



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sakari Pollari

Virtuaalitodellisuuslaitteiston paikannusjärjestelmän data-analyysi Unity-ohjelmistolla

Opinnäytetyö

Kevät 2021

SeAMK Tekniikka

Tietotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Tietotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Ohjelmistotekniikka

Tekijä: Sakari Pollari

Työn nimi: Virtuaalitodellisuuslaitteiston paikannusjärjestelmän data-analyysi Unity-ohjelmistolla

Ohjaaja: Petteri Mäkelä

Vuosi: 2021

Sivumäärä: 25

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella ja kehittää sovellus, jonka avulla voidaan analysoida virtuaalitodellisuuslaitteiston paikannusjärjestelmän toimintaa. Sovelluksen tarkoitus on piirtää viiva virtuaalimaailmaan, joka näyttää käyttäjän käden tekemän liikkeen. Sovellus myös määrittää liikkeen aikana saavutetun maksiminopeuden.

Aluksi työssä käytiin läpi, miksi paikannusjärjestelmät ovat kriittinen osa virtuaalitodellisuusjärjestelmän toiminnallisuutta. Sitten vertailtiin tällä hetkellä saatavilla olevia paikannusjärjestelmiä keskenään. Tämän jälkeen kehitettiin sovellus Unity-kehitysympäristössä, jossa käyttäjän käden liikettä kuvataan mahdollisimman tarkasti ja selkeästi.

Sovelluksen testauksessa saadut tulokset osoittivat, että Valve Indexin paikannusjärjestelmän tarkkuus säilyy hyvänä liikkeissä, joiden maksiminopeus pysyy alle 8 metriä sekunnissa. Liikkeissä, joiden nopeus ylittää 8 metriä sekunnissa, paikannusjärjestelmä alkoi näyttää paikkainformaation virheellisesti.

¹ Asiasanat: virtuaalitodellisuus , paikannus, paikka, nopeus, Unity, ohjelmointi, Valve Index, Lighthouse, SteamVR

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Software Engineering

Author: Sakari Pollari

Title of thesis: Data Analysis of a Virtual Reality Tracking System Using Unity

Supervisor: Petteri Mäkelä

Year: 2021

Number of pages: 25

The objective of the thesis was to design and develop an application that visualizes the movements of the user's hand with the help of a virtual reality tracking system. The application draws a line in virtual reality, which represents the path that the user's hand has made. It also records the maximum velocity during the movement.

First, it was studied why tracking is a critical part of the functionality of a virtual reality system. Then various virtual reality tracking systems that are currently available for consumers were compared. Finally, the application was developed to analyze the tracking system of the Valve Index VR set.

When testing the application, it was found out that the tracking system of Valve Index gives accurate positional information when the movement of the controller is under eight meters per second. In movements where the speed exceeded eight meters per second, the tracking system began showing incorrect positional information.

¹ Keywords: virtual reality, tracking, motion sensor, controller, velocity, position, Unity, programming, Valve Index, Lighthouse, SteamVR.

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	3
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	5
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite	8
1.3 Työn rakenne	9
2 Virtuaalitodellisuus	10
2.1 Virtuaalitodellisuus yleisesti.....	10
2.2 Käyttö viihdeteollisuudessa	10
2.3 Virtuaalitodellisuus teollisuudessa	11
2.4 Virtuaalitodellisuuden laitteet.....	13
2.4.1 Näyttölaite.....	13
2.4.2 Käsiohjaimet	14
3 Paikannusjärjestelmät ja laitteet	16
3.1 Inertiamittausyksikkö	16
3.1.1 Gyroskooppi.....	16
3.1.2 IMU paikannuksessa.....	16
3.2 Lighthouse-järjestelmä	17
3.3 Oculus Quest paikannus	18
4 Sovelluksen toteutus	19
4.1 Sovelluksen rakenne	19
4.2 Paikannusdatan lukeminen ohjaimesta	20
4.3 Viivan piirtäminen.....	21
4.4 Sovelluksen testaus	22

5 Yhteenveto ja tulokset	25
LÄHTEET	26

Kuva, kuvio ja taulukkoluetelo

Kuva 1. VR-lasejen määrä Steam-palvelussa (Lang 2021).	11
Kuva 2. Jaguar Land Rover kehitystä virtuaalitodellisuudessa (Thompson 2020).	12
Kuva 3. Kirurgi käy läpi tulevaa operaatiota virtuaalitodellisuudessa (Thompson 2020)....	12
Kuva 4. Valve Index -näyttölaite (Valve Corporation 2021).....	14
Kuva 5. Valve Index -käsihjaimet (Robertson 2019).	15
Kuva 6. Lighthouse-paikannusjärjestelmä (apcaglobal.com 2020).	17
Kuva 7. Oculus Insight -paikannus (Craig 2019).....	18
Kuva 8. XR Rig -toiminnon lisääminen hierarkiaan	19
Kuva 9. Hierarkian lopullinen rakenne	20
Kuva 10. Sovelluksen koodin alku	21
Kuva 11. Muuttujien tallennus.....	21
Kuva 12. Viivan piirtämisen koodi	22
Kuva 13. Piirtämisen lopetus ja maksiminopeuden tulostus	22
Kuva 15. Testisession maksiminopeudet.....	24

Käytetyt termit ja lyhenteet

Gyroskooppi	Gyroskooppi on laite, joka mittaa kappaleen kulmakiihtyvyyttä.
HMD/päähine	HMD eli Head mounted display. VR-laitteissa käytettävä päähän puettava näyttölaite, joka näyttää käyttäjälle virtuaalisen maailman.
IMU	Inertiamittauslaite, Inertial Measurement Unit. Laite, jonka avulla voidaan määrittää liikkeen kiihtyvyyksiä ja momentin kulmakiihtyvyyksiä. IMU koostuu gyroskoopista, kiihtyvyysanturista ja joskus myös magnetometristä.
Kiihtyvyysanturi	Kiihtyvyysanturi on laite, joka mittaa kappaleen itseiskiihtyvyyttä.
Lighthouse	Valve Indexin mukana tuleva paikannusjärjestelmä, joka sisältää kaksi laserlähetintä, joiden avulla paikannus toimii.
Magnetometri	Magnetometri on laite, jolla mitataan magneettikentän voimakkuutta tai magneettivuon tiheyttä.
Pelialue	Alue, jonka sisällä VR-laitteiden sijainti ja asento voidaan määrittää paikannusjärjestelmän avulla.
Skripti	Komentosarja, lyhyt tietokoneohjelma, joka sisältää komentoja ja muuttujia.
Unity	Pelikehitysympäristö, jolla voidaan tuottaa 2D-, 3D- ja VR-sovelluksia.
Valve Index	Valve Softwaren kehittämä virtuaalitodellisuuslaitteisto, johon kuuluu päähän puettava näyttölaite, kaksi käsiohjainta ja kaksi paikannusyksikköä.
Vapausaste	Degrees of Freedom. Vapausasteita käytetään määrittämään sitä, kuinka montaa liikkumis- tai kiertymisakselia tarkastellaan. Kolme vapausastetta tarkastelee vain kiertymistä tai liikettä, kun taas kuusi vapausastetta tarkastelee kiertymistä ja liikettä.

