

Ville Kuokkanen

Virtuaalitodellisuuden vaatiman tilan pienentäminen

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

30. huhtikuuta 2019

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Ville Kuokkanen

Yhteystiedot: vijukuok@student.jyu.fi

Ohjaaja: Antti-Jussi Lakanen

Työn nimi: Virtuaalitodellisuuden vaatiman tilan pienentäminen

Title in English: Reducing space requirements for virtual reality

Työ: Kandidaatintutkielma

Sivumäärä: 20+0

Tiivistelmä: Virtuaalitodellisuuslasien ja -laitteiden hinta on laskenut viime vuosina, eikä näin ollen hinta ole enää suurin ongelma niiden yleistymisessä. On kuitenkin havaittu, että yksi suurimmista haasteista VR-laitteiden yleistymisessä ovat niiden tilavaatimukset varsinkin jos virtuaalimaailmassa halutaan liikkua luontevasti kävelemällä. VR:n tilavaatimuksia voidaan pienentää vähentämällä fyysisen tilan tarvetta tai erilaisilla virtuaalimaailmassa tapahtuvilla keinoilla, kuten uudelleenohjausmenetelmillä.

Avainsanat: virtuaalitodellisuus, uudelleenohjaus, tilavaatimus

Abstract: Virtual reality head mounted displays (HMD) and other VR-devices are becoming more and more accessible to everyone and cost is no longer the biggest limiting factor for them becoming more common. It's been discovered that one of the biggest challenges in VR becoming more common are the space requirements, especially if free walking in the virtual reality world is desired. VR space requirements can be reduced by reducing the required physical space or by using virtual methods such as reorientation methods.

Keywords: redirection, virtual reality

Kuviot

Kuvio 1. Uudelleensijoitustekniikoiden luokittelu. Kuva suomennettu. (Suma, Bruder ym. 2012).....	5
Kuvio 2. Uudelleensuuntaustekniikoiden luokittelu. Kuva suomennettu. (Suma, Bruder ym. 2012)	8
Kuvio 3. Mahdoton tila. (Suma, Lipps ym. 2012)	10

Sisältö

1	JOHDANTO	1
2	VIRTUAALITODELLISUUDEN FYYSISET TILAVAATIMUKSET	2
	2.1 Tilavaatimusten pienentäminen vapaassa kävelyssä	2
	2.2 Kävely paikallaan ja muut laitteet	3
3	TILAVAATIMUSTEN PIENENTÄMINEN	5
	3.1 Uudelleensijoitustekniikat	5
	3.2 Uudelleensuuntaustekniikat	8
4	YHTEENVETO	12
	LÄHTEET	14

1 Johdanto

Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää keinoja, joilla virtuaalitodellisuuslaitteiden tilavaatimuksia voidaan pienentää. Nykyisellään VR-lasit ovat jo melko halpoja ja on osoittautunut, että yksi suurimmista hidasteista VR:n yleistymiselle on suuri tilan vaatimus peleihin, joissa tarkoituksena on liikkua ympäristössä vapaasti (Suma, Lipps ym. 2012; Zhang ja Kuhl 2013; Chen ja Fuchs 2017). On olemassa laitteita, kuten kehikoita, joissa liikutaan ”luisumalla” paikallaan virtuaalimaailmassa eteenpäin. Ja on myös juoksumaton kaltaisia laitteita, joissa voi liikkua joka suuntaan ja ihmisen kokoisia ”hamsteripalloja” (Nabiyouni ja Bowman 2016). Edellä mainitut toteutukset ovat kuitenkin kalliita, melko luonnottoman tuntuisia käyttää ja virtuaaliympäristöstä riippuvia, eli jokin tämänkaltainen laite sopii esimerkiksi johonkin peliin paremmin kuin joku toinen (Suma, Bruder ym. 2012; Nabiyouni ja Bowman 2016). Onkin tärkeää löytää menetelmiä, joilla voidaan kävellä virtuaalitodellisuudessa vapaasti, koska on tutkittu, että luonnollisella kävelyllä virtuaalitodellisuudessa saavutetaan huomattavasti parempi paikalla olon tunne (*presence*), kuin muilla liikkumisen keinoilla (Suma, Bruder ym. 2012). Paikalla olon tunteen saavuttaminen on hyvän pelikokemuksen kannalta yksi keskeisimpiä vaatimuksia virtuaalimaailmassa, joka pyritään säilyttämään kaikissa vapaan liikkumisen tekniikoissa, kuten uudelleensuunnatussa kävelyssä.

