

Niko Kinnunen

Haptinen vuorovaikutus virtuaalitodellisuudessa



Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikka

Kevät 2018



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiivistelmä

Tekijä(t): Kinnunen Niko

Työn nimi: Haptinen vuorovaikutus virtuaalitodellisuudessa

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), tieto- ja viestintätekniikka

Asiasanat: haptinen teknologia, haptinen palaute, virtuaalitodellisuus

Opinnäytetyön tilaajana toimi Kajaanin ammattikorkeakoulun Clever Simulation Entertainment-kehitystiimi. CSE tuottaa virtuaalitodellisuussimulaatioita ulkopuolisille asiakkaille, kuten myös Kajaanin ammattikorkeakoulun sisäisille hankkeille. CSE:n virtuaalitodellisuus laboratorio on Kajaanin ammattikorkeakoulun tiloissa.

Työn tavoitteena oli tutustua uudenlaiseen haptiseen teknologiaan ja ohjainratkaisuun virtuaalitodellisuudessa. Yhtenä tavoitteena oli myös laatia yksityiskohtainen käyttöönotto-ohje CSE-tiimille, jotta haptisen teknologian käyttöönotto myöhemmissä asiakasprojekteissa on mahdollisimman suoraviivaista.

Vaikka haptinen teknologia on jo vanha käsite peliteknologiassa, sitä on alettu kehittää virtuaalitodellisuuslaitteille kovalla tahdilla. Teknologiaa käytetään nykyisin mm. älylaitteissa, peliohjaimissa, simulaattoreissa ja lääketieteessä. Työssä tutustuttiin NeuroDigital Technologies- ja Manus VR -yrityksen järjestelmiin. Niille on ominaista käsien liikkeiden seuranta ja haptinen palaute. Lisäksi laadittiin käyttöönottoon liittyvät ohjeet Manus VR -yrityksen järjestelmälle, joka toteutettiin Unreal Engine -pelimoottoria hyödyntäen.

Työssä saatiin tehtyä käyttöönotto-ohje sekä toimiva demo, joka on toteutettu käyttöönotto-ohjeiden mukaisesti.

Abstract

Author(s): Kinnunen Niko

Title of the Publication: Haptic Interaction in Virtual Reality

Degree Title: Bachelor of Engineering, Information and Communication Technology

Keywords: haptic technology, haptic feedback, virtual reality

This thesis was commissioned by the Kajaani University of Applied Sciences Clever Simulation Entertainment development team. CSE produces virtual reality simulations for external customers as well as for internal projects to Kajaani University of Applied Sciences. CSE's virtual reality lab is located on the Kajaani University of Applied Sciences premises.

The goal of the work was to get acquainted with a new kind of haptic technology and controller solution in virtual reality. One goal was also to prepare a detailed setup guide for CSE development team, so that haptic technology implementation in later customer projects is as straightforward as possible.

Although haptic technology is already an old concept in game technology, it has been gaining popularity in virtual reality devices at a high rate. The technology is used in smart devices, game controllers, simulators and in medicine. Two different systems are introduced in this thesis from NeuroDigital Technologies and Manus VR. They are characterized by tracking hand movements and giving haptic feedback. In addition, setup instructions were developed for the Manus VR system, which was implemented using the Unreal Engine.

The setup guide was completed and there is a demo that was implemented in accordance with the set-up guide.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Virtuaalitodellisuus	2
3	Haptinen teknologia yleisesti	4
3.1	Haptiikan historia.....	4
3.2	Haptisten laitteiden eri palautusmuodot.....	5
3.2.1	Värinä	5
3.2.2	Force Feedback.....	6
3.2.3	Kosketusvapaat haptiset teknologiat.....	7
3.3	Haptisten laitteiden sovelluskohteet	9
3.3.1	Simulaattorit.....	9
3.3.2	Lääketieteelliset	10
3.3.3	Pelit	11
3.3.4	Haptiikka virtuaalitodellisuudessa	13
4	NeuroDigital Technologies Avatar VR-järjestelmä	15
4.1	Avatar VR-järjestelmän teknologia	15
4.2	Liikkeenkaappaus (Motion Capture)	15
4.3	Käsineiden sensorit.....	16
4.4	Käsineiden haptinen palaute	17
5	Manus VR	18
5.1	Manus VR -järjestelmän teknologia	18
5.2	Manus VR -sovitin ja ranneke.....	19
6	Manus VR –järjestelmän käyttöönottoaminen	20
6.1	Käsineiden kalibrointi ja testaus	20
6.2	Manus VR Unreal Engine -lisäosa.....	23
6.3	Virtuaaliympäristön demo	34
7	Pohdinta.....	41
8	Yhteenveto.....	42
	Lähteet.....	43

Termiluettelo

CSE	Clever Simulation Entertainment
ERM	Eccentric Rotating Mass Vibration Motor
Force feedback	Voimavasteen tuottava palaute
FPS	Frames per second, kuvia sekunnissa
FOV	Field of View, näkökenttä
HMD	Head Mounted Display -näyttölaite
IMU	Inertiamittausyksikkö
LRA	Linear Resonant Actuator
UE	Unreal Engine
VR	Virtuaalitodellisuus
VS	Visual Studio
VSYNC	Vertical Sync

1 Johdanto

Peliteknologia kehittyy valtavalla nopeudella, ja yhä useampia peliyrityksiä perustetaan. Virtuaalitodellisuus on noussut suosioon pelialalla ja siihen kehitetään koko ajan uudenlaisia teknologisia ratkaisuja.

Opinnäytetyön tilaajana toimi Kajaanin ammattikorkeakoulun Clever Simulation Entertainment -kehitystiimi. CSE on erikoistunut hyötypelien ja virtuaalitodellisuuden ratkaisuiden kehitykseen. Simulaatiopelejä toteutetaan ulkopuolisille asiakkaille, kuten myös Kajaanin ammattikorkeakoulun sisäisiin hankkeisiin. [1]

CSE:llä tarjoutui mahdollisuus tutustua uuteen peliteknologiaan. Tutkittavaksi aihealueeksi valittiin haptinen teknologia, jossa perehdytään ihmisen tuntoaistien palautteeseen. Työssä tutustuttiin uudenlaiseen haptiseen ohjausjärjestelmään. Järjestelmä seuraa käden ja sormien liikkeitä, ja sillä saadaan tuotettua tunteen palautetta käyttäjällä. Tämän tyyppiset järjestelmät ovat normaaliin kuluttajakäyttöön todella kalliita, koska teknologiaa vielä kehitellään parasta aikaa.

Työssä käydään läpi haptisen teknologian kehittymistä, eri palautusmuotoja, teknologian sovelluskohteita ja CSE:n käytössä olevan kahden eri yrityksen, NeuroDigital Technologies ja Manus VR -yrityksen järjestelmiä. Lopussa käydään läpi Manus VR-järjestelmän käyttöönottoaminen, siihen toteutettu ohjausjärjestelmä sekä haptinen kosketustunne virtuaalitodellisuudessa.

2 Virtuaalitodellisuus

Tietotekniikkaa hyödyntämällä pystymme simuloimaan kolmiulotteisia maailmoja, joissa käyttäjät voivat hallita ja tutustua ympäristöön. Tätä kolmiulotteista maailmaa, joihin käyttäjillä on mahdollisuus päästä käsiksi, kutsutaan virtuaalitodellisuudeksi. Virtuaalitodellisuutta mahdollistavia laitteita on kehitelty paljonkin tutkijoiden, teoreetikoiden ja insinöörien toimesta. [2, s. 1–5.]

Virtuaalitodellisuudessa käyttäjä pystyy olemaan vuorovaikutuksessa virtuaaliympäristön kanssa, jonka avulla saadaan interaktiivisuuden ja immersion tunne eli etäläsnäolo. Immersiolla tarkoitetaan käyttäjän uppoutumista virtuaalitodellisuuteen, jossa käyttäjä tuntee olevansa osa virtuaalitodellisuutta. Liiallinen keskittyminen omaan läsnäoloon hyvin toteutetussa virtuaalitodellisuudessa voi aiheuttaa unohtamaan todellisuuden tajun todellisesta ympäristöstä. Virtuaalitodellisuuskokemus on onnistuttu toteuttamaan hyvin, jos käyttäjä ei osaa havainnollistaa todellista ympäristöään laitetta käyttäessä. Äänet ovat myös tärkeä osa virtuaalitodellisuuden ympäristöä. Kolmiulotteiset äänet tuovat paremman immersion käyttäjälle, ja äänen suunnan on muututtava sitä mukaa, kun käyttäjä liikkuu itse ympäristössä. [2, s. 1–5.]

Virtuaaliympäristön tuottaminen tarvitsee tehokkaan tietokoneen. Tietokoneessa tulee olla tehokas näytönohjain, joita videopelaajat yleensä tarvitsevat. Kuva lähetetään päähän asetettavalle HMD-laitteelle (engl. Head Mounted Display), jossa on yleensä kaksi monitoria kummallekin silmälle. Kuvat antavat käyttäjälle illuusion syvyydestä, koska ne luovat stereoskooppisen vaikutelman silmille. [2, s. 1–5.]

Virtuaalitodellisuuslaitteet eroavat hieman toisistaan. Yleisimmillä HTC Vive ja Oculus Rift -laitteilla on kummallakin 90 Hz virkistystaajuuden näytöt, joilla saadaan 90 FPS (eng. Frames per second) ruudunpäivitys aikaiseksi. PlayStation VR -laitteella on 60 Hz ja sillä saadaan ainoastaan 60 FPS. FPS riippuu näyttöjen taajuuksista, ja mitä paremmalla taajuudella näyttö toimii, sitä parempaan FPS:ään päästään. Pelejä voidaan pelata 60 Hz näytöllä yli 120 FPS, mutta silloin näyttö pystyy näyttämään vain 60 FPS ja tämä aiheuttaa kuvan repeytymistä. [3.] Tämä tapahtuu silloin, kun näyttö päivittyy ja saa näytönohjaimelta keskeneräisen kuvan tilanteesta, kun näytönohjain on piirtämässä uutta kuvaa vanhan kuvan päälle. Kuvan repeytyminen saadaan korjattua VSyncillä (eng. Vertical Sync), joka rajoittaa näytön ruudunpäivitysnopeutta. [3]

Virtuaalitodellisuus tarvitsee parempia virkistystaajuuksia ja ruudunpäivityksiä, jotta käyttäjien pahoinvointia saataisiin vähennettyä. Myös FOV (engl. Field of View tai näkökenttä) on tärkeä osa tätä. Huonosti toteutettu FOV antaa väärentävän kuvan virtuaaliympäristöstä käyttäjälle ja voi aiheuttaa pahoinvointia. [3.]

Parempien seurantajärjestelmien, luonnollisempien vuorovaikutuksien ja viiveen pienentämisen toteuttaminen virtuaaliympäristön rakentamisessa ovat suurimmat haasteet alan kehityksessä. Haastetta tuo myös huonon ergonomian välttäminen. Huono ergonomia voi aiheuttaa käyttäjälle tasapainon menetyksiä, ja tämä taas lisää pahoinvointia. [2, s. 8.]

Virtuaalitodellisuuden toteuttamiseksi tarvitaan tietokone, pelikonsoli tai älypuhelin, HMD-laite ja paremman kokemuksen saamiseksi jonkinlainen syöttölaite. Syöttölaite voi olla esim. Joystick, ohjaussauvat, liikkeenseurantalaitteet, juoksumatot tai käsiineet. Näiden avulla käyttäjä voi hallita virtuaalitodellisuutta ja sen ympäristöä, tuntea liikkeitä tai iskuja syöttölaitteissa. Alla olevassa kuvassa nähdään Oculus Rift HMD -laite ja Oculust Touch ohjaimet. [3.]



Kuva 1. Oculus Rift -laitteet ja Oculus Touch -ohjaimet käytössä. [4]

3 Haptinen teknologia yleisesti

Haptisella teknologialla tarkoitetaan sitä, että käyttäjän tuntoaistiin annetaan jonkinlaista palautetta, esimerkiksi värinää. Teknologiaa kehitetään parasta aikaa eteenpäin, ja yksi suosituimpia ja vanhimpia käyttäjiä haptiikalle on Braille-pistekirjoitus [5], jota käytetään näkövammaisten keskuudessa.

Tietokonejärjestelmissä haptista teknologiaa voidaan hyödyntää erilaisten mekaanisten laitteiden avulla. Käyttäjät voivat teknologian avulla tuntea virtuaalisia objekteja ja hallita niitä. [6]

Sana haptinen tulee kreikan kielestä *”haptesthai”*, joka tarkoittaa kosketusta. Teknologiaa on tutkittu vuosikymmeniä, ja nykyään pystytään jo kertomaan, minkälaisia reseptoreita ihmisen ihosta on ja kuinka hermot liikuttavat tietoa edestakaisin keskushermoston ja yhteyspisteen välillä. [7, s. 1.]

3.1 Haptiikan historia

Ennen teollista vallankumousta tutkijat keskittyivät siihen, miten elävät asiat kokivat kosketuksen tunteen. Biologit tekivät tutkimuksia madoilla ja meduusoilla ja havaitsivat, että jopa yksinkertaisilla organismeilla on hienostunut kosketusvastus. Lääketieteelliset tutkijat ja psykologit alkoivat aktiivisesti tutkia 1900-luvulla, kuinka ihmiset kokevat kosketuksen. Tiede sai nimen ihmisen haptiikka, ja tutkimuksessa selvisi se, että ihmisen käsi, joka on ensisijainen rakenne kosketuksen tunteen kanssa, oli erittäin monimutkainen. [7, s. 2.]

Seuraavaksi tulivat koneet ja robotit, ja tutkijat alkoivat opiskella, kuinka siirtää tunnetta koneille, eli miten saadaan palautetta tallennettua koneen muistiin. Ensimmäiset laitteet toimivat kauko-ohjauksella, jossa työntekijä pystyi etäältä ohjaamaan koneen pihtejä esimerkiksi tarttumaan esineistä kiinni tai siirtämään ja manipuloimaan niitä. Tekniikkaa ruvettiin hyödyntämään ydinvoimaloissa ja vaarallisten aineiden teollisuuksissa 1940-luvulla. [7, s. 2.]

1980-luvulla, teknologian kehittymisen ansiosta, tietokoneet pystyivät generoimaan virtuaalisia 3D-ympäristöjä, joissa käyttäjät voisivat olla. Tällöin ei vielä ollut kosketukseen soveltuvaa vuorovaikutusta, vaan ainoastaan pystyttiin stimuloimaan näköaistia ja kuuloa.

Vuonna 1993 Massachusettsin teknillisen korkeakoulun tekoälylaboratoriossa rakennettiin laite, jolla pystyttiin simuloimaan haptiikkaa, ja tämän avulla päästiin koskemaan ja tuntemaan tietokoneella luotuja objekteja. [7, s. 1–2.]

Nykyään teknologiaa voidaan hyödyntää pöytäkoneissa, joiden avulla voidaan olla reaaliaikaisessa vuorovaikutuksessa kolmiulotteisen virtuaaliympäristön esineiden kanssa. [8] Kehittämistä on jatkettu aina vain pienempään elektroniikkaan, ja se on auttanut luomaan kosketusnäyttöisiä laitteita. Kosketusnäytöt ovat yleistyneet laajalti joka teknologiaan. Opetuskäyttöiset simulaattorit ovat tulleet teknologian myötä esim. lääketieteeseen, ja yhä monimutkaisempia kosketusta palauttavia laitteita kehitellään, kuten erilaisia pukuja, joilla käyttäjä saa palautteen tunteen koko keholleen. [9.]