VR Virtual reality eli virtuaalitodellisuus.

3D 3D tarkoittaa kolmea ulottuvuutta: pituus, leveys ja korkeus.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Virtuaalitodellisuuden toiminnallisuus perustuu paikannukseen. Jotta illuusio virtuaalisesta maailmasta voidaan toteuttaa, vähintään käyttäjän pään liikettä tulee voida seurata hyvin tarkasti, koska tämän tiedon avulla virtuaalinen maailma voidaan näyttää käyttäjälle realistisesti.

Paikannus toteutetaan käyttäen inertiamittauslaitteita, magnetismia, kameroita tai laseria. Paras tulos saavutetaan, kun käytetään useampaa kuin yhtä tekniikkaa. Tässä työssä tarkastellaan Valve Index -virtuaalilaitteiston paikannusjärjestelmiä, jotka perustuvat inertiamittauslaitteisiin ja laseriin.

Virtuaalitodellisuuden laitteistossa suurin kehitys lähivuosina on tapahtunut pääosin näyttölaitteiden ja käsiohjainten alueella. Paikannusjärjestelmät ovat pysyneet lähtökohtaisesti samana. Valve Indexin käyttämä laserpohjainen järjestelmä on uusin paikannustekniikka. Sen on kehittänyt Valve Corporation.

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää sovellus, jolla voidaan analysoida virtuaalitodellisuuslaitteiden paikannusjärjestelmien toiminnallisuutta.

Sovelluksen tarkoitus on rakentaa virtuaalinen kuvaaja käyttäjän käden liikkeestä käyttäen viivoja. Kuvaajan avulla voidaan analysoida laitteiston paikannusjärjestelmän nopeutta ja tarkkuutta visuaalisesti.

Sovelluksen avulla voidaan määrittää paikannusjärjestelmän nopeus ja tarkkuus visuaalisesti ja myös lukuarvoja tarkkailemalla. Sillä voidaan myös havaita järjestelmässä tapahtuvia mahdollisia epävakauksia tai virhemittauksia.

1.3 Työn rakenne

Luvussa 2 käydään läpi virtuaalitodellisuutta yleisesti ja tarkastellaan virtuaalitodellisuuden eri laitteita. Luvussa 3 kerrotaan tarkemmin paikannuksesta ja mitä laitteita siihen tarvitaan. Luvussa 4 selvennetään sovelluksen toteutuksen vaiheet ja se millaisia tuloksia sillä voidaan saada. Luvussa 5 pohditaan saatuja tuloksia ja sitä, kuinka sovellusta voisi parantaa.

2 Virtuaalitodellisuus

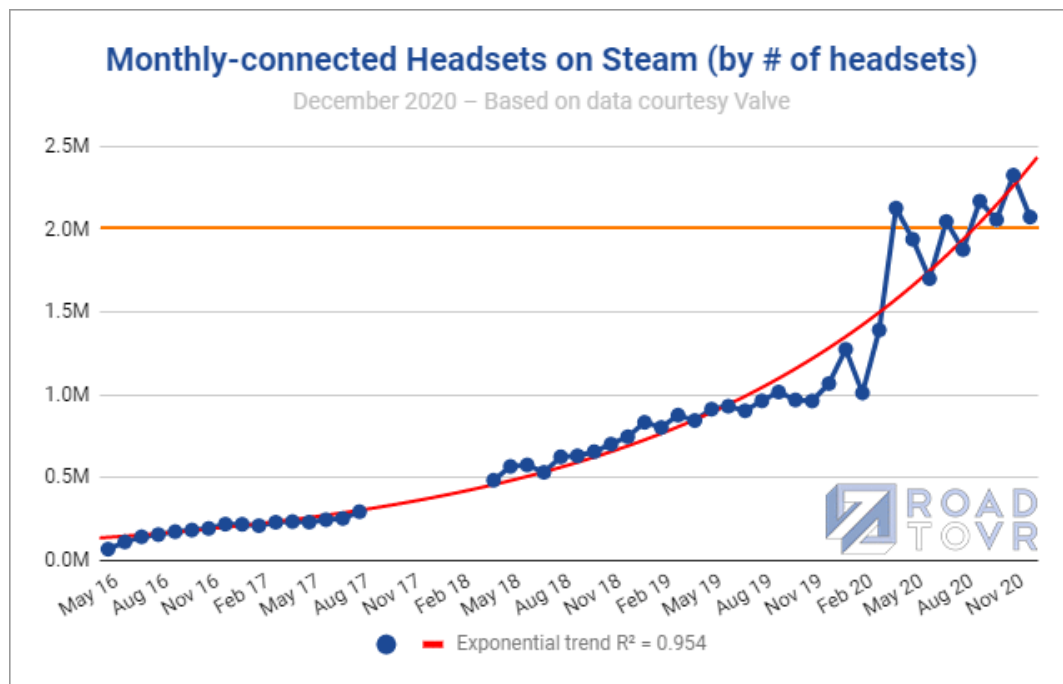
2.1 Virtuaalitodellisuus yleisesti

Virtuaalitodellisuus (VR) tarkoittaa tietokoneavusteisesti tuotettua kokemusta, jossa käyttäjälle näytetään simuloitu maailma päähän puetun näyttölaitteen avulla. Käyttäjä voi myös olla vuorovaikutuksessa virtuaalisen maailman kanssa. Käyttäjä voi vapaasti katsella ympärilleen virtuaalisessa maailmassa. Myös käyttäjän liike rajatussa tilassa on mahdollista, jolloin käyttäjä voi kävellä virtuaalisessa maailmassa ja tarkastella sitä eri suunnista (Lowood 2020.)