Virtuaalitodellisuuteen vaadittavia tilavaatimuksia voidaan pienentää karkeasti kahdella eri keinolla: fyysisen tilan vaatimuksen pienentäminen tai olemassa olevan fyysisen tilan käyttäminen mahdollisimman tehokkaasti erilaisilla keinoilla virtuaalimaailmassa (Suma, Bruder ym. 2012).

Tutkielma koostuu seuraavista osista. Luvussa 2 käsitellään virtuaalitodellisuuden tilavaatimusten pienentämistä fyysisin keinoin. Luvussa 3 käydään läpi virtuaaliset keinot tilavaatimusten pienentämiseksi sekä tuloksia niiden toimivuudesta. Virtuaaliset keinot voidaan lajitella kahteen osaan: uudelleensijoitustekniikoihin ja uudelleensuuntaustekniikoihin. Luvussa 4 käydään läpi saatuja tutkimustuloksia ja pohditaan eri menetelmien hyviä puolia.

2 Virtuaalitodellisuuden fyysiset tilavaatimukset

Nykyiset yleisimmät virtuaalitodellisuuslaitteet (Oculus Rift ja HTC Vive) tarvitsevat ”majakoita”. Majakat ovat Riftin ja Viven tapauksessa huoneeseen sijoitettavia sensoreita, joiden avulla VR-lasit ja -ohjaimet selvittävät sijaintinsa. Jos tarkoituksena on käyttää laitteita vapaata liikkumista vaativiin sovelluksiin, vaaditaan tilaa laitteesta riippuen n.3-4m². HTC Viven vaatima minimi-tila liikkumista varten on 2m x 1,5m (HTC 2016). Oculus Riftin vastaava tilavaatimus on minimissään 1m x 1m (Oculus 2016). Paikallaan käytettynä edellä mainitut VR-laitteet eivät juurikaan vie tilaa lukuunottamatta majakoita, joita tarvitaan myös paikallaan ollessa.

2.1 Tilavaatimusten pienentäminen vapaassa kävelyssä

Vapaalla kävelyllä tarkoitetaan kävelyä, joka tapahtuu lattialla tai muulla tasaisella alustalla ilman mitään apuvälineitä, kuten laitteita joissa kävellään paikallaan. Seuranta on VR-lasien ja ohjaimien paikannusta kolmiulotteisessa ympäristössä siten, että käyttäjän liikkeet saadaan siirrettyä virtuaalimaailmaan mahdollisimman todellista liikettä vastaavasti. Jotta VR-laitteet voivat tarjota parhaan mahdollisimman uskottavan kokemuksen, on seurantajärjestelmällä siinä suuri merkitys. Nykyisissä laitteissa on pysyvästi kiinnitettyjä seurantalaitteita eli majakoita. Jotta laitteiden hintoja saadaan vielä alemmaksi ja asennusta helpommaksi, olisi mahdollista käyttää päällä pidettäviä seurantalaitteita, kuten kiihdytysensoreita tai muita seurantasensoreita (Nescher, Zank ja Kunz 2016).

Yksi tapa tämänlaisen fyysisen tilavaatimuksen ja laitteiston vähentämiseksi on käyttää niin sanottua ”markerless” tekniikkaa, eli käyttäjän päällä olevia laitteita ei seurata kiinteistä majakoista, vaan laitteista itsestään (Chen ym. 2017). Nykyistä menetelmää, jossa on majakoita, kutsutaan outside-in-seurannaksi ja ilman majakoita tarvitsevaa menetelmää inside-out-seurannaksi. Inside-out-menetelmä poistaisi ulkoisten majakoiden vaatimuksen ja näin ollen pienentäisi myös virtuaalitodellisuuslaitteen tilavaatimusta. Myös markerless tekniikkaa käyttävät virtuaalilasit tarvitsevat luonnollisesti jonkin fyysisen tilan jossa liikkua, mutta tilan ei tarvitse olla säännöllinen neliskulmio, vaan se voi olla myös huomattavasti vapaampi,

tai jopa ennalta määrittelemätön (Nescher, Zank ja Kunz 2016).

