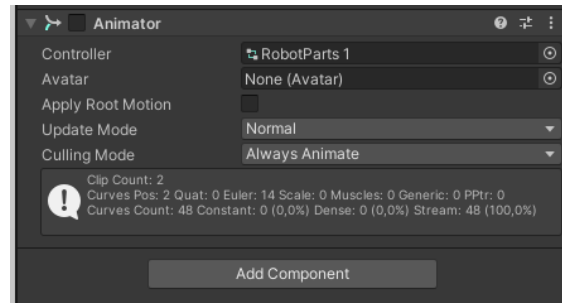
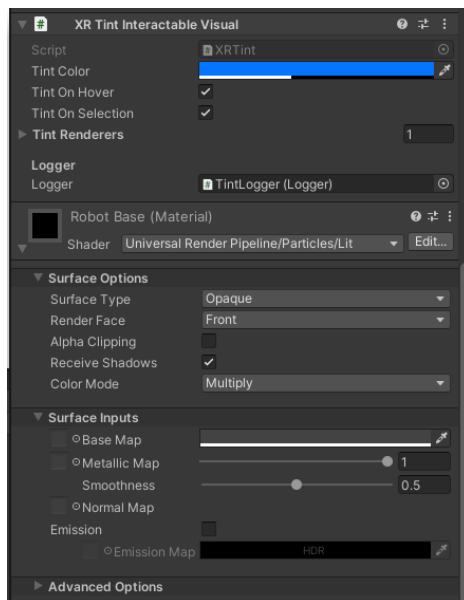
Слика 4.2.28 Подешавања интерактора за хватање 2

Компоненте `Box Collider` и `Rigidbody` служе за детекцију, како колизија тако и интеракција са руком и прстима.

Скрипта за хватање (`XR Grab Interactable`) је главна скрипта одговорна за интеракције са рукама. Битно је подесити слојеве интеракција за сваки део роботске руке сходно томе да ли би требао или не би требао да интерагује са рукама.

Скрипта за трансформације ухваћених објеката (енгл. `XR Grab Transformer`) служи за трансформацију, ротацију и величину ухваћених објеката.

Поред ових главних компоненти, постоје и скрипта за бојење објекта при интераговању (енгл. `XR Tint Interactable Visual`) и скрипта за извршавање анимација (енгл. `Animator`).

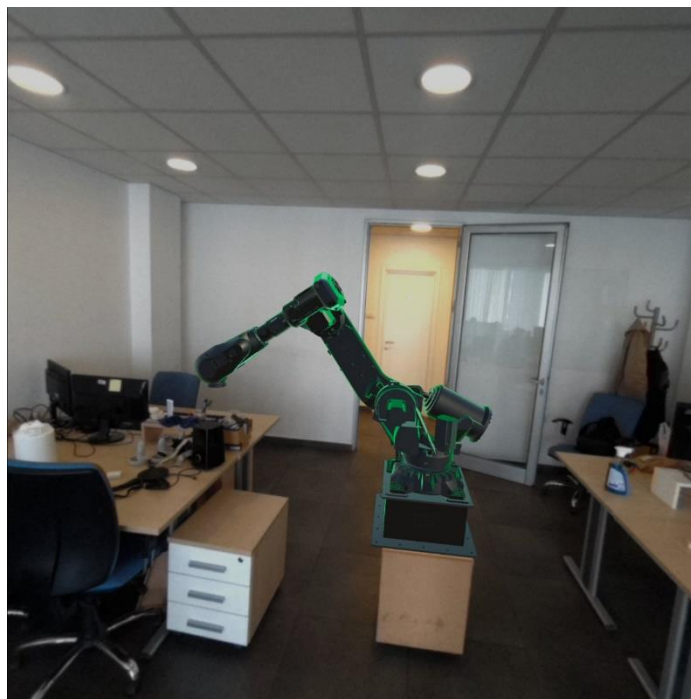


Слика 4.2.29 Подешавања интерактора за хватање 3

Слика 4.2.30 Подешавања интерактора за хватање 4

Скрипта за бојење објекта при интераговању слижи како би корисник знао са којим објектом интерагује. Ова скрипта ради и директно са руком али и са зраком за интераговање.

Аниматор служи за пуштање анимација роботске руке о којима ће бити речи касније.



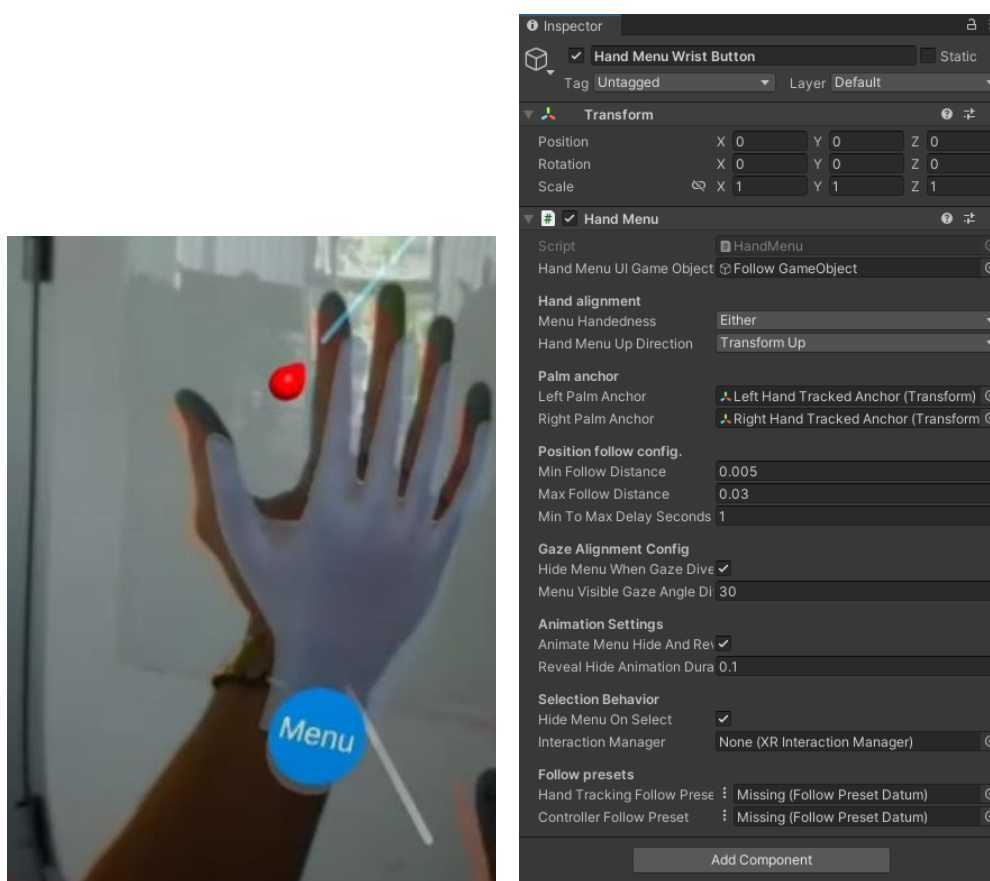
Слика 4.2.31 Визуелизација програмског решења

## 4.2.2.2 Дводимензиони интерактивни елементи

### 4.2.2.2.1 Ручни мени

Ручни мени (енгл. Hand Menu) служи како би корисник могао да мења врсту интеракција са тродимензионим објектима. Притискањем тастера кажипрстом, на ком се налази интерактор за притискање, корисник активира неку нову функционалност или мења тренутни режим интераговања.

Мени се отвара притиском на тастер који прати покрете руке и закачен је за зглоб код шаке са доње стране руке, као што је приказано на слици. Притискање тастера функционише као што је већ објашњено, путем интерактора на кажипрсту.

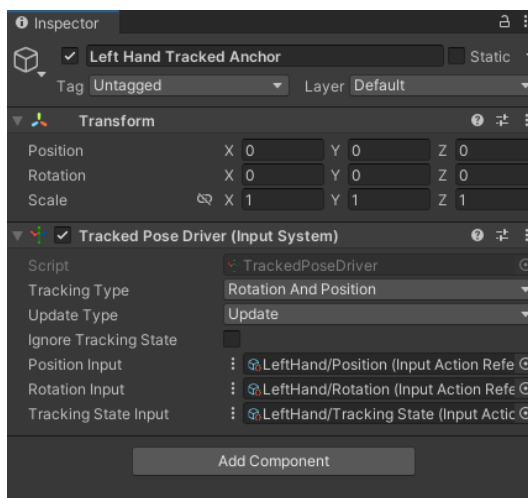


Слика 4.2.32 Визуелизација тастера за ручни мени

Слика 4.2.33 Подешавања ручног менија 1

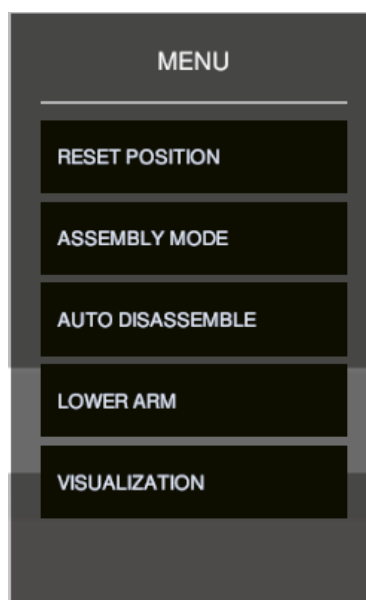
Поред овога, тастер за отварање менија прати и на коју страну је окренута рука и шака. Када су рука и шака окренути на горе, дугме за мени се приказује а уколико су окренути на

доле, дугме се сакрива. Тастер може да се прикаже и на једној и на другој руци, зависно која рука се прва детектује у одговарајућем положају за приказивање тастера.



Слика 4.2.34 Подешавања ручног менија 2

На наредној слици се виде све додатне функционалности и режими рада апликације који се активирају кроз ручни мени.

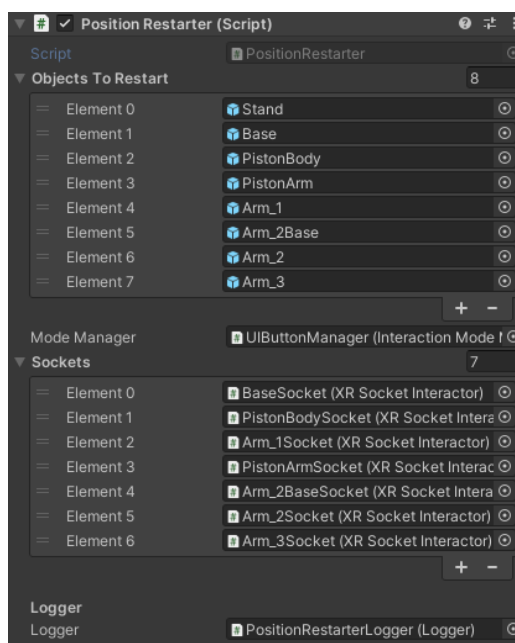


Слика 4.2.35 Визуелизација ручног менија

Ресетовање позиције (енгл. Reset Position) служи како би се позиција прослеђених тродимензионих објеката вратила на почетну.

Као улазне параметре, скрипта за ресетовање узима тродимензионе објекте које ће да ресетује као и њихове почетне позиције, које се узимају приликом покретања апликације. Притиском тастера се тродимензиони објекти постављају на почетну позицију. Поред постављања позиције, сва остала стања, о којима ће бити реч, се постављају на почетна.

Главна сврха ове функционалности јесте да корисник у било ком тренутку може да крене испочетка коришћење апликације без потребе да целу апликацију поново покрене.



Слика 4.2.36 Подешавања скрипте за ресетовање позиције

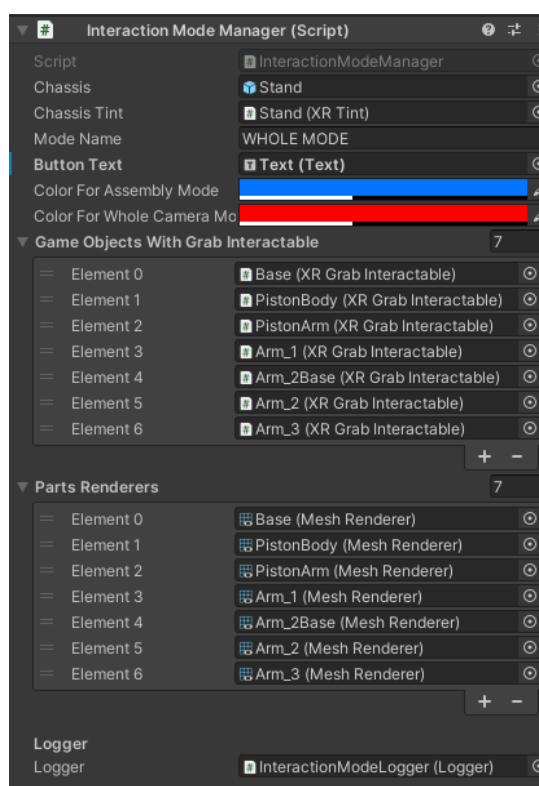
Мењање режима рада интераговања (енгл. Interaction Mode Manager) је скрипта задужена за мењање између два режима интераговања.

Први режим интераговања је режим састављања и растављања компоненти (енгл. Assembly Mode). У овом режиму су активна сва лежишта и корисник може да део по део саставља односно раставља делове тродимензионих објеката. У овом режиму, приликом прилажења деловима они сијају плавом бојом како би корисник знао са којим делом интерагује.

Други режим интераговања је режим где корисник интерагује са свим деловима од једном (енгл. Whole Mode), односно хватањем и померањем једног дела померају се сви делови где они остају у истом релативном односу позиције и ротације. Овај режим интераговања је користан када корисник жели да премести цео предмет са свим деловима, без да их појединачно раставља. У овом режиму рада сви делови истовремено сијају црвеном бојом када корисник интерагује са њима.

Као улазне параметре, скрипта за мењање режима интераговања узима сваки део појединачно, боје којима ће објекти да светле приликом интераговања за сваки од режима као и главни део целокупног објекта односно шасију (енгл. Chassis). Шасија служи као главни део целог објекта и уколико се на пример ухвати и помера шасија, помера се цео објекат односно шасија не може да се растави већ се са ње растављају други делови. Поред ових улазних параметара ту је и текст дугмета који треба да се промени сходно промени режима интераговања.

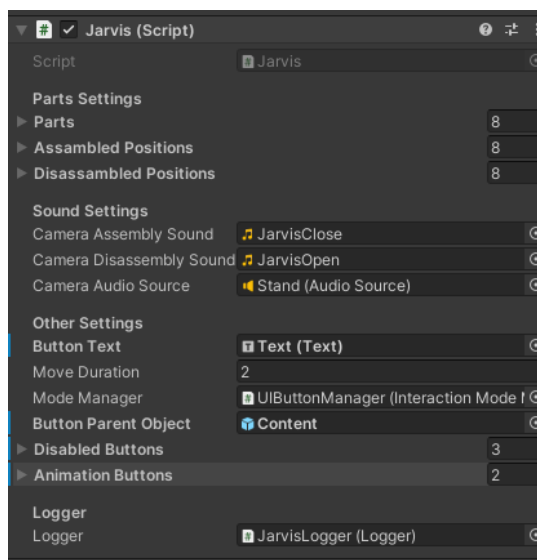
Притиском на тастер за мењање режима рада се мења и сам текст на тастеру који исписује тренутно активан режим рада.



Слика 4.2.37 Подешавања скрипте за промену режима интераговања

Аутоматско састављање и растављање је функционалност која служи, као што јој и име каже, за састављање и растављање свих делова од једном. Уколико је објекат, односно предмет, скроз састављен кориснику се нуди опција аутоматског растављања (енгл. Auto Disassemble) која објекат растави на сваки део појединачно и рашири их да буду прегледни у простору користећи анимације. Уколико је објекат растављен на више од једног дела, кориснику се нуди опција аутоматског састављања (енгл. Auto Assemble) где се сви делови групишу и саставе у један објекат кроз анимације.

Улазни параметри за скрипту задужену за ову функционалност (Jarvis) су сви делови и њихове предефинисане позиције за састављање и растављање као и анимације везане за њих, звук који ће се пуштати током анимације састављања и растављања као и дужина трајања овог процеса у секундама и само дугме на ком ће се исписивати одговарајући текст команде. Такође треба онеспособити тастер за анимацију спуштања роботске руке како не би долазило до визуелних и других грешака (енгл. Visual Bug).



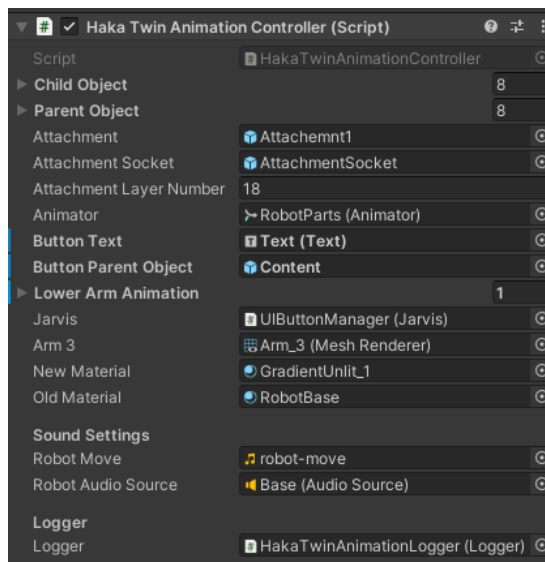
Слика 4.2.38 Подешавања скрипте за аутоматско расклапање и склапање

На крају ту је тастер за пуштање анимације за спуштање и подизање роботске руке приликом којих је могуће закачити додаток (Attachment) на роботску руку (Нака Twin Animation Controller). Роботска рука пре свега мора бити комплетно састављена како тастер за покретање анимације био оспособљен. Притиском на тастер за спуштање роботске руке (енгл. Lower Arm), рука се спушта и појављује се прикључак. У исто време када се појави прикључак, појављује се и његово лежиште на врху роботске руке на које се он може прикључити. Након што корисник принесе прикључак свом лежишту, он се прикључује. Након овога корисник може да притиском на тастер за подизање руке (енгл. Rise Arm), подигне роботску руку која са собом, уколико је прикључак постављен, подиже и прикључак. За време док је роботска рука спуштена онеспособљен је тастери за аутоматско састављање и растављање како не би долазило до визуелних и других грешака. Из истог разлога се овај процес одвија у режиму интераговања са целим објектом.

Као улазне параметре, ова компонента прима који прикључак треба да прикаже и његово лежиште на руци као и слој интеракције, анимације које требају да се пуне као и

звук за њих. Поред ових улазних параметара ту је и текст дугмета који треба да се промени сходно пуштању анимација.

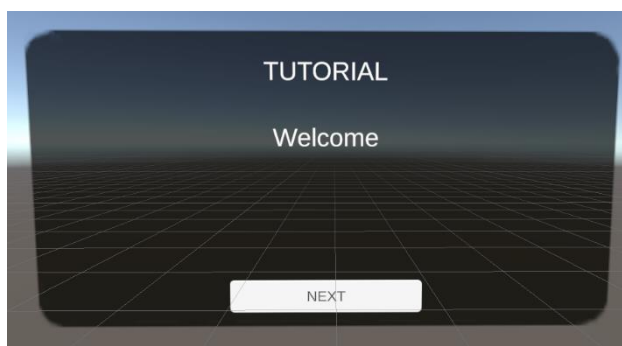
Притиском на тастер за мењање покретање анимација мења се и сам текст на тастеру који исписује име следеће анимације.



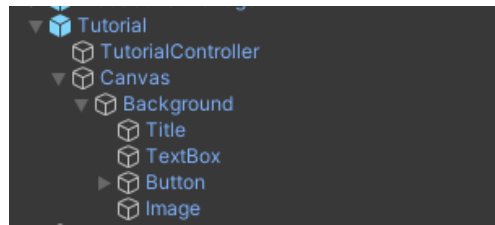
Слика 4.2.39 Подешавања скрипте за спуштање и подизање роботске руке

#### 4.2.2.2.2 Водич

Водич (енгл. Tutorial) је још један дводимензиони елемент са којим корисник интерагује. Он је од посебног значаја новим корисницима јер их упознаје са радом апликације и контролама помоћу којих он треба да интерагује са околином.



Слика 4.2.40 Визуелизација водича



Слика 4.2.41 Хијерархија водича

Водич је представљен у виду дводимензионог објекта који се одмах након покретања апликације поставља пред корисника. На платну (енгл. Canvas) се исцртавају дводимензиони елементи попут текста и тастера. Водич је креиран у више страница, за чији редослед приказивања је задужен контролер (енгл. Tutorial Controller).

Корисник притискањем тастера „Next” пролази кроз водич где му се приказују, кроз више страница, контроле и основне функционалности апликације. Притискање тастера се врши кажипрстом, као што је у тексту већ објашњено.

## 5. Испитивање решења

У овом поглављу ће бити приказани резултати тестирања апликације по функционалностима. Поред сваке функционалности ће бити објашњен очекивани резултат теста и спрема њега евалуирати успешност извршавања унутар апликације.

Назив функционалности	Очекивано понашање	Евалуација
Успостављање Passthrough-а	Приказивање слике стварног света	Успешно
Детекција корисника	Иницијално детектовање руку и постављање корисника, роботске руке и водича у свет	Успешно
Интеракција са тастером унутар водича	Водич приказује наредну страницу или се затвара уколико је на последњој страници	Делимично успешно
Исцртавање зрака за интераговање	Зрак се приказује из центра руке до првог објекта са којим може да интерагује или до предодређене максималне даљине	Успешно

Табела 1 Испитивање функционалности

Приликом паљења апликације, уређај детектује да је на корисничковој глави и апликација поставља референтни координатни почетак на тачки паљења, односно поставља XR Origin.

Помоћу камера уређаја се пали и Passthrough и корисник добија приказ слике стварног света у којем су постављени дигитални објекти тродимензионе роботске руке и дводимензионог водича.

Усмеравањем длана шаке ка удаљеним објектима исцртава се зрак за интераговање.

Битно је напоменути да приликом интераговања са тастером у водичу дешава се да тастер не региструје интеракцију са прстом сваки пут. Након проласка кроз цео водич он се затвара и склања из света.

На наредним сликама се виде неке од горе наведених функционалности.



Слика 4.2.1 Иницијално покретање апликације

Назив функционалности	Очекивано понашање	Евалуација
Интеракција путем зрака за интераговање	Усмеравањем зрака, објекат засветли и гестом руке се иницира интеракција хватања	Успешно
Интеракција хватања руком	Гестом руке се директно иницира интеракција хватања објекта	Успешно
Интеракција вађења из лежишта	Део роботске руке се вади из лежишта интеракцијом хватања	Успешно
Интеракција враћања у лежиште	Приношењем дела близу одговарајућег лежишта исти се саставља	Успешно

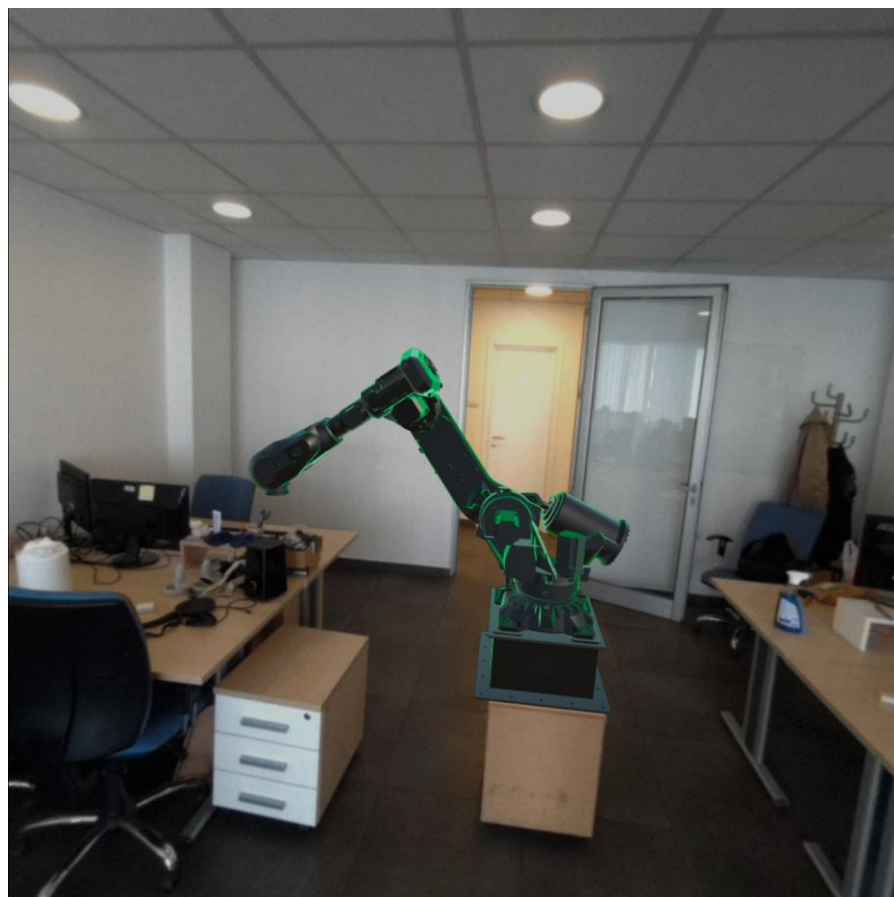
## Табела 2 Испитивање функционалности

Након затварања водича корисник има могућност да интерагује са тродимензионом роботском руком у виду хватања њених делова.

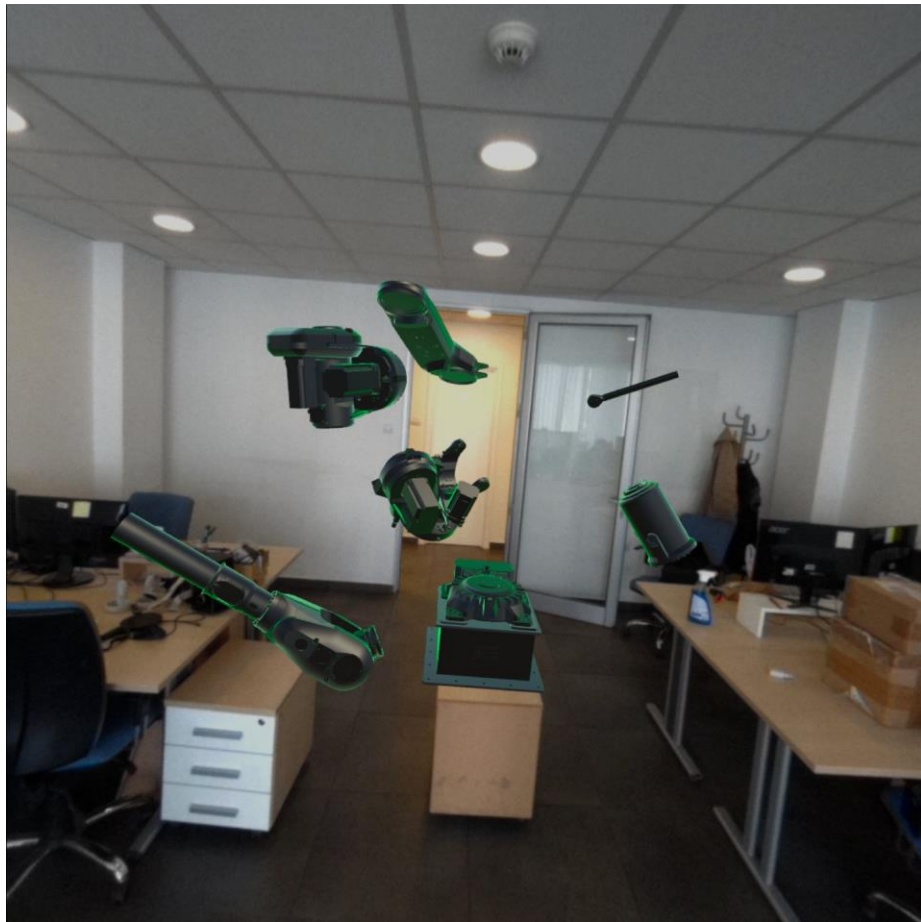
Хватањем делова, редом који је предвиђен за растављање, корисник може да растави целу роботску руку али и да је састави истим редом корака само у назад.

Приближавањем дела свом одговарајућем лежишту исти се ротира и позиционира на одговарајуће место и везује се за лежиште.

На наредним сликама се виде неке од горе наведених функционалности.



Слика 4.2.2 Пример премештања роботске руке



Слика 4.2.3 Пример растављања роботске руке

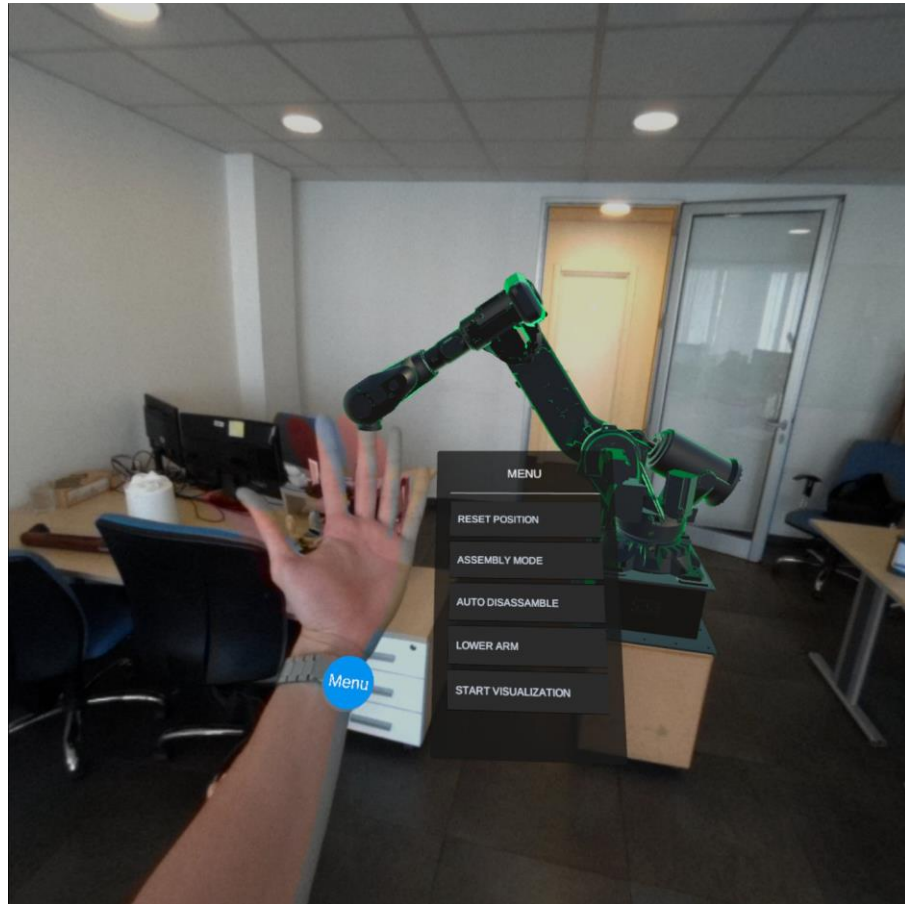
Назив функционалности	Очекивано понашање	Евалуација
Интеракција са тастером за отварање ручног менија	Интеракцијом притискања на тастер отвара се мени	Успешно
Интеракција са тастерима ручног менија	Притискањем тастера се позивају друге функционалности	Делимично успешно

Табела 3 Испитивање функционалности

Окретањем руке ка себи, кориснику се приказује тастер за отварање менија. Притиском дугмета отвара се мени у којем се налазе функционалности које ће бити описане у следећој табели. Притискањем тастера позивају се те функционалности.

Битно је напоменути да, као и код водича, приликом интераговања са тастером у овом менију дешава се да тастер не региструје интеракцију са прстом сваки пут.

На наредним сликама се виде неке од горе наведених функционалности.



Слика 4.2.4 Пример интераговања са ручним менијем

Назив функционалности	Очекивано понашање	Евалуација
Ресетовање позиције	Позиције и стања свих делова се враћају на почетна	Успешно
Промена режима интераговања	Режим рада се мења из режима за растављање и састављање у режим за интеракцију са свим деловима	Успешно
Аутоматско растављање	Сви делови се аутоматски растављају	Успешно
Аутоматско састављање	Сви делови се аутоматски састављају	Успешно

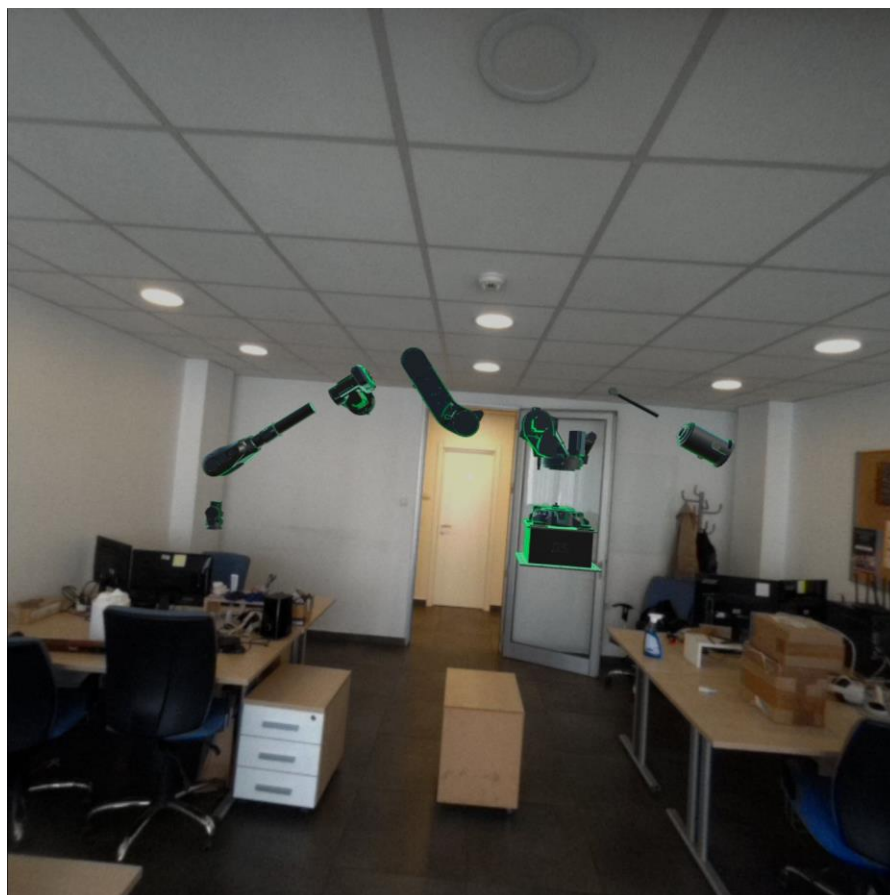
Табела 4 Испитивање функционалности

Притискањем тастера за ресетовање позиције се ресетује позиција сваког дела роботске руке на почетну заједно са стањима тих делова (састављен, растављен) и режимом интераговања.

Притиском тастера за промену режима интераговања мења се режим из састављања и растављања у интераговањем са целом роботском руком и обрнуто. Приликом промене мења се и боја приликом интераговања са деловима, односно целом руком. Битно је напоменути да је могуће раставити неколико делова и затим променити режим рада у интеракцију са целом руком. Овим се постиже да се сви делови, чак и растављени, могу пренети једном интеракцијом хватања на друго место уместо да се сваки део појединачно пренеси.

Аутоматско растављање и састављање се дешава кроз предефинисане анимације. Уколико је бар један део роботске руке растављан, кориснику се нуди опција аутоматског састављања а уколико су сви састављени нуди се опција аутоматског растављања.

На наредним сликама се виде неке од горе наведених функционалности.



Слика 4.2.5 Пример аутоматског интераговања

Назив функционалности	Очекивано понашање	Евалуација
Спуштање роботске руке	Роботска рука се спушта и појављује се прикључак	Успешно
Прикључивање прикључка	Хватањем и постављањем прикључка у своје лежиште исти се везује и постаје део роботске руке	Успешно
Подизање руке	Роботска рука се подуже, са или без прикљученог прикључка	Успешно

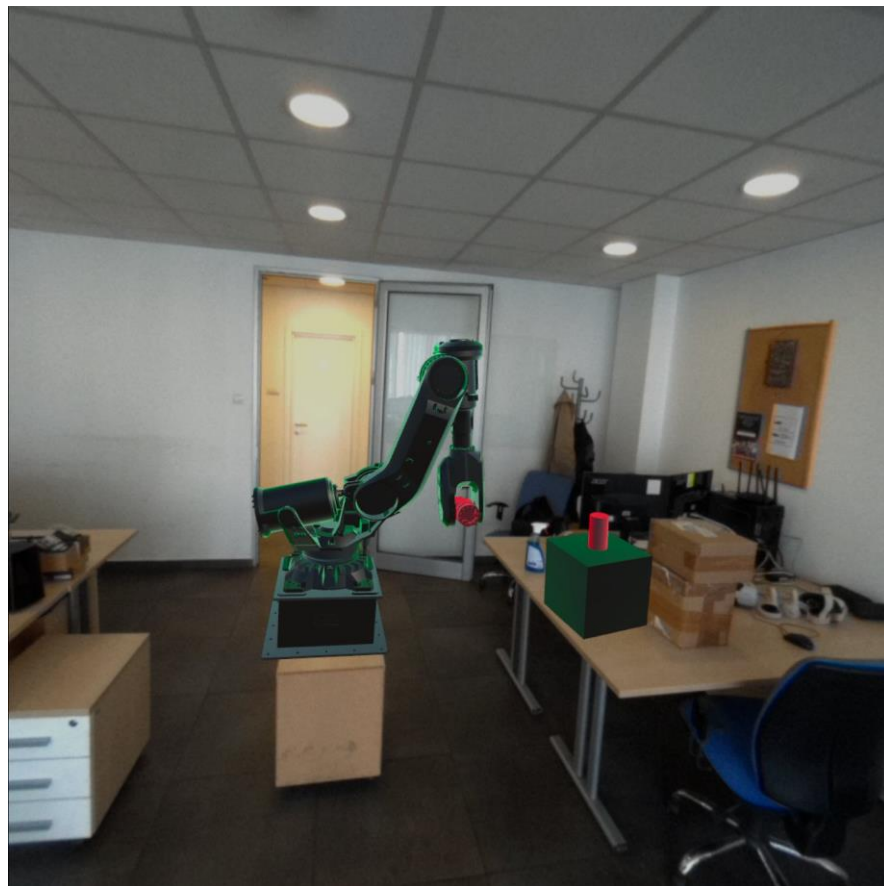
Табела 5 Испитивање функционалности

Да би се избегле визуелне и друге грешке, ова функционалности је могућа само уколико је роботска рука комплетно састављена. Притиском тастера се, кроз анимације, роботска рука спушта и појављује се прикључак који корисник може да ухвати и постави у роботску руку.

Кориснику се нуди опција подизања руке само уколико је рука у спуштеном стању и опција спуштања руке уколико је рука у подигнутом и комплетно састављеном стању.

Растављање руке није могуће док је у спуштеном стању чиме се спречавају визуелне и друге грешке.

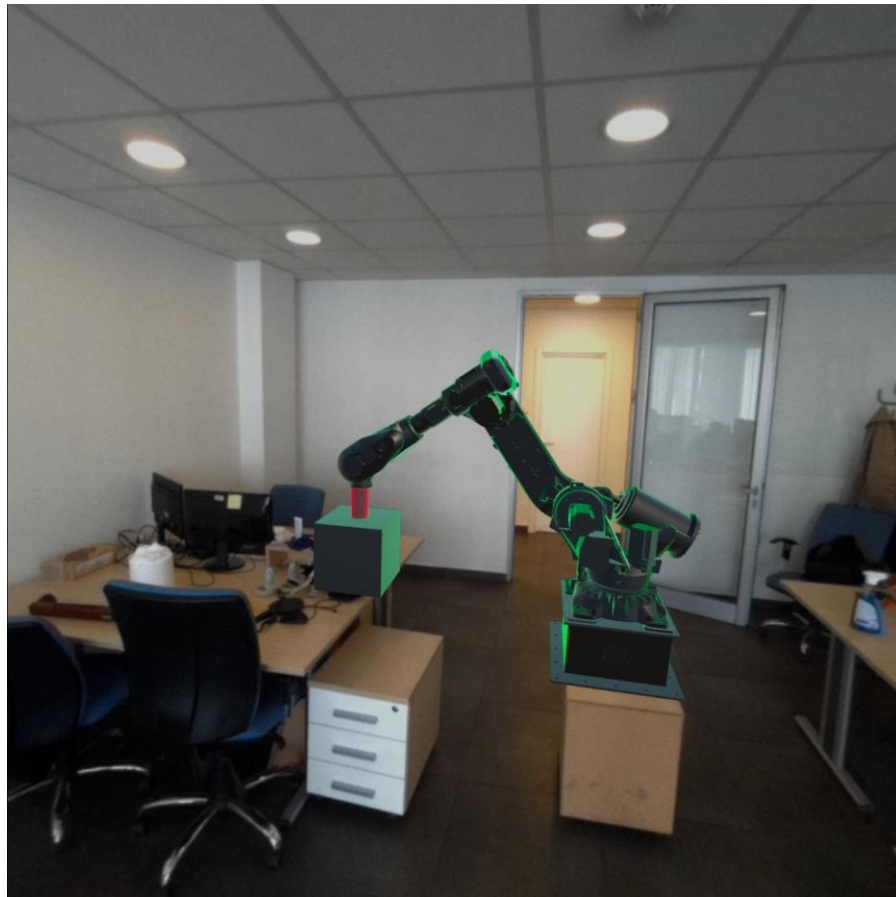
На наредним сликама се виде неке од горе наведених функционалности.



Слика 4.2.6 Пример спуштања роботске руке



Слика 4.2.7 Пример постављања прикључка



Слика 4.2.8 Пример подизања роботске руке

## 6. Закључак

Проширена стварност, иако није широко примењена и слабо је позната, је технологија која има обећавајућу будућност. Самим напретком уређаја који подржавају проширену стварност све се чешће срећемо са апликацијама које користе технологије проширене стварности. Новим истраживањима и испитивањима ових технологија побољшава се свест међу људима да овако нешто постоји. Потребно је направити коришћење оваквих апликација интуитивно људима који су тек први пут чули да овако нешто постоји. Задатак овог рада је и био да се направе најинтуитивније интеракције рукама у виду интераговања са тродимензионим предметима, као и да се испитају границе саме технологије.

Кроз коришћење ове апликације корисник има могућност да се упозна са светом проширене стварности и да интерагује на једноставне и интуитивне начине са околином. Апликација пружа кориснику слободу да интерагује и истражује користећи само своје руке и уређај, попут наочара за виртуелну стварност, помоћу којег види свет проширене стварности.

Тестирањем ове апликације долази се до закључка да је иста испунила свој главни задатак који је био да поједностави коришћење технологију проширене стварности кроз употребу руку. Интеракције са тродимензионим објектима су, након упознавања са основним контролама, веома интуитивне док интеракције са дводимензионим елементима нису на завидном нивоу. Без обзира на субјективно лошије искуство приликом интераговања са дводимензионим елементима, они су послужили као одличан тест из којег се могу правити даља унапређења.

Креирана апликација дочарава корисницима једноставност коришћења коју проширена стварност може да има уколико се пажљиво подеси. Наравно, ово представља само неке од могућности ове технологије и овог пројекта. Могућности примене технологија проширене стварности су неограничене. Најчешће примене су у видео играма и тренирању запослених у дигиталном свету да раде одређене задатке и послове попут пилота, астронаута, лекара итд.

Једна од могућности унапређења и саме будућности овог пројекта јесте да се, након упознавања са основним контролама приликом коришћења руку, направе и напредне контроле које би директно померале роботску руку. Померањем руке и шаке корисника и роботска рука би се померала сходно корисниковој руци. На пример уколико би прикључили роботску имитацију шаке, корисник би могао да хвата и спушта ствари помоћу роботске руке. Пошто је систем за праћење руку и шаке веома сложен и напредан, овако

---

нешто би било могуће. Оваква апликација би служила као одлична тренинг апликација за вежбање контролисања стварне роботске руке без последица и оштећења опреме.

Још једно унапређење би било да се направи оваква апликација која би контролисала праву роботску руку помоћу праћења корисникове руке и заједно са тренинг апликацијом би чинила одличан систем за руковање роботима или роботским рукама на даљину. Одлична примена би била у свемирским мисијама где астронаути не би морали да се излажу немилосрдним елементима вакуума у свемиру већ би могли са безбедне локације контролисати роботе и роботске руке.

---

## 7. Литература

- [1] Unity User Manual 2021.3(LTS)  
<https://docs.unity3d.com/2021.3/Documentation/Manual/index.html>, 12.07.2024.
- [2] Khronos Group OpenXR, <https://www.khronos.org/openxr/>, 12.07.2024.
- [3] The OpenXR Specification – Khronos Registry,  
<https://registry.khronos.org/OpenXR/specs/1.0/html/xrspec.html>, 16.09.2024.
- [4] XR Interaction Toolkit,  
<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@2.0/manual/index.html>, 22.03.2024.
- [5] Passthrough, <https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-passthrough/>,  
22.03.2024.
- [6] Meta, <https://www.meta.com/>, 16.09.2024.
- [7] Qualcomm, <https://www.qualcomm.com/products/mobile/snapdragon/xr-vr-ar/>,  
16.09.2024.