Käyttäjällä on myös käsissään ohjaimet, jotka simuloivat virtuaalisessa maailmassa käyttäjän käsiä. Näiden virtuaalisten käsien avulla käyttäjä voi suorittaa erilaisia toimintoja, kuten tarttua esineisiin, painaa painikkeita tai käyttää työkaluja. Ohjaimissa voi olla myös värinämoottori, jonka avulla käyttäjälle voidaan antaa tuntopalautetta.

2.2 Käyttö viihdeteollisuudessa

Virtuaalitodellisuus on suosittua viihdekäytössä, sillä uusia VR-pelejä tulee jatkuvasti lisää. Myös VR-laitteiden kehitys jatkuu ja uusia laitteita julkaistaan vuosittain. Kuvasta 1 näkyy, kuinka VR-käyttäjien määrä on kiihtynyt viime vuosina Steam-alustalla. Ensimmäisen kerran VR-käyttäjien lukumäärä ylitti 2 miljoonan rajan huhtikuussa 2020 (Lang 2021). Kuvassa 1 näkyy VR-käyttäjien lukumäärä vuodesta 2016 lähtien Steam-palvelussa.



Kuva 1. VR-lasejen määrä Steam-palvelussa (Lang 2021).

2.3 Virtuaalitodellisuus teollisuudessa

Teollisuudessa ja tutkimuksessa virtuaalitodellisuus on myös hyödyllistä ja mahdollistaa uusia tapoja käsitellä, tutkia ja visualisoida teknisiä malleja. Virtuaalitodellisuus soveltuu hyvin myös monien teknisten toimenpiteiden harjoitteluun. (Thompson 2020.)

Autoteollisuudessa virtuaalitodellisuus mahdollistaa ajoneuvojen rakenteen ja muodon testaamista ja tarkastelua virtuaalisesti ennen oikean fyysisen prototyypin valmistamista. Autovalmistajat kuten BMW ja Jaguar Land Roverin käyttävät jo virtuaalitodellisuutta suunnittelussa, kuten kuvassa 2. (Thompson 2020.)



Kuva 2. Jaguar Land Rover kehitystä virtuaalitodellisuudessa (Thompson 2020).

Terveystieteissä virtuaalitodellisuuden avulla kirurgit voivat käydä läpi toimenpiteitä virtuaalisesti ennen oikean leikkauksen suorittamista. Virtuaalitodellisuutta on myös käytetty kivunlievitykseen palovammoista kärsiville. (Thompson 2020.)



Kuva 3. Kirurgi käy läpi tulevaa operaatiota virtuaalitodellisuudessa (Thompson 2020).

Virtuaalitodellisuus on myös alkanut muuttaa sitä, kuinka arkkitehdit suunnittelevat ja työskentelevät. Virtuaalitodellisuus mahdollistaa sen, että käyttäjä voi kokea miltä tilassa

tuntuu olla ennen kuin sitä on edes tehty. Kodinomistaja voi kokeilla eri järjestelyitä nopeasti virtuaalisesti, mikä säästää rahaa ja aikaa. Arkkitehdit ovat käyttäneet 3D-malleja vuosia, mutta virtuaalitodellisuus mahdollistaa tilan ymmärtämisen ja tutkimisen entistä syvemmillä tasolla. (Thompson 2020.)

2.4 Virtuaalitodellisuuden laitteet

Virtuaalitodellisuuden laitteet pitävät sisällään päähän puettavan näyttölaitteen ja usein myös käsiohjaimet. Päähineitä on useita erilaisia, mutta käytännössä kaikkien toimintaperiaate on sama. Päähineessä on näytöt käyttäjän molemmille silmille, mahdollisesti kuulokkeet ääntä varten. Päähineen liikettä seurataan paikannusjärjestelmällä, joka toimii kameroilla tai laserilla.

Käsiohjaimia on myös monenlaisia ja ne eroavat merkittävästi vain muodossa ja siinä, kuinka monta erilaista painiketta niissä on. Myös käsiohjainten liikettä seurataan paikannusjärjestelmän avulla.

2.4.1 Näyttölaite

Keskeisin osa virtuaalitodellisuusjärjestelmää on päähän puettava näyttölaite. Näyttölaite sisältää erillisen näytön molemmille silmille, jolloin käyttäjä saa aidosti kolmiulotteisen näkymän virtuaalisesta maailmasta. Näyttöjen edessä on linssi molemmille silmille, jotka tarkentavat käyttäjän katseen näyttöön. Kuvassa 4 on Valve Index -näyttölaite. (Robertson 2021.)



Kuva 4. Valve Index -näyttölaite (Valve Corporation 2021).

Päähineissä on myös kuulokkeet, joiden avulla käyttäjä kuulee virtuaalisen maailman äänet kuin oikeassa maailmassa. Kun käyttäjä kääntää päätään, äänen suunta muuttuu kuulokkeiden stereotasapainossa ja kuuluu sieltä suunnasta, missä äänen lähde sijaitsee virtuaalisessa maailmassa. (Valve Corporation 2021).

Näyttölaitteesta menee tavanomaisesti johto tietokoneen näyttöohjaimen, mutta myös langattomia järjestelmiä on saatavilla.

2.4.2 Käsiohjaimet

Käsiohjaimet mahdollistavat vuorovaikutuksen virtuaalisen maailman kanssa. Ohjaimet simuloivat käyttäjän käsiä ja niiden avulla voi tarttua esineisiin, käyttää työkaluja tai painaa nappeja virtuaalisessa maailmassa. (Valve Corporation 2021.) Kuvassa 5 on Valve Index -käsiohjaimet.



Kuva 5. Valve Index -käsiohjaimet (Robertson 2019).

Valve Index -käsiohjaimet ovat tämän hetken kehittyneimmät kaupalliset virtuaalitodellisuusohjaimet. Käsiohjainten monet anturit mahdollistavat käyttäjän käsien luonnollisen toiminnan. Ohjain tunnistaa käyttäjän sormien asennon, joka mahdollistaa luonnollisen esineiden käsittelyn. Kun käyttäjä avaa kätensä, käyttäjän kämmenselän ympäri kiinnittyvät hihnat saavat ohjaimen pysymään käyttäjän kädessä. (Robertson 2019.)