Lisäksi Nescher, Zank ja Kunz (2016) mukaan voidaan käyttää robotiikasta tunnettua SLAM -metodia (simultaneous localization and mapping), eli samanaikaista paikannusta ja kartoitusta. Tällä menetelmällä voidaan samaan aikaan paikantaa laite, sekä kartoittaa uutta ympäristöä käytettäväksi virtuaalimaailmassa. Virtuaalilaseihin kiinnitettävillä sensoreilla on myös mahdollista mallintaa pelialueesta ylhäältä päin kuvattu kartta (Keller ja Exposito 2018). ”SLAM -metodit voivat toimia useiden sensorien avulla, mutta yleensä käytettyjä ovat optiset sensorit, kuten kamerat, syvyyskamerat tai laserskannerit.” (Nescher, Zank ja Kunz 2016, suomennettu).

Nescher, Zank ja Kunz (2016), Sra ym. (2016) ja Keller ja Exposito (2018) tutkimuksissa käytettyä samankaltaista väri- ja syvyyssensoria sekä SLAM -metodia yhdistelemällä on saatu näin ollen toteutettua täysin ennalta määrittelemätön tila. Tämänkaltainen tila voi olla mm. käytävä tai huone, jossa on muitakin esteitä kuin seinät. Yksi lähestymistapa tähän on alkaa hahmottamaan liikkuvissa olevaa ympäristöä sitä mukaa, mitä käyttäjä fyysisessä tilassa liikkuu. Näin ollen ajan myötä saadaan kartoitettua suurempi ja suurempi osa mahdollisesta liikuttavasta tilasta kuitenkin siten, että käyttäjää ohjataan virtuaalimaailmassa aina varoen uusille kartoittamattomille alueille (Nescher, Zank ja Kunz 2016). Toinen lähestymistapa Sra ym. (2016) tutkimuksessa on määritellä liikuttava alue sensoreilla etukäteen ja sen jälkeen luoda proseduraalisesti luotu virtuaaliympäristö liikuttavan alueen perusteella. Jos virtuaalitodellisuusympäristö luodaan edellä mainitulla tekniikalla proseduraalisesti niin, että virtuaalitodellisuusympäristön seinät ja muut rajoitteet ovat samat kuin fyysisen, mahdollistuu seinien ja muiden esineiden koskettaminen virtuaalimaailmassa, joka taas lisää peliin uppoutumista entisestään (Sra ym. 2016)

SLAM -menetelmää ovat myös käyttäneet Chen ym. 2017, vaikkakin AR (lisätty todellisuus) toteutuksissa. VR:n ja AR:n paikannus voidaan kuitenkin toteuttaa samoilla tavoilla.

2.2 Kävely paikallaan ja muut laitteet

Kävelyllä paikallaan tarkoitetaan paikallaan liikkumista samalla tavalla kuin juoksumatolla kävelemistä: käyttäjä liikkuu, mutta pysyy muuhun ympäristöön verrattuna paikoillaan.