3.2 Haptisten laitteiden eri palautusmuodot

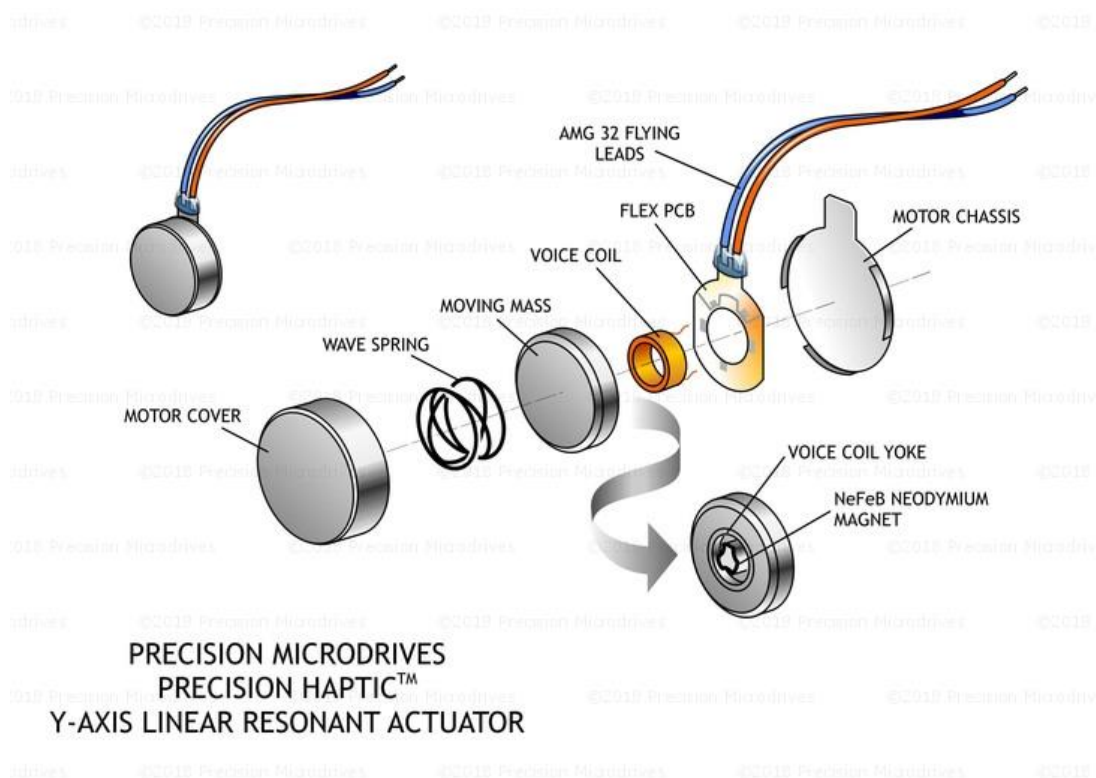
Haptinen palaute on erilaisten voimien, värinöiden ja liikkeiden soveltamista erilaisissa laitteissa. Näiden avulla voidaan tuottaa kosketuksen tunteen tyyppistä palautetta, kun käyttäjä on vuorovaikutuksessa tietyn teknologian kanssa. [10.]

3.2.1 Värinä

Värinä on yksi yleisimpiä haptisen teknologian toteutuksista, ja sitä löytyy monesta eri elektroniikkalaitteesta, joita käytämme päivittäin. Tällaisia laitteita ovat mm. matkapuhelimet/älypuhelimet, älykellot, sähkökäyttöiset työkalut ja turvallisuusvarusteet. Värinällä on tarkoitus antaa käyttäjälle tieto jostain tapahtumasta, esim. tekstiviestin saapumisesta puhelimeen tai metallinpaljastinlaitteen havaitsemasta metallista. [11.]

Värinä tapahtuu pienellä värinämoottorilla, joita on kehitetty jo 1960-luvulta asti. Moottori toimii tasavirralla ja moottoreiden toteutuksia on erilaisia, mm. ERM-moottorit (eng. Eccentric Rotating Mass Vibration Motor) ja LRA-moottorit (engl. Linear Resonant Actuator). ERM-moottorit ovat yleensä puolikkaan lieriön muotoisia ja toimivat siten, että pyöriessään massa siirtyy eri puolille aiheuttaen tasapainotonta liikettä, joka taas tuottaa värähtelyä. LRA-moottorit ovat paljon pienempiä ja eivät käytä massaa värinän tuottamiseksi, vaan sen sijaan toimivat magneettisella massalla. Magneettinen massa on kiinnitetty jouseen, jota ohjataan äänikelalla. LRA-moottorit ovat tämän takia paljon tehokkaampia ja ne saadaan pienempään tilaan asennettua kuin ERM-moottorit. [12.]

Alhaalla olevassa kuvassa 2 nähdään LRA-moottorin räjäytyskuva. [13]



Kuva 2. Precision Microdrives -yrityksen LRA-moottorin räjäytyskuva. [13]

3.2.2 Force Feedback

Force feedback (voimavasteen tuottava palaute) katsotaan liittyvän yleensä haptiseen teknologiaan. Suurimmaksi osaksi force feedback -ominaisuutta löytyy peleistä ja erilaisista simulaattoreista, esim. lento- ja ajosimulaattorit. Teknologia antaa käyttäjälle tunteen siitä, että pelissä tai simulaattorissa tapahtuu jotain. Force feedback -palautteen voi toteuttaa esimerkiksi pienillä moottoreilla, hihnapyörillä tai sähkömagneeteilla. Konsolien peliohjaimissa käytetään yleensä ERM-moottoreita, värinän aikaansaamiseksi. [14.]

Seuraavassa kuvassa 3 on Thrustmaster-peliohjain, joka käyttää force feedback -toiminnallisuutta ja joka on parhaimpia peliohjaimia kilpa-autopeleihin. [15]



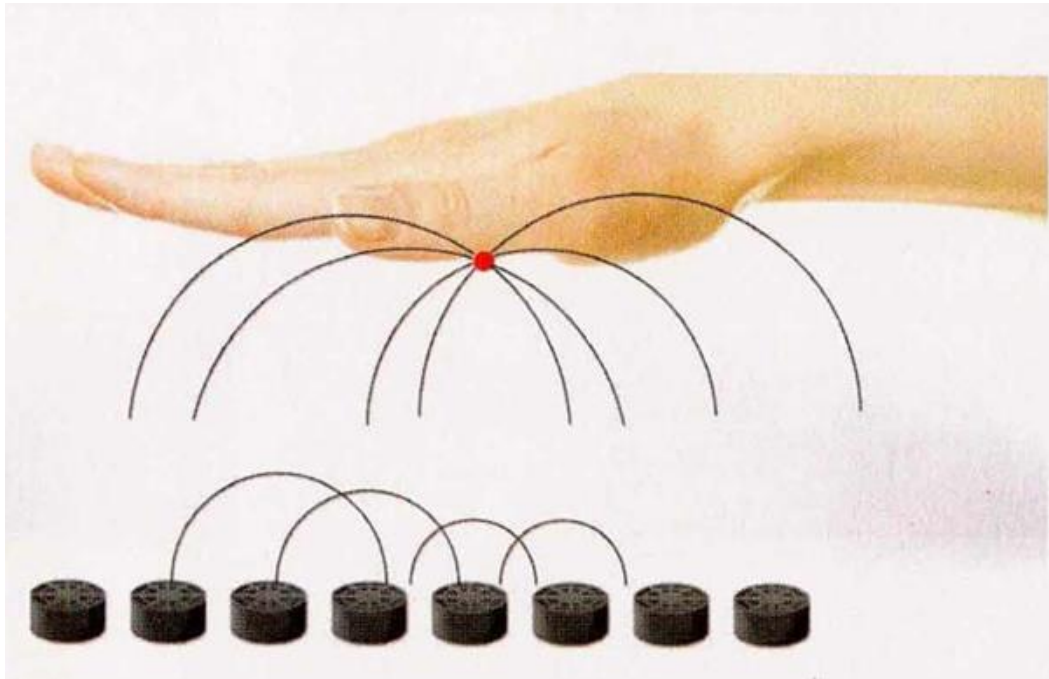
Kuva 3. Thrustmaster T300 RS -peliohjain. [15]

3.2.3 Kosketusvapaat haptiset teknologiat

Kosketusvapaa teknologia on jo nyt yleisesti käytössä, esimerkiksi automaattisesti aukeavissa ovissa, mutta teknologian kehittyminen on tuomassa kosketusvapaan teknologian myös haptiseen palautteeseen. Tämä mahdollistaa haptisen palutteen välittämisen käyttäjälle ilman, että käyttäjän tarvitsee koskea minkäänlaista laitetta, ja sitä voidaan käyttää mm. autojen kojelaudoilla, älylaitteissa ja tuotantotehtaiden roboteissa. [16.]

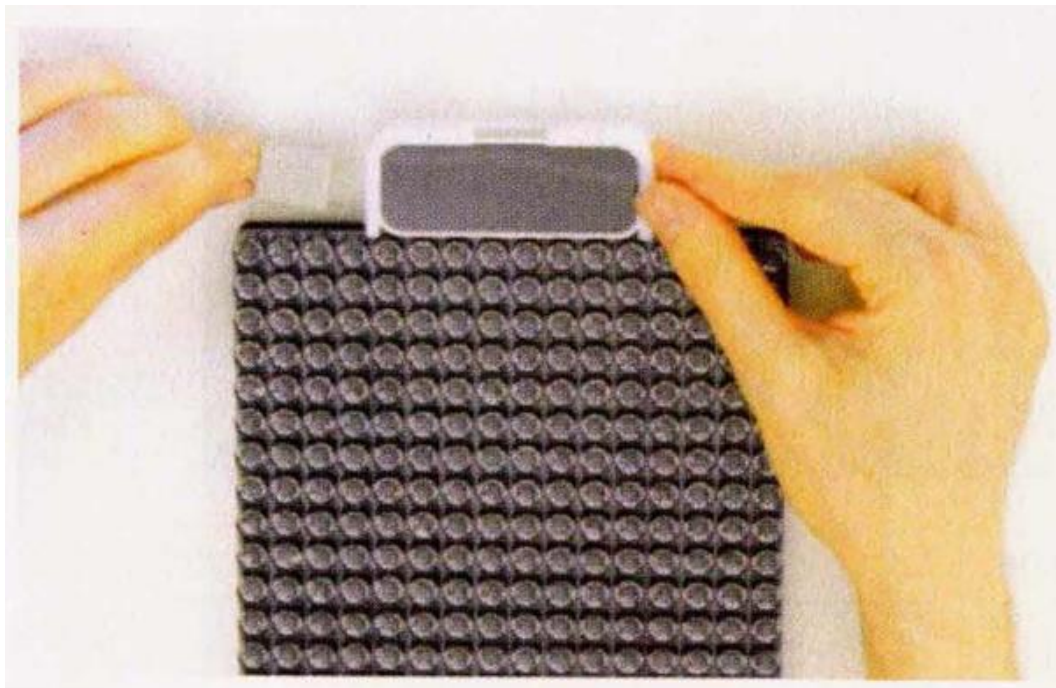
Yritys nimeltä Ultrahaptics kehitti kosketusvapaan haptisen teknologian, jossa tuotetaan pienten kaiuttimien avulla ultraääntä. Ultraäänen avulla voidaan luoda yksityiskohtaisia ääniaaltoja, jotka tuntuvat käyttäjän sormenpäissä. [16, s. 32–34.] Laitteella voidaan esimerkiksi luoda läpinäkyviä painikkeita, joita käyttäjä voi tunnustella ja painaa pohjaan, saaden samalla fyysisen palutteen onnistuneesta painalluksesta. Kantomatka laitteella on jopa kaksi metriä käden sijainnista. [17.]

Kuvassa 4 nähdään esimerkkinä ultraääniaaltomuotojen toteuttaminen kämmentä vasten.



Kuva 4. Ultrahaptics yrityksen käyttämä ultraääniaaltomuoto esitettynä. [17]

Kuvassa 5 nähdään Ultrahaptics-yrityksen toteuttama prototyyppi laitteesta, johon pienet kaiuttimet on asennettu tiheästi.



Kuva 5. Ultrahaptics laitteen aloitusmalli. [17]

3.3 Haptisten laitteiden sovelluskohteet

Haptiikkaa on helppo soveltaa erilaisiin sovelluskohteisiin. Varhaisimpia haptiikan käyttöönottajia ovat olleet videopelien valmistajat, jotka hyödyntävät värähteleviä ohjaussauvoja, peliohjaimia ja ohjauspyöriä. [7, s. 5.]

Vaikkakin useampi yritys käyttää haptista käyttöliittymää suurimmassa osassa tuotteistaan, kehittyneemmät kosketusnäytöt löytyvät teollisuuden, armeijan ja lääketieteen sovelluksista. Harjoittelu haptisilla laitteilla yleistyy jatkuvasti. Esimerkiksi lääketieteen opiskelijat voivat harjoitella pistämistä virtuaaliseen kasvon lihaskudokseen. Sotilaat voivat valmistautua taisteluihin erilaisilla tavoilla, pommin purkamisesta lähtien aina helikopterin, tankin tai hävittäjäsuihkukoneen käyttämiseen virtuaalisessa taisteluympäristössä. [7, s. 5.]

Teleoperaatiossa tai telerobottiikassa haptista teknologiaa käytetään paljon hyödyksi. Robotteja voidaan etäohjata, ja niistä voidaan lähettää kuvaa robotin käyttäjälle. Etäläsnäololla saadaan äänien ja visuaalisten vihjeiden lisäksi mahdollistettua kosketukseen liittyviä vihjeitä. [7, s. 5.]

3.3.1 Simulaattorit

Virtuaalitodellisuuden yksi työkalu on simulaattorit. Ajosimulaattoreilla voidaan tutkia kuljettajien käyttäytymistä erilaisissa tilanteissa. Ajosimulaattoreille on hankala mallintaa realistisia tie- ja liikennetilanteita. Simulaattoreiden liiketuntemus pohjautuu kolmen aistin varaan, näköaistiin, tuntemukseen ja sisäkorvan tasapainoaistiin. [18.]

Lentosimulaattorit ovat tunnetuimpia sotilaallisista simulaattoreista. Niillä voidaan ohjeistaa tulevia lentäjiä taisteluissa, opettaa kuinka koordinoida ilmatukea maan päällä ja miten palautua hätätilanteessa. Myös lentosimulaattorit eroavat monesti toisistaan, joten niitä on hankala yhdistää toisiin samankaltaisiin simulaattoreihin. Yhdistämisessä voi tulla eroja simulaatiossa olevien vihollisten koordinaateissa. [19.]

Vaikka simulaattoreissa on eroja, suurimmassa osassa on kuitenkin samanlaiset perusasetukset. Simulaattorit istuvat joko hydraulisen tai sähköisen liikealustan päällä, joka sitten reagoi simulaatiossa tapahtuviin tapahtumiin ja käyttäjän tekemään syötteeseen. Simulaatioalusta tekee kierteitä ja kallistuksia sitä mukaa, miten lentäjää ohjaa simulaatiossa olevaa ilma-alusta. [19.]

Kuvassa 6 nähdään, kuinka simulaattorissa on mallinnettu oikeanlainen ohjaamo.



Kuva 6. Yhdysvaltojen sotilaat harjoittelemassa lentosimulaattorilla. [20]

3.3.2 Lääketieteelliset

Lääketieteessä lääkärit tarvitsevat jatkuvasti koulutusta uusiin lääketieteellisiin menetelmiin. Koulutuksen harjoittelussa käytetään yleensä eläimiä tai ruumiita, mutta nykyään voidaan harjoittelut toteuttaa erilaisilla simulaattoreilla. Lääketieteessä haptisten simulaattoreiden on huomattu toimivan hyvänä ympäristönä haastavien tehtävien harjoittamiseen. Simulaattoreista on myös apua lääkäreille, jotka eivät välttämättä ole vielä oppineet kaikkea täydellisesti ja ovat tästä syystä riskialttiita virheille. [21.]

Simulaattoreissa käytettävät toimilaitteet ovat yleensä sähköisiä, ja ne ovat siten helpompi hallita. Sähköisten toimilaitteiden käyttö lääketieteellisissä simulaattoreissa on haitallista, koska ne eivät tarjoa niin hyvää tehopainosuhdetta ja niin suurta vääntömomenttia nopeuteen nähden. Toisin kuin sähköiset toimilaitteet, pneumaattiset eli kaasun paineella toimivat laitteet antavat riittävän palautteen ihmiskehon käyttäytymisen toistamiseen. Ne toimivat paremmin sähköisiin toimilaitteisiin verrattuna niiden kammiossa olevan ilman puristuvuuden ansiosta. [21.]

Kuvassa 7 nähdään lääketieteessä käytettävä luunporaussimulaattori, joka antaa haptista palautetta käyttäjälle porauksen vaiheista.



Kuva 7. Phantom haptic -laitteen käyttö lääketieteellisessä simulaattorissa. [22]

3.3.3 Pelit

Suurimmat pelikonsolien valmistajat tarjoavat asiakkailleen force feedback -toiminnallisuuden vakiona peliohjaimissaan. Kuluttajat olettavatkin sen kuuluvan osaksi toiminnallisuutta pelatessaan hankkimallaan konsolilla. [23.]

Peliohjainten force feedback -toiminnallisuus sai alkunsa, kun Nintendo julkaisi vuonna 1997 uuden Rumble Pak -nimisen lisälaitteen kuuluisalle ja suosituille Nintendo 64:n kolmiosaiselle peliohjaimelle. Rumble Pak mullisti pelialaa huomattavasti, ja vaikka se ei ollut täydellinen, se oli silti iso askel peliteknologiassa. Eräät kolmannen osapuolen lisälaitteet käyttivät konsolin omaa virtaa toimiakseen, Rumble Pak -lisälaite tarvitsee kaksi AAA-paristoa toimiakseen. Lisälaitteen käyttäminen tuli kalliiksi käyttäjille, koska paristojen elinikä ei ollut kovinkaan pitkä. Lisälaite paristoineen toi myös lisäpainoa ohjaimelle, mutta siitä ei ollut haittaa suurimmalle osalle Nintendon pelaajakuntaa. [23.]

Kuvassa 8 nähdään Rumble Pak -lisälaite kytkettynä Nintendo N64 -peliohjaimeen.



Kuva 8. Rumble Pak liitettynä Nintendo 64 -peliohjaimeen. [23]

Sony-yrityksen PlayStation DualShock 4 on tällä hetkellä yrityksen ohjaimista suosituin. Ohjaimessa on pidetty edelleen sama värinäominaisuus ja se toimii samalla periaatteella kuin aikaisemmat PlayStation DualShock -ohjaimet. Uutuutena DualShock 4 tarjoaa käyttäjälle kosketuslevyn, jota koskettamalla voidaan aktivoida erilaisia toimintoja peleissä. Kosketuslevyssä on myös painamisominaisuus, jotta sitä voidaan käyttää normaalina painikkeena. Oheisessa kuvassa 9 nähdään DualShock 4 -peliohjain. [24.]



Kuva 9. PlayStation DualShock 4 -ohjain. [25]

Valve-yrityksen Steam Controller -peliohjain keskittyy enemmän haptisen teknologian käyttämiseen. Ohjaimessa on kaksi kosketuslevyä, joiden avulla käyttäjä voi peleissä tehdä erilaisia toimintoja, esim. liikuttaa pelihahmoa. Kosketuslevyt antavat käyttäjälle erikseen värähtelevää palautetta normaalin ohjaimen värinän lisäksi. Käyttäjä tietää koskettavansa levyä ja saavansa sillä aikaiseksi jotain haptisen värinäpalautteen takia. Ohjain toimii ainoastaan tietokoneissa, joihin on asennettu Steam-sovellus. Alhaalla olevassa kuvassa 10 nähdään Steam Controller -peliohjain. [26.]



Kuva 10. Valven Steam Controller -peliohjain. [26]

3.3.4 Haptiikka virtuaalitodellisuudessa

Ihmisellä on viisi aistia; kuulo-, näkö-, kosketus-, haju- ja makuaisti. Tällä hetkellä virtuaalitodellisuudessa käytössämme on näistä vain kaksi, kuulo- ja näköaisti, jolloin virtuaalikokemus ei ole täydellinen. Laitteissa on yleensä kosketusohjaimet, joissa on implementoituna liikkeenseuranta, värinä ja muutamia painikkeita. [27.]

Pienet startup-yritykset ovat alkaneet kehittää virtuaalitodellisuuteen ohjaimia, joilla saataisiin käyttäjän kädet näkymään virtuaalisessa maailmassa. Haptinen teknologia on tärkeässä roolissa parempaan käyttäjäkokemukseen virtuaalitodellisuudessa. [27.]

Teslasuit on ensimmäinen virtuaalitodellisuuspuku, joka tarjoaa haptisen palautteen, liikkeenkaappauksen ja lämpöohjauksen koko kehon alueelle [28]. Käyttäjä pystyy

tuntemaan puvun antureiden avulla sekä pienet että kovat iskut, mutta iskujen kovuus on rajoitettu käyttäjän vahvuuden mukaan vahinkojen välttämiseksi. [29.]

Lämpöohjauksen avulla käyttäjä voi tuntea kuumuutta tai kylmyyttä. Kylmän ja lämpimän tunteen muutokset voi tuntea esimerkiksi The Elder Scrolls Skyrim VR -pelissä, jossa voidaan käyttää erilaisia tulitaikoja. Laite on myös kokonaan langaton. [30.]

Puvussa esitellään kuvan 11 mukaisesti kehossa olevia alueita, joissa anturit ovat.



Kuva 11. HTC Vive VR -lasit ja Teslasuit käytössä. [30]

4 NeuroDigital Technologies Avatar VR-järjestelmä

NeuroDigital Technologies on espanjalainen teknologiayritys, joka keskittyy parantamaan teknologiaa virtuaalitodellisuuteen liittyen. Yrityksen keskeisimmät aihealueet virtuaalitodellisuudessa ovat liikkeenkaappaus, haptinen teknologia ja älykkäät laukaisimet, jotka antavat käyttäjän vaikuttaa erilaisiin tapahtumasarjoihin. [31.]

Yrityksellä on kaksi erillistä tuotetta, Gloveone ja Avatar VR. Kummankin tuotteen tarkoituksena on tuoda kosketuksen tunnetta virtuaalitodellisuudessa. Avatar VR-järjestelmässä on kehittyneempi versio Gloveonesta, ja se tarjoaa paremmat seurantaominaisuudet. [31.]

4.1 Avatar VR-järjestelmän teknologia

Avatar VR-järjestelmä on NeuroDigital Technologies -yrityksen uusi keksintö. Järjestelmä toimii langattomasti, ja sen tarkoituksena on antaa käyttäjälle realistinen kosketuksen tunne virtuaalitodellisuudessa. Järjestelmän uniikkeja toimintoja ovat mm. liikkeenkaappaus, älykäs ohjain, täydellinen sormien seuranta ja mahdollisimman pieni eroavaisuus ohjainliikkeiden ja järjestelmän viiveen välillä. [32]

4.2 Liikkeenkaappaus (Motion Capture)

Liikkeenkaappauksen tarkoituksena on tallentaa digitaaliselle hahmolle näyttelijän suorittamat liikkeet. Liikkeenkaappaus on erityisen suosittua elokuvissa ja videopeleissä. Tunnetuimmissa elokuvissa, kuten The Lord of the Rings, Avatar ja The Avengers, on käytetty liikkeenkaappausteknologiaa hyödyksi. Teknologiaa hyödynnetään myös peleissä kuten The Last of Us ja L.A Noire. [33.]

Optisilla systeemeillä saadaan tallennettua likimain täydellinen kopio näyttelijän liikkeistä. Aktiiviset järjestelmät toimivat reagoivilla esineillä, jotka vilkkuvat, kun taas passiivisissa järjestelmissä käytetään reagoimattomia esineitä. Suosituimmat passiiviset esineet ovat valkoiset pallot, jotka asennetaan ympäri kehoa. [33.]

Kuvassa 12 näyttelijällä on yllään puku, jonka avulla saadaan liikkeenkaappaus tallennettua digitaaliselle hahmolle.



Kuva 12. Liikkeenkaappauksen käyttöä Dawn of the Planet Apes -elokuvassa. [33]

4.3 Käsineiden sensorit

Avatar VR-järjestelmässä käytetään yhdeksän akselin inertiamittausyksikköä (IMU), jolla voidaan tarkasti kerätä tietoa kierrosta, kiihtyvyydestä ja sijainnista. Näitä mittaustietoja yhdistämällä virtuaalitodellisuuden mittaustietoihin saadaan laitteelle optimaalinen seuranta ja latenssi. Antureita löytyy käsineistä, kuin myös järjestelmän mukana tulevissa TrackBandeissa. [32.]

Järjestelmän TrackBandit pystyvät jäljittelemään ranteiden, käsivarsien ja rintakehän sijaintia. Näiden avulla saadaan ylävartalon seuranta liikkeenkaappaukseen. TrackBandit kuitenkin tarvitsevat ylimääräisen seurantajärjestelmän toimiakseen. [32.] Koko järjestelmä nähdään käyttäjän ylläpitämänä kuvassa 13.



Kuva 13. Avatar VR-järjestelmän käsineet ja TrackBand anturit käyttäjän käytössä. [32]

Yhdeksän akselin inertiamittausyksikkö sisältää kolmen akselin gyroskoopin, kolmen akselin kiihtyvyyssanturin ja kolmen akselin magneettianturin. Näiden kaikkien akseleiden avulla saadaan huomattavasti parannettua navigointia virtuaalisissa 3D-ympäristöissä. [34.]

4.4 Käsineiden haptinen palaute

Järjestelmän käsineissä on kymmenen lineaarista resonanssitoimilaitetta. Ne kykenevät värisemään jopa 1024 eri vaiheella toisistaan riippumatta. Niiden avulla voidaan toteuttaa monimutkaisia ja monipuolisia kosketuksen tuntemuksia. [35.]

Järjestelmän haptinen palaute toimii pienellä viiveellä, jotta kosketuksen tuntemisessa ei tulisi vääristymiä. Viivettä haptisen palautteen saamisella järjestelmän dokumentaatio lupaa 20 ms. [35.]

5 Manus VR

Manus VR on yritys, joka keskittyy intuitiiviseen käden vuorovaikutukseen, muotoiluun ja kestävyYTEEN tuoda virtuaalitodellisuuteen innoittavampi kokemus. Yritys on tuottanut Manus VR Glove -käsineen, jonka avulla voidaan toteuttaa parempi vuorovaikutus virtuaalitodellisuuteen. [36]

Järjestelmä tarjoaa harjoitussimulaattoreihin, virtuaalitodellisuuden pelihahmoihin ja liikkeenkaappaukseen keskeisiä ratkaisuja. Yritys tarjoaa myös tukea järjestelmään liittyviin projekteihin. [36]

5.1 Manus VR -järjestelmän teknologia

Järjestelmä tarjoaa sormien ja käsien seurantaominaisuuden, langattoman 5 ms vasteajan ja haptisen palautuksen kämmenille. Yritys lupaa 3–6 tunnin mittaista käyttöaikaa käsineille, eivätkä käsineet tarvitse minkäänlaisia resursseja mobiililaitteelta tai pöytätietokoneelta. Käsineissä on myös vedenkestävät suojat antureille, joten ne on mahdollista pestä. Järjestelmä on suunniteltu käytettäväksi parempiin VR-yritysratkaisuihin ja parempaan interaktiivisuuteen virtuaalitodellisuudessa. [36]

Käsineiden antureissa käytetään yhdeksän akselin inertiamittausyksikköä, joilla saadaan tarkkaa seuranta käsien sijainnista, myös peukaloiden kohdalle on asennettu sama inertiamittausyksikkö. Käsineiden kämmenselän puolella on elektroniikkamoduuli, josta löytyvät sähköiset komponentit, kuten täysin ohjelmoitava värähtelymoottori. Seuraamiseen tarvitaan jonkin kolmannen osapuolen järjestelmää, esim. HTC Viven seurantajärjestelmiä. Käsineiden akkujen lataamisessa käytetään Micro-USB-liitäntää. Järjestelmä on yhteen sopiva mm. Windowsin, Unreal Engine- ja Unity-pelimoottoreiden kanssa. [37.]

5.2 Manus VR -sovitin ja ranneke

Järjestelmän mukana tulee sovitin, johon käsineet ovat yhteydessä. Sovitin kiinnitetään tietokoneeseen USB-liitännällä. Järjestelmän mukaan voi tilata myös Manus VR -yrityksen toteuttaman rannekkeet, joihin saadaan HTC Vive Tracker -seurantajärjestelmä laitettua tukevasti kiinni.

HTC Vive Tracker -seurantajärjestelmä helpottaa pelien kehittämistä virtuaalitodellisuuteen huomattavasti. Ne voidaan kiinnittää mm. aseisiin, käsineisiin ja erilaisiin esineisiin, jotta saataisiin seurattua niiden sijaintia virtuaalitodellisuudessa paljon tarkemmin. [37.] Seuraavassa kuvassa 14 nähdään Manus VR -käsineet, sovitin ja rannekkeet, joissa on valmiiksi kiinnitettynä HTC Vive Trackerit.



Kuva 14. Manus VR -järjestelmä.

6 Manus VR –järjestelmän käyttöönottoaminen

Käyttöönottamisessa käydään läpi vaiheittain järjestelmän omaa dokumentaatiota seuraten mm. käsineiden kalibrointi ja kuinka järjestelmä otetaan käyttöön Unreal Engine 4 -pelimoottorissa. Manus VR -järjestelmää varten toteutetaan virtuaaliympäristöön pieni demo, jossa käydään läpi käsineiden ominaisuuksia ja käsineiden haptinen palaute. Demo on toteutettu Unreal Engine 4:ää käyttäen ja HTC Vive Tracker -seurantajärjestelmää hyödyntäen. Unreal Engine -lisäosan kääntämisessä käytettiin Microsoft Visual Studio 2015:tä.

6.1 Käsineiden kalibrointi ja testaus

Tällä hetkellä kalibrointi tapahtuu Manus VR -yrityksen tekemällä väliaikaisella sovelluksella, ennen kuin virallinen sovellus on valmis [39]. Sovellus on ainoastaan kehittäjien käyttöön, joten tämän sovelluksen yksityiskohdista opinnäytetyön yhteydessä voi esittää ainoastaan käsien asennot kalibroinnin aikana. Kalibrointi täytyy tehdä kummallekin kädelle erikseen.

Kun käsineet on saatu yhdistettyä sovittimeen, voidaan aloittaa käsineiden kalibrointi. Ensin kalibroidaan nyrkkiasento. Samalla asennolla kalibroidaan peukalo myöhemmässä vaiheessa oheisen kuvan 15 mukaisesti.



Kuva 15. Nyrkin kalibroiminen.

Seuraavaksi laitetaan käsi lepoasentoon. Tässä ei ole peukalon asennolla väliä, mutta sormien asento pitää olla hieman levällään toisistaan kuvan 16 mukaisesti.



Kuva 16. Käsi lepoasennossa kalibrointia varten.

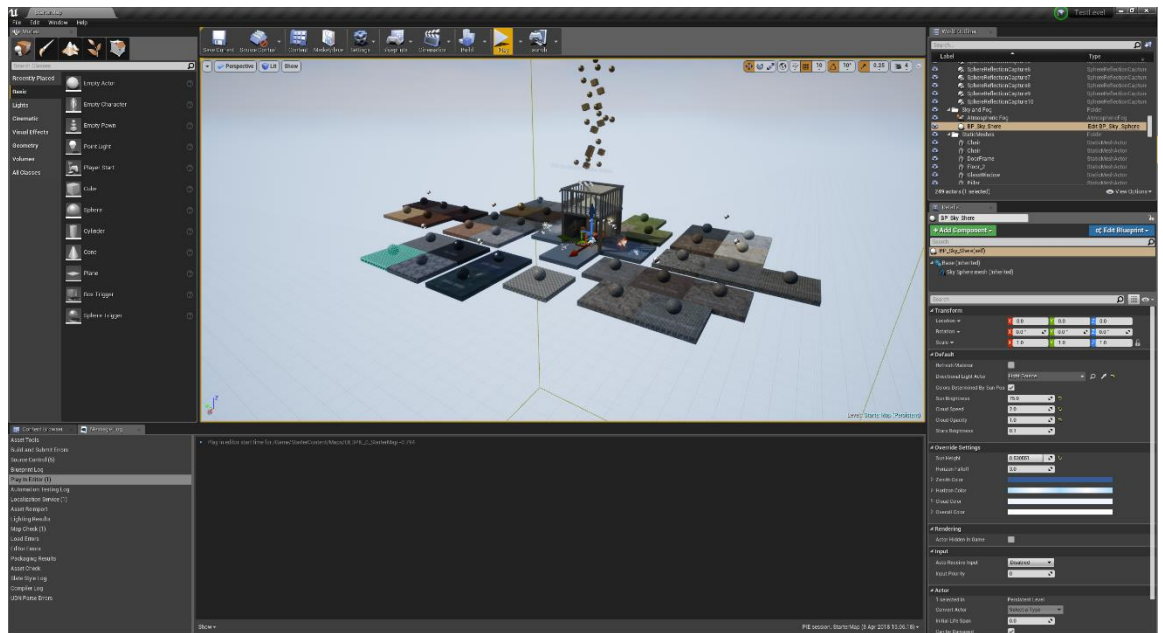
Viimeisenä kalibroidaan peukalo. Peukalon kalibroinnille tehdään ensin taivutus kämmentä kohti, jonka jälkeen kalibroidaan peukalon pystyssä oleva asento oheisen kuvan 17 mukaisesti.



Kuva 17. Peukalon kalibrointi.

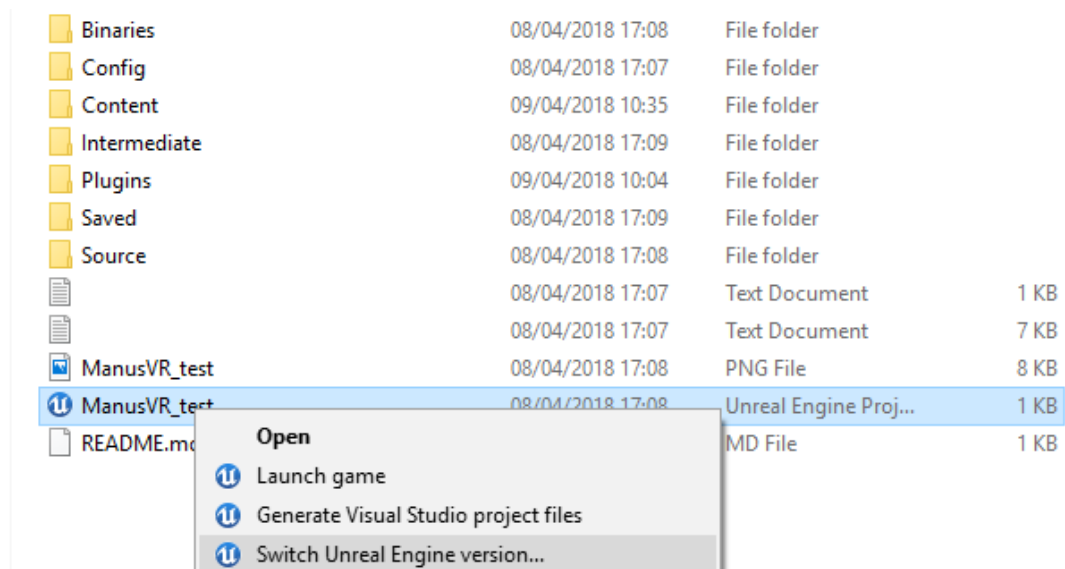
6.2 Manus VR Unreal Engine -lisäosa

Epic Games -peilyhtiön Unreal Engine 4 -pelimoottori on ilmainen kehitystyökalu, joka tarjoaa mahdollisuuden toteuttaa laadukkaita pelejä mm. tietokoneelle, mobiililaitteille, pelikonsoleille ja virtuaalitodellisuudelle. Pelimoottorin koko lähdekoodi on kaikkien käyttäjien käytettävissä ja kaikilla on vapaus laajentaa tai muokata pelimoottorin ominaisuuksia. Unreal Engine 4 tarjoaa myös mahdollisuuden visuaaliseen skriptaukseen käyttäen pelimoottorin omaa Blueprint-mekaniikkaa. Blueprinteillä voidaan luoda peliobjekteille erilaisia käyttäytymisiä ja niillä voidaan hallita erilaisia käyttäjän tekemiä syötteitä. [40.] Seuraavassa kuvassa 18 nähdään Unreal Engine 4.18.3 -version editori.



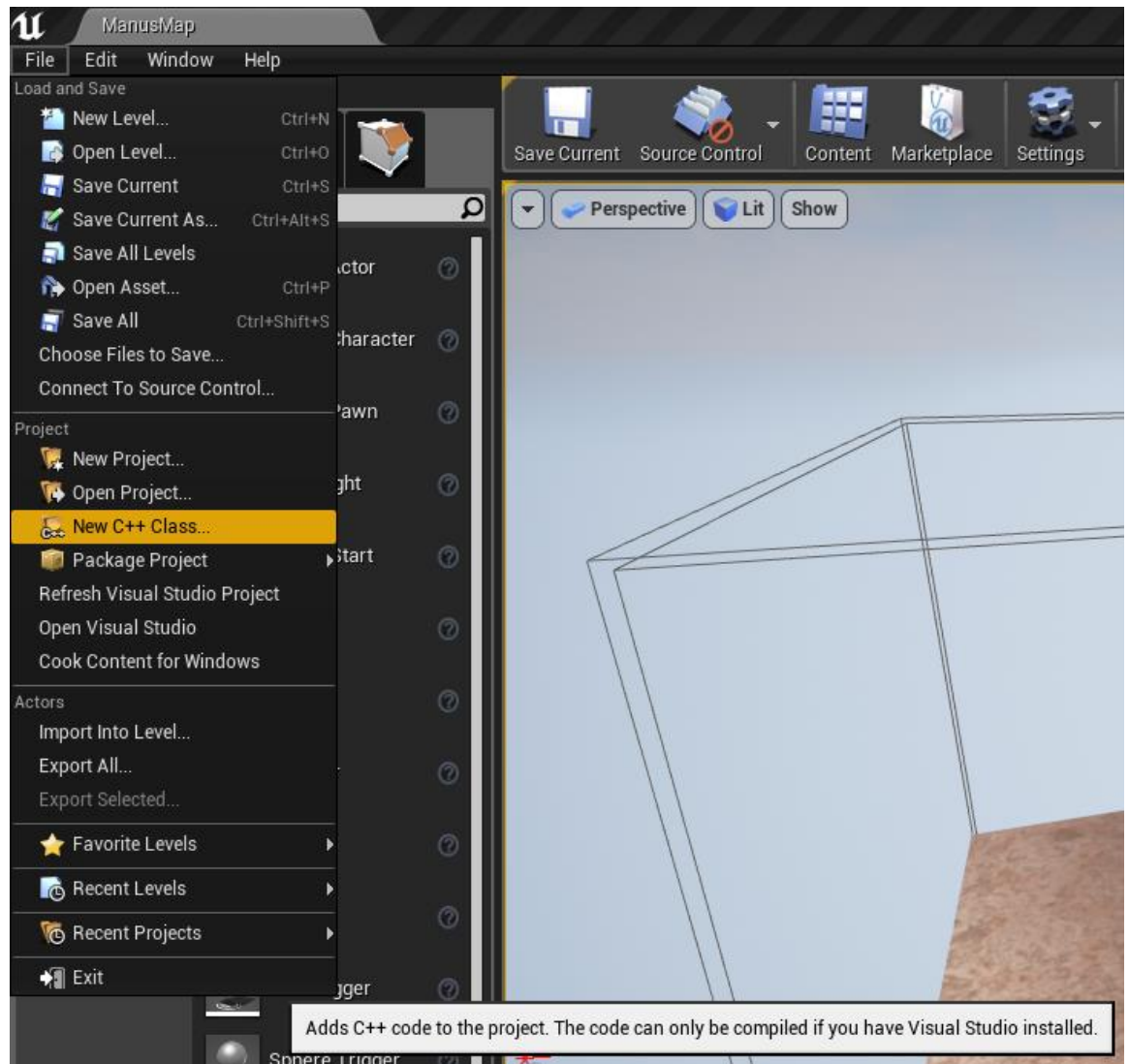
Kuva 18. Unreal Engine 4 -editori.

Manus VR Unreal Engine 0.4.0 -lisäosa tarjoaa yrityksen oman ManusUnrealDemo-nimisen Unreal Engine -projektin. Tässä käyttöönottamisessa käydään kuitenkin läpi Manus VR -järjestelmän käyttöönottamisen olemassa olevaan UE 4.18.3 -projektiin. Ohjeistus on tarkoitettu UE 4.16 -versiosta ylöspäin oleviin versioihin, ja UE 4.19 -version toimivuutta järjestelmän kanssa ei ole testattu tässä työssä. UE 4 -version vaihtaminen tapahtuu hiiren oikealla painikkeella projektin nimestä, ja valitsemalla *Switch Unreal Engine version* kuvan 19 mukaisesti. [41, s. 3.]



Kuva 19. UE 4 -version vaihtaminen projektista.

Ennen Manus VR UE 0.4.0 -lisäosan asentamista olemassa olevaan projektiin projektin täytyy olla C++-projekti. Jos projekti on Blueprint-pohjalla toteutettu, voidaan se muuttaa C++ -projektiksi lisäämällä siihen C++-luokka. Luokan lisääminen löytyy UE 4 -editorista *File*-nimisen välilehden alta seuraavan kuvan 20 mukaisesti.

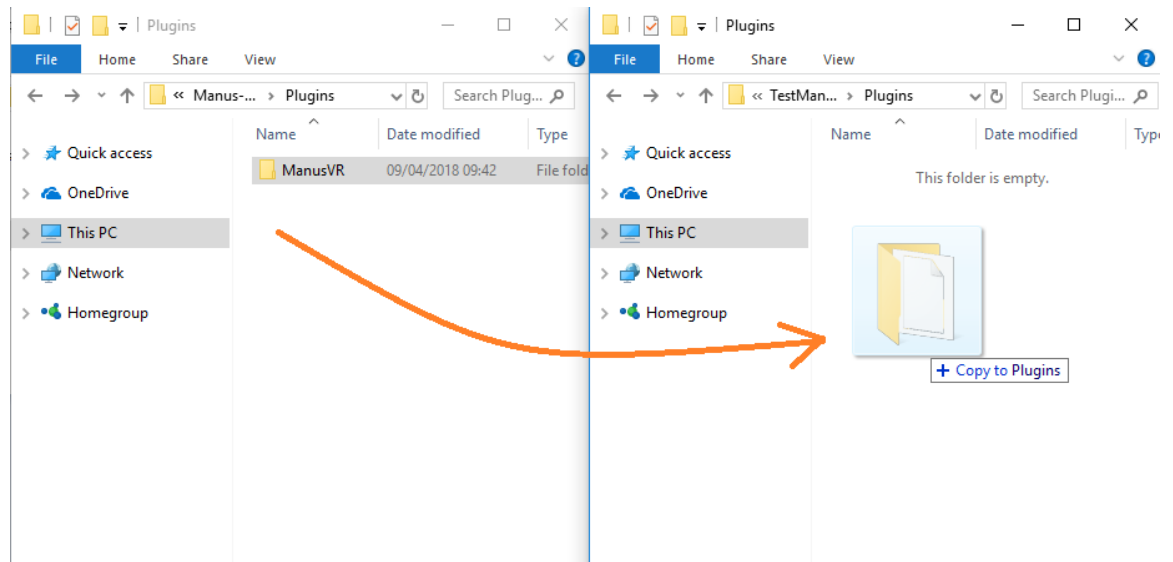


Kuva 20. C++-luokan lisääminen UE 4 -editorissa.

C++-luokan nimellä ei ole väliä, koska sen voi myöhemmin halutessaan poistaa projektista, kun projekti on muutettu C++ projektiksi. Tämän jälkeen voidaan ladata Manus VR UE 0.4.0 -lisäosa Manus VR:n kehittäjän sivuilta. [41, s. 5.] Kehittäjille annetaan käyttäjätunnukset Manus VR -sivustolle.

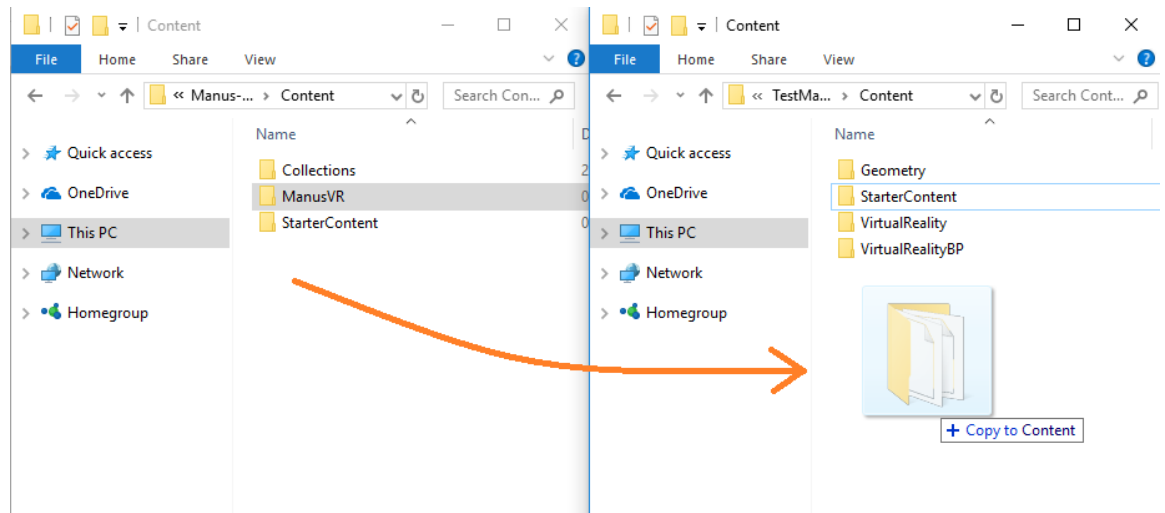
Kun lisäosa on ladattu ja purettu, voidaan ruveta siirtämään lisäosan ominaisuuksia olemassa olevaan projektiin. Suljetaan ensin olemassa oleva projekti ja lisätään olemassa olevaan projektiin *Plugins*-niminen kansio, jos sitä ei vielä ole. Avataan purettu Manus VR

UE -lisäosan kansio ja siirrytään sieltä *Plugins*-kansioon, josta löytyvät kaikki Manus VR:n C++-koodit ja ohjelmistokirjasto. [41, s. 5–6.] Lisäosan *Plugins*-kansion alta löytyvä *ManusVR*-niminen kansio siirretään olemassa olevan projektin *Plugins*-kansioon kuvan 21 mukaisesti.



Kuva 21. Manus VR UE -lisäosan C++-koodien siirtäminen olemassa olevaan projektiin.

Lisäosa tarvitsee myös kaikkien koodien ja ohjelmistokirjaston lisäksi tietyn määrän valmiita pelikomponentteja ja materiaaleja. Manus VR UE -lisäosa tarjoaa tämän kaiken valmiiksi. Valmiit pelikomponentit löytyvät lisäosan *Content*-kansion alta. [41, s. 6] Siirretään *ManusVR*-niminen kansio olemassa olevan projektin *Content*-kansioon alla olevan kuvan 22 mukaisesti.



Kuva 22. Manus VR UE -lisäosan pelikomponenttien lisääminen olemassa olevaan projektiin.

Jos olemassa olevan UE 4 -projektin versio on 4.9, täytyy muokata *ManusMotionControllerComponent.h*-tiedostoa. Tiedosto löytyy kopioidusta kansioista, *Plugins\ManusVR\Source\ManusVR\Public\ManusMotionControllerComponent.h*. Tiedostosta täytyy muokata *public UMotionControllerComponent* muotoon *public UMotionControllerComponentBase*. [41, s. 24.]

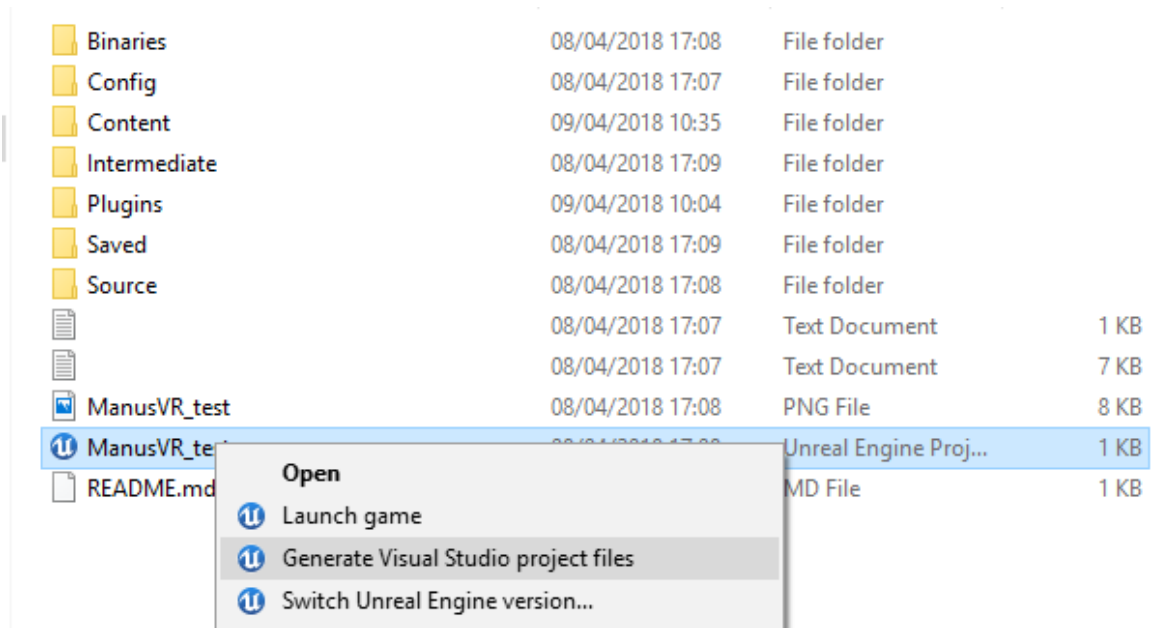
Jos olemassa olevan UE 4 -projektin versio on suurempi kuin 4.16, joudutaan muokkaamaan kahta eri tiedostoa, *ManusVR.Build.cs* ja *ManusVREditor.Build.cs*. Tiedostot löytyvät kansioista *Plugins\ManusVR\Source\ManusVR\ManusVR.Build.cs* ja *Plugins\ManusVR\Source\ManusVREditor\ManusVREditor.Build.cs*. [41, s. 24.] Tiedoista täytyy kommentoida yksi rivi koodia alla olevan kuvan 23 mukaisesti.

```
#define UE_VERSION_BELOW_4_16 // (Un)comment this based on the version of Unreal being compiled for.

//#define UE_VERSION_BELOW_4_16 // (Un)comment this based on the version of Unreal being compiled for.
```

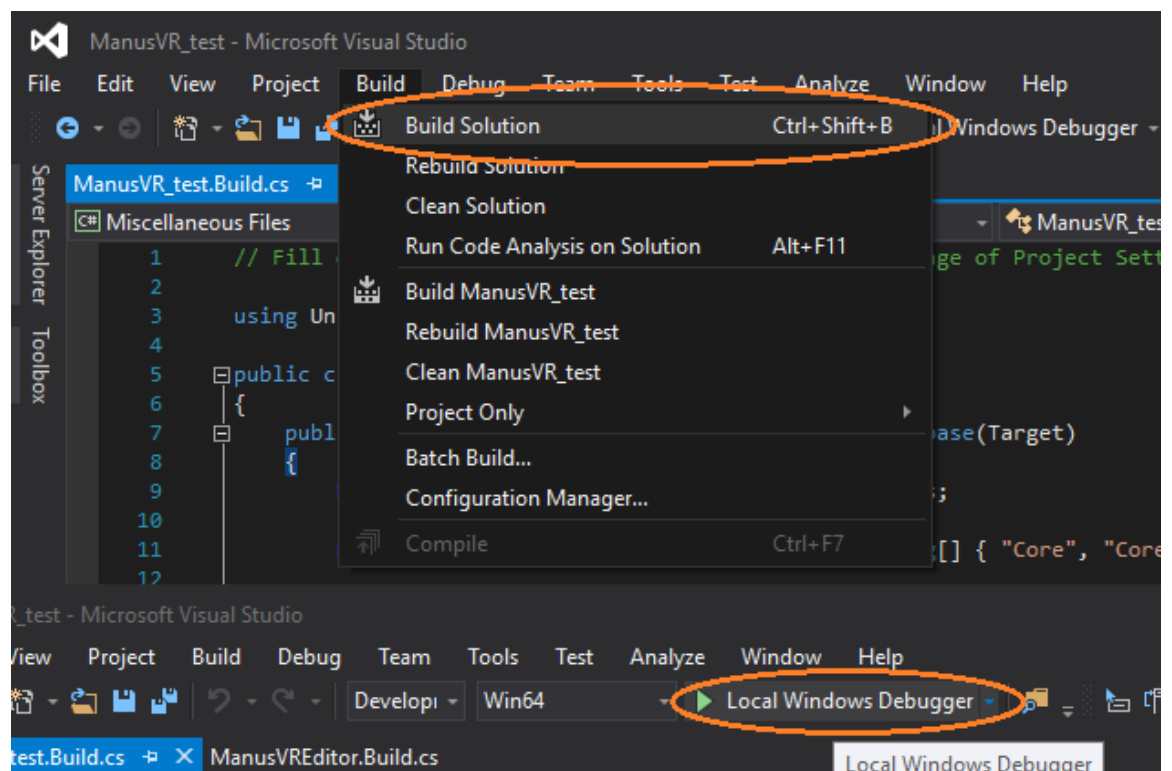
Kuva 23. UE 4 -version määrittäminen kommentoituina.

Kun tarvittavat muutokset on tehty UE 4 -versioon nähden, voidaan luoda VS -projektin tiedostot. [41, s. 6.] VS *Solution* -tiedoston luominen onnistuu UE 4 -projektista seuraavan kuvan 24 mukaisesti.



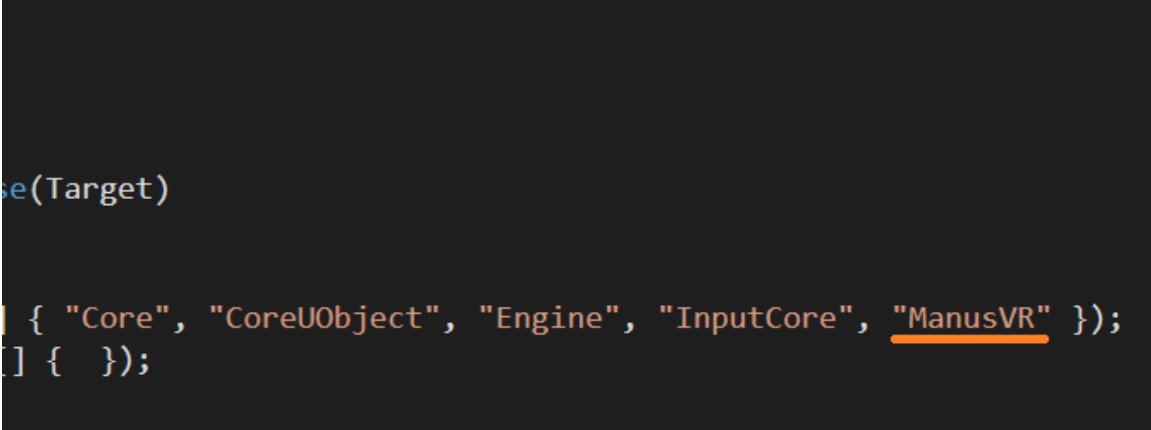
Kuva 24. Visual Studio -tiedostojen luominen UE 4 -projektista.

Projektin kääntäminen Visual Studiossa pitäisi nyt olla mahdollista. Kääntäminen tapahtuu seuraavan kuvan 25 mukaisesti.



Kuva 25. UE 4 -projektin kääntäminen Visual Studiossa.

Manus VR Unreal Engine lisäosan kirjaston ja koodien käyttämiseen joudutaan vielä muokkaamaan olemassa olevan projektin *Build.cs*-tiedostoa. Tiedosto löytyy kansiota *Source\ProjektinNimi\ProjektinNimi.Build.cs*. Tiedostosta löytyy lista eri moduuleista. Listaannimeltä *PublicDependencyModuleNames* lisätään *"ManusVR"* -teksti kuvan 26 mukaan. [41, s. 7.]

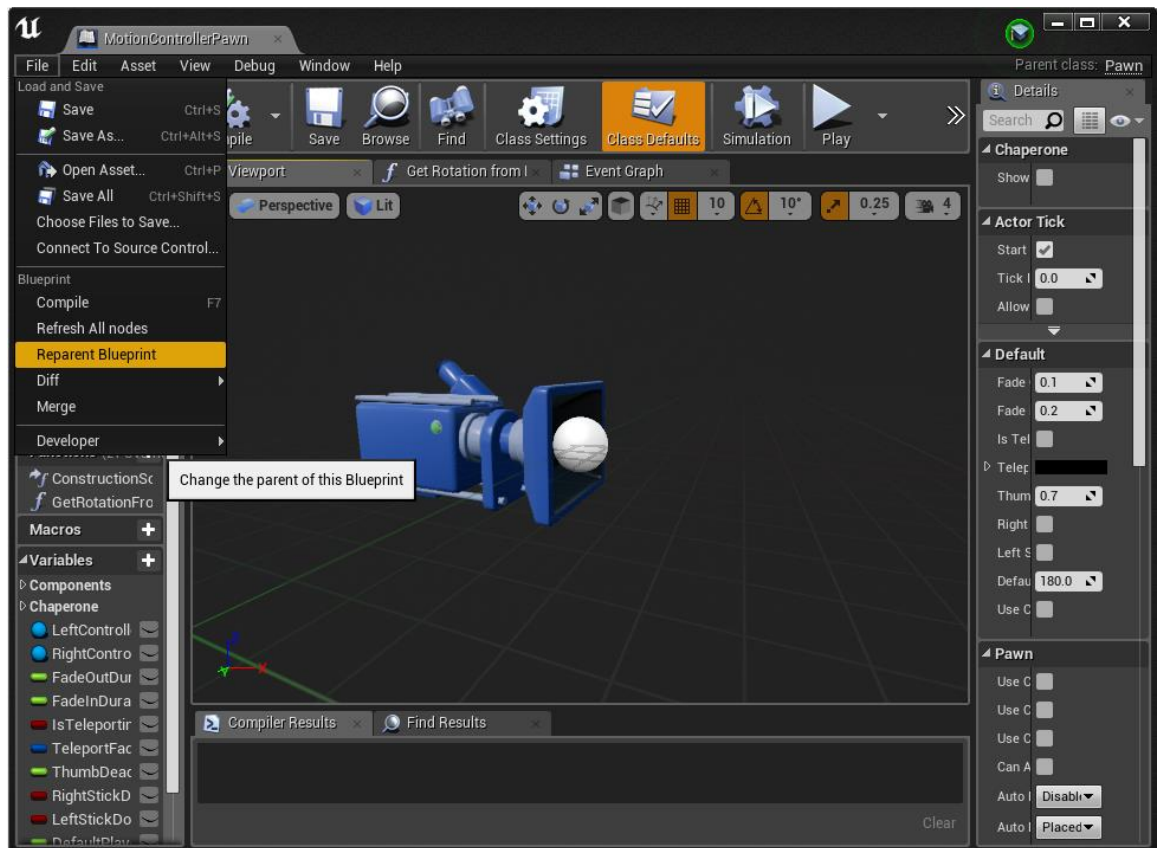


```
se(Target)

{ "Core", "CoreUObject", "Engine", "InputCore", "ManusVR" } };
] { } );
```

Kuva 26. Manus VR:n lisääminen olemassa olevan projektin moduuleihin.

Manus VR –järjestelmä tarvitsee vielä *ManusPawnBlueprintin* käyttöönottamisen toimiakseen. *ManusPawnBlueprint* voidaan lisätä projektin olemassa olevaan pelaajahahmoon. Jos pelaajahahmo on toteutettu Blueprint-tyylillä, pohjaluokka täytyy vaihtaa pelaajahahmon Blueprintistä *Reparent Blueprint* ja valitsemalla *ManusPawnBlueprint* pelaajahahmon uudeksi pohjaluokaksi seuraavan kuvan 27 ohjeistamalla tavalla. [41, s. 8.]

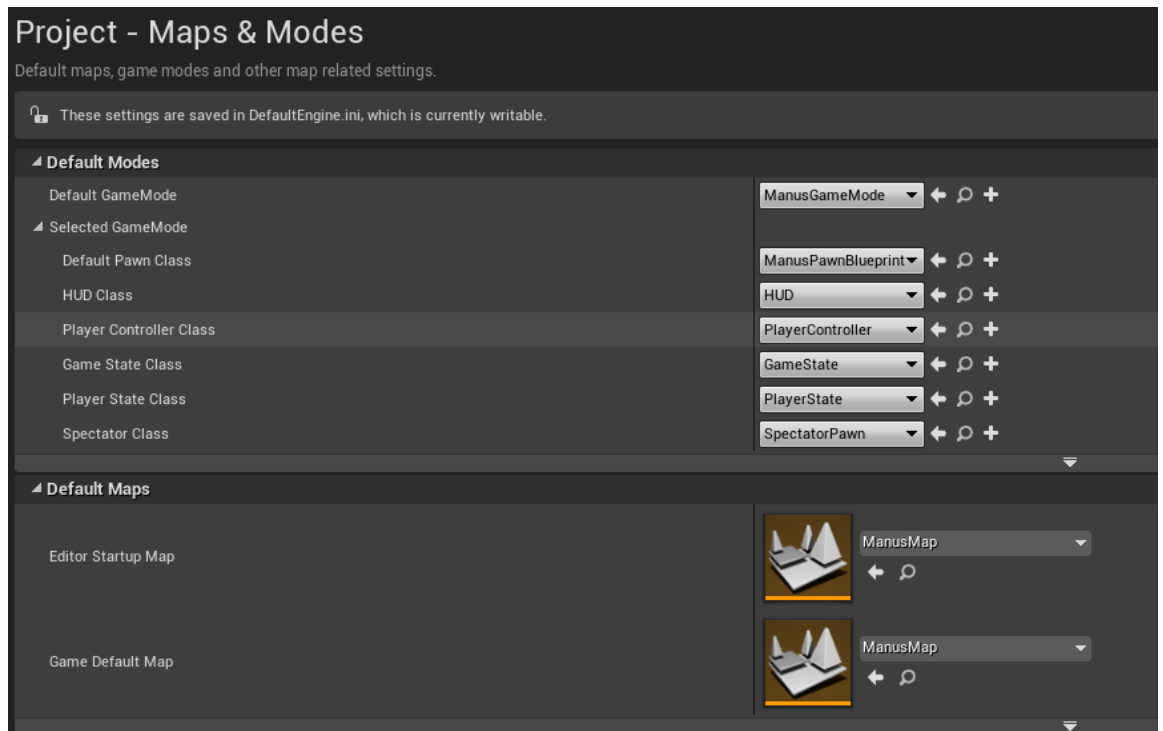


Kuva 27. Pohjaluokan vaihtaminen *MotionControllerPawnille*.

Pelaajahahmon ollessa C++-luokka *ManusPawn.h* voidaan lisätä pelaajahahmolle seuraavan kuvan 28 mukaisesti [41, s. 9].

```

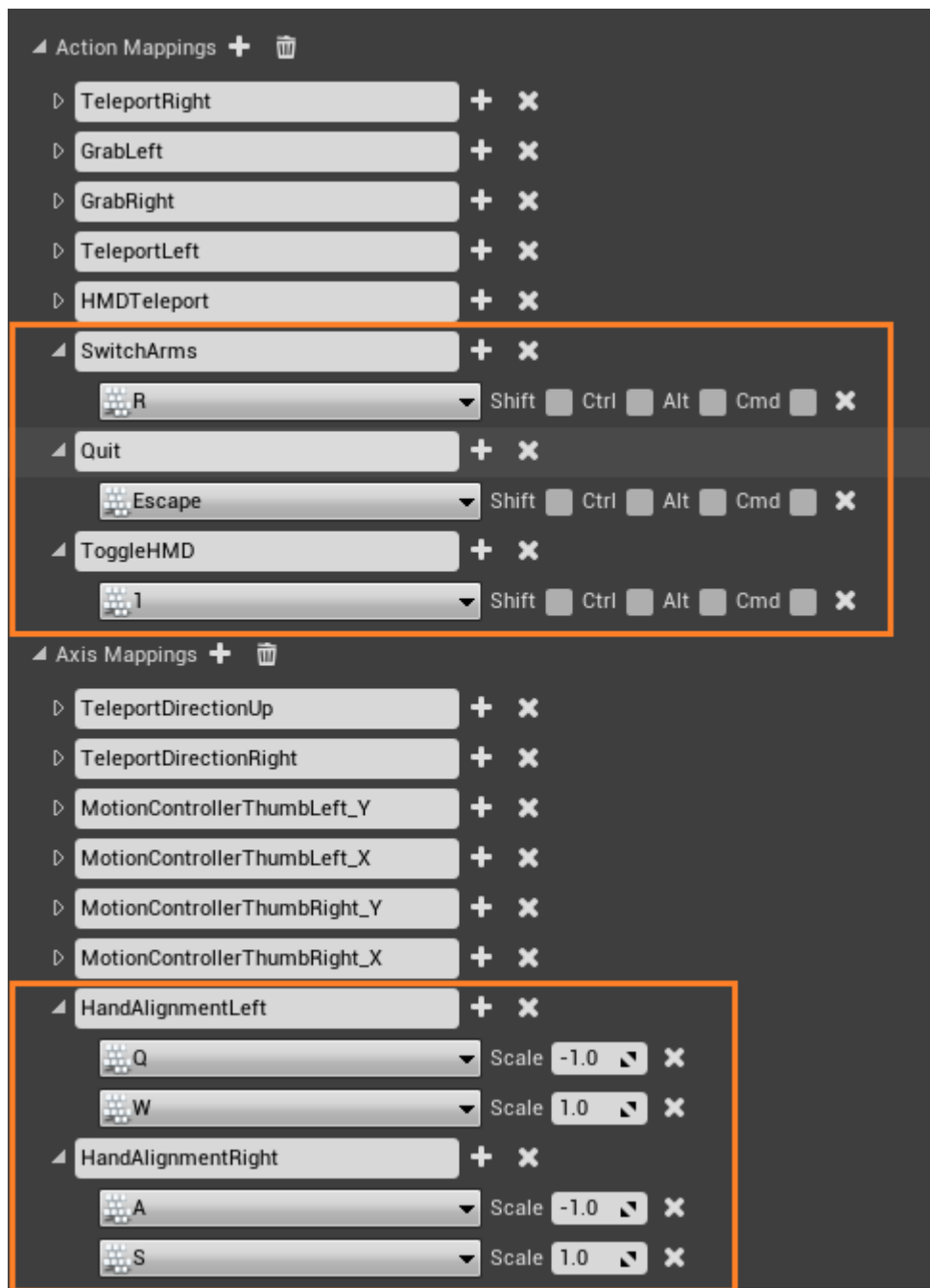
MyPawn.h
ManusVR_test
4
5 #include "CoreMinimal.h"
6 #include "GameFramework/Pawn.h"
7 #include "ManusPawn.h"
8 #include "MyPawn.generated.h"
9
10 UCLASS()
11 class MANUSVR_TEST_API AMyPawn : public AManusPawn
12 {
13     GENERATED_BODY()
14
15 public:
16     // Sets default values for this pawn's properties
17     AMyPawn(const FObjectInitializer& ObjectInitializer);
18
19 protected:
20     // Called when the game starts or when spawned
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2628
2629
2630
2631
2632
2633
2634
2635
2636
2637
2638
2639
2640
2641
2642
2643
2644
2645
2646
2647
2648
2649
2650
2651
2652
2653
2654
2655
2656
2657
2658
2659
2660
2661
266
```



Kuva 29. ManusGameMode oletus pelitilaksi valittuna ja ManusMap oletuskartaksi.

ManusTrackingManager Blueprintistä löytyy asetus *Manus VR* -välilehden alta, jossa voidaan valita oletusseurantajärjestelmä. *Generic*-asetus tarkoittaa HTC Vive Trackeriä ja *Controller* HTC Vive ohjainta, jotka voidaan kiinnittää esim. hihnoilla ranteiden ympärille.

Manus VR UE -lisäosa on nyt käytettävissä olemassa olevassa projektissa. Jos käsien suunnat ovat vääristyneessä asennossa, tämä voidaan korjata laittamalla UE 4 -projektin asetuksiin erilaisia näppäimistökomentoja, joilla korjata käsien paikat ja helpottaa muutenkin projektin käyttöä. Seuraavan kuvan 30 mukaiset muutokset olisi hyvä käydä tekemässä *Edit->Project Settings->Input* asetuksiin.



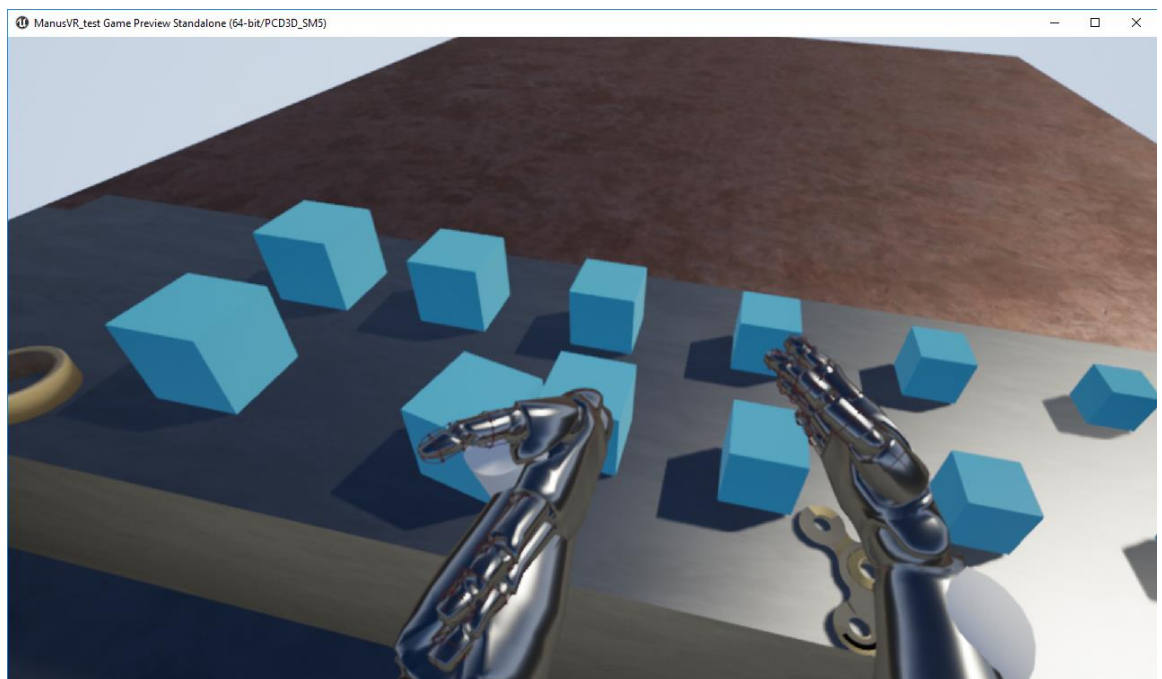
Kuva 30. Projektin *Input*-asetukset.

6.3 Virtuaaliympäristön demo

Opinnäytetyötä varten toteutettiin Manus VR -virtuaaliympäristö demo UE 4.18.3 -versiolla. Demon tarkoituksena on testata Manus VR -järjestelmän interaktiivisuutta virtuaalisessa ympäristössä, jossa voitaisiin tarttua kiinni pelimaailman objekteista ja tönä niitä. Myös käsineiden haptinen värinä oli tärkeässä osassa demoa.

Demossa käytettiin UE 4 -virtuaalitodellisuuspohjaa, jossa tulee mukana muutamia peliobjekteja ja kenttiä. Virtuaaliympäristö myös antoi valmiin pohjan HTC Vive -laitteen toimivuudelle, joten siihen oli yksinkertaisin liittää Manus VR UE -lisäosa. Lisäosan käyttöönotto toteutettiin Manus VR UE -lisäosan ohjeiden mukaan.

Heti projektin alussa vasemman käden kanssa tuli ongelma, jossa käsi oli kiertyneenä vastapäiseen suuntaan kuvan 31 mukaisesti.



Kuva 31. Vasemman käden kierto.

Ongelma saadaan korjattua käyttämällä projektin asetuksiin asettamia näppäimistösyötteitä. Vasemman käden kiertoa voidaan säätää näppäimistöstä painamalla Q tai W, ja oikean käden kierto toimii näppäimistä A ja S. *ManusAnimation.cpp*-tiedostosta löytyy käsien kierron säätäminen. Koodia voidaan muokata kuvan 32 mukaisesti, jotta kädet olisivat aina oikeassa asennossa heti projektin käynnistymisen yhteydessä.

```

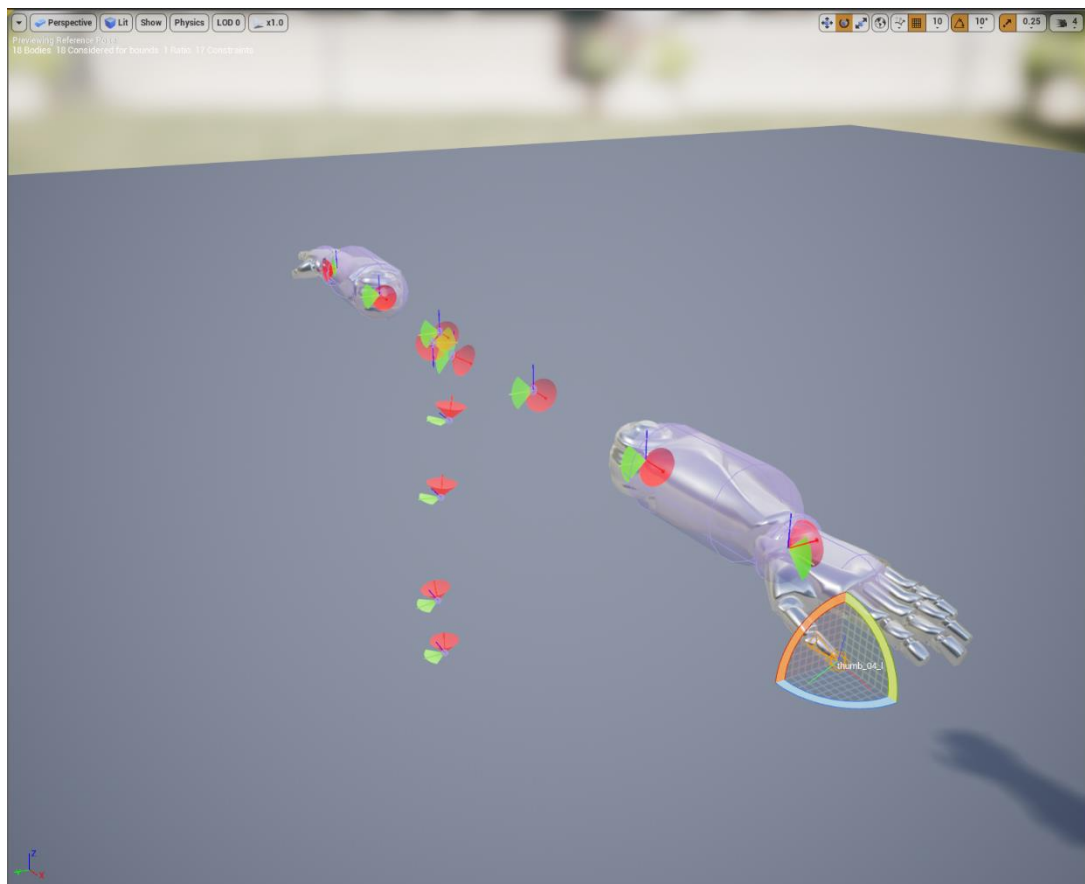
// Go over both hands.
bool IsLeft = Device == GLOVE_LEFT;
int HandNum = IsLeft ? 0 : 1;
float IMUCorrectionW = IsLeft ? 1.0f : -1.0f;
float IMUCorrectionZ = -1.0f * IMUCorrectionW;
float fixedRotations = RotationsToUse[HandNum] -> HandYawOffset + IsLeft ? 180.0f : 0.0f;

// "fixedRotations" has is used here
SetBoneWorldRotation(WristIndex, BoneContainer, FQuat(FRotator(0.0f, fixedRotations, 0.0f)) * FQuat
// "fixedRotations" has is used here
FQuat ThumbQuat = FQuat(FRotator(0.0f, fixedRotations, 0.0f)) ;

```

Kuva 32. Muokatut rivit *ManusAnimation.cpp* tiedostosta.

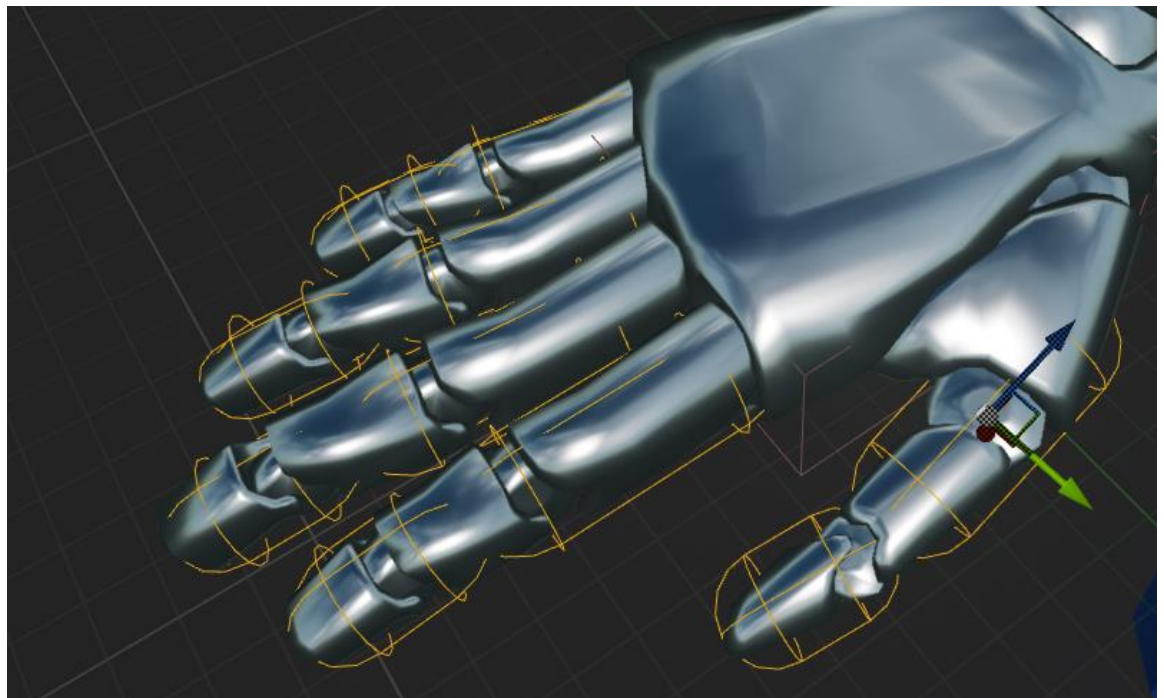
Kun kädet oli saatu oikeanlaisesti asetettua projektiin, voitiin aloittaa tutkimaan kuinka toteutetaan vuorovaikutusta peliobjektien kanssa. Demon alkuperäisessä pohjassa on valmiiksi tehty VR -laitteille esim. objektin poimiminen käteen, mutta nämä valmiit pohjat eivät sovellu suoraan Manus VR -laitteelle. *ManusPawnBlueprintia* täytyy muokata, jotta valmiista *BP_PickUpCube*-objektista saataisiin otettua kiinni. On suositeltavaa tutustua Manus VR UE -lisäosan peliobjektin fysiikoihin, josta kuva 33 alempana.



Kuva 33. Manus VR 3D -mallit.

Käsissä ja käsivarsissa on luotuna valmiit törmäysalueet vain 3D-malliin, mutta käsineiden sormille ei ole toteutettu minkäänlaista törmäysaluetta. Törmäysalueella on tarkoitus tarkistaa, törmääkö alue jonkin tietyn objektin kanssa, jolloin voidaan esim. objektia tönä. Tällä hetkellä sormet menevät aina kaikista objekteista läpi.

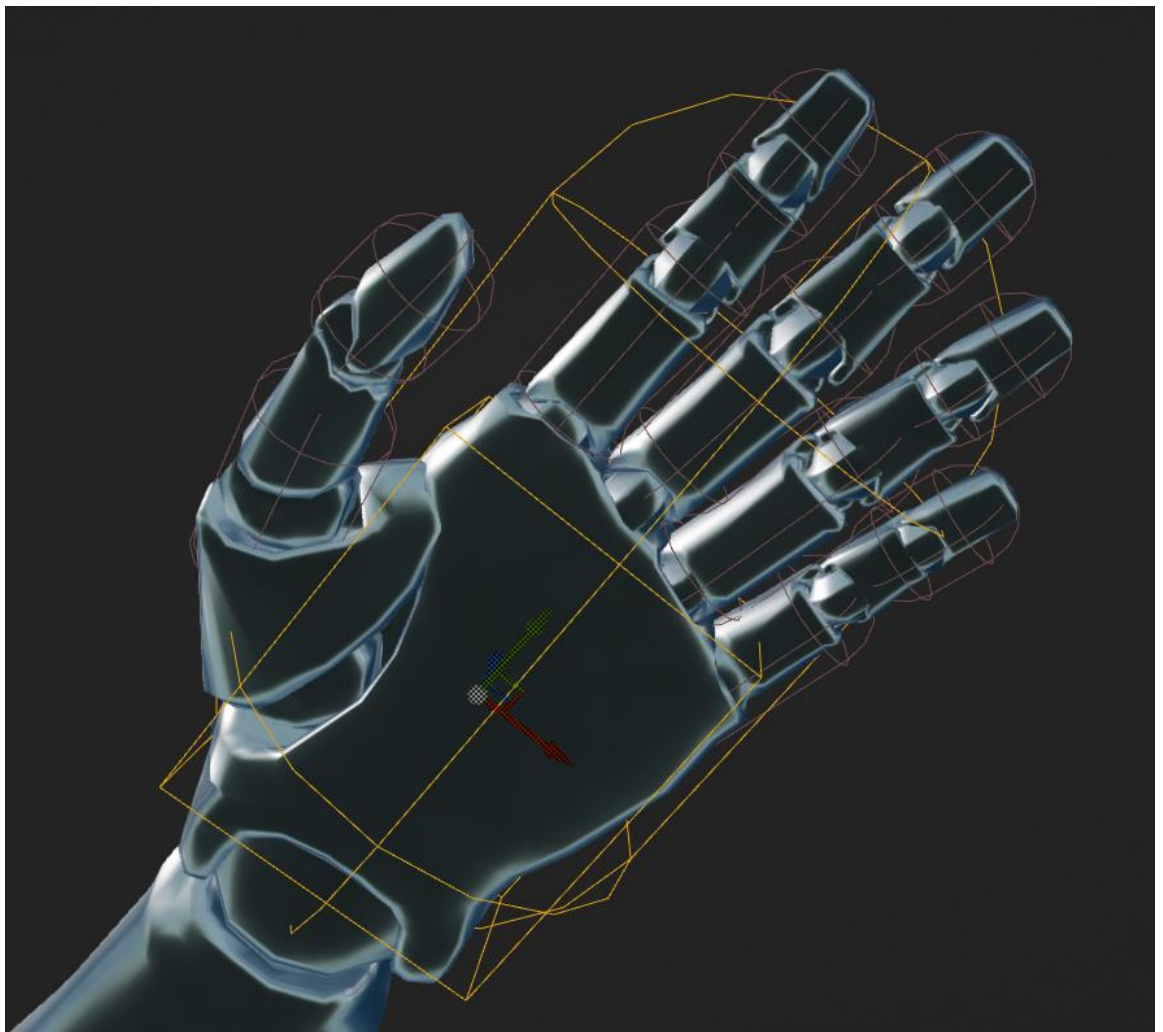
Ensimmäiseen testaukseen toteutettiin aluksi törmäysalueet peukalolle ja etusormelle. Jos nämä olivat päällekkäisyydessä *BP_PickUpCuben* kanssa, ja vielä toistensa kanssa, objekti tarttui silloin käteen. Sormet ja objekti pystyivät menemään tällöin päällekkäin, koska törmäysalueelle ei tehty tarkistusta objektin tyypistä. Tässä vaiheessa objekteista pystyi tarttumaan kiinni ja ne pysyivät käden liikkeen mukana virtuaaliympäristössä. Seuraavaksi toteutettiin törmäysalueet jokaiselle sormelle ja vielä tarkistukset objektin tyypistä jotta niitä pystytään työntämään ja pyörittelemään pöydällä ainoastaan käyttäen sormia. Alla olevalla kuvassa 34 nähdään sormissa olevat törmäysalueet.



Kuva 34. Sormien "luihin" lisätyt törmäysalueet.

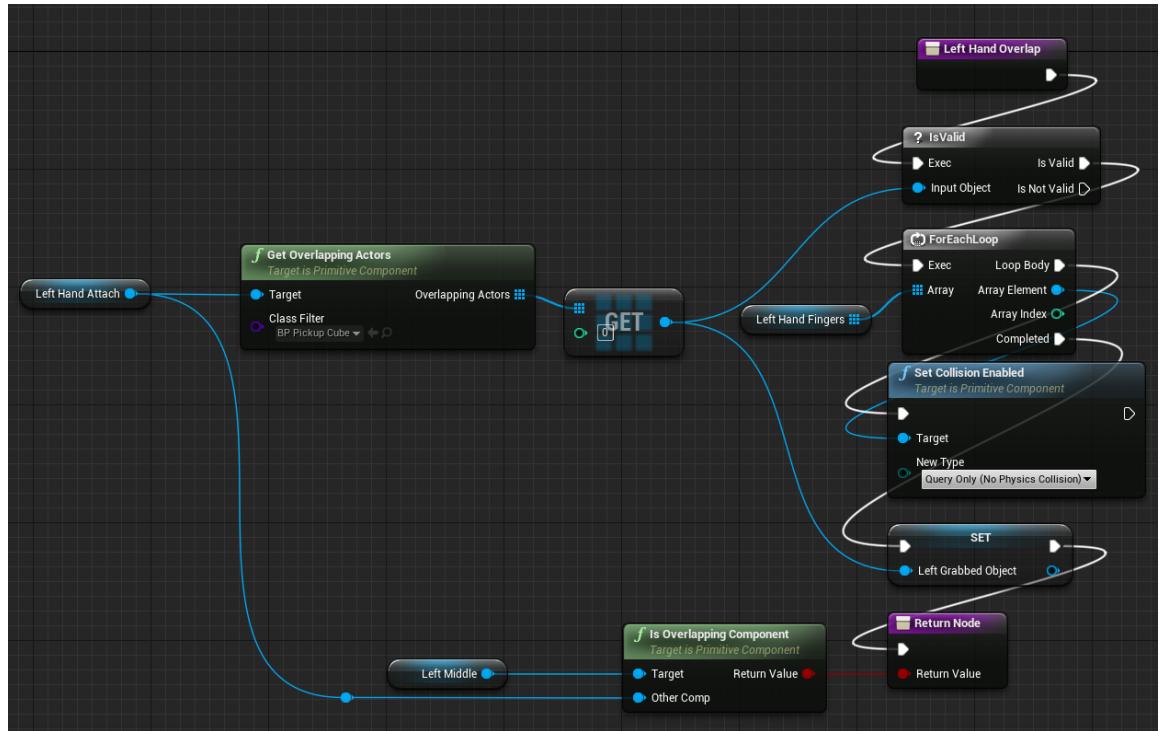
Sormien ns. luihin löytyy kaikkiin nimet 3D-mallista, joten törmäysalueet saadaan suoraan asetettua oikean luun paikalle. Kun törmäykset on asetettu jokaiselle sormelle oikeanlaisesti, pitää ottaa huomioon objektiin tartuttaessa, että sen törmäysalueet on otettu siksi aikaa pois käytöstä. Muuten objekteihin ei voi tarttua kunnolla kiinni ja ne kimpoilevat holtittomasti kämmenestä pois.

Käsille toteutettiin törmäysalueet kämmenpohjaan ja kämmenien ympärille. Kämmenpohjassa olevalla törmäysaluekuutiolla on tarkoitus tarkistaa, että jos peliohjekti on päällekkäisyydessä sen kanssa, otetaan törmäystarkistukset pois sormista. Tällöin voidaan laittaa käsi nyrkkiin niin, ettei ohjekti lennä pois käden läheltä sormien törmäyksestä, ja ohjektiin voidaan tarttua. Kämmenen ympärillä oleva törmäysalueella katsotaan, että jos alue on törmäyksessä ohjektiin, annetaan kädelle värinän palaute törmäyksestä. Värinä ei ole kuitenkaan silloin käytössä, jos esineestä on otettu kiinni. Kuvassa 35 nähdään korostettuna kummatkin törmäysalueet kämmenessä.



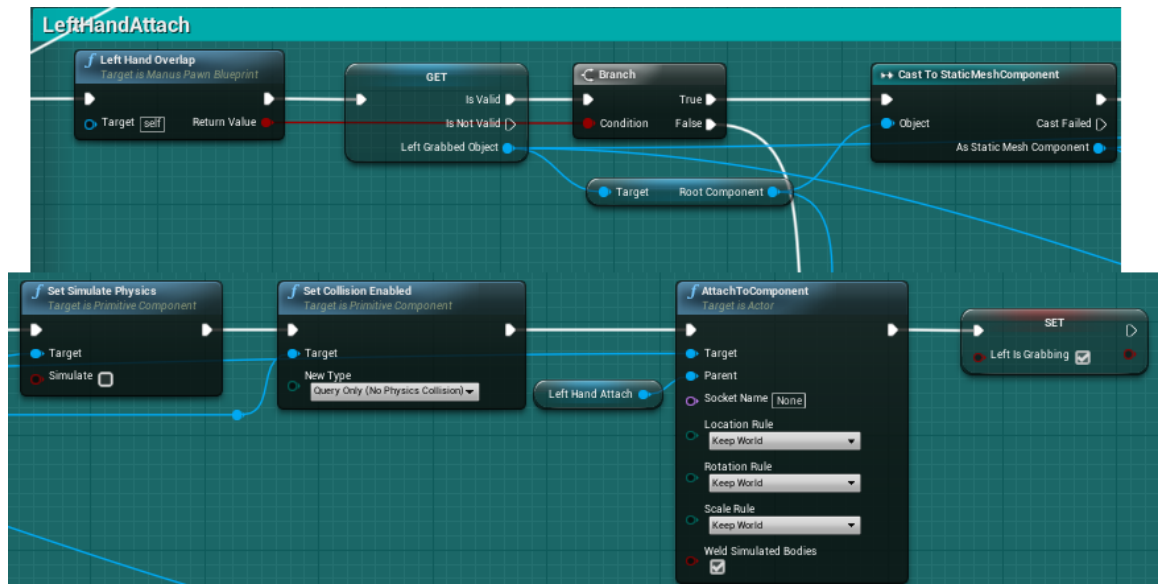
Kuva 35. Kämmenpohjassa ja kämmenen ympärillä olevat törmäysalueet korostettuna.

Kuvassa 36 nähdään vasemman käden törmäystarkistus *ManusPawnBlueprint*issä, jossa otetaan sormilta hetkeksi törmäys pois, niin kauan kuin kämmenpohja on päällekkäisyydessä *BP_PickUpCube*-objektin kanssa. Tämä funktio palauttaa arvona vielä keskisormen ja kämmenen päällekkäisyyden, että onko se totta vai ei.



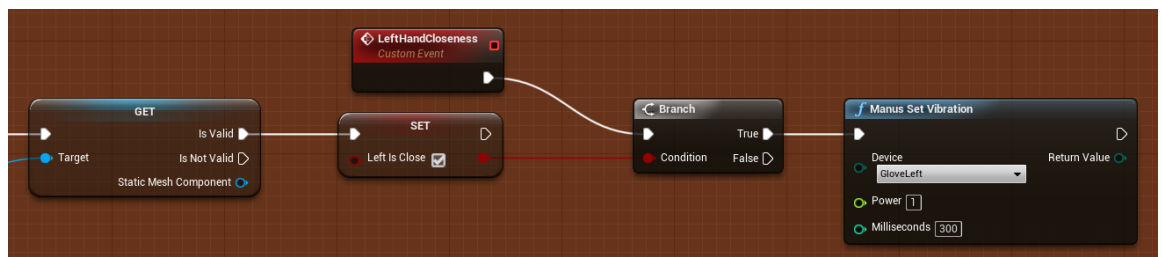
Kuva 36. Vasemman käden törmäystarkistus.

Jos funktion palauttama arvo on totta, otetaan objektilta fysiikat ja törmäykset pois, ja kiinnitetään se käteen kiinni. Sama logiikka on käytössä kummankin käden törmäystarkastuksille. Seuraavassa kuvassa 37 nähdään *ManusPawnBlueprint*istä kaksi leikattua pätkää kappaleen kiinnittämisestä käteen.



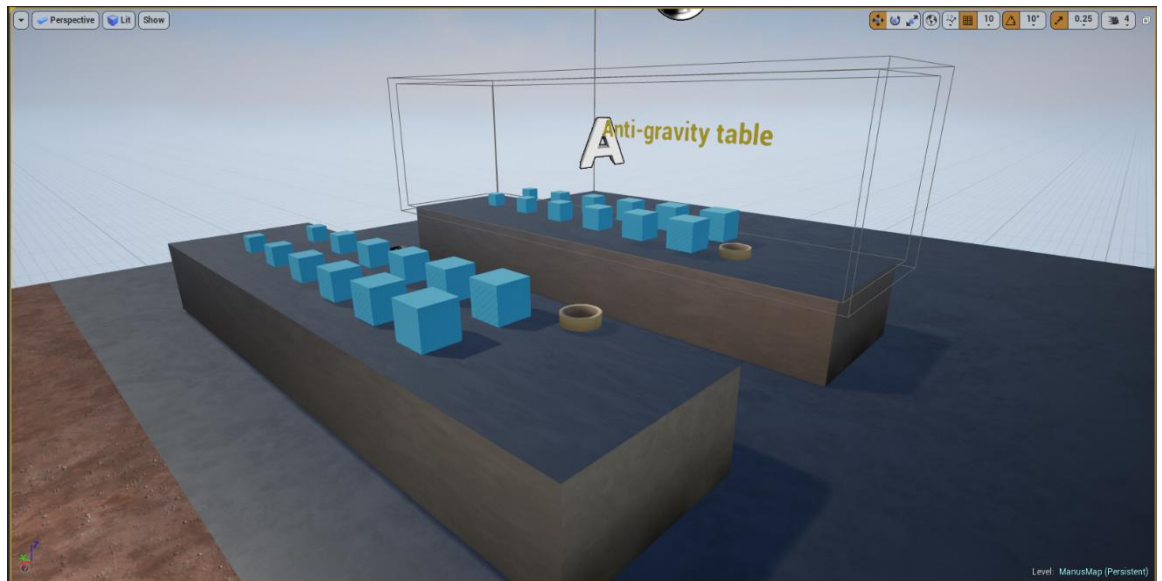
Kuva 37. Objektista tarttumisen logiikka

Värinä käsineille toteutettiin käteen liitetyn kapselinmuotoisen törmäysalueen avulla. Tämä törmäysalue tarkistaa vain päällekkäisyyksiä *BP_PickUpCube*-tyyppisen objektin kanssa, ja jos tämä tapahtuu, käytetään Manus VR-kämmenselän puolella olevaa värinää. Kuvassa 38 on osa *ManusPawnBlueprint* kaaviota, kuinka värinä toteutettiin.



Kuva 38. Värinän toteuttaminen kädelle.

Kun kädet oli saatu suhteellisen hyvin toimimaan, aloitettiin toteuttamaan itse demon kenttää. Kenttään on asetettu kaksi pöytää pelaajan aloituspaikan lähelle. Toisella pöydällä on objekteja painovoiman kanssa, ja jos ne osuvat maahan, ne siirtyvät takaisin aloituspisteeseen. Toisella pöydällä on samanlaiset objektit, mutta ne ovat painovoimattomassa tilassa eivätkä voi lentää ulos pöydältä. Tässä käyttäjä pääsee testaamaan ja tönimään objekteja painovoimattomassa tilassa. Kuvassa 39 nähdään UE 4 -editorista otettu kuva pelialueesta.



Kuva 39. Itse suunnitellun Manus VR -demon kenttä.

Demossa käyttäjä pääsee testaamaan Manus VR -järjestelmän toimivuutta virtuaalitodellisuudessa ja järjestelmän haptista palautetta. Käyttäjä voi olla vuorovaikutuksessa pelimaailman objektien kanssa mm. koskettelemalla tai kiinniottamalla objekteista.

Demon pääasiallinen tarkoitus on tarjota pelaajilla nopea ja mahdollisimman kattava esittely haptisten ohjainlaitteiden ja tuntoaistin tarjoamista mahdollisuuksista. Demon avulla pyritään helpottamaan mahdollisten jatkoprojektien suunnittelemista sekä arvioimaan käytettävien ohjaintoimintojen ja haptisten ominaisuuksien käyttökelpoisuutta projekteissa.

7 Pohdinta

Haptinen teknologia on koko ajan kehittymässä eteenpäin, ja sitä otetaan yhä enemmän käyttöön virtuaalitodellisuuspeleissä ja erilaisissa simulaattoreissa. Teknologian käyttäminen virtuaalitodellisuudessa on tällä hetkellä vielä enemmän yrityskäyttöön tarkoitettu, sillä teknologia on kallista toteuttaa mahdollisimman pieniin laitteisiin, ja niistä ei ole vielä saatavilla riittävän kustannustehokkaita ja käyttäjäystävällisiä kuluttajaversioita. Järjestelmät maksavat huomattavasti enemmän, jos niihin on toteuttu haptisilla käsineillä jonkinlainen valmis demopohja tai ohjelmistokirjasto.

Manus VR -järjestelmän haptinen teknologia oli hieman pettymys, mutta se kuitenkin toimii huomattavasti paremmin kuin jonkin VR-laitteen peliohjaimen värinä. Palautteen antaminen koko kädelle antaa paremman immersion kuin se, että palaute tuntuu kädessä pidettävässä peliohjaimessa. Järjestelmässä oli suhteellisen hyvä seurantajärjestelmä, ja sormien liikkeet toimivat melkein täydellisesti omien sormien liikkeiden mukaan. Välillä nopeat liikkeet tahtoivat sekoittaa seurantaa ja varsinkin peukalon eleet menivät sekaisin, mutta ongelma korjaantui vähän ajan päästä lisäkäytön myötä. Käsineet tuntuvat mukavilta käsissä, ja vaikka aluksi tuntui, että HTC Viven Trackerit ovat haitaksi ranteissa, niin niihin kyllä tottuu yllättävän nopeasti.

Järjestelmän tämän hetkistä kehitysversiota en suosittelisi kuluttajakäyttöön, ellei kuluttajalla ole tarkoitus kehittää järjestelmällä erilaisia peli- tai simulointiprojekteja. Järjestelmä on suhteellisen kallis, ja siihen ei ole vielä erityisemmin tehty pelejä tai muita isompia demoja.

Tällä hetkellä laitteistojen hinta, vaikea käytettävyys ja tuettujen ohjelmien rajallisuus ovat suurimpia esteitä haptisten laitteistojen käytön yleistymiselle, mutta tulevaisuudessa halvemmat hinnat sekä yksinkertaisempi käytettävyys tulevat huomattavasti lisäämään haptisten laitteiden käyttöä sekä yritysten omissa sovelluksissa että pelikäytössä. Oikein toimiessaan haptisten laitteiden ohjaintuntuma ja kosketuspalaute tarjoavat käyttäjille nykyisiä ohjainratkaisuja huomattavasti luonnollisemman ja uusien käyttäjien näkökulmasta nopeamman tavan olla interaktiivisuudessa virtuaalimaailman kanssa. Tämän hetkisen kehitystason perusteella loppukäyttäjien kannalta toimivaa haptista ratkaisua joudutaan vielä odottelemaan pari vuotta, jonka jälkeen laitteiden toiminta eri käytössä tulee yleistymään.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tutustuttiin uudenlaiseen teknologiaan virtuaalitodellisuudessa ja siitä toteutettiin käyttöönotto-ohjeet Kajaanin ammattikorkeakoulun CSE-kehitystiimille. Teknologiaksi valittiin haptinen teknologia, koska siihen ovat erilaiset yritykset ruvenneet kehittämään erilaisia järjestelmiä, jotka antavat palautetta käyttäjän vuorovaikutuksesta virtuaaliympäristöön.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan tarkoitus oli tehdä NeuroDigital Technologies Avatar VR –järjestelmästä demo tai yhdistää se toiseen aikaisempaan asiakasprojektiin, missä järjestelmän käsineistä olisi ollut parempi hyöty kuin peliohjaimista. Valitettavasti järjestelmän viivästymisen vuoksi jouduttiin vaihtamaan toisen yrityksen toteuttamaan järjestelmään, Manus VR. Tämänkin järjestelmän toimituksessa kesti sen verran pitkään, että suunnitelmat jouduttiin muuttamaan kiireellisten aikataulujen vuoksi ja toisten asiakasprojektien takia. Järjestelmää ei enää ollut tarkoitus yhdistää valmiiseen projektiin, vaan lähdettiin toteuttamaan tyhjälle UE 4 VR -pohjalle demoa järjestelmän toimivuudesta.

Demo toteutettiin onnistuneesti UE 4 -pelimoottoria hyödyntäen, ja sitä voitaisiin vielä jatkokehittää tekemällä erilaisia parannuksia. Objektien kiinniottamisesta voi tehdä monia erilaisia versioita, ja mahdollisesti parantaa nykyistä logiikkaa vielä entisestään. Myös järjestelmän käyttöönottaminen olemassa olevaan projektiin saatiin toteutettua, ja nyt järjestelmän suunnittelua valmiiseen asiakasprojektiin on mahdollista toteuttaa helpommin valmiilla käyttöönotto-ohjeilla.

Lähteet

- 1 Clever Simulation Entertainment <https://cse.fi/>. Accessed Apr 12, 2018.
- 2 Strickland Jonathan. How Virtual Reality Works. 2007; Available at: <https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/virtual-reality.htm>. Accessed Mar 2, 2018.
- 3 Mullis Alex. How does virtual reality work?; Available at: <https://www.androidauthority.com/virtual-reality-work-702049/>. Accessed Mar 19, 2018.
- 4 The Ultimate Virtual Reality Technology Guide. Available at: <http://www.realitytechnologies.com/virtual-reality>. Accessed Mar 19, 2018.
- 5 Samuels CA. Braille Makes a Comeback. Education Week 2008;27(43):27-29.
- 6 Haptics Lets Computer Users "Feel". USA Today Magazine 2003;131(2697):7.
- 7 William Harris. How Haptic Technology Works. 2008; Available at: <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/haptic-technology.htm>. Accessed Feb 23, 2018.
- 8 Prof. Robert J. Stone Scientific Director MUSE Virtual Presence Chester House. Haptic Feedback: A Potted History, From Telepresence to Virtual Reality.
- 9 Jones LA. Perspectives on the Evolution of Tactile, Haptic, and Thermal Displays. Presence: Teleoperators & Virtual Environments 2016;25(3):247-252.
- 10 McClell C. Intro to Haptic Technology. 2017 Nov 13; Available at: <https://www.iotforall.com/intro-to-haptic-technology-tachammer-haptic-actuator/>. Accessed Feb 23, 2018.
- 11 Introduction to haptic feedback. Available at: <https://www.precisionmicrodrives.com/haptic-feedback/introduction-to-haptic-feedback>. Accessed Mar 25, 2018.
- 12 Vibration Motors; Available at: <https://www.precisionmicrodrives.com/vibration-motors>. Accessed Mar 25, 2018.

- 13 Linear Resonant Actuators – LRAS; Available at: <https://www.precisionmicro-drives.com/vibration-motors/linear-resonant-actuators-lras>. Accessed Mar 25, 2018.
- 14 Ashley McKinnon. How Things Work: Force Feedback. 2016; Available at: <https://www.pcpowerplay.com.au/feature/how-things-work-force-feedback,433569>. Accessed Feb 16, 2018.
- 15 Towell J. The best racing wheels. Available at: <https://www.gamesradar.com/best-racing-wheel/>. Accessed Mar 28, 2018.
- 16 Mangi P. Losing touch. Professional Engineering 2016;29(11):32-34.
- 17 WONG B. Ultrasonics Brings Haptics to Augmented and Virtual Reality. Electronic Design 2016;64(12):48.
- 18 H. Mohellebi, A. Kheddar, S. Espie. Adaptive Haptic Feedback Steering Wheel for Driving Simulators. IEEE Transactions on Vehicular Technology 2009;58(4):1654-1666.
- 19 Strickland Jonathan. How Virtual Reality Military Applications Work. 2007; Available at: <https://science.howstuffworks.com/virtual-military.htm>. Accessed Feb 23, 2018.
- 20 Sgt. April Campbell. 82nd CAB pilots hone skills in helicopter simulators. 2013; Available at: https://www.army.mil/article/94296/82nd_cab_pilots_hone_skills_in_helicopter_simulators. Accessed Feb 23, 2018.
- 21 Stiffness control of pneumatic actuators to simulate human tissues behavior on medical haptic simulators. 2016 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM); 2016.
- 22 Haptics in Medical Simulation – Some Best Use Cases. 2012; Available at: <https://medicalsimulation.training/technology/medical-simulation-some-best-use-cases/>. Accessed Feb 28, 2018.
- 23 Life N. Feature: Taking a Look Back at the Nintendo 64 Rumble Pak. 2013; Available at: http://www.nintendolife.com/news/2013/07/feature_taking_a_look_back_at_the_nintendo_64_rumble_pak. Accessed Feb 14, 2018.

- 24 Fitzsimmons M. DualShock 4 controller review. 2013; Available at: <https://www.techradar.com/reviews/gaming/games-consoles/controllers/dualshock-4-controller-1157615/review>. Accessed Mar 27, 2018.
- 25 Lynch G. Sony PS4 (Slim) review. 2017; Available at: <https://www.techradar.com/reviews/gaming/games-consoles/sony-ps4-1202432/review/2>. Accessed Mar 27, 2018.
- 26 Pino N. Valve Steam Controller review. 2015; Available at: <https://www.techradar.com/reviews/gaming/games-consoles/controllers/valve-steam-controller-1212868/review>. Accessed Mar 27, 2018.
- 27 Balladares A. Understanding Haptics for VR. 2017; Available at: <https://virtualrealitypop.com/understanding-haptics-for-vr-2844ed2a1b2f>. Accessed Feb 25, 2018.
- 28 Teslasuit - full body haptic suit. Available at: <https://teslasuit.io/>. Accessed Mar 17, 2018.
- 29 Pot J. The Teslasuit simulates full-body touch in VR by zapping your nerves. 2018; Available at: <https://www.digitaltrends.com/virtual-reality/teslasuit-full-body-haptic-feedback/>. Accessed Feb 25, 2018.
- 30 Rebecca Hills-Duty. Virtual Worlds Become Real With Teslasuit at CES 2018. 2018; Available at: <https://www.vrfocus.com/2018/01/virtual-worlds-become-real-with-teslasuit-at-ces-2018/>. Accessed Feb 25, 2018.
- 31 NeuroDigital Technologies. Available at: <https://www.neurodigital.es/>. Accessed Feb 17, 2018.
- 32 Avatar VR. Available at: <https://www.neurodigital.es/avatarvr/>. Accessed Feb 17, 2018.
- 33 Steve Dent. What you need to know about 3D motion capture. 2014; Available at: <https://www.engadget.com/2014/07/14/motion-capture-explainer/>. Accessed Feb 17, 2018.
- 34 Why do I need 9-axis inertial motion sensor? Available at: <http://emotiv.zendesk.com/hc/en-us/articles/201390999-Why-do-I-need-9-axis-inertial-motion-sensor->. Accessed Feb 21, 2018.

- 35 Avatar VR Documentation. Available at: <https://www.neurodigital.es/dossiers/ProductsDossierAvatarVR.pdf>. Accessed Feb 21, 2018.
- 36 Manus VR. Available at: <https://manus-vr.com/>. Accessed Mar 17, 2018.
- 37 Manus VR datasheet. Available at: <https://manus-vr.com/pdf/datasheet-manusvr.pdf>. Accessed Mar 17, 2018.
- 38 VIVE™ | VIVE Tracker For Developers. Available at: <https://developer.vive.com/us/vive-tracker-for-developer/>. Accessed Apr 10, 2018.
- 39 0.2 Manus VR Test and Calibration Tool Manual. Accessed Apr 10, 2018.
- 40 Unreal Engine 4 Features. Available at: <https://www.unrealengine.com/en-US/features>. Accessed Apr 8, 2018.
- 41 0.4.0 Manus VR Unreal Engine Plugin Manual. Accessed Apr 8, 2018.