3 Paikannusjärjestelmät ja laitteet

Paikannus on kriittinen osa VR-laitteiden toiminnallisuutta. Jotta käyttäjä voi katsella ympärilleen tai liikkua virtuaalisessa maailmassa, täytyy hänen liikkeitään pystyä seuraamaan hyvin tarkasti ja nopeasti. Paikannusjärjestelmää, joka tarkastelee ainoastaan käyttäjän pään ja käden kiertymistä eri suuntiin, kutsutaan kolmen vapausasteen järjestelmäksi. Jos kiertymän lisäksi tarkastellaan myös vaakasuuntaista liikettä kaikkiin suuntiin, on kyseessä kuuden vapausasteen järjestelmä. (Mechatech 2021.)

Kolmen vapausasteen paikannus vaatii vähintään kolmen akselin inertiamittayksikön (inertial measurement unit, IMU) sisältävän päähän puettavan näyttölaitteen. IMU mahdollistaa käyttäjän pään asennon määrittämisen, jonka avulla virtuaalinen maailma voidaan pitää käyttäjän näkökulmasta paikallaan, jolloin käyttäjä voi luontevasti katsella ympärilleen. (Mechatech 2021.)

3.1 Inertiamittausyksikkö

Inertiamittausyksikkö (Inertial measurement unit, eli IMU) on laite, joka mittaa kappaleen kiihtyvyyden ja kulmanopeuden. IMU sisältää kolmen vapausasteen kiihtyvyyssanturin ja kolmen vapausasteen gyroskoopin. Jotkin IMU:t sisältävät myös magnetometrin, jota käytetään usein ilmansuunnan määrittämiseen esimerkiksi lentokoneissa. (Passaro ym. 2017.)

3.1.1 Gyroskooppi

Gyroskooppi on laite, joka mittaa kappaleen kulmakiihtyvyyttä. Modernit gyroskoopit ovat joko optisia tai laserilla toimivia. Gyroskoopin toiminta perustuu Sagnac-efektiin. (Passaro ym. 2017.)

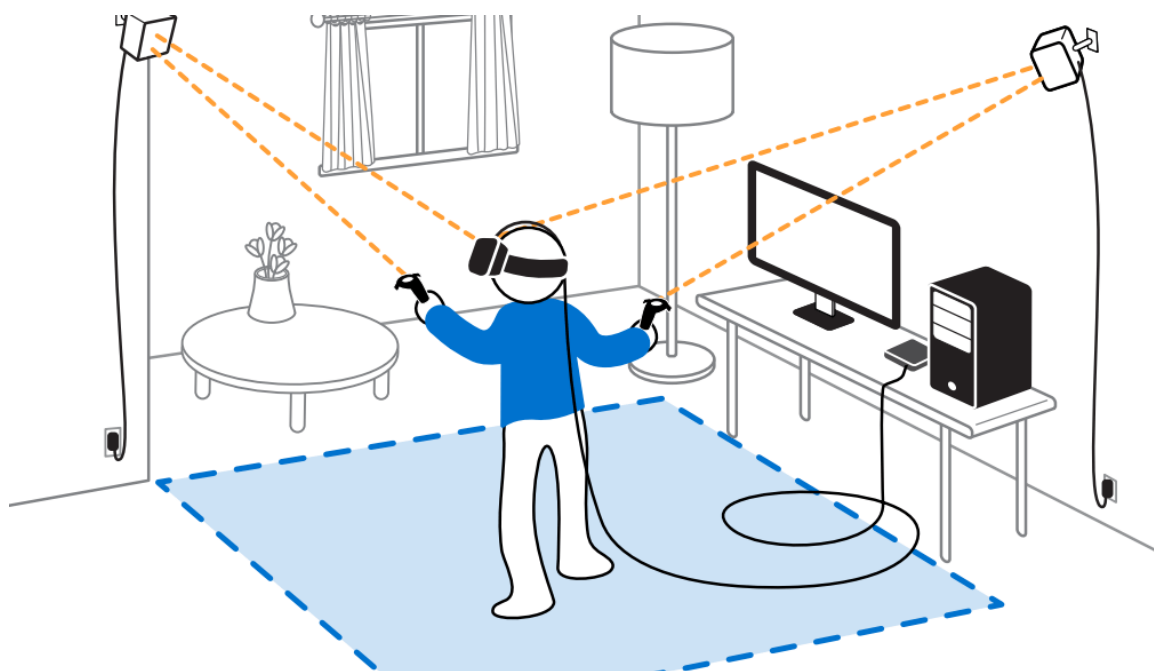
3.1.2 IMU paikannuksessa

Kädessä pidettävää ohjainta voidaan käyttää myös pelkästään IMU:n avulla. Näin käyttäjän kädessä pitämä ohjain toimii käytännössä kuten laserosoitin, jolla käyttäjä voi osoittaa

haluamaansa suuntaan, esimerkiksi osoittamaan VR-maailmassa sijaitsevaan kohteeseen. Kuuden vapausasteen järjestelmä pelkän IMU:n avulla on ongelmallista, koska IMU:n paikannus ei toimi täydellisesti, vaan siinä tapahtuu vääristymää. Jos halutaan määrittää käyttäjän pään tai käsien asento ja sijainti täydellisesti, tarvitaan kuuden vapausasteen järjestelmä. (Mechatech 2021.) Tässä opinnäytetyössä käytetään Valve Index -järjestelmää, joka yhdistää IMU:n ja Lighthouse 2.0 -laserpaikannusjärjestelmän.

3.2 Lighthouse-järjestelmä

Valve Indexin käyttämä Lighthouse 2.0 -järjestelmä sisältää vähintään kaksi pelialueen reunoille asetettavaa laserlähettintä. Laite lähettää laservaloa, jonka päähine ja ohjaimet havaitsevat niissä olevilla lukuisilla tunnistimilla. Tunnistimet havaitsevat millä hetkellä lasersäde osuu niihin, tämän avulla voidaan määrittää laitteen asento ja sijainti pelialueella. (Valve Corporation 2021.) Kuvassa 6 on yksinkertainen esimerkki järjestelmän rakenteesta.



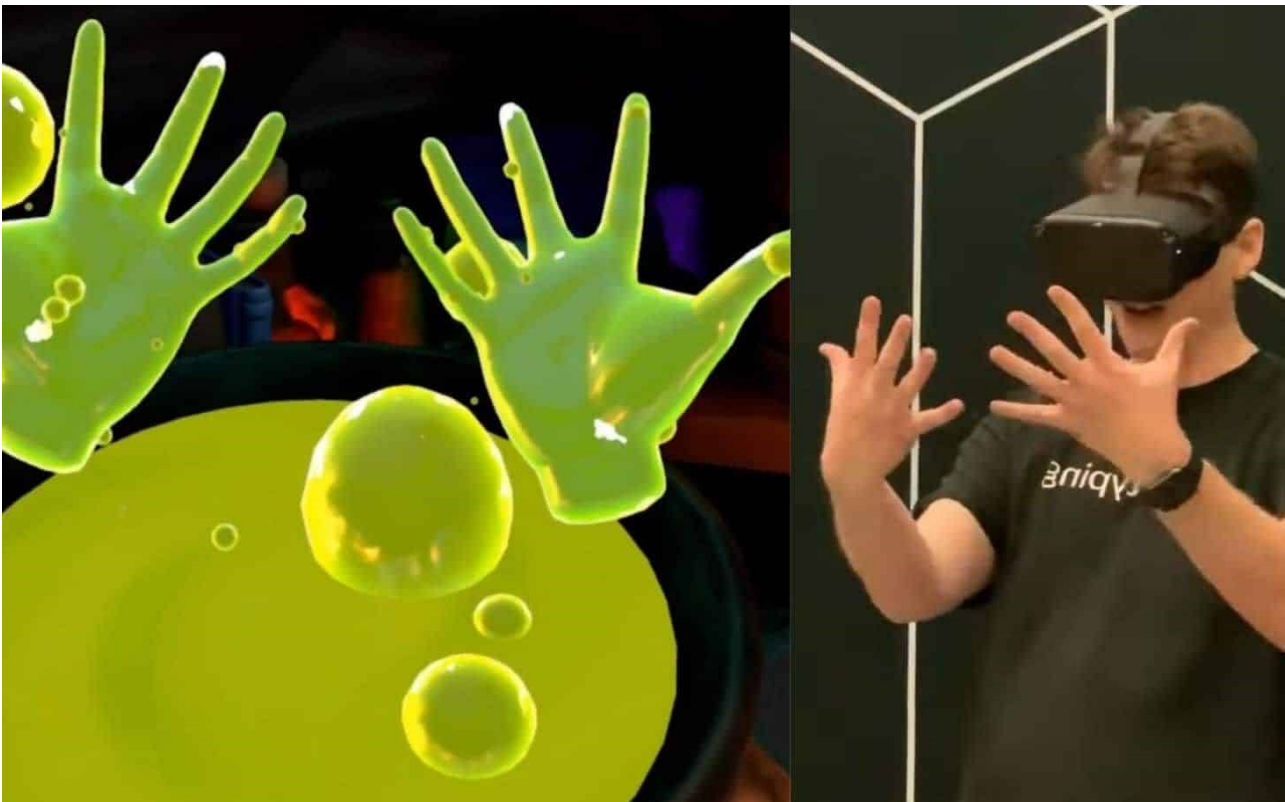
Kuva 6. Lighthouse-paikannusjärjestelmä (apcaglobal.com 2020).

Tämä järjestelmä on luotettava, koska lähettimet ovat pelialueen vastakkaisissa nurkissa. Jos käyttäjä peittää näköyhteyden ohjaimen ja toisen lähettimen väliltä, jää toinen lähetin yleensä näkyviin. Tämän järjestelmän heikkous on se, että vähintään toisen lähettimen on

koko ajan nähtävä laitteet, jotta paikannus voi toimia. Tätä järjestelmää kutsutaan ”outside-in” eli ulkoa sisäänpäin toimivaksi järjestelmäksi. (Valve Corporation 2021)

3.3 Oculus Quest paikannus

Oculus Quest -laite käyttää järjestelmää, jossa laitteessa olevat kamerat tarkastelevat ulkopuolista ympäristöä ja määrittävät kiintopisteitä siitä. Kiintopisteiden liikettä seuraamalla laite pystyy paikantaa sijaintinsa pelialueella. Laite paikantaa kameroiden avulla myös pelaajan käsiohjaimet, joten ulkopuolisia laitteita ei tarvita. Tämä järjestelmä mahdollistaa vapaamman liikkumisen, mutta esimerkiksi selän takana pidettävää ohjainta ei voida paikantaa, koska HMD:n kamerat eivät näe sitä. Tätä järjestelmää kutsutaan ”inside-out”, eli sisältä ulospäin toimivaksi järjestelmäksi. (Craig 2019.)



Kuva 7. Oculus Insight -paikannus (Craig 2019).

4 Sovelluksen toteutus

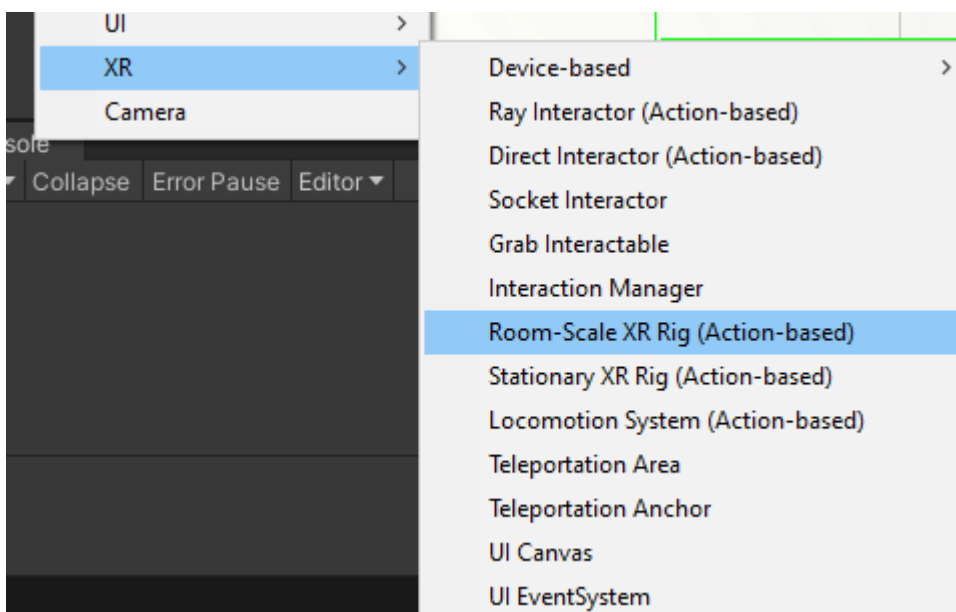
VR-paikannuslaitteiden toiminnan analysointia varten kehitettiin sovellus Unity-pelimoottorilla. Sovellus lukee paikannusjärjestelmän tuottamaa dataa ohjaimen liikkeestä ja visualisoi luetun datan käyttäjälle.

Kun käyttäjä painaa ohjaimen liipaisimen pohjaan, sovellus alkaa seurata käsiohjaimen sijaintia ja piirtää viivan osoittamaan ohjaimen kulkeman reitin painalluksen aikana. Kun liipaisimen painallus lopetetaan, viivan piirtäminen lakkaa ja sovellus tulostaa piirtämisen aikana saavutetun maksiminopeuden. Sovellus tallentaa ohjaimen sijainnin noin 144 kertaa sekunnissa.

4.1 Sovelluksen rakenne

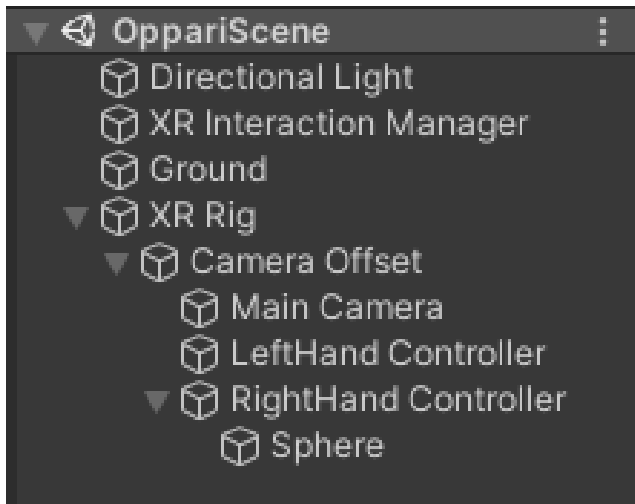
VR-toiminnallisuuden saamiseksi sovellukseen lisätään Unityn Package Managerista paketit OpenXR Plugin ja XR Interaction Toolkit. Nämä mahdollistavat valmiiden VR-toiminnallisuuksien käyttämisen helposti.

Seuraavaksi sovelluksen hierarkiaan lisätään Room-Scale XR Rig, joka löytyy oikean hiiren napin valikosta (kuva 8).



Kuva 8. XR Rig -toiminnon lisääminen hierarkiaan

Room-Scale XR Rig lisää hierarkiaan XR Rig -objektin, joka sisältää objektit kameralle ja kahdelle ohjaimelle. Oikean käden ohjaimeen lisätään yksinkertainen pallo, jotta ohjaimen sijainti voidaan nähdä sovellusta käytettäessä. Maataso lisätään plane-objektina ja annetaan sille nimeksi Ground. Kuvassa 9 näkyy hierarkian lopullinen rakenne.



Kuva 9. Hierarkian lopullinen rakenne

4.2 Paikannusdatan lukeminen ohjaimesta

Ohjaimen sijainnista kerätään x-, y- ja z-koordinaatit 144 kertaa sekunnissa, näistä tallennetaan kolmiulotteinen vektori. Kuvassa 10 näkyy sovelluksen alustus. Sijainnin keräämiseen käytetään UnityEngine.InputSystem-kirjastoa. Kirjastosta löytyvä InputActionProperty mahdollistaa paikkatiedon lukemisen koodissa. Paikalle ja nopeudelle määritetään omat muuttujat, positionProperty ja velocityProperty. Myös triggerValue-muuttuja määritetään, jotta voidaan seurata liipaisimen painallusta. Sitten alustetaan kolmiulotteiset vektorit muuttujille, jotta niitä on helpompi käsitellä.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.InputSystem;

public class Tracking : MonoBehaviour
{
    public InputActionProperty positionProperty;
    public InputActionProperty velocityProperty;
    public InputActionProperty triggerValue;

    public Vector3 Position { get; private set; } = Vector3.zero;
    public Vector3 Velocity { get; private set; } = Vector3.zero;
    public float Trigger { get; private set; } = 0f;
}

```

Kuva 10. Sovelluksen koodin alku

Kuten kuvassa 11 näkyy, paikkatiedot ja nopeustiedot luetaan ohjaimesta Update()-funktion sisällä ja tiedot lisätään Vector3-muuttujiin Position ja Velocity. Myös Trigger-muuttujaan luetaan arvo liipaisimen asennosta.

```

private void Update()
{
    // Tallennetaan arvot muuttujiin liipaisimelle, paikalle ja nopeudelle.
    Trigger = triggerValue.action.ReadValue<float>();
    Position = positionProperty.action.ReadValue<Vector3>();
    Velocity = velocityProperty.action.ReadValue<Vector3>();
}

```

Kuva 11. Muuttujien tallennus

4.3 Viivan piirtäminen

Viivan piirtäminen aloitetaan, kun käyttäjä painaa ohjaimen liipaisimen pohjaan. Kun piirtäminen alkaa, luodaan aluksi uusi peliobjekti nimellä newLineObject. Sille määritetään nimi "Viiva" ja lisätään objektille komponentti LineRenderer. LineRenderer-komponentti mahdollistaa viivan piirtämisen helposti vain lisäämällä koordinaattipisteitä komponenttiin.

Kun uusi Viiva-objekti on luotu, lisätään siihen viimeisin Position-koordinaatti SetPosition-funktion avulla. Lopuksi tallennetaan viivan piirtämisen aikana saavutettu maksiminopeus maxvelocity-muuttujaan. Kuvassa 12 näkyy viivan piirtämisen koodi.

```

// Kun liipaisin painetaan pohjaan, aloitetaan uuden viivan piirtäminen

if (Trigger >= 0.99f) {
    if (!drawing)
    {
        // Alustetaan uusi viiva-objekti
        GameObject newLineObject = new GameObject();
        newLineObject.name = "Viiva";
        currentLineRenderer = newLineObject.AddComponent<LineRenderer>();
        // Määritetään viivalle asetukset
        currentLineRenderer.positionCount = 0;
        currentLineRenderer.startWidth = lineWidth;
        currentLineRenderer.endWidth = lineWidth;
        currentLineRenderer.numCapVertices = lineCapVertices;
    }
    drawing = true;
    // Lisätään viimeisin paikannettu piste viivaan
    currentLineRenderer.positionCount++;
    currentLineRenderer.SetPosition(currentLineRenderer.positionCount - 1, Position);

    if (Velocity.magnitude > maxvelocity) maxvelocity = Velocity.magnitude;
}

```

Kuva 12. Viivan piirtämisen koodi

Lopuksi viimeistellään viivan piirtäminen ja tulostetaan piirtämisen aikana saavutettu ohjaimen maksiminopeus. Tämä näkyy kuvassa 13.

```

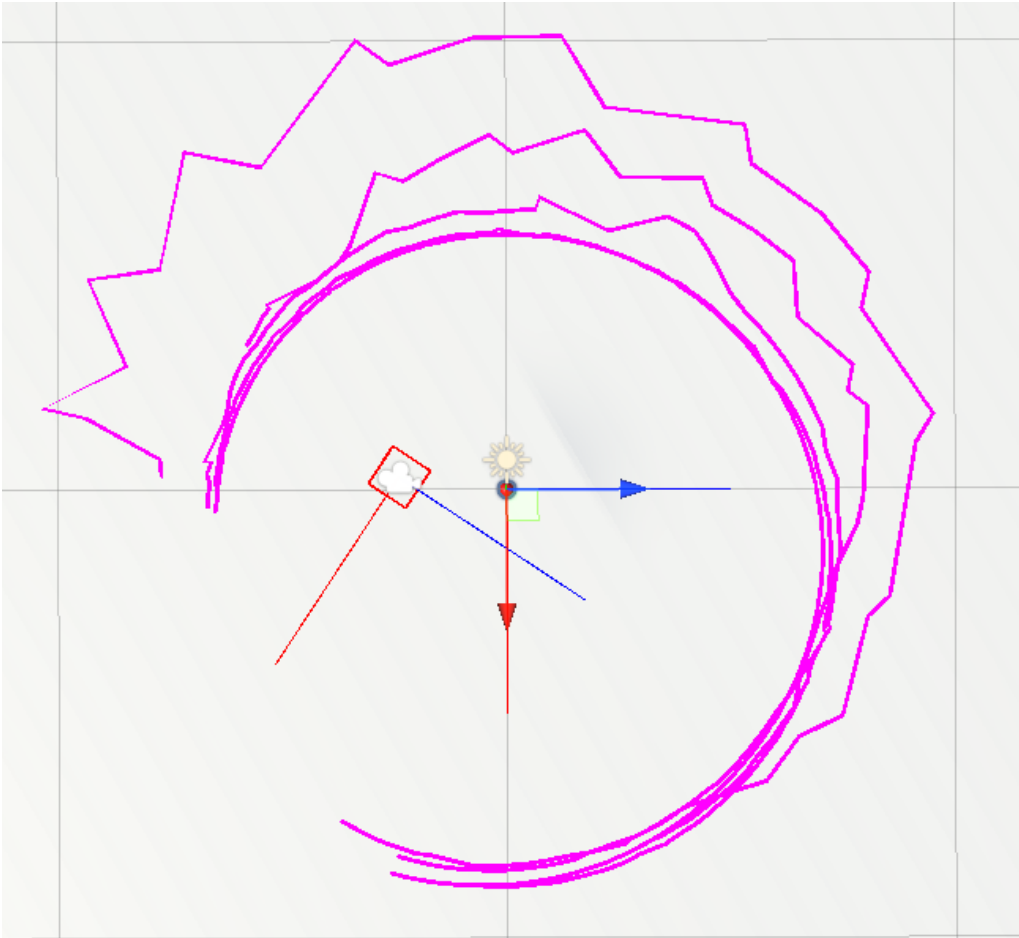
// Kun käyttäjä päästää liipaisimesta irti, lopetetaan piirtäminen
if (drawing && Trigger == 0) {
    Debug.Log("Max velocity was " + maxvelocity.ToString());
    maxvelocity = 0f;
    drawing = false;
}

```

Kuva 13. Piirtämisen lopetus ja maksiminopeuden tulostus

4.4 Sovelluksen testaus

Liikedan näyttämiseen käytetty LineRenderer-komponentti piirtää viivan käyttäen jokaista koordinaattipistettä, jonka sovellus lukee ohjaimesta. Koordinaattipisteiden lukeminen tapahtuu 144 kertaa sekunnissa. Luku 144 tulee siitä, että Valve Index -päähineen ruudunpäivitysnopeus on 144 hertsiä, jolloin Update-funktio päivittyy tällä nopeudella. Tämän rajoituksen ohittaminen on mahdollista, mutta jäi tämän työn osalta tekemättä.

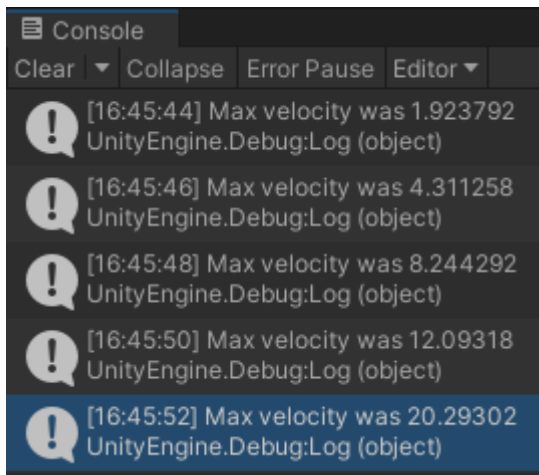


Kuva 14. Viiden viivan testisessio

Kuvassa 14 nähdään yhden testisession aikana piirretyt 5 viivaa ylhäältä tarkasteltuna. Nämä viivat piirrettiin käyttäen samaa käden liikettä, eli tasaista vaakatasossa liikkuvaa liikettä käsivarsi suorana, piirtäen ilmaan vajaan ympyrän muotoisen kuvion. Liike lähti kuvassa alhaalta ja eteni vastapäivään.

Viivojen piirtämisessä pyrittiin käyttämään asteittain kasvavaa nopeutta. Ensimmäinen viiva piirrettiin rauhallisella nopeudella, seuraava hieman nopeampaa ja viimeinen niin nopeasti kuin mahdollista. Piirtyneiden viivojen perusteella voidaan nähdä, että paikannusjärjestelmä menettää huomattavan paljon tarkkuutta nopeissa liikkeissä.

Kuvassa 15 näkyy testisessiossa tallennetut maksiminopeudet jokaiselle viivalle. Tallennetut maksiminopeudet olivat viivojen järjestyksessä 1,9 m/s, 4,3 m/s, 8,2 m/s, 12,0 m/s ja 20,2 m/s.



Kuva 15. Testisession maksiminopeudet

Nopeimmin piirretyissä viivoissa voidaan nähdä, että kuvaaja piirtyy huomattavasti etäämmälle käyttäjän kädestä kuin hitaasti piirretyissä viivoissa. Tämän perusteella voidaan olettaa, että järjestelmä tekee edellisen määritetyn nopeuden perusteella korjausarvion seuraavalle koordinaattipisteelle: jos edellisessä mittauksessa on menty kovaa vauhtia tiettyyn suuntaan, seuraava koordinaattipiste piirtyy sinne suuntaan, vaikka oikeasti ohjain ei ole siellä.

Näyttää siis siltä, että Unityn InputSystem-kirjaston `inputActionProperty`n avulla saatu positio-koordinaatti sisältää korjauslaskentaa. Tämän virheen korjaamiseksi pitäisi saada tarkempaa, raaempaa positiodataa paikannusjärjestelmästä. Myös Unityn kirjaston luoma 144 hertsin päivitysrajoitus mittauspisteiden tarkastamiselle olisi hyvä pystyä ohittamaan. Mitä enemmän laskentapisteitä saadaan yhden sekunnin aikana, sitä tarkemmin paikannus voidaan määrittää.

5 Yhteenveto ja tulokset

Työn alussa käytiin läpi virtuaalitodellisuuden eri käyttökohteet ja mitä laitteistoja toimivan VR-kokemuksen luomiseen tarvitaan. Samalla selvitettiin myös sitä, miksi paikannusjärjestelmä on oleellinen osa virtuaalitodellislaitteiston toimintaa, ja millä eri tavoilla paikannus voidaan toteuttaa. Seuraavaksi vertailtiin hieman saatavilla olevia VR-järjestelmiä keskenään.

Käytännön osuudessa suunniteltiin ja toteutettiin sovellus Unity-pelimoottorilla. Sovelluksen tarkoitus oli mahdollistaa käsiohjaimen liikkeen analysointi visuaalisesti VR-sovelluksen sisällä. Sovelluksessa käytettiin OpenXR-kirjastoa, jonka avulla saatiin tallennettua ohjaimen paikkakoordinaatit 144 kertaa sekunnissa. Paikkakoordinaattien avulla piirrettiin viiva kuvaamaan ohjaimen kulkemaa reittiä mittauksen aikana. Mittauksen aikana tallennettiin myös ohjaimen hetkellinen maksiminopeus.

Tulosten tarkastelussa huomattiin, että yli 8 metriä sekunnissa tapahtuvien liikkeiden tuottama liikedata aiheutti viivan piirtämisessä virhettä. Kaarevan liikkeen aikana viiva alkoi piirtyä kauemmas käyttäjän kädestä verrattuna hitaisiin liikkeisiin. Mitä korkeammaksi liikkeen nopeutta nostettiin, sitä suuremmaksi virhe kasvoi.

Virheiden arvioidaan johtuvan siitä, että OpenXR-kirjaston `inputActionProperty`:n tarjoama `position` arvo sisältää automaattista korjauslaskentaa, jossa nopean liikkeen tilanteessa järjestelmä arvaa seuraavan koordinaattipisteen paikan senhetkisen nopeuden perusteella.

Paras tapa kehittää sovellusta luotettavammaksi olisi löytää alemman tason dataa paikannusjärjestelmältä ja ohjaimen kiihtyvyyssantureilta. Mahdollisimman raaka data varmistaa sen, ettei dataa ole käsitelty korjaamaan virheitä äärimmäisissä tilanteissa, kuten hyvin nopeissa liikkeissä.

LÄHTEET

- Lowood, H. 2020. Virtual reality.[Verkkolähde]. Encyclopedia Britannica, 19.11.2020. [Viitattu 1.5.2021]. Saatavana: <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>.
- Lang, B. 2021. Analysis: Monthly-connected VR Headsets on Steam Pass 2 Million Milestone. [Verkkolähde]. Roadtovr.com, 15.1.2021. [Viitattu 1.5.2021]. Saatavana: <https://www.roadtovr.com/steam-survey-vr-monthly-active-user-2-million-milestone>.
- Thompson, S. 2020. VR Applications: 21 Industries already using Virtual Reality. [Verkkolähde]. Virtualspeech.com, 11.12.2020. [Viitattu 1.5.2021]. Saatavana: <https://virtualspeech.com/blog/vr-applications>.
- Passaro, V. M. N., Cuccovillo, A., Vaiani, L., De Carlo, M. & Campanella, C.E. 2017. Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective. [Verkkolähde]. The National Center for Biotechnology Information, 17.10.2017. [Viitattu 1.5.2021]. Saatavana: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5677445/>.
- Robertson, A., Bareham, J. Ei päiväystä. The ultimate VR headset buyer's guide. [Verkkolähde]. The Verge. [Viitattu 1.5.2021]. Saatavana: <https://www.theverge.com/a/best-vr-headset-oculus-rift-samsung-gear-htc-vive-virtual-reality>.
- Valve Corporation. Ei päiväystä. Valve Index. [Verkkolähde]. Valve Corporation. [Viitattu 1.5.2021]. Saatavana: <https://www.valvesoftware.com/en/index>.
- Robertson, A. 2019. The Valve Index might have the most fun VR controllers I've ever tried. [Verkkolähde]. The Verge, 2019. [Viitattu 1.5.2021]. Saatavana: <https://www.theverge.com/2019/5/28/18639084/valve-index-steamvr-headset-knuckles-controllers-preview>.
- Apcaglobal.com. 2020. Oculus Rift vs. HTC Vive: Which VR headset suits you? [Verkkolähde] Apcaglobal.com, 2020. [Viitattu 1.5.2021]. Saatavana: <https://apcaglobal.com/5961-oculus-rift-vs-htc-vive-which-vr-headset-is-right-for-you.html>.
- Craig, E. 2019. Oculus Quest Hand Tracking – A Major Breakthrough for VR. [Verkkolähde] Digital Bodies, 2019. [Viitattu 1.5.2021]. Saatavana: <https://www.digitalbodies.net/vr-news/oculus-quest-hand-tracking-a-major-breakthrough-for-vr/>.