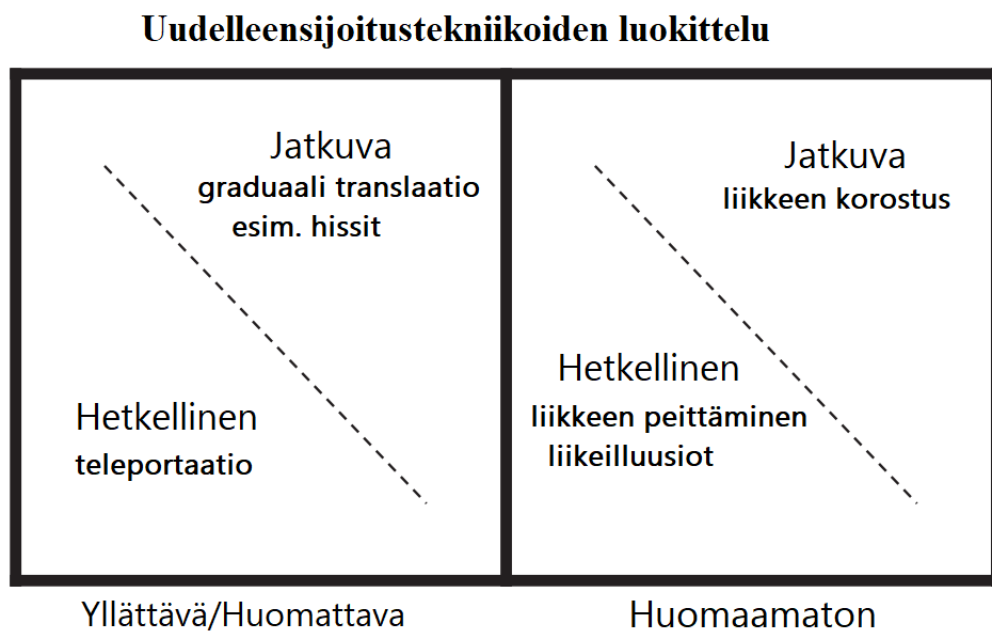
Johdannossa mainituille paikallaan liikuttaville toteutuksille on jo olemassa kaupallisia toteutuksia. Esimerkiksi paikallaan luisumiselle on jo olemassa toteutuksia kuten virtuiX omni (Virtuix 2019). Omnissa on liukas, kovera alusta, jossa kävellään lähes luonnollisella tavalla. Koska alusta ei ole tasainen, on kävely siinä vähemmän luonnollisen tuntuista (Nabiyouni ja Bowman 2016).

Koska Suma, Bruder ym. (2012), Nabiyouni ja Bowman (2016) ja Langbehn ym. (2017) mukaan luonnollinen kävely on todettu huomattavasti paremmaksi tavaksi liikkua virtuaalimaailmassa niin immersion kuin helppouden kannalta, ei tutkielmassa ole tavoitteena käsitellä kaikkia näitä metodeja ja laitteita. Mainittakoon kuitenkin, että Nabiyouni ja Bowman (2016) tutkimuksessa on esitetty taksonomia kyseisille kävelyn kaltaisten metodien luokittelulle.

3 Tilavaatimusten pienentäminen

Virtuaalimaailmasta voidaan tehdä suuremman tuntuinen ei-fyysisillä keinoilla, jotka voidaan luokitella uudelleensijoitus- ja uudelleensuuntaustekniikoiksi. Näiden lisäksi luokitus voidaan tehdä myös muilla kriteereillä, kuten uudelleensuuntaus- ja uudelleenohjaustekniikoiden jatkuvuudella tai yhdenäkkisyydellä sekä huomattavuudella tai huomaamattomuudella (Suma, Bruder ym. 2012). Vaikka suurin osa uudelleenohjaus- ja uudelleensuuntaustekniikoita koskevista tutkimuksista on toteutettu käyttäen tavallisia majakoita hyödyntävillä VR-laitteilla, ei se suinkaan tarkoita etteikö näitä menetelmiä voisi käyttää myös tulevaisuudessa laitteilla, jotka eivät tarvitse majakoita.

3.1 Uudelleensijoitustekniikat



Kuvio 1. Uudelleensijoitustekniikoiden luokittelu. Kuva suomennettu. (Suma, Bruder ym. 2012)

Uudelleensijoitustekniikoilla tarkoitetaan tekniikoita, joilla manipuloidaan kahden pisteen välistä matkaa fyysisestä maailmasta virtuaalimaailmaan ”pakkaamalla” virtuaalinen tila pienempään fyysiseen tilaan (Suma, Bruder ym. 2012).

Huomattava jatkuva uudelleensijoitus (*overt continuous repositioning*): Virtuaalimaailmaa siirretään jatkuvasti käyttäjän suhteen. Tämän kaltaisia menetelmiä ovat esim. hissit ja muut liikkuvat alustat kuten kulkuneuvot (Suma, Bruder ym. 2012). Tämä menetelmä on varsin yleisessä käytössä lähes kaikissa ajosimulaatiopeleissä, joissa on tuki VR-laitteille.

Huomaamaton jatkuva uudelleensijoitus (*subtle continuous repositioning*) on huomaamattomampi tapa jatkuvaan uudelleensijoitukseen. Käyttäjän liikkeitä fyysisessä maailmassa korostetaan virtuaalimaailmaan eli toisinsanottuna esimerkiksi metrin kävelymatka on virtuaalimaailmassa kaksi metriä.

Yllättäen tapahtuva hetkellinen uudelleensijoitus (*overt discrete repositioning*) tarkoittaa välitöntä siirtymää virtuaalimaailmassa, eli toisin sanoen välitöntä teleportaatiota käyttäjän alkuperäisestä paikasta johonkin toiseen (Suma, Bruder ym. 2012).

Huomaamaton hetkellinen uudelleensijoitus (*subtle discrete repositioning*) on tekniikka, jossa käyttäjän päällä pitämien virtuaalilasien näkökentän äärilaidoilla voidaan näyttää äkkinäisiä liikkeitä peittäviä efektejä (Suma, Bruder ym. 2012).

Huomattava jatkuva uudelleensijoitus (*overt continuous repositioning*) voi Suma, Bruder ym. (2012) mukaan tuntua varsinkin äkkinäisesti tehtynä hämmentävältä. Esimerkiksi hissien äkkinäinen ja odottamaton liike ylös tai alas.

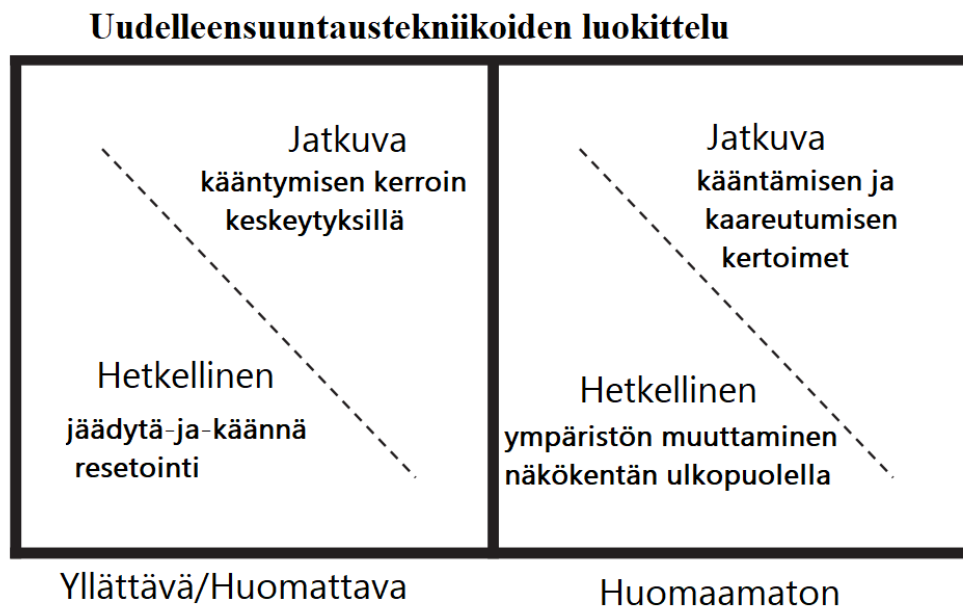
Huomaamattoman jatkuvan uudelleensijoituksen (*subtle continuous repositioning*) yksi tärkeimmistä tavoitteista on pysyä käyttäjälle huomaamattomana. Steinicken ym. (2010) tutkimuksen mukaan kävelymatkoja voi skaalata alaspäin 14% ja ylöspäin 26% niiden pysyessä käyttäjälle huomaamattomana.

Yllättäen tapahtuvassa hetkellisessä uudelleensijoituksessa (*overt discrete repositioning*) Liun ym. (2018) mukaan on omat haaitansa. Tutkimuksessa todetaan, että tässä tapauksessa teleportaatio vähentää peliin uppoutumista, koska kävelemisen sijaan pelaajan on helpompaa liikkua vain pelkästään sen avulla paikasta toiseen. Toinen teleportaation kaltainen uudelleensijoitusmenetelmä Steinicken ym. (2009) mukaan voisi olla virtuaaliset portaalit, kuten pelissä Portal. Tämänkaltaisten portaalien tarkoitus olisi se, että käyttäjä voi siirtää itsensä paikasta toiseen menemällä portaalin läpi. Käyttäjät liikkuvat huolettomammin ja turvalli-

semmin portaalien läpi, kuin tavallisella teleportaatiolla (Steinicke ym. 2009). Osoittautui myös, että tutkimukseen osallistuneet henkilöt kokivat portaalien käytön mielekkääksi. Huomaamattoman jatkuvan uudelleensijoituksen kaikkiin suuntiin tapahtuvan etäisyyksien skalaus voi huonontaa intuitiivista liikettä ja näin ollen vähentää uppoutumista virtuaalimaailmaan (Interrante, Ries ja Anderson 2006).

Bruderin, Steinicken ja Wielandin (2011) mukaan yksi yksinkertaisimmista toteutustavoista huomaamattomalle hetkelliselle uudelleensijoitukselle (*subtle discrete repositioning*) on näyttää näkökentän laidoilla suurella valaistuserolla taustaan olevia liikkuvia partikkeleita. Eli ikään kuin autolla lumisateessa ajaessa näkyvä ilmiö, mutta vain näkökentän reunoilla. Muita keinoja on esim. aaltoileva kuvio näkökentän reunoilla tai päinvastainen kontrasti. Tutkimuksessa kuitenkin selvisi, että liikkuvat partikkelit ja aaltokuviot eivät olleet läheskään yhtä tehokkaita liikkeen uskottavuudentunteen muodostamiseen, kuin tekstuurilla varustettu liikekerros. Partikkelit ja aaltokuviot näyttivät testiin osallistujien mielestä enemmänkin virtuaalimaailmassa tapahtuvalta liikkeeltä, kuin omalta liikkeeltä. Koska näissä keinoissa näkymää muutetaan esimerkiksi edellä mainitulla ”lumisadeilmiöllä”, eivät tämän kaltaiset keinot luonnollisesti ole täysin huomaamattomia.

3.2 Uudelleensuuntaustekniikat



Kuvio 2. Uudelleensuuntaustekniikoiden luokittelu. Kuva suomennettu. (Suma, Bruder ym. 2012)

Kuten uudelleenohjaustekniikat, uudelleensuuntaustekniikat on jaettavissa samankaltaisesti eri kategorioihin (Suma, Bruder ym. 2012). Uudelleensuuntaustekniikat perustuvat siihen, että käyttäjää pyritään kääntämään tavalla tai toisella takaisin fyysisen tilarajoitteen sisälle. Ideaalitapauksessa käyttäjä ei huomaisi uudelleensuuntausta, jotta virtuaalitodellisuuden toteutus tuntuisi mahdollisimman luonnolliselta (Suma, Bruder ym. 2012). Toisin kuin uudelleensijoitustekniikoissa, uudelleensuuntaustekniikoissa käyttäjä kävelee muuten normaalisti, poislukien rajoille tullessa tehdyt käännökset.

Huomattava jatkuva uudelleensuuntaus (*overt continuous reorientation*): Kun käyttäjä kohtaa fyysisen rajan, pyydetään häntä kääntymään. Keskeytyksen aikana käyttäjän kääntymiseen voidaan virtuaalisesti käyttää jotain kerrointa, eli esim. fyysisen 180 asteen käännöksen jälkeen virtuaalimaailmassa käyttäjä on kääntynyt 360 astetta (Suma, Bruder ym. 2012). Kääntymisen voi kuitenkin tapahtua jonkin muun, kuin pelkän huomautuksen kautta. Esim. virtuaalimaailmassa voi olla esittelijä tai jokin muu pelaajan huomion vievä kohde, jolloin käyttäjä kääntyy katsomaan häiriötekijää, jolloin myös käytetään kääntymisen kerrointa (Suma, Bruder ym. 2012).

Huomaamaton jatkuva uudelleensuuntaus (*subtle continuous reorientation*). Uudelleensuunnattu kävely (*redirected walking*) on yksi yleisemmistä tavoista toteuttaa kyseinen tekniikka. Tämä on paljon tutkittu tapa, joka perustuu siihen, että käyttäjän liikettä kävellessä ohjataan huomaamattoman pienellä kaarella haluttuun suuntaan siten, että käyttäjän virtuaalisessa maailmassa kävelemästä reitistä muodostuu fyysisessä maailmassa kaari (Suma, Bruder ym. 2012).

Yllättäen tapahtuva hetkellinen uudelleensuuntaus (*overt discrete reorientation*): Käyttäjän tultua fyysisen tilan rajalle, jäädytetään virtuaalinäkymä ja käsketään käyttäjää kääntymään takaisin fyysisen tilan sisälle. Kun käyttäjä on suorittanut käännöksen, jatkuu liike virtuaalitodellisuudessa entisellä tavalla. Toisin kuin huomattavassa jatkuvassa uudelleensuuntauksessa, tässä menetelmässä virtuaalimaailma jäädytetään täysin (Suma, Bruder ym. 2012).

Huomaamaton hetkellinen uudelleensuuntaus (*subtle discrete reorientation*): Tämä on ehkä kaikista muista menetelmistä huomattavasti poikkeava, koska tässä tekniikassa käyttäjän liikettä ei muuteta, vaan muutoksia tehdään ympäristöön siten, että ne tapahtuvat käyttäjän näkökentän ulkopuolella. Tämän kaltaisia muutoksia ovat esim. käytävien ja ovien siirtely virtuaalimaailmassa paikasta toiseen (Suma, Bruder ym. 2012). Toinen mahdollinen toteutus tälle kategorialle on niin sanotun mahdottoman tilan (*impossible space*) tekeminen (Suma, Lipps ym. 2012).

Huomaamattomuuden kannalta tärkeimmät menetelmät ovat huomaamaton jatkuva uudelleensuuntaus (*subtle continuous reorientation*) ja huomattava jatkuva uudelleensuuntaus (*overt continuous reorientation*). Jälkimmäinen keino on nimensä mukaisesti kyllä huomattava, mutta tässä tilanteessa tarkoitetaan huomattavuudella sitä, että huomaako käyttäjä sitä, että manipuloidaanko hänen liikettään virtuaalimaailmassa jollain keinolla.

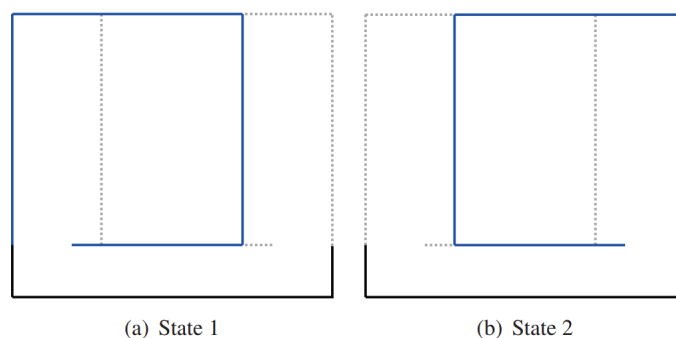
Huomaamattoman jatkuvan uudelleensuuntauksen tapauksessa Steinicke ym. (2010) tutkimuksessa käyttäjä pysyi paikallaan ja käännöstä tehtiin joko loivemmaksi tai jyrkemmäksi. Tutkimuksessa selvisi, että käyttäjää voidaan tällä tavoin kääntää huomaamattomasti joko 49% enemmän tai 20% vähemmän verrattuna virtuaalimaailmassa tapahtuviin liikkeisiin. Samassa tutkimuksessa esitetään, että jyrkin mahdollinen kaari jota voidaan kävellä siten, että kävelyä luullaan suoraksi, on ympyrän kaari, jonka säde on 22 metriä. Langbehn

ym. (2017) tutkimuksessa on lähdetty miettimään keinoja, joilla tätä 22 metrin sädettä saataisiin pienennettyä. Toisin kuin Steinicke ym. (2010) tutkimuksessa, tässä tutkimuksessa käyttäjää ei pidetty paikoillaan, vaan käytetään uudelleensuuntausta silloin, kun käyttäjä on fyysisesti kävelemässä kaarevasti.

Huomattavan jatkuvan uudelleensuuntauksen Chen ja Fuchs (2017) tutkimuksessa häiriötekijänä on käytetty lohikäärmettä, jota katsoessa se kiertää käyttäjän ympärillä ja samalla kun käyttäjä katsoo lohikäärmettä, käytetään kääntymisen kerrointa. Testissä selvisi, että onnistuneissa tapauksissa, eli niissä, joissa käyttäjä ei mennyt annetun alueen ulkopuolelle, uudelleensuuntaus tuntui käyttäjistä huomaamattomalta. Onnistumisprosentit (Chen ja Fuchs 2017) tutkimuksessa oli 71% ja 80%. Tästä voidaan päätellä että häiriötekijän avustama uudelleensuuntaus on varsin uskottava tapa tuottaa vaikutelma suuresta tilasta virtuaalimaailmassa.

Koska huomattava hetkellisesti tapahtuva uudelleensuuntaus (*overt discrete reorientation*) ”freeze-and-turn” on todella huomattava käyttäjälle, on sitä parempi käyttää viimeisenä varotoimenpiteenä, jotta käyttäjä varmasti pysyy asetetun rajan sisällä (Suma, Bruder ym. 2012).

Huomaamattomalle hetkelliselle uudelleensuuntaukselle (*subtle discrete reorientation*) esimerkkiteotus mahdottomasta tilasta (*impossible space*) voi olla seuraavanlainen. Suma,



Kuvio 3. Mahdoton tila. (Suma, Lipps ym. 2012)

Lipps ym. (2012) tutkimuksessa käytetään mahdotonta tilaa mahduttamaan vierekkäiset huoneet pienempään tilaan yllä olevan kuvan mukaisesti. Näin ollen tilavaatimus kahdelle huoneelle ei ole kahden huoneen kokoinen, vaan sen, minkä verran huoneita halutaan laittaa ”päällekkäin”. Tutkimuksessa selvisi, että 3.66m x 7.32m kokoisia huoneita voitiin asettaa

jopa 55,57% päällekkäin, niin että todennäköisyys ”mahdottomuuden” huomaamiselle oli testiryhmästä alle 50%.

Luvussa 3.1 kerrotuista portaaleista on tehty Liu ym. (2018) tutkimuksessa eräänlainen hybridi uudelleensijoituksen ja uudelleensuuntauksen välillä. Tutkimuksessa käytetyt portaalit ohjaavat pelaajan pelialueen reunalle tullessa portaaliin, joka johtaa takaisin pelialueen sisälle.

4 Yhteenveto

Uudelleensijoitusmenetelmistä yleisimmin nykyisin käytössä olevia menetelmiä ovat teleportaatio (*overt discrete repositioning*) ja hissit tai muut alustat (*overt continuous repositioning*). Molemmat näistä ovat helposti huomattavissa olevia, joka näyttää olevan parhaiten toimiva tapa uudelleensijoitustekniikoissa. Useammassa tutkimuksessa on kuitenkin osoittautunut, että sovelluksissa, joissa sekä vapaa kävely, että teleportaatio ovat käytössä, käy niissä useimmiten niin, että käyttäjä käyttää kävelyn sijasta vain näistä helpompaa vaihtoehtoa eli teleportaatiota. Huomaamattomissa menetelmissä kuten liikkeen kertoimissa ja luvussa 3.1 mainitussa ”lumisade-efektissä” vain liikkeen kertoimen tapaiset menetelmät ovat todella huomaamattomia, jota ei kuitenkaan nykyisin ole laajamittaisessa käytössä.

Vaikka uudelleensuuntausmenetelmiä ei nykyisellään ole kovin yleisesti käytössä, vaikuttavat ne virtuaalisista tilavaatimusten vähennyskeinoista kaikista lupaavimmalta. On osoittautunut, että luonnollista kävelyä voidaan manipuloida melko paljon, kuten luvun 3.2 *redirected walking* tutkimuksessa tuli ilmi. Näiden tulosten perusteella uudelleensuunnattu kävely (*redirected walking*) on näistä lupaavin. ”freeze-and-turn” menetelmