



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Милица Окука

**ИНТЕГРАЦИЈА МУЛТИМЕДИЈАЛНЕ
ПОДРШКЕ ЗА РЕПРОДУКЦИЈУ АУДИО И
ВИДЕО САДРЖАЈА НА *Oculus Go*
ПЛАТФОРМИ**

МАСТЕР РАД

Нови Сад, октобар 2022.



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

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска документација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Дипломски – мастер рад
Аутор, АУ:	Милица Окука
Ментор, МН:	Проф. др Илија Башичевић
Наслов рада, НР:	Интеграција мултимедијалне подршке за репродукцију аудио и видео садржаја на <i>Oculus Go</i> платформи
Језик публикације, ЈП:	Српски / ћирилица
Језик извода, ЈИ:	Српски
Земља публиковања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	Војводина
Година, ГО:	2022.
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Нови Сад; трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	8/51/33/5/14/3/0
Научна област, НО:	Електротехника и рачунарство
Научна дисциплина, НД:	Рачунарска техника
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Виртуелна реалност, <i>Oculus Go</i> , мултимедија, тродимензионална сцена, плејер
УДК	
Чува се, ЧУ:	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	Задатак овог рада јесте имплементација апликације која је способна да пушта аудио и видео садржај и да се извршава на <i>Oculus Go</i> уређају, једном од најпознатијих уређаја за виртуелну реалност. Осим детаљно објашњеног начина на који је извршена поменута имплементација и приказаних резултата, један дио рада се бави виртуелном реалношћу и њеном примјеном у различитим сферама савременог друштва.
Датум прихватања теме, ДП:	
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник:
	Члан:
	Члан, ментор:
	Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	Master Thesis
Author, AU :	Milica Okuka
Mentor, MN :	Ilija Bašičević, PhD
Title, TI :	Integration of multimedia support for playing audio and video content on <i>Oculus Go</i> platform
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2022.
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6
Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	8/51/33/5/14/3/0
Scientific field, SF :	Electrical Engineering
Scientific discipline, SD :	Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems
Subject/Key words, S/KW :	Virtual reality, <i>Oculus Go</i> , multimedia, three-dimensional scene, player
UC	
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, N :	
Abstract, AB :	The goal of this paper was to create an application capable of playing audio and video content and being executed on <i>Oculus Go</i> headset, one of the most popular VR devices. Apart from the detailed explanation of the way in which implementation has been done and the results presented, one part of the paper deals with virtual reality and its usage in various spheres of modern society.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President:
	Member:
	Member, Mentor:
	Mentor's sign

Захвалност

Захваљујем се ментору, проф. др Илији Башичевићу, на пруженим савјетима и рецензијама приликом писања овог рада.

Такође се захваљујем колегама, Илији Ђукићу и Владимиру Живкову, на помоћи у изради техничког рјешења, као и стручним и личним савјетима приликом писања рада.

САДРЖАЈ

1. Увод.....	1
2. Виртуелна реалност	3
2.1 Увод у виртуелну реалност.....	3
2.2 Историја развоја виртуелне реалности	4
2.3 Начин рада технологије виртуелне реалности	8
2.3.1 Видно поље и брзина кадрова	8
2.3.2 Звучни ефекти	10
2.3.3 Праћење положаја.....	10
2.4 Примјена технологије виртуелне реалности у различитим сферама друштва	
11	
2.4.1 Виртуелна реалност у индустрији забаве.....	11
2.4.2 Виртуелна реалност у спорту	11
2.4.3 Виртуелна реалност у војној индустрији	12
2.4.4 Виртуелна реалност у менталном здрављу	13
2.4.5 Виртуелна реалност у образовању.....	14
2.4.6 Виртуелна реалност у модној индустрији.....	16
2.4.7 Виртуелна реалност у продаји некретнина	16
2.4.8 Виртуелна реалност у туризму	16
2.4.9 Виртуелна реалност у археологији	17
2.4.10 Виртуелна реалност у аутомобилској индустрији.....	17
2.4.11 Виртуелна реалност у архитектури.....	17
2.5 Негативне стране виртуелне реалности	18

2.5.1	Негативни психолошки ефекти	18
2.5.2	Негативни утицаји на физичко здравље	19
3.	<i>Oculus Go</i> платформа	21
3.1	Карактеристике	22
3.1.1	Хардвер	22
3.1.2	Софтвер	24
3.2	Критике	24
4.	Софтверска подршка	26
4.1	<i>Oculus Mobile SDK</i>	26
4.1.1	<i>Audio SDK</i>	27
4.1.2	<i>Platform SDK</i>	27
4.1.3	<i>Avatar SDK</i>	28
4.2	<i>OpenGL</i> библиотека	28
5.	Интеграција подршке за пуштање аудио и видео садржаја на <i>Oculus Go</i> платформи	30
5.1	Програмска подршка за репродукцију мултимедијалног садржаја	30
5.1.1	Архитектура плејера	31
5.2	Имплементација ВР апликације	32
5.2.1	Архитектура имплементираног модула	33
5.2.2	Кораци имплементације	34
6.	Резултати и тестирање	42
6.1	Тестирање перформанси видео и аудио репродукције	44
6.2	Тестирање перформанси тродимензионалне сцене	44
7.	Закључак	47
8.	Литература	49

СПИСАК СЛИКА

Слика 1 - <i>Nintendo's Virtual Boy</i>	5
Слика 2 - <i>Oculus Quest</i>	7
Слика 3 - <i>Oculus Quest 2</i>	7
Слика 4 – видно поље човјека.....	9
Слика 5 – лијечење страха од паукова помоћу ВР.....	13
Слика 6 – ВР излет у подводни свијет	15
Слика 7 – ВР код студената медицине.....	15
Слика 8 – ВР у архитектури	18
Слика 9 – илустрација негативних психолошких ефеката ВР.....	19
Слика 10 – илустрација негативних ефеката ВР на физичко здравље.....	20
Слика 11 – <i>Oculus Go</i>	21
Слика 12 - <i>Oculus Go</i> контролер.....	23
Слика 13 - виртуелна соба.....	33
Слика 14 – снимак екрана направљен у току репродукције	41

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1 – функције апликативног дијела имплементације	38
Табела 2 – функције матичног дијела имплементације.....	41
Табела 3 – поређење одлика имплементиране апликације с другим апликацијама	43
Табела 4 – резултати тестирања.....	44
Табела 5 – перформансе исцртавања тродимензионалне сцене	45

СКРАЋЕНИЦЕ

API - Application Programming Interface

CPU – Central Processing Unit

DRM – Digital Rights Management

GPU – Graphics Processing Unit

HD – High Definition

HMD - Head – Mounted Display

LCD – Liquid Crystal Display

SD – Standard Definition

SDK – Software Development Kit

ВР – виртуелна реалност

1. Увод

Виртуелна реалност представља скуп технологија које човјеку пружају илузију да оно што се налази у рачунарској меморији може да чује, види или осјети. С развојем технологије у савременом свијету и све већим утицајем дигитализације, виртуелна реалност постаје дио наше свакодневице. Уводни дио овог рада чини истраживање о примјени виртуелне реалности у различитим сферама науке и индустрије, анализа њених позитивних и негативних ефеката, док главни дио рада чини конкретно техничко рјешење које подразумијева интеграцију мултимедијалне подршке за репродукцију аудио и видео садржаја на *Oculus Go* уређају, једном од најпознатијих уређаја за виртуелну реалност.

Задатак овог рада био је интегрисати постојећу програмску подршку за репродукцију мултимедијалног садржаја у апликацију која може да се извршава на *Oculus Go* платформи.

Рад се састоји од седам поглавља.

У другом поглављу дат је увод у виртуелну реалност, историјат њеног настанка и објашњен начин на који она функционише. Поред тога дат је преглед друштвених сфера у којима виртуелна реалност има утицај и анализирани су позитивни и негативни ефекти које она доноси.

Треће поглавље садржи опис *Oculus Go* платформе, њене софтверске и хардверске карактеристике и поређење са другим ВР платформама.

Четврто поглавље даје преглед ресурса које нуде *Oculus Mobile SDK* и *OpenGL* библиотека који су коришћени као основа техничког рјешења овог рада.

У петом поглављу детаљно је описан начин на који је мултимедијална подршка интегрисана на *Oculus Go* платформу, дата је архитектура кода, опис функционалности

које су имплементирани с нагласком на имплементирање тродимензионалне сцене, што је био и највећи изазов овог рада.

У шестом поглављу илустровани су резултати имплементације, начин на који се вршило тестирање имплементираних рјешења и дати су резултати тестирања

У седмом поглављу, тј. закључку описане су предности имплементираних рјешења и његова могућа проширења.

2. Виртуелна реалност

2.1 Увод у виртуелну реалност

Виртуелна реалност (скраћено VR) је скуп технологија које представљају аутентични склоп визуелних, звучних, додирних а понекад и других чулних искустава како би пружиле илузију да ствари смјештене у рачунарској меморији могу да се виде, чују или осјете. С друге стране, ове технологије се користе и да би аутентично регистровале људске покрете, звукове и друге могуће улазне податке на начин који је рачунару тачан и обрадив. Оба ова смјера дјеловања (од рачунара ка човјеку и од човјека ка рачунару) се користе да би пружили интерактивну спрегу између виртуелног свијета и људи.

Виртуелна стварност представља коришћење рачунара и специјалних хардверско - софтверских помагала за генерисање „виртуелног окружења" у реалном времену, које за корисника изгледа стварно. То је термин који се користи за дефинисање интерактивног, тродимензионалног, рачунарски генерисаног простора који корисници доживљавају посредством чулних, односно технолошких помагала

Етимолошки, придјев виртуелно (лат. *virtus*) означава оно што долази из привида, што је нестварно, постоји само у уму, нема физички облик, док је именица реалност (лат. *realis*) чињенично и стварно стање ствари које постоје и могу бити доживљене. Иако је кованица *виртуелна – стварност* наизглед контрадикторна, она би могла бити схваћена као креирање нестварног, синтетичког микросвијета у стварном, постојећем свијету.

Донедавно, виртуелна реалност је била нешто попут фантазије којом су се бавили приповједачи. Још давне 1935. године амерички писац Стенли Г. Вајнбаум описао је нешто попут виртуелне реалности у краткој причи под називом „*Pygmalion's Spectacles*“:

„Али слушајте – имамо филм који нам даје видео и звук. Претпоставимо да сада додам укус, мирис, па чак и додир ако вас је прича заинтересовала. Претпоставимо да ја направим тако да сте ви у причи, разговарате са сјенкама, а сјенке одговарају и умјесто да буде на екрану, прича је свуда око вас и ви сте у њој. Да ли би то снове учинило стварношћу? “

Технолози још увијек раде на мирису и укусу, али „магичне наочаре“ из поменуто приче су прилично прецизно најавиле тренутну важност и популарност виртуелног свијета. Откако су се ове магичне наочаре први пут нашле у штампи, слиједиле су деценије експериментисања у области виртуелне стварности, од првог ВР система монтираног на главу касних шездесетих до првих комерцијалних производа осамдесетих година итд. О историјату развоја виртуелне реалности биће речено више у поглављу 2.2.

2.2 Историја развоја виртуелне реалности

Тачно поријекло виртуелне стварности је спорно, дијелом због тога што је тешко дефинисати концепт „алтернативног постојања“.[2] Развој перспективе у ренесансној Европи створио је убједљиве приказе простора који нису постојали, у оном што се назива „множење вјештачких свјетова“.[3] Други елементи виртуелне стварности појавили су се већ шездесетих година 19. вијека. Антонин Арто је сматрао да се илузија не разликује од стварности, залажући се да гледаоци представе треба да драму на сцени посматрају као реалност.

За почетак развоја виртуелне реалности у модерном свијету неки аутори сматрају машину коју је конструисао Едвин Линк 1929. године а која је путнику давала осјећај да лети авионом.

Након тога, почетком шездесетих година 20. вијека, настао је уређај *Sensorama* који је коришћењем свјетла, звука, покрета и мириса давао кориснику осјећај вожње кроз Бруклин. [4] Наиме, Мортон Хајлиг је педесетих година видио позориште као активност која може на ефикасан начин да обухвати сва чула, увлачећи гледаоца у активност на екрану. У свом дјелу „*Experience Theater*“ је детаљно изложио своју визију вишечулног позоришта. 1962. године је направио прототип своје визије, назван *Sensorama*, заједно са пет кратких филмова за приказивање. Исти уређај је касније еволуирао у уређај за обуку пилота.

Један од значајнијих радова који је допринио развоју ВР технологије је рад Ивана Сатерланда „*Ultimate Display*“ објављен 1965. године.[5] У овом раду аутор је покушао да објасни како рачунар може да омогући прозор у виртуелни свијет. Исти аутор је 1968. године конструисао први *Head Mounted Display* који је омогућавао праћење позиције

корисника, могао је да прикаже жичани модел окружења као и да генерише приказ за лијево и десно око корисника. Паралелно са овим радом, истраживачки тим са универзитета Сјеверна Каролина започео је *Grope* пројекат који је имао за циљ да истражи *force-feedback* у реалном времену. Као резултат овога настала је могућност корисника да осјети додир у виртуелном свијету.

У периоду 1979 – 1990. године индустрија ВР је омогућила коришћење ВР уређаја за медицинске сврхе, симулацију лета, дизајн аутомобилске индустрије и војну обуку. [6] 1979. године развијен је оптички систем који је створио стереоскопску слику са довољно широким видним пољем које ствара осјећај простора. До осамдесетих година прошлог вијека израз „Виртуелна реалност“ популаризовао је Џерон Лание који је основао компанију *VPL Research*. Та компанија је развила неколико ВР уређаја као што су *DataGlove*, *EyePhone* и *AudioSphere*. 1988. године пројекат *CyberSpace* у *Autodesk*-у је први пут имплементиран на јефтином личном рачунару.

Деведесетих година појављују се прва широко распрострањена издања потрошачких ВР уређаја. 1991. године *Sega* је пустила у продају ВР уређаје за кућну конзолу *MegaDrive*. Коришћени су *LCD* екрани у визиру, стерео слушалице и инерцијални сензори који су омогућили систему да прати и реагује на покрете корисникове главе. Исте године *Virtuality* је покренут и постао први масовно умрежени ВР систем за забаву у многим земљама.

1995. године објављена је *Nintendo* виртуелна конзола позната под називом *Nintendo's Virtual Boy*. Конзола је приказана на слици 1.



Слика 1 - *Nintendo's Virtual Boy*

Virtual Boy је прва конзола за видео игре која је требало да буде способна да приказује стереоскопску тродимензионалну графику, рекламирану као облик виртуелне стварности. [8] Екран се састојао од два двобитна монохроматска црвена екрана од 384×224 пиксела фреквенције кадрова од приближно 50.27Hz . [9] Користи осцилирајуће огледало да трансформише једну линију *LED* пиксела у пуно поље пиксела. *Nintendo* је тврдио да би екран у боји учинио систем прескупим и резултирао „скочним“ сликама, па се компанија одлучила за монохроматски екран. Да би постигао приказ у боји, *Nintendo* би користио комбинацију црвене, зелене и плаве *LED* диоде. У то вријеме *LED* диоде су још увијек биле прилично скупе и значајно би подигле цијену коначног производа. Током развоја, *Nintendo* је обећао могућност повезивања система за рачунарску игру, међутим та карактеристика никада није званично подржана. Конзола је покупила негативне критике и постала комерцијални неуспјех из неколико разлога, укључујући „високу цијену, нелагодност изазвану игром и лоше вођену маркетиншку кампању.“[10]

Двијехиљадите су биле период релативне равнодушности јавности према комерцијално доступним ВР технологијама. *Google* је 2007. године представио *Street View*, услугу која приказује панорамски поглед на све већи број локација широм свијета као што су путеви, затворене зграде и рурална подручја. Такође поседује стереоскопски тродимензионални режим, уведен 2010. године.[11]

2010. године дизајниран је први *Oculus Rift* прототип. Био је способан за ротационо праћење са видним пољем од 90 степени што до тада није било виђено на тржишту. Овај

дизајн послужио је као основа из које су настајали каснији дизајни. 2014. године *Facebook* је купио *Oculus* за, како је тада наведено, двије милијарде долара [12], али је касније откривено да је ипак ријеч о три милијарде долара. [13]

У наредном периоду, многе велике компаније почеле су се бавити развијањем производа везаних за ВР. До 2016. године било је најмање 230 компанија које су развијале производе везане за ВР. Осим *Facebook*-а помињу се велика имена као што су *Amazon*, *Apple*, *Google*, *Microsoft*, *Sony* и *Samsung*. Стерео звук је био уобичајен за већину ВР уређаја који су објављени те године. Међутим, хаптички интерфејси нису били добро развијени и екрани су и даље били ниске резолуције и брзине кадрова. [14] Исте године, *HTC* је испоручио своје прве *HTC Vive SteamVR* уређаје. Ово је означило прво велико комерцијално издање праћења заснованог на сензорима, омогућујући слободно кретање корисника унутар дефинисаног простора. [15]

2019. године *Oculus* је објавио *Oculus Rift S* и самостални уређај *Oculus Quest* (слика 2). Овај уређај је користио *inside-out* праћење умјесто *out-inside* праћења који се виђао код претходних генерација. Касније, исте године, *Valve* је објавио *Valve Index*. Од значајних карактеристика истичу се: видно поље од 130 степени, слушалице ван уха за урањање и удобност, контролери који омогућују индивидуално праћење прстију, предње камере и предњи слот намијењен за проширивост. [16]



Слика 2 - *Oculus Quest*

2020. *Oculus* је објавио *Oculus Quest 2*. (слика 3) Неке нове функције укључују оштрији екран, смањену цијену и боље перформансе. *Facebook* сада захтијева од корисника да се пријави са *Facebook* налогом да би могао да користи нове ВР уређаје.



Слика 3 - *Oculus Quest 2*

2021. EASA (*European Union Aviation Safety Agency*) одобрава први уређај за обуку симулације лета заснован на виртуелној стварности. Уређај повећава безбједност отварајући могућност вјежбања ризичних маневара у виртуелном окружењу и тако смањује број несрећа које се дешавају приликом тренажних летова.

2.3 Начин рада технологије виртуелне реалности

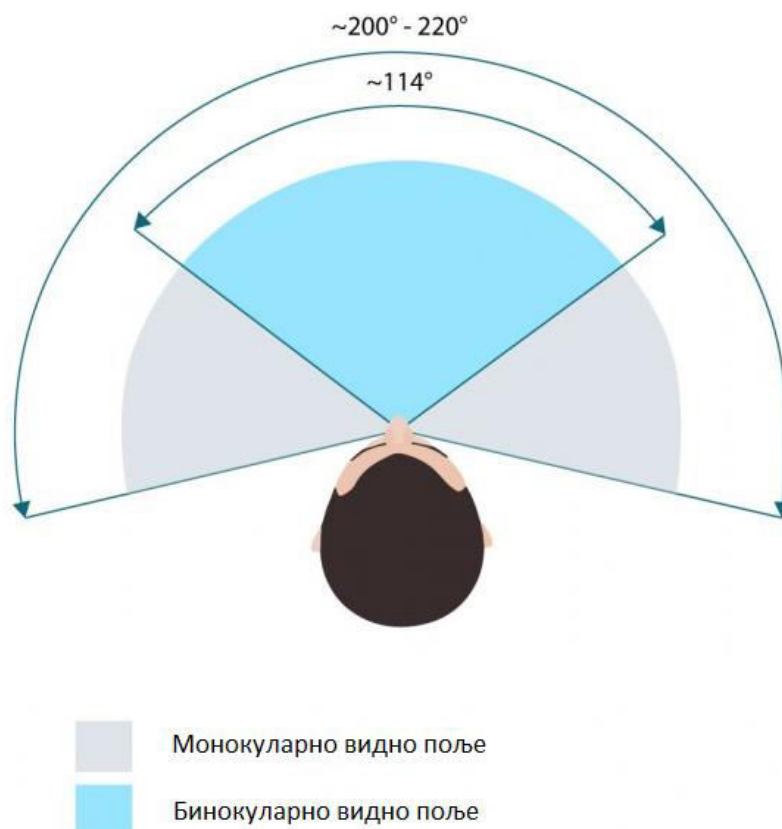
Као људска бића, своју перцепцију свијета заснивамо на правилима које је развило наше искуство. Вјерујемо у оно што видимо, чујемо и осјећамо. ВР дизајнери користе основна правила перцепције и идеје о томе како комуницирамо са свијетом како би створили окружење које је једнако аутентично као свијет око нас.

ВР уређаји су, у ствари, само машине створене да замијене наше окружење нечим створеним у софтверу. У њима се налазе жirosкопски сензори, акцелератори и магнетри који одређују како се крећете и прате вашу реакцију с виртуелним простором. Уређаји се, такође, повезују са спољним камерама и рачунарским системима ради приступа софтверу за ВР искуство или повезивања с додатним програмима.

Данашња ВР технологија се стално развија како би понудила нова, свеобухватнија искуства. Тренутно су најупечатљивија ВР искуства изграђена на следећим функционалностима: видно поље и брзина кадрова, звучни ефекти и праћење положаја.

2.3.1 Видно поље и брзина кадрова

У контексту виртуелне реалности видно поље је термин који представља колико виртуелног свијета корисник ВР уређаја може да види око себе у једном тренутку. Видно поље човјека је и даље значајно шире него што то ВР уређаји могу обезбиједити. Просјечан човјек може видјети околина око себе у луку од отприлике 200 до 220 степени садржаја који га окружује. Постоје два типа видног поља која функционишу заједно како би формирали људски вид. Монокуларно видно поље описује видно поље за једно од наша два ока. За здраво око, хоризонтално монокуларно поље је између 170 и 175 степени и састоји се угла од зјенице према носу, назалног видног поља које је обично између 60 и 65 степени и мање је за људе с већим носом. Бинокуларно видно поље је комбинација два монокуларна видна поља код већине људи. Кад се комбинују, обезбјеђују људима видљиву област од 200 до 220 степени. Тамо гдје се два молекуларна видна поља преклапају, око 114 степени, постоји стереоскопско бинокуларно видно поље гдје смо у ствари у могућности да перципирамо три димензије. Претходно описана видна поља приказана су на слици 4.



Слика 4 – видно поље човјека

Видно поље корисника ВР уређаја може се разликовати у зависности од следећих фактора:

- величине сочива
- позиције сочива унутар ВР уређаја
- да ли корисник носи наочаре или не
- увећања сочива унутар ВР уређаја

Осим видног поља брзина кадрова је визуелни елемент који дефинише виртуелну реалност. Стручњаци вјерују да људско око може да поднесе до 1000 кадрова у секунди. Сматра се да све мање од 60 кадрова у секунди изазива дезоријентисаност и мучнину тако да се у ВР технологији покушава остварити најмање 120 кадрова у секунди. Да би се разумјело зашто је брзина кадрова важна, корисно је размишљати о њима као о облику резолуције. Обично се резолуција у контексту екрана односи на број пиксела који су приказани. 4К слика садржи четири пута више пиксела од *1080P Full HD* слике. Стога је на 4К слици могуће видјети детаље који не постоје на слици ниже резолуције. Ово је *просторна резолуција* слике, један тренутак замрзнут у времену. Брзину кадрова можемо посматрати као *временску резолуцију*, тј. количину детаља на слици током времена. Нпр. при брзини од 60 кадрова у секунди, уколико се објекат креће унутар вашег видног поља, ви видите да се његова позиција ажурира сваки шездесети дио секунде. Све што се дешава између тих тренутака је невидљиво за вас. Ако удвостручите брзину, видјећете дупло више информација. Крајњи резултат је визуелно побољшање, а и одзив виртуелног свијета на ваше поступке постаје бржи.

2.3.2 Звучни ефекти

Просторни звук омогућава симулацију јединствене врсте пејзажа који бисте очекивали у стварном свијету. Без звука виртуелно окружење је потпуно нереално. Исправан звук у ВР значи да ће се корисници осјећати потпуно уроњени у виртуелно окружење. Да би се обезбиједило потпуно урањање у ВР системе, просторни звук мора да одговара карактеристикама виртуелног приказа – нпр. ако видите да се аутомобил удаљава од вас у ВР окружењу, очекујете да ћете и чути како се аутомобил удаљава од вас. У супротном, цио утисак да сте у виртуелној реалности се губи. Један од начина да се створи импресивно звучно поље јесте коришћење већег броја звучника постављених свуда око главе слушаоца.

2.3.3 Праћење положаја

Трећа функционалност, праћење положаја, омогућава кориснику да се креће у виртуелном простору а да се окружење прилагоди вашем положају. ВР уређаји користе комбинацију хардвера и софтвера како би детектовали своју апсолутну позицију. Прецизно праћење положаја је важно како се не би разбила илузија тродимензионалног

простора. Различите методе праћења положаја и оријентације (нагиб, скретање и превртање) екрана и свих повезаних уређаја су развијене да би се то постигло. Све те методе користе сензоре који узастопно снимају сигнале с предајника, а затим те податке шаљу рачунару како би се одржала апроксимација њихове физичке локације. Ове физичке локације се, углавном, идентификују и дефинишу коришћењем једног или више од три координатна система: Декартов праволинијски, сферни поларни и цилиндрични систем. Многи интерфејси су такође дизајнирани да надгледају и контролишу кретање унутар и интеракцију са виртуелним тродимензионалним простором. Такви интерфејси морају блиско сарађивати са системима за праћење положаја како би обезбиједили беспријекорно корисничко искуство.[17]

Функције праћења главе и положаја мјере се у степенима слободе. VR уређаји који користе 6 степени слободе могу провјерити ваш положај у просторији и показати смјер у којем је ваша глава усмјерена. Сензори изван VR уређаја вам могу помоћи да останете безбједни док се крећете по просторији. Осим тога, развија се и технологија праћења очију која може помоћи у побољшању фокуса и умањењу мучнине коју неки људи осјећају приликом коришћења VR уређаја.

VR технологија постаје све импресивнија. VR уређаји постају елегантнији и покретљивији, са мање жица и више пиксела. Хаптички сензори и рукавице за праћење замјењују неспретне системе управљања, док машинско учење и развој вјештачке интелигенције мијењају начин на који VR технологија прати наше интеракције.

Из техничке перспективе, VR је једноставан концепт, сачињен од повезаних жица, екрана и рачунарских система.

2.4 Примјена технологије виртуелне реалности у различитим сферама друштва

Иако кад говоримо о виртуелној реалности, често помислимо на научнофантастичне филмове, истина је да виртуелна стварност постаје дио наше свакодневице. Осим најпопуларније примјене у индустрији забаве, виртуелна реалност се примјењује у различитим индустријама од којих ће неке бити наведене у наставку.

2.4.1 Виртуелна реалност у индустрији забаве

Скоро половина свих инвестиција широм свијета у виртуелну реалност спада у забаву.

Осим игара, технологија виртуелне реалности револуционише цио свијет забаве, укључујући стварање свеобухватнијег, занимљивијег искуства у спорту, извођачкој умјетности, атракцијама за посјетиоце и друштвеним медијима.

ВР игре је термин који се користи за описивање нове генерације рачунарских игара са технологијом виртуелне реалности (ВР) која играчима даје заиста импресивну перспективу игре из првог лица. Учесници доживљавају и утичу на окружење игре кроз разне уређаје и додатке за ВР игре, укључујући ВР наочаре, рукавице опремљене сензорима, ручне контролере и још много тога.

2.4.2 Виртуелна реалност у спорту

Виртуелна реалност ствара револуцију у спортској индустрији за играче, тренере и гледаоце. Користи се као помоћ при тренингу за мјерење атлетских перформанси и анализу технике. Сматра се такође да се може користити за побољшање когнитивних способности спортиста кад су повријеђени јер им омогућава да практично доживе сценарије играња. Такође, виртуелна реалност се користи и за побољшање гледаочевог доживљаја спортског догађаја. Емитери сада приказују утакмице уживо у виртуелној реалности и спремају се да једног дана продају виртуелне карте за утакмице уживо тако да било ко из било ког дијела свијета може „присуствовати“ било којем спортском догађају. Ово би могло омогућити онима који себи не могу да приуште присуствовање спортским догађајима да уживају исто или слично искуство на даљину по нижој цијени или потпуно бесплатно.

2.4.3 Виртуелна реалност у војној индустрији

Војске Велике Британије и САД-а су већ усвојиле употребу виртуелне реалности у својој обуци јер им омогућава различите врсте симулација. ВР се користи у свим гранама службе: војсци, морнарици, ваздухопловству, маринцима и обалској стражи. ВР може да транспортује корисника у више различитих ситуација, мјеста и окружења за сврху различитих обука. Војска га користи за симулацију лета, ратишта, обуку љекара итд. Може се користити и за подучавање војника неким мекшим вјештинама, укључујући комуникацију с локалним цивилима или колегама из других земаља.

Све већи број армија широм свијета уводи ВР технологије у своје јединице. То у пракси значи да војници и официри не морају бити на самом ратишту, већ да оружјима могу управљати на даљину, кроз виртуелну стварност. Тако је компанија *Microsoft* 2018. године потписала уговор са америчком војском, вриједан пола милијарде долара, за испоруку 100 хиљада *Holo Lens* уређаја. *Microsoft Holo Lens* највише личи на велике сунчане наочаре, а користи тзв. *Mixed Reality* софтвер, гдје војник преко слике стварног

свијета добија и “нови слој”, а гдје му рачунар шаље разне информације. Назване и “МР наочаре”, *Holo Lens* може војницима да пошаље информације о удаљености непријатеља и возила, разне податке и команде са самог бојног поља, те комуникацију са командом, и све то док је војник активан, те не мора да користи ни класичан рачунар, нити паметни телефон.

И руска армија посједује сличан систем, назван „Сварог”. Овај систем омогућава пилоту да са земље наводи беспилотне летјелице, и то само покретима главе или очију, те да издаје команде покретом руке. Систем заснован на ВР омогућава војницима да контролишу кретање и функције дрoнова уз помоћ специјализованих ВР уређаја. Уређај су интегрисани у њихове шлемове војне опреме (кодног назива „Сварог“) и могу да пруже *HD* поглед на терен борбе и непријатељске циљеве које треба скинути. Према ријечима програмера, слушалице омогућавају војницима да имају већу свијест о положају на бојном пољу и боље разумију непријатељске војнике који се приближавају или стоје у близини. Када је технологија тек уведена, то је био први пут да су Руси користили виртуелну реалност и роботiku за главне војне операције. Шлемови омогућавају војницима да управљају борбеним дрoновима главом, што значи да би лагано извијање врата натјерало дрoн да промијени правац, а други слични гестови би га усмјерили да обори непријатељску мету. Гледање у одређену мету послало би тренутне сигнале беспилотним летјелицама да почну пуцати на њу. Кациге од 400 фунти садрже двоструке ВР екране за гледање војника. За већу јасноћу вида, екрани су имали ултра-високу резолуцију (5120x2180, много више од просјечног екрана рачунара). Жироскопи уграђени у шлемове омогућавају војницима да добију координате локације нападачких дрoнова у ваздуху.

Осим тога, виртуелна реалност се користи и за лијечење посттрауматског стресног поремећаја за војнике који су се вратили из борбе и потребна им је помоћ у прилагођавању нормалном животу. Ово је познато као терапија изложености виртуелној стварности.

2.4.4 Виртуелна реалност у менталном здрављу

У протекле двије деценије виртуелна реалност се појавила као једно од основних средстава за истраживање, процјену и управљање психијатријским поремећајима. ВР се користи заједно са савјетовањем и терапијом когнитивног понашања за лијечење зависности. Сценарио гдје постоји велика вјероватноћа да ће доћи до зависности се реплицира помоћу ВР, тако да психотерапеут може да посматра њихово понашање и реакцију на њега. Ове информације се користе за планирање одговарајуће терапије.

Ефикасност виртуелне реалности је верификована у лијечењу страха од висине, страха од паука (слика 5), страха од великог броја људи, страха од затвореног простора, страха од летења, паничног поремећаја и поремећаја преједања.[18] Виртуелна реалност се такође користи у когнитивној рехабилитацији. Користи се да помогне одраслима или дјечи са аутизмом да развију вјештине неопходне за самосталност, односно како да пређу пут, како да идентификују различите изразе лица код пацијената са психозом и како да покупи визуелне знакове или да обрати пажњу на другу особу док говори.



Слика 5 – лијечење страха од паукова помоћу ВР

Апликације засноване на виртуелној реалности могу бити корисне у форензичкој психијатрији. Прелиминарне студије указују на његову корисност у процјени особа са поремећајем педофилије. Друга примјена је употреба виртуелне реалности за процјену понашања форензичких пацијената у ситуацијама повезаним са криминалом.

2.4.5 Виртуелна реалност у образовању

Дани учења који су ограничени само на читање уџбеника и слушање досадних предавања би ускоро могли да постану прошлост. Иако већ постоји много активних техника учења које могу бити изабране, као што је једноставно постављање питања ученицима или мотивисање ученика на групни рад, све више наставника увиђа прави потенцијал виртуелне реалности. Према неким истраживањима, 90% просвјетних радника сматра да виртуелна реалност може помоћи у побољшању учења. Што је још важније 97% студената и ученика сматра да би значајно мање избјегавали предавања на којима се користи виртуелна реалност. И заиста, да ли бисте радије читали о слијетању на Мјесец или се увјерили како је било ходати по Мјесецу с Нилом Армстронгом? Стога, не чуди што се сматра да је образовање један од сектора за највећа улагања у вези са ВР. Прогнозе предвиђају да ће виртуелна реалност у образовању бити индустрија вриједна 700 милијарди долара до 2025. године.

Виртуелни излети (слика 6) су један од најчешћих начина на који наставници користе ВР. На примјер, 2019. године, школски дистрикт *Schaumburg* у Илиноису користио је виртуелну реалност у свакој од својих 28 школа како би одвео ученике на виртуелне излете на Мјесец, бојишта Првог свјетског рата и Велику дворану на острву Елис. Ентузијазам дјеце је био огроман, рекао је помоћник надзорника Ник Мајерс у интервјуу за часопис *EdTech*. „Видјели смо заиста емотивне реакције на то, јер ученици могу да виде, могу да се крећу и буду дио искуства о коме уче.“

ВР излети постају толико популарни у образовању јер су, осим што пружају импресивна и занимљива искуства, такође доступни. Неће сваки ученик моћи да се придружи својим друговима из разреда на путовању у музеј или другу земљу у стварном свијету, било због инвалидитета или због трошкова. Са виртуелном реалношћу, сваки ученик може бесплатно ићи на исто путовање. Пошто не захтијевају скуп транспорт и логистику, виртуелни излети су исплативији за школе.



Слика 6 – ВР излет у подводни свијет

Осим виртуелних излета, виртуелна реалност може бити корисна у учењу страних језика јер омогућава ученицима да се повежу с другим ученицима из других земаља. Још једна од занимљивих и корисних примјена је симулација виртуелне лабораторије. Она омогућава студентима природних наука да експериментишу у лабораторијама вриједним милион долара или да мијешају различите хемикалије на виртуелном предавању из хемије без страха да ће направити праву експлозију.

За ученике са посебним потребама, виртуелна реалност ствара нове могућности за безбједно истраживање свијета и вјежбање вјештина из стварног свијета, као што је поштовање саобраћајних сигнала или интеракција са полицајцима, у окружењу без ризика.

Студенти медицине и стоматологије су почели да користе виртуелну реалност за вјежбање операција и различитих захвата. Обезбјеђујући окружење за учење без последица, елиминише се ризик од nanoшења штете правим пацијентима (слика 7).

Коришћење VR технологије у медицинској индустрији ефикасан је начин не само за побољшање квалитета ученика у обуци већ и одлична прилика за оптимизацију трошкова, имајући у виду да су здравствене услуге под сталним притиском ограниченог буџета.



Слика 7 – VR код студената медицине

Пандемија корона вируса је присилила ђаке и студенте да уче преко интернета. Платформе као што је *Zoom* помажу у олакшавању оваквог начина учења, али често не испуњавају очекивања у смислу одржавања концентрације ученика. То не изненађује ако узмемо у обзир то да је адолесцентима тешко задржати пажњу чак и приликом предавања užиво. Виртуелна реалност може да помогне у повећању ангажмана ученика и помоћи им да остану фокусирани. Током пандемије Стивен Хил, професор на Универзитету Сјеверне Каролине у Чепел Хилу, одбацио је *Zoom* предавања и увео виртуелну тродимензионалну верзију своје учионице. Ученици могу да шетају по учионици, разговарају једни са другима у различитим просторима за окупљање, па чак и да се разбију у групе.

2.4.6 Виртуелна реалност у модној индустрији

Ово је мање позната употреба VR технологије, иако је виртуелна реалност имала дубок утицај у моди. Виртуелне симулације продавница могу бити веома корисне за продавце да дизајнирају своје натписе и приказе производа са мање уложеног труда него што би то учинили у стварном свијету. Неки популарни брендови који су већ почели да користе виртуелну реалност у свом пословању су *Tommy Hilfiger*, *Coach* и *Gap*. VR технологије омогућавају овим великим именима да пруже својим купцима пуни доживљај модних ревија и да практично испробају одјећу. На сличан начин, виртуелна реалност се може искористити у малопродаји. Различите компаније покушавају да нам пруже искуство путем виртуелне реалности, укључујући европског трговца на мало *Asos*, који је уложио у компанију за развој софтвера *Trillenium*. У партнерству са аустралијским трговцем *Myer*, *EBay* је покренуо „прву робну кућу у свијету виртуелне реалности“.

2.4.7 Виртуелна реалност у продаји некретнина

Обично клијенти посјећују више некретнина прије него се одлуче за ону коју желе. Ово захтијева много времена, нарочито ако се некретнина налази далеко од мјеста гдје живи клијент. ВР технологија помаже у рјешавању ових проблема тако што омогућава милионима људи да посјећују различите некретнине без напуштања својих домова. Уз једноставно стављање ВР уређаја купци могу за веома кратко вријеме обићи више некретнина и одлучити коју је вриједно лично посјетити.

2.4.8 Виртуелна реалност у туризму

Предузећа која послују у туристичкој индустрији су јако брзо прихватила употребу ВР технологија. Разлог за то је једноставан. Њихове муштерије обично желе да купе искуства, а не производ. Путници захтијевају много информација прије него што резервишу хотелску собу. Паметном употребом ВР технологије, може се избацити процес читања описа, рецензија, гледања видео записа или тражења мишљења на друштвеним мрежама. Један од најбољих примјера виртуелне реалности на дјелу је употреба ВР технологије за пружање виртуелних обилазака хотела и хотелских соба што потенцијалном клијенту нуди већу транспарентност од стандардних слика. Осим хотелских соба, корисник може истражити и остале садржаје у хотелу, погледати локалне знаменитости и остале кључне информације, све на једном мјесту.

2.4.9 Виртуелна реалност у археологији

Мјеста као што су пећине, оштећене или уништене структуре или осјетљива окружења ограничена за посјету могу бити посјећена коришћењем ВР технологије. Још 1994. године посјетиоци музеја имали су прилику за интерактивни пролаз кроз реконструкцију дворца *Dudley* у Енглеској из 1550. године.

2.4.10 Виртуелна реалност у аутомобилској индустрији

Коришћење виртуелне реалности у аутомобилској индустрији омогућава експериментисање без скувих прототипа. *Ford* користи виртуелну реалност да прескочи фазу дводимензионалног цртања и ускочи у тродимензионални модел. Ово штеди вријеме при дизајнирању унутрашњих и спољашњих компоненти аутомобила. Компаније као што су *Audi* и *Tesla* чине и корак даље. Њихови корисници могу сједити у аутомобилу и истраживати нове функционалности директно са ВР уређаја.

2.4.11 Виртуелна реалност у архитектури

Виртуелна реалност постепено мијења начин на који архитекте пројектују. Омогућава да се види не само како ће зграда или простор изгледати, већ и како ће се осјећати. Власници кућа могу искусити простор прије него што је физички изграђен и вршити промјене својих захтјева у реалном времену, што штеди вријеме и новац и клијента и архитекте, а самим тим повећава задовољство по завршетку пројекта. Годинама уназад, архитекте користе тродимензионалне моделе али коришћење виртуелне реалности им омогућава да разумију и истраже простор на најдубљем могућем нивоу (слика 8).



Слика 8 – ВР у архитектури

2.5 Негативне стране виртуелне реалности

Виртуелна реалност је моћно оруђе које може промијенити животе на боље. Правилна употреба ове технологије показала је да може бити корисно рјешење у различитим аспектима, о чему је већ писано у овом раду. Међутим, као и све друге технологије данашњице, виртуелна реалност са собом носи и низ негативних ефеката нарочито уколико се прекомјерно употребљава.

2.5.1 Негативни психолошки ефекти

Импресивна природа виртуелне стварности, нажалост, може довести до зависности. Ово је, нарочито, уобичајено за кориснике који много времена проводе играјући видео игре, а посебно оне насилне. То изазива нервозу и напетост код корисника. Код неких чак доводи до тачке да више вјерују у виртуелни свијет него стварни. Због свега наведеног треба бити посебно опрезан приликом увођења дјецe у виртуелни свијет.

Зависност од ВР игара спада у категорију зависности од понашања односно активности (енг. *behavioral addiction*). Оно што зависност разликује од нештетне

активности или хобија јесу знаци да квалитет живота појединца сада испашта због ове активности. Неки од особина понашања које изазивају зависност које можете искусити или видјети код особе су:

- неизвршавање задатака или обавеза које треба обавити
- занемаривање свих проблема који су настали као резултат видео игара.
- недостатак жеље да комуницира са породицом или пријатељима „ван мреже“ или „лицем у лице“.
- снажан осјећај фрустрације када није у могућности да користи VR

Као и код било које друге зависности од медија, играње VR игара сатима може изазвати озбиљне менталне болести као што су депресија, анксиозност, поремећај пажње, а у многим случајевима особине и карактеристике из спектра аутизма, гојазност, проблеме са спавањем и повећану агресију.

У студији коју је спровео *HCT (Higher Colleges of Technology)*, откривено је да се утицаји зависности од виртуелне стварности могу одразити и на дјecu и на одрасле. У истраживању из те студије такође се вјерује да је значајан ефекат дугог играња VR-а могућност оштећења мозга. Зависна особа неће правити разлику између стварности „лицем у лице“ и виртуелног свијета.



Слика 9 – илустрација негативних психолошких ефеката VR

2.5.2 Негативни утицаји на физичко здравље

Корисници VR технологија пријавили су низ забрињавајућих ефеката укључујући оштећење вида, дезоријентацију, па чак и изненадне нападе. Осим тога, употреба VR-а носи врло стваран ризик од повреда. У одређеним случајевима је долазило до поломљених костију, покиданих лигамената и електричног удара. Осим ових озбиљнијих, ријетко пријављених посљедица, оно што је већина VR корисника искусила у неком тренутку је бол у очима након држања VR уређаја на глави извјесно вријеме. VR дизајнери тек треба да осмисле уређаје који у потпуности могу имитирати широкоугаони људски вид. Још

једна уобичајена нежељена појава је мучнина (слика 10). Она настаје као резултат тога што виртуелно окружење утиче на осјећај просторне свијести и времена код корисника. Истраживања су овај феномен назвала „сајбер болест“. Наш мозак почиње да паничи кад нам очи виде сцену која каже да бисмо се требали кретати, а ми се не крећемо. Осим мучнине, у овим ситуацијама може се десити да корисници доживе болест кретања као резултат промјене у природној равнотежи тијела. [20] Добро је бити свјестан како наш мозак реагује на то и узети паузу у коришћењу уређаја.



Слика 10 – илустрација негативних ефеката ВР на физичко здравље

3. *Oculus Go* платформа

Oculus Go (слика 11) је самостални уређај за виртуелну стварност који је развила компанија *Facebook Technologies* у сарадњи са компанијама *Qualcomm* и *Xiaomi*. То је прва генерација уређаја за виртуелну реалност компаније *Facebook Technologies*. *Oculus Go* је представљен 11. октобра 2017. током конференције за програмере *Oculus Connect*, а објављен је 1. маја 2018. *Xiaomi* је лансирао сопствену верзију уређаја у Кини као *Mi VR Standalone* 31. маја 2018.



Слика 11 – *Oculus Go*

Oculus Go је „све-у-једном“ уређај, што значи да садржи све потребне компоненте за пружање искуства виртуелне стварности и не мора да буде везан за спољни уређај да би се користио. Опремљен је *Qualcomm Snapdragon 821* скупом чипова и једним *LCD* екраном од 5,5 инча са резолуцијом од 1280×1440 пиксела по оку и брзином освјежавања од 72 или 60 херца, у зависности од апликације. Слушалице користе *Fresnel* сочива која су

побољшана у односу на оне коришћене у претходним уређајима компаније *Oculus Rift* и обезбјеђују видно поље од око 101 степен, што уређају даје вјерност приказа од 12,67 пиксела по степену. Улаз је обезбијеђен са бежичним контролером који функционише слично ласерском показивачу. Слушалице и контролер користе непозиционо праћење 3 степена слободе, што их чини способним за сједеће или статичке активности, али неприкладне за апликације у просторији. Уређај користи мобилни оперативни систем *Android* и укључује апликације за гледање традиционалних и импресивних видео записа и других медија из различитих извора, као што су *Facebook* и интерна меморија слушалица, као и услуге репродукције података у реалном времену као што су *YouTube*, *Netflix* и *Hulu*. Додатни софтвер је обезбијеђен преко *Oculus* продавнице - платформе за дигиталну дистрибуцију коју је креирала и одржава *Facebook Technologies*.

До јула 2019. године, процијењено је да је *Oculus Go* продат у преко два милиона примјерака. *Facebook Technologies* је 23. јуна 2020. објавио да ће окончати продају уређаја а касније те године и да неће прихватати нове *Go* апликације или ажурирања апликација у *Oculus* продавници након 4. децембра 2020. године.

3.1 Карактеристике

3.1.1 Хардвер

За разлику од уређаја као што су *Samsung Gear VR* и *Google Daydream* које се покрећу уз помоћ паметног телефона, *Oculus Go* је самостална јединица која садржи све компоненте потребне за пружање искуства виртуелне реалности. Уређај користи *Qualcomm Snapdragon 821* систем на чипу, 3 гигабајта *LPDDR4 RAM* меморије (*Low-Power Double Data Rate*) и 32 или 64 гигабајта интерне меморије. [22] Интегрисана *Adreno 530* графичка процесорска јединица (*GPU*) пружа отприлике *500GFLOPS* графичких перформанси (Рачунарски систем од *1GFLOPS* је способан да изврши милијарду операција с покретним зарезом у секунди.). Уређај садржи батерију од *2600mAh* (*miliAmper hours*) која обезбјеђује до 2.5 сата активног коришћења уређаја.

Oculus Go уређај је опремљен *LCD* екраном од 5.5 инча резолуције од 2560x1440 пиксела (1280x1440 пиксела по оку). Уређај користи *Fresnel* сочива која су побољшана у односу на она кориштена у *Oculus Rift* уређају и према *Oculus*-у то су најбољи објективи које је компанија произвела до тренутка кад је *Oculus Go* направљен. Уређај нема могућност подешавања међузјеничног растојања (енг. *Interpupillary distance* - *IPD*) и имају фиксно растојање сочива од 63.5 милиметара што према *Oculus*-у најбоље одговара корисницима са *IPD* између 61.5 и 65.5 милиметара. [23]

Oculus Go контролер (слика 12) је бежични даљински управљач са могућношћу показивача који се користи за интеракцију с апликацијама и играма. Осим показивачке плочице (енг. *touchpad*), контролер има три дугмета која се могу користити за одабир опција, повратак на претходни екран или мени и повратак на почетни екран. Контролер се напаја помоћу једне *AA* батерије.



Слика 12 - *Oculus Go* контролер

Oculus Go је доступан у двије конфигурације у зависности од складишне меморије:

- модел са 32 гигабајта меморије који кошта 149 америчких долара и
- модел са 64 гигабајта меморије који кошта 199 америчких долара [24]

Уређај не подржава спољно складиштење иако је приликом његовог пласирања у продају, планирано да се дода подршка за *USB* флеш дискове преко микро *USB* порта као накнадно ажурирање. Међутим, у новембру 2019. године објављено је да ипак неће доћи до овог ажурирања због хардверског проблема који *Oculus* није успио да ријеши. [25]

Oculus нуди додатке и резервне дијелове преко своје веб странице, укључујући торбу за ношење и интерфејс за лице за људе који имају ниски мост носа и високе или широке јагодице. Доступни су и замјенски контролер и интерфејс за лице. Поред тога, *Oculus* промовише интернет продавца наочара *FramesDirect* као мјесто гдје можете кушити потребна сочива. *Oculus*, такође, нуди пословни пакет са посебним додацима, гаранцијом и подршком.[26]

3.1.2 Софтвер

Као што је већ речено *Oculus Go* је платформа заснована на *Android*-у, конкретно верзији 7.0.

Да би се подесио *Oculus Go*, *Oculus* апликација мора бити преузета на мобилни телефон који користи *Android* или *iOS*. Користећи апликацију *Oculus*, уређај је упарен с телефоном и контролером и повезан с налогом. Апликације се могу презимати у *Oculus* продавници или на телефону или на самом уређају. Сlike и видео снимци могу да се пренесу на *Oculus Go* са рачунара користећи *USB* флеш меморију, апликације такође могу бити инсталиране с другог уређаја али многе од њих захтијевају бежичну мрежу да би функционисале.

Званичне апликације које су доступне на уређају, односно доступне за преузимање су:

Oculus Gallery, *Oculus Video*, *Oculus TV* и *Oculus Venues*.

Апликација *Oculus Gallery* се може користити за приступ медијима ускладиштеним у интерној меморији уређаја, или са спољних мрежних локација или сервиса као што су *Facebook*, *Instagram* или *Dropbox*.

Апликација *Oculus Video* омогућава гледање најаве филмова, филмова или сопствених видео записа у различитим виртуелним окружењима.

Апликација *Oculus TV* се користи за гледање телевизије у окружењу виртуелне дневне собе преко различитих апликација као што су *Facebook Video*, *Pluto TV*, *Netflix* и *Hulu*.

Апликација *Oculus Venues* омогућава кориснику да присуствује догађајима уживо.

Апликација *Oculus Rooms* била је присутна приликом лансирања уређаја, али је укинута 25. октобра 2019. године.[21] *Oculus Rooms* је био прилагодљив лични и друштвени простор у који су корисници могли да позову пријатеље да играју разне друштвене игре, слушају музику, гледају видео, ТВ и филмове и заједно играју игре за више играча.

3.2 Критике

Oculus Go уређај је наишао на, углавном, позитивне критике. Критичари су хвалили дизајн, екран, уграђене звучнике и разумну цијену док су критиковали немогућност брзог пуњења, ограничено праћење покрета и недостатак проширивог простора за складиштење. Око софтвера и садржаја, критичари су били подијељени. Док су једни хвалили количину апликација и садржаја доступних за уређај, други су сматрали да је избор софтвера танак и

критиковали су његов квалитет. *CNET* (позната америчка веб страница за критике и новости у вези са потрошачком електроником) је окарактерисао *Oculus Go* уређај као „ВР за широке масе“ док је *The Verge* (такође амерички сајт који се бави потрошачком електроником) навео да је „добар, али не и сјајан уређај“.[27][28]

У мају 2018. године извршни директор компаније за забаву за одрасле „*Naughty America*“ описао је *Oculus Go* као „*game changer*“ и рекао да је компанија забиљежила значајно повећану продају ВР садржаја откад је *Oculus Go* почео да се продаје. Осим њега, шеф производње у *BaDoinkVR*, познатој продукцији за одрасле, је рекао да очекује да *Oculus Go* буде главни пролаз ка садржају компаније и описао га као „савршен уређај за одрасле“.[29]

4. Софтверска подршка

Као програмска основа за израду техничког рјешења овог рада коришћене су функционалности које нуде *Oculus Mobile SDK* и *OpenGL* библиотека.

Oculus Mobile SDK представља скуп алата за развој апликација специфичних за *Oculus* мобилне уређаје. Више о овим алатима биће речено у поглављу 4.1.

Android-ов радни оквир пружа мноштво стандардних алата за креирање атрактивних, функционалних графичких корисничких интерфејса. Међутим, ако желите већу контролу над оним што ваша апликација црта на екрану, или се упуштате у тродимензионалну графику, морате да користите други алат. *OpenGL ES* функционалности које пружа *Android* оквир нуди скуп алата за приказивање врхунске, анимиране графике која је ограничена само вашом маштом. Управо те функционалности су биле битне у изради *Oculus Go* верзије апликације. Више о *OpenGL* библиотеци биће речено у поглављу 4.2.

4.1 Oculus Mobile SDK

Oculus Mobile SDK пружа ресурсе за матични развој и интеграцију механизма других произвођача на *Oculus* мобилним уређајима.

Mobile SDK се састоји од следећих компоненти:

- *VrApi* за интеграцију механизма других произвођача
- Радно окружење (енг. *framework*) за прављење ВР апликација високих перформанси од нуле
- Примјери апликација за пружање референтног модела за креирање сопствених ВР апликација
- Алати и ресурси који помажу у развоју

Oculus обезбјеђује неколико различитих пратећих *SDK* пакета који потпомажу функционалност *Mobile SDK*-а. Ти пакети укључују:

- *Audio SDK*
- *Platform SDK*
- *Avatar SDK*

4.1.1 *Audio SDK*

Аудио је кључан за стварање убједљивог ВР искуства. Због кључне улоге коју звучни сигнали играју у нашем осјећају да смо присутни у стварном, физичком простору, сваки труд који развојни тимови уложе да би га добили ће допринијети осећају урођења корисника. Наша способност да локализујемо изворе звука у тродимензионалном простору је фундаментални дио начина на који доживљавамо звук. *Oculus* обезбјеђује следеће аудио алате:

- Додаци за просторно подешавање звука – *Oculus* алати за просторно подешавање звука трансформишу монофоне изворе звука како би учинили да звучи као да долазе из одређеног жељеног правца.
- Синхронизација покрета усана – *Oculus Lipsync* синхронизује усне аватара са звуковима
- Аудио профилисање – *Oculus* алатка са аудио профилисање користи се за праћење проблема са звуком
- Мјерач јачине звука – *Oculus Loudness Meter*

4.1.2 *Platform SDK*

Platform SDK нуди додатке који се могу користити за креирање занимљивих и друштвених игара. Овај *SDK* вам омогућује да комбинујете и прилагодите скуп додатака које користите како бисте креирали јединствено искуство игре. Свака функција подржава један од циљева платформе:

- **Идентитет** – апликација се персонализује користећи листу пријатеља корисника. Корисницима се дозвољава да лако пронађу пријатеље и повежу се с њима.
- **Друштвене мреже и заједница** – подстичу се активне заједнице и смислене интеракције у апликацији. Постоји могућност окупљања корисника широм свијета ради заједничких искустава.
- **Ангажовање** – ангажовани корисници се чешће враћају и проводе више времена у ВР. Корисници се подстичу да се враћају, комуницирају и улажу у апликацију.

- **Приход** – покушава се омогућити што већи приход од апликације нудећи праве ставке и права искуства у право вријеме.
- **Безбједност** – апликација и корисници се штите помоћу робусне безбједности аутентификације *Oculus* платформе

Функционалности *Platform SDK*-а су појединачне компоненте које могу бити интегрисане у направљену апликацију. Свака од ових функционалности може да се користи независно, али коришћење више њих у комбинацији пружа боља и занимљивија ВР искуства.

- Достигнућа – креирање трофеја, значки и награда мотивише кориснике да постигну свој циљ
- Дубинско повезивање апликације – омогућује кориснику утисак да је директно у апликацији односно режиму игре
- Ресурси (енг. *asset files*) – омогућују обезбјеђивање додатног садржаја за апликацију без повећања величине пакета апликације
- Блокирање – омогућује се безбједније искуство и заштита људи од лоших учесника на које су претходно наишли и блокирали их
- *Cloud* складиштење – омогућује беспријекорно чување, синхронизацију и учитавање података између уређаја и инсталација.
- Додаци (енг. *add-ons*) – садржај који се може бесплатно преузети или купити – описује како да се дефинишу куповине у апликацији (енг. *in-app purchase*)

4.1.3 *Avatar SDK*

Avatar SDK пружа моћан и флексибилан начин за стварање осјећаја присуства унутар ВР апликација. Пружа вам такво искуство да се осјећате као да сте ви заиста у апликацији и да препознајете своје пријатеље. Такође, обезбјеђује да интегришете контролере на додир у своју апликацију. Интеграција контролера омогућује корисницима да комуницирају са својим окружењем и побољша перцепцију себе у оквиру виртуелног свијета.

У тренутку писања овог рада у току је развој аватара под називом *Meta Avatars SDK*. Апликације које користе стару верзију аватара су и даље у потпуности подржане, али неће добијати ажурирања.

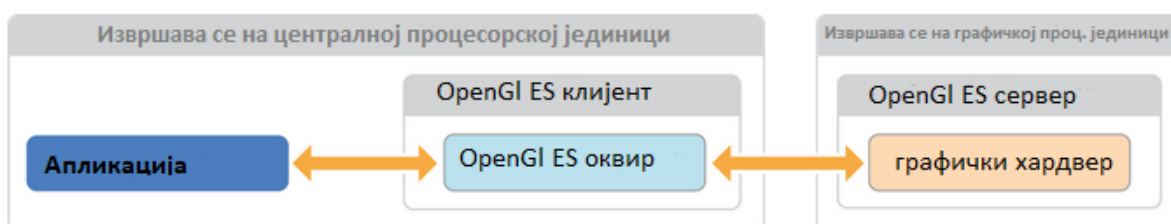
4.2 *OpenGL* библиотека

OpenGL (скраћено од *Open Graphics Library*) је вишејезични, вишеплатформски програмски интерфејс за приказивање дводимензионалне и тродимензионалне графике. Обично се користи за интеракцију са графичком процесорском јединицом да би се

постигло хардверски убрзано приказивање. Једноставније речено, то је софтверска спрега за графички хардвер.[31] Састоји се од неколико стотина процедура и функција које омогућују програмеру да специфицира објекте и операције за производњу висококвалитетних графичких слика, посебно слика у боји тродимензионалних објеката.

OpenGL for Embedded Systems (скраћено *OpenGL ES*) представља подскуп функционалности *OpenGL*-а који се користи за приказивање дводимензионалне и тродимензионалне рачунарске графике као што су оне које користе видео игре, обично хардверски убрзане помоћу графичке процесорске јединице. Дизајниран је за уграђене системе (енг. *embedded systems*) као што су паметни телефони, конзоле за видео игре, итд.

На дијаграму 1 приказан је *OpenGL ES* као клијент-сервер архитектура.



Дијаграм 1 – *OpenGL ES*

О неким од функционалности *OpenGL ES* библиотеке биће ријечи у потпоглављима о имплементацији рјешења. За имплементацију је коришћена *OpenGL ES 3* верзија.

5. Интеграција подршке за пуштање аудио и видео садржаја на *Oculus Go* платформи

5.1 Програмска подршка за репродукцију мултимедијалног садржаја

За репродукцију мултимедијалног садржаја коришћен је већ постојећи софтвер (у наставку плејер) развијен као алтернатива *MediaPlayer* софтверу на *Android*-у и коришћен за репродукцију аудио и видео садржаја на различитим *Android* и *iOS* платформама. Кратак опис његове имплементације и скуп функционалности је дат у наставку.

Срж овог плејера је вишеплатформска *C++* библиотека која дефинише мноштво интерфејса који апстрахују имплементацију компоненти специфичних за поједине платформе као што су:

- Декодери (нпр. *ffmpeg*, *Android MediaCodec*, итд)
- Демултиплексери (нпр. *ffmpeg*, *Android MediaExtractor*, итд)
- Протоколи за репродукцију садржаја у реалном времену (нпр. *HTTP*, *MPEG-DASH*, *HLS*, итд)
- Модули за визуелизацију (нпр. *SFML*, *Android AudioTrack*, *OpenSLES*, итд)

Осим тога, библиотека нуди следеће:

- Избор траке и информативан интерфејс. Апликацији се даје једноставан начин да прочита које траке су слободне и да управља њима појединачно.
- Прилагодљиву контролу складиштења медија.
- Аналитику репродукције. Библиотека излаже разне корисне аналитичке информације као што су вријеме складиштења, одбачени оквири, итд.

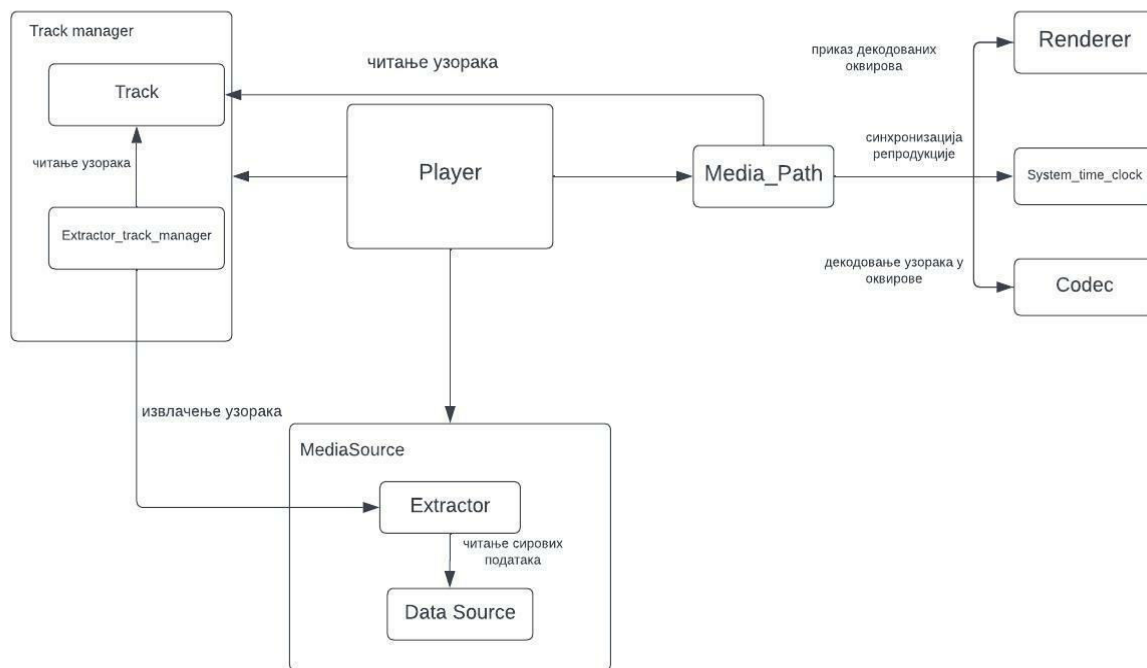
- Синхронизацију звука и слике.
- Дешифровање података.
- Приказивање звука, видеа, трака с преводима.
- Премотавање уназад, унапријед, паузирање садржаја итд.
- Могућност прилагођавања битске брзине (енг. *Adaptive bitrate - ABR*)

5.1.1 Архитектура плејера

Коришћени плејер покрива следеће компоненте:

- Компоненту која апстрахује специфичности приступа изворним подацима (енг. *Data Source*)
- Компоненту која из сирових података извлачи узорке који ће се моћи декодовати (енг. *Extractor*)
- Компоненту која декодује извучене узорке (енг. *Decoder*)
- Компоненту која приказује декодоване узорке (енг. *Renderer*)
- Компоненту за управљање тракама (енг. *Track management*)
- Компоненту која омогућује репродукцију шифрованог садржаја (енг. *DRM*)
- Компоненту која користи све претходне компоненте да би се јединствена трака приказала крајњем кориснику (енг. *Media Path*)
- Компоненту која апстрахује начин на који се приступа медијима (енг. *Media Source*)
- Компоненту највишег нивоа која спаја све претходне компоненте и представља спрегу, тј. идеално једину компоненту са којом комуницира клијент (енг. *Player*). Ово и јесте једина компонента с којом ће комуницирати апликација која ће се извршавати на *Oculus Go* платформи.

На дијаграму 2 приказана је архитектура и међусобни однос претходно описаних компоненти.



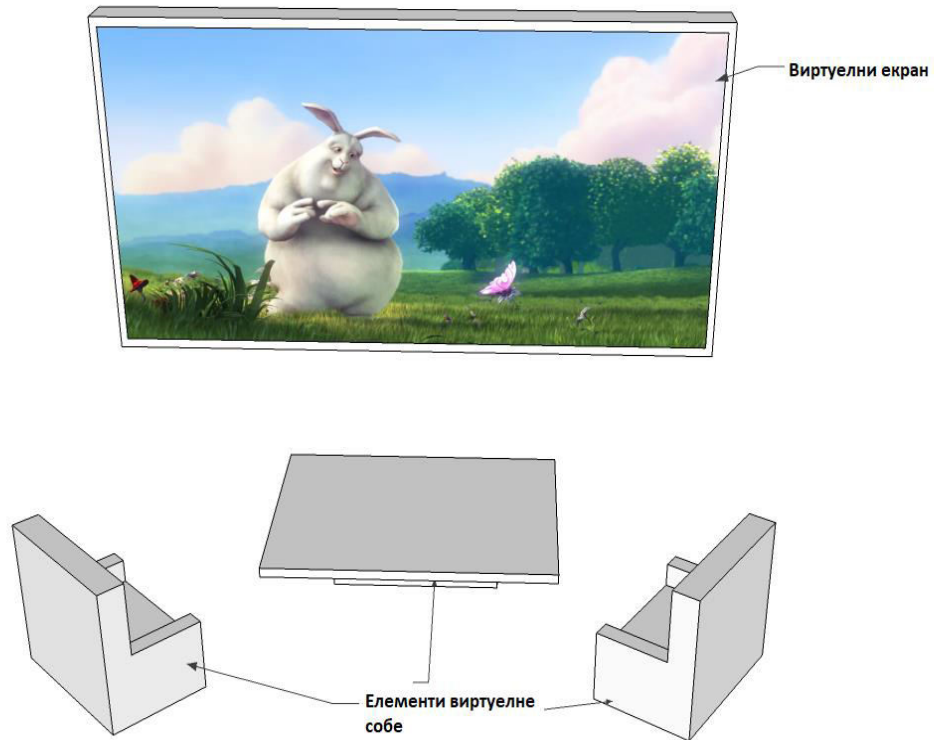
Дијаграм 2 – архитектура плејера

За превођење и повезивање програма користи се *CMake* или *NDK* систем, приликом чега се генерише *.aar* библиотека која ће бити увезена у апликацију чија ће имплементација бити објашњена у наставку.

5.2 Имплементација VR апликације

Као што је већ речено у овом раду, *Oculus Go* је платформа заснована на *Android*-у али главна разлика између ове и других *Android* платформи је у томе што апликација мора да имплементира тродимензионално окружење у којем се извршава. Дакле, ово је најизазовнији дио имплементације.

На следећој илустрацији приказани су визуелни елементи од којих је сачињена виртуелна соба.



Слика 13 - виртуелна соба

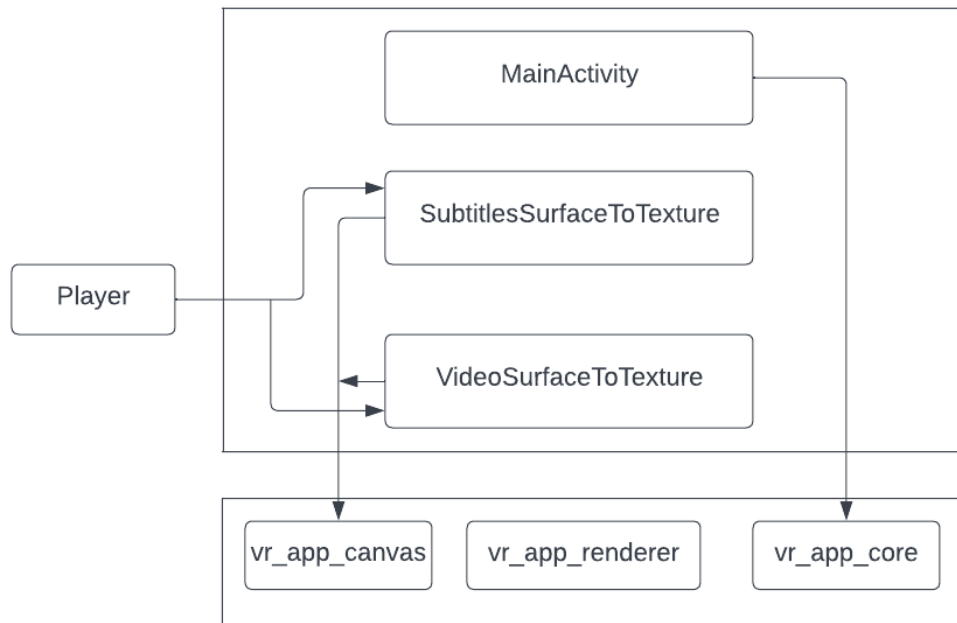
Тродимензионална сцена приказана на слици 13 састоји се од два главна визуелна аспекта:

- Виртуелни екран
- Елементи виртуелне собе

Виртуелни екран представља садржај апликације на исти начин на који би то радио у обичној *Android* апликацији (видео репродукција). Постављањем овог екрана у виртуелно тродимензионално окружење и додавањем других тродимензионалних објеката око њега (елемената виртуелне собе) виртуелна соба ће бити састављена са виртуелним екраном који ће приказивати исти садржај као на правом телевизору. *Oculus Go* даје могућност гледања (ротирања) по просторији помоћу *HMD* сензора и интеракцију с њом помоћу контролера.

5.2.1 Архитектура имплементираног модула

Дијаграм у наставку приказује како изгледа структура имплементираног модула и веза између плејера и ВР апликације.



Дијаграм 3 – архитектура VR апликације

5.2.2 Кораци имплементације

Имплементација апликације која може да се извршава на *Oculus Go* платформи и која је способна да пушта аудио и видео садржај извршена је у неколико корака. Кораци редом су описани у наредним потпоглављима.

5.2.2.1 Полазна апликација

Као први корак и полазна тачка имплементације узет је *VrCubeWorld_NativeActivity*, један од примјера из *Oculus Mobile SDK*.

5.2.2.1.1 Структура полазне апликације

Овај једноставни примјер састоји се из свега два фајла:

- *Java* фајла, *MainActivity.java*,
- *.c* фајла, *VrCubeWorld_NativeActivity.c*

Класа *MainActivity* у овом примјеру проширује *Android* класу *NativeActivity* како би се избјегло ручно управљање догађајима животног циклуса. Представља добар примјер како интегрисати *VrApi* у постојећи механизам који користи *NativeActivity*.

У *.c* фајлу налази се матични дио имплементације.

О детаљима имплементације ових фајлова биће више речено у каснијим потпоглављима у којим ће се говорити о неопходним проширењима која су извршена.

5.2.2.1.2 Систем за превођење полазне апликације

Систем за превођење *Oculus Mobile Sdk* примјера је заснован на *Gradle*-у, али се извршава преко системских *Python* скрипти које су дио *Mobile Sdk* -а и заједничке су свим примјерима. За потребе овог рада се није улазило у детаље начина на који се генерише *.apk* фајл, већ је систем за превођење и повезивање као такав коришћен касније за генерисање коначног *.apk* фајла.

5.2.2.1.3 Подешавање окружења за превођење и инсталацију полазне апликације

За превођење, повезивање и инсталацију *VrCubeWorld_NativeActivity* апликације били су неопходни сљедећи ресурси:

- *Android Studio*
- Рачунар са процесором 2.0+ *GHz* и 2*GB* рам меморије
- Један од сљедећих оперативних система:
 - *Windows 7/8/10*
 - *macOS: 10.10+ (x86)*
 - *Linux*
- ВР уређај – у овом случају *Oculus Go*
- Паметни телефон компатибилан са ВР уређајем

Осим набројаног неопходан је и *Facebook* налог, јер као што је већ речено *Facebook* компанија захтијева пријављивање с њиховим налогом као предуслов за коришћење *Oculus Go* уређаја.

Након што је изгенерисан *.apk* фајл користећи *Android Studio*, *Oculus Go* уређај се повезује на рачунар користећи *adb connect* команду, а затим се *.apk* фајл копира на уређај користећи *adb push* команду

Претходно је неопходно омогућити *Developer Mode* на *Oculus Go* уређају.

Детаљи превођења и повезивања апликације користећи *Android Studio*, сви пакети које је неопходно инсталирати на рачунару како би се успјешно генерисао *.apk* фајл и остала детаљна упутства могу се пронаћи у *Oculus* документацији под називом *Native development*. [33]

5.2.2.1.4 Структура *.apk* фајла

Изгенерисани *.apk* фајл састоји се од сљедећих датотека:

- *AndroidManifest.xml* – специфичан за ВР
- Изворни код – *Java* и *JNI* везе
- Ресурси – тродимензионални модели, текстуре и друге датотеке потребне за приказ виртуелне тродимензионалне собе

За разлику од *.apk* фајла изгенерисаног на основу *VrCubeWorld_NativeActivity* примјера, коначни *.apk* који ће бити способан да пушта аудио и видео садржај садржаће и *.aar* библиотеку која ће му омогућити да користи функционалности плејера описаног у потпоглављу 5.1.

5.2.2.1.4.1 *AndroidManifest.xml*

Неопходне промјене које је требало имплементирати у прилагођени *AndroidManifest.xml* за ВР верзију апликације су:

- Андроид тема је постављена на *Theme.Black.NoTitleBar.Fullscreen* због боље транзиције између апликација
- Таг *vr_only* је додат за детекцију ВР режима
- Оријентација екрана је пејзажна: *android:screenOrientation="landscape"*
- Вриједност *configChanges* је сљедећа:
android:configChanges="density|keyboard|keyboardHidden|navigation|orientation|screenLayout|screenSize|uiMode".
- *MinSdkVersion* је подешен на *API* ниво 21. Ово осигурава да ће апликација радити на свим подржаним мобилним уређајима.
- Није додат атрибут *noHistory*.

Такође, захтијевана је подршка за *OpenGL ES 3*.

5.2.2.2 Апликативни дио имплементације и неопходна проширења

Други корак представља неопходно проширење апликативног дијела кода *VrCubeWorld_NativeActivity* примјера.

MainActivity.java је почетна тачка за ВР апликацију. Он просљеђује све догађаје из апликације у матични дио кода, гдје се њиме рукује на начин како је то дефинисано у *Oculus Mobile Sdk* документацији. Такође, садржи *SurfaceView* гдје се тродимензионална састављена сцена приказује кроз *VrApi*.

VrApi је дизајниран тако да ради са *Android* активношћу (*Android Activity*) користећи обичан *Android SurfaceView*, гдје се животним циклусом активности (*Lifecycle activity*) и животним циклусом површине (*Lifecycle Surface*) управља у потпуности у матичном коду тако што се догађаји животног циклуса (*Lifecycle Events*) шаљу у матични код: *onResume*, *onPause*, *surfaceChanged* итд.

Да би се испуниле потребе *VrApi*-ја, у *Java* коду је имплементирана класа која проширује класу *Activity* и креиран *SurfaceView* гдје се ради цртање. Догађаји се просљеђују матичном дијелу апликације.

Друге помоћне класе које пружају неопходно за приказ виртуелне сцене у тродимензионалној виртуелној соби су:

1. *SubtitlesSurfaceToTexture* – исцртава траку с преводима на текстуру
2. *VideoSurfaceToTexture* – обезбјеђује текстуру која ће бити послата видео декодеру

Матични дио апликације креира двије различите текстурне равни (*SurfaceTexture*) које се користе за приказ:

- репродукције видеа – на основу ове текстуре креира се раван која се шаље плејеру који даље ову површину користи за приказ видео садржаја
- приказ траке с преводима

Када се изврши модификација било које од ових текстура, *Java* дио апликације обавјештава матични дио апликације да ажурира одговарајућу текстуру. Ажурирање текстура врши плејер.

У табели 1 дат је списак најважнијих функција *Java* дијела кода и њихова улога.

Табела 1 – функције апликативног дијела имплементације

Назив функције	Опис функције
onCreate()	Креира активност и шаље обавјештење матичном дијелу кода
Initialize()	Иницијализује плејер
onStart()	Покреће активност и шаље обавјештење матичном дијелу кода
onPause()	Паузира активност и шаље обавјештење матичном дијелу кода
onStop()	Зауставља активност и шаље обавјештење матичном дијелу кода
onDestroy()	Уништава све текстурне равни и шаље обавјештење матичном дијелу кода да обрише ресурсе виртуелне собе
onSurfaceCreated()	Иницијализује текстурне равни и шаље обавјештење матичном дијелу кода да припреми виртуелну собу
onSurfaceDestroyed()	Уништава текстурне равни
onKeyEvent()	Шаље догађаје тастера контролера матичном дијелу кода
handleError()	Приказује грешку у случају да се нека од функција плејера не изврши успјешно

5.2.2.3 Матични дио имплементације и неопходна проширења

Трећи и најзахтјевнији дио имплементације је проширење матичног дијела имплементације *VrCubeWorld_NativeActivity* примјера. Матични дио апликације је срж имплементације виртуелне реалности и тродимензионалне сцене. Ту се обрађују сви догађаји апликације као и приказивање сцене, руковање контролером и друге специфичности имплементације *VrApi*-ја и *OpenGL*-а. Коришћени приступ се налази у *Oculus* документацији под називом *Native development*.

Као што је већ поменуто у претходним поглављима, матични дио апликације садржи C++ имплементацију за *Oculus Go* верзију апликације. Преведена матична библиотека је означена са *libtestappnative_vr.so*. Ова имплементација се првенствено ослања на *VrCubeWorld_NativeActivity*, *EGL* и *OpenGL ES 3* функционалности и написана је у C++ програмском језику.

5.2.2.3.1 Имплементирање тродимензионалне сцене

Имплементирање тродимензионалне сцене је најзахтјевнији корак и захтијева највише времена. Главни аспекти имплементације су:

- приказ видео репродукције на виртуелном екрану
- приказ траке с преводима на виртуелном екрану
- приказ остатка сцене виртуелне собе

Имплементација је подијељена у три главна дијела:

- језгро апликације (енг. *core*) – иницијализација *VrApi*-ја и *EGL*-а, креирање нити, слање ВР оквира и руковање догађајима из апликације
- платно (енг. *canvas*) - дио апликације одговоран за отпремање текстура за репродукцију видео садржаја и приказивање виртуелног платна
- модул за визуелизацију (енг. *renderer*) - дио апликације за визуелизацију тј. приказивање виртуелне тродимензионалне собе

5.2.2.3.2 Језгро апликације

Овај дио апликације прима догађаје из класа *Activity* и *SurfaceView*. Поред тога креира *EGL* контекст и нит која је придружена *EGL* контексту. Креирана нит ће исцртати сваки оквир.

5.2.2.3.3 Платно

Овај дио апликације креира *SurfaceTextures* за видео репродукцију и траку с преводима који су закачени за *EGL* контекст. *SurfaceTextures* се креира на основу *GL_TEXTURE_EXTERNAL_OES*. Да би се направиле *GL_TEXTURE_EXTERNAL_OES* текстуре користи се *OpenGL* екстензија *GL_OES_EGL_image_external*. *Fragment Shader* ће омогућити *GL_OES_EGL_image_external* *OpenGL* проширењу да уклопи *GL_TEXTURE_EXTERNAL_OES* текстуре.

5.2.2.3.4 Модул за визуелизацију

Модул за визуелизацију (енг. *renderer*) је чиста *OpenGL* имплементација која се ослања на друге модуле апликације као улазе, а која ће приказати тродимензионалну виртуелну собу и саставити цијелу сцену (заједно са платном). На овај начин, може се тестирати екстерно (уколико је то потребно) и подешавања коначног тродимензионалног дизајна могу бити одвојена од остатка кода специфичног за платформу.

Модул за визуелизацију треба да учита датотеку тродимензионалног модела из обезбијеђеног ресурса и да интерно складишти њену геометрију како би се могла приказати при сваком ажурирању оквира. Језгро апликације шаље обавјештење о ажурирању оквира. Датотека модела такође треба да има посебно означену геометрију платна (виртуелни екран) и попуњена текстуром екрана обезбијеђеном од стране модула платна.

Учитавање тродимензионалног модела није једноставан задатак. Али, на срећу постоји много библиотека отвореног кода које су већ имплементирале сличну ствар. Једна од најпопуларнијих библиотека отвореног кода за учитавање различитих тродимензионалних формата је *Open Asset Importer Lib*. Ова библиотека је интегрисана у систем за изградњу апликације као изворни код (*OPEN SOURCE SOFTWARE* директоријум) и кориштена за учитавање тродимензионалног модела.

Модул за визуелизацију се ослања на *OpenGL VAO* и *VBO* објекте за исцртавање геометрије. Такође имплементира два алгорита сјенчења (енг. *shader*):

- *canvas* алгорита сјенчења
- сценски алгорита сјенчења

Први саставља слику на екрану као текстуру виртуелног екрана док се други користи за све остале елементе. Он би такође требало да имплементира неке финије ефекте уколико то захтијева дизајн собе, што у овом раду није био случај.

У табели 2 дата је листа најважнијих функција *C++* дијела кода и њихова улога.

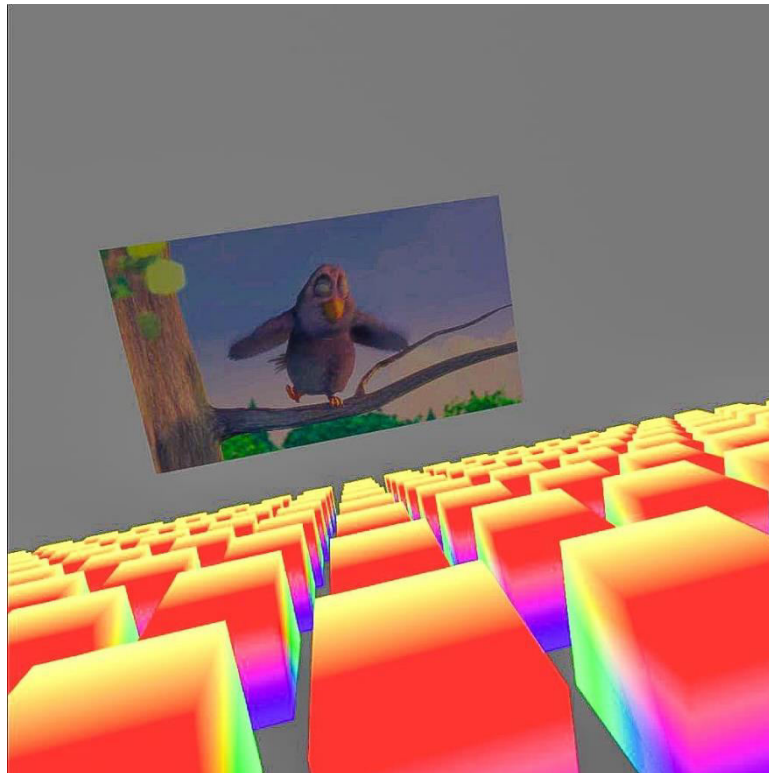
Табела 2 – функције матичног дијела имплементације

Назив функције	Опис функције
<code>vr_app_init()</code>	Припрема виртуелну собу, ресетује вриједности глобалних промјењивих
<code>vr_app_create()</code>	Иницијализује ресурсе виртуелне собе након што је креиран <i>OpenGL</i> контекст и дијељени ресурси. Учитава алгоритме сјенчења и тродимензоналне моделе
<code>vr_app_destroy()</code>	Брише све ресурсе виртуелне собе
<code>vr_app_render()</code>	Исцртава виртуелну собу из жељене перспективе. Извршава се двапут, по једанпут за свако око.
<code>vr_app_update()</code>	Ажурира анимације виртуелне собе на основу времена које је протекло између два позива.
<code>vr_app_handle_KeyEvent()</code>	Просљеђује догађаје тастера контролера виртуелној соби тако да корисни може комуницирати са виртуелним елементима
<code>vr_app_isCreated()</code>	Провјерава да ли су ресурси виртуелне собе већ иницијализовани

6. Резултати и тестирање

Након завршене имплементације, превођењем и повезивањем кода изгенерисан је коначни *.apk* фајл који се затим спушта на *Oculus Go* платформу.

На слици 14 приказан је моменат ухваћен током репродукције видеа на *Oculus Go* платформи. Ради се о кратком рачунарском комичном филму *Big Buck Bunny*, култном снимку који се користи за тестирање од стране инжењера широм свијета.



Слика 14 – снимак екрана направљен у току репродукције

Како би се у раду сликовито показали резултати, видео је конвертован са *Oculus Go* уређаја на рачунар, а затим су у току репродукције прављени снимци екрана. За конвертовање је коришћен алат који је дио *Oculus Mobile SDK*-а.

У табели 4 приказани су резултати поређења неких одлика имплементиране апликације са двјема апликацијама:

1. Референтном *Android* апликацијом која се извршава на *Android* телевизору. У ову апликацију је интегрисана иста програмска подршка за репродукцију мултимедијалног садржаја која је коришћена у овом раду, те је због тога она коришћена за поређење. Већину одлика које она нуди би након будућих проширења овог рада могла да посједује и имплементирана ВР апликација.
2. *Netflix* апликацијом која је способна да се извршава на *Oculus Go* платформи. *Netflix* је одабран као свјетски позната апликација за репродукцију мултимедијалног садржаја која се извршава на различитим ВР уређајима и нуди широк опсег могућности ВР корисницима.

Табела 3 – поређење одлика имплементиране апликације с другим апликацијама

	Имплементирана ВР апликација	Референтна <i>Android</i> апликација	<i>Netflix</i> апликација за <i>Oculus Go</i>
Звук	имплементирано	имплементирано	имплементирано
Видео	имплементирано	имплементирано	имплементирано
Тродимензионална сцена	имплементирано	није имплементирано	имплементирано
Траке с преводима	имплементирано	имплементирано	имплементирано
Претрага садржаја	није имплементирано	није имплементирано	имплементирано

6.1 Тестирање перформанси видео и аудио репродукције

Како је резултат овог рада једноставна апликација која је способна да пушта аудио и видео садржај, њено тестирање је било једноставно. Коришћени су видео снимци различитих формата и посматрано је понашање репродукције. У наставку је дата табела која приказује резултате тестирања за већ поменути *mp4* снимак *Big Buck Bunny*.

Табела 4 – резултати тестирања

Тестни случај	Резултат теста
Верификовати да се видео репродукује без прекида	Прошао
Верификовати да се звук репродукује без прекида	Прошао
Верификовати да је добијена тродимензионална сцена	Прошао
Верификовати да су звук и видео синхронизовани	Прошао
Верификовати да се исцртавају траке с преводима	Прошао
Верификовати да су траке с преводима синхронизоване са звуком и видеом	Прошао

6.2 Тестирање перформанси тродимензионалне сцене

Ради тестирања перформанси уређаја и имплементираних апликације, апликација је прилагођавана на начин да умјесто предефинисане тродимензионалне сцене генерише одређен број тродимензионалних објеката.

Тродимензионални објекат представља мрежу састављену од:

- тјемена – тачке у тродимензионалном простору које повезују ивице модела
- полигона (троуглова) – површине између три тјемена

Објекат се састоји из 8 тјемена и 12 полигона.

Повећавањем броја тродимензионалних објеката, опада квалитет репродукције и корисничко искуство постаје лошије.

У табели 5 је приказано како се број слика које се исцртавају у секунди мијења у зависности од броја тродимензионалних објеката и формата репродукованог видеа.

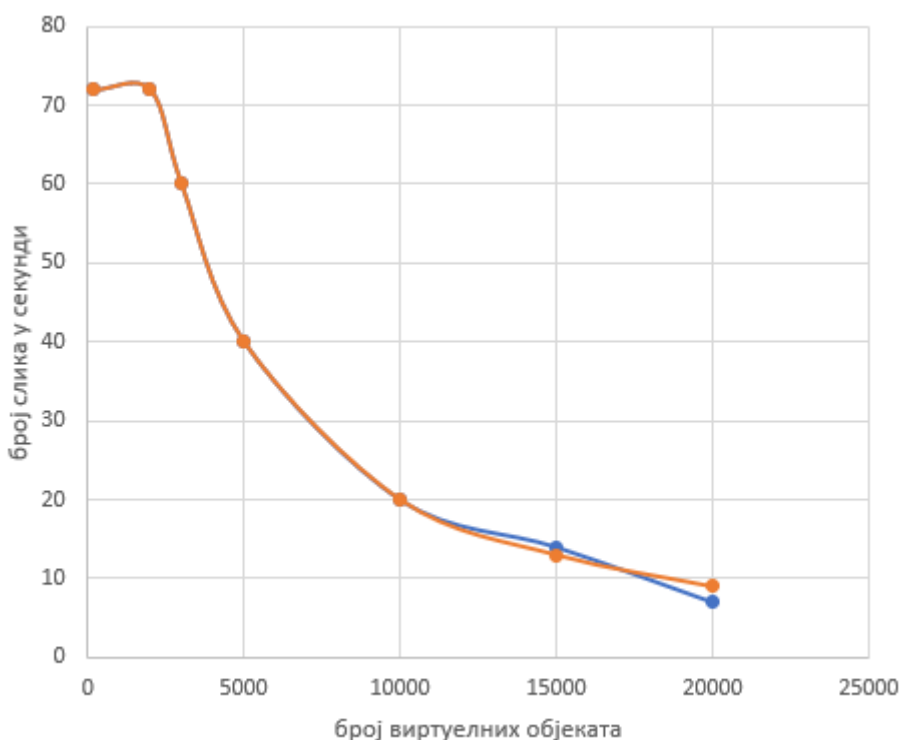
Табела 5 – перформансе исцртавања тродимензионалне сцене

Број виртуелних објеката	Видео формат	Број слика у секунди (<i>fps</i>)
200	HD	72
2000	HD	72
3000	HD	60
5000	HD	40
10000	HD	20
15000	HD	14
20000	HD	7
2000000	HD	1
200	SD	72
2000	SD	72
3000	SD	60
5000	SD	40
10000	SD	20
15000	SD	13
20000	SD	9
2000000	SD	1

Из претходне табеле јасно се види да број тродимензионалних објеката значајно утиче на квалитет репродукованог видеа. Посматрањем репродукције утврђено је да уколико је број слика у секунди мањи од 60, корисничко искуство постаје лошије и корисник постаје свјестан да се репродукција не одвија на очекивани начин. На основу

добијених резултата, може се закључити да су перформансе уређаја и имплементираних апликација такве да се може имплементирати највише 3000 тродимензионалних објеката, односно 36000 полигона, а да притом корисник није свјестан да се квалитет репродукције видеа смањило.

На графикону 1 илустровано је како број оквира у секунди опада с повећањем броја тродимензионалних објеката. Плава линија представља *HD* канале, а наранџаста *SD* канале, те је са графикана јасно да се оно скоро поклапају, односно да квалитет видеа не утиче на перформансе исцртавања тродимензионалне сцене



Графикон 1 – број слика у секунди у зависности од броја виртуелних објеката

7. Закључак

Овај рад је инспирисан све већим утицајем виртуелне реалности у различитим сферама друштва на начин како то донедавно није било замисливо. Уводни дио рада и говори о томе како се виртуелна реалност развијала кроз историју, од времена кад се сматрала научном фантастиком, па до данашњице гдје се на неки начин користи у скоро свим сферама науке и индустрије. У будућности се очекује да ВР уређаји постану много практичнији, елегантнији и да буду доступни ширим масама. Главни дио рада је резултат захтјева да се из техничке перспективе објасни шта је све потребно како би се програмска подршка, примарно направљена за репродукцију мултимедијалног садржаја на *Android* и *iOS* платформама, интегрисала на *Oculus Go*, једну од најпопуларнијих платформи за виртуелну реалност.

Крајњи резултат овог рада јесте апликација која је способна да се извршава на *Oculus Go* платформи и да на истој пушта аудио и видео садржај. Сличну ствар већ раде свјетски познате апликације за репродукцију мултимедијалног садржаја као што су *Netflix*, *Hulu* и *Pluto TV*. У овом раду је корак по корак објашњено шта је све потребно како би се софтвер коришћен за репродукцију мултимедијалног садржаја на *Android* и *iOS* платформама интегрисао на *Oculus Go* платформу. Иако и *Oculus Go* јесте платформа заснована на *Android*-у, неопходно је било урадити бројна проширења од којих је најизазовнији дио била имплементација тродимензионалне сцене.

Бројна су унапређења која је могуће извршити над постојећим рјешењем како би се добила функционалнија апликација и како би се искористиле све могућности које коришћени, постојећи софтвер пружа на обичним *Android* апликацијама. Међутим, као најзанимљивије и најкорисније унапређење намеће се имплементација тродимензионалног звука. Наиме, тродимензионални односно просторни звук је неопходан за пружање

осјећаја кориснику да се стварно налази у тродимензионалном простору. Стога, чињеница да у коначном рјешењу недостаје имплементација тако важне функционалности оставља највише простора за његово проширење и унапређење.

8. Литература

- [1] *Project Gutenberg's [Pygmalion's Spectacles](#), by Stanley Grauman Weinbaum (Ebook, 2007)*
- [2] *Matthew Schnipper. ["Seeing is Believing: The State of Virtual Reality"](#). The Verge. Retrieved 7 March 2017.*
- [3] *Baltrušaitis, Jurgis; Strachan, W.J. (1977). *Anamorphic art*. New York: Harry N. Abrams. p. 4. [ISBN 9780810906624](#).*
- [4] [Heilig M.](#) (1962). [US Patent #3,050,870](#)
- [5] *Ivan E. Sutherland "The Ultimate Display" (1965)*
- [6] *["National Center for Supercomputing Applications: History"](#). The Board of Trustees of the University of Illinois. Archived from [the original](#) on 21 August 2015.*
- [7] *["Nintendo Virtual Boy on theverge.com"](#). Archived from [the original](#) on 1 April 2014.*
- [8] *[Virtual boy News, Videos, Reviews and Gossip"](#). Gizmodo. [Archived](#) from the original on April 28, 2015. Retrieved June 20, 2014.*
- [9] *Stevens, Tim (March 21, 2011). ["Nintendo Virtual Boy review"](#). Engadget.*
- [10] *Lisa Foiles (March 1, 2011). ["Top 5 Hardware Super Fails"](#). The Escapist. [Archived](#) from the original on July 7, 2018. Retrieved June 20, 2014.*
- [11] *[Google Street View in 3D: More Than Just an April Fool's Joke"](#). 6 April 2010.*
- [12] *["Digital Foundry: Vita Remote Play Isn't Quite As Good As The Wii U GamePad"](#). My Nintendo News. November 30, 2013. [Archived](#) from the original on July 14, 2014. Retrieved June 20, 2014.*
- [13] *Gilbert, Ben (12 December 2018). ["Facebook just settled a \\$500 million lawsuit over virtual reality after a years-long battle — here's what's going on"](#). Business Insider. Retrieved 20 February 2019.*

- [14] Kelly, Kevin (April 2016). ["The Untold Story of Magic Leap, the World's Most Secretive Startup"](#). WIRED. Retrieved 13 March 2017.
- [15] Prasuethsut, Lily (2 August 2016). ["HTC Vive: Everything you need to know about the SteamVR headset"](#). Wareable. Retrieved 13 March 2017.
- [16] ["Headset - Valve Index® - Upgrade your experience - Valve Corporation"](#). www.valvesoftware.com. 9 May 2019. Retrieved 28 February 2021.
- [17] Aukstakalnis, Steve. ["Practical augmented reality : a guide to the technologies, applications, and human factors for AR and VR"](#). Boston. ISBN 978-0-13-409429-8. OCLC 958300989.
- [18] Riva G. Application of virtual environments in medicine. *Methods Inf Med.* 2003;42:524–34. [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
- [19] Sanchez-Vives MV, Slater M. From presence to consciousness through virtual reality. *Nat Rev Neurosci.* 2005;6:332–9. [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
- [20] Kiryu, T; So, RH (25 September 2007). ["Sensation of presence and cybersickness in applications of virtual reality for advanced rehabilitation"](#)
- [21] ["Facebook to create VR world called Horizon"](#). BBC.com. 27 September 2019. Retrieved 14 October 2019.
- [22] Shilov, Anton (May 4, 2018). ["Oculus Go Now Available: Mainstream Standalone VR Headset Starts at \\$199"](#). AnandTech. Retrieved 3 June 2019.
- [23] Lang, Ben (29 March 2019). ["Everything We Know \(Officially\) About the FOV and IPD of Rift S & Quest"](#). Road to VR. Retrieved 30 August 2019.
- [24] Feltham, Jamie (16 January 2020). ["Oculus Go Price Cut Permanently To \\$149/£139"](#). UploadVR. Retrieved 25 January 2020.
- [25] Heaney, David (20 November 2019). ["Oculus Go Won't Get USB Storage Support After All"](#). UploadVR. Retrieved 1 February 2020.
- [26] Hills-Duty, Rebecca (3 May 2018). ["Oculus Unveil Oculus Go for Business"](#). VR Focus. Retrieved 29 February 2020.
- [27] Hardawar, Devindra (1 May 2018). ["Oculus Go review: Finally, cheap and easy VR for everyone"](#). Engadget. Archived from [the original](#) on 5 May 2018. Retrieved 4 June 2019.
- [28] Lucas Austin, Patrick (11 May 2018). ["Oculus Go's VR Is Good and Cheap, So Why Am I Still Disappointed?"](#). Gizmodo. Retrieved 4 June 2019.
- [29] Roettgres, Janko (24 May 2018). ["Oculus Go Porn: Adult Industry Has High Hopes for Facebook's New VR Headset"](#). Variety. Variety Media, LLC. Retrieved 9 June 2019.
- [30] Heaney, David (31 January 2019). ["Facebook: Oculus Go "Contributed To Revenue Growth", But Also To Marketing Costs"](#). UploadVR. Retrieved 2 February 2020.

-
- [31] *Mark Segal, Kurt Akeley (March 11, 2010) The OpenGL R Graphics System: A Specification*
- [32] *Oculus for developers – Mobile SDK*, приступљено септембар 2022.
<https://developer.oculus.com/documentation/native/android/mobile-intro/>
- [33] *Environment setup for native development*, приступљено септембар 2022.
<https://developer.oculus.com/documentation/native/android/book-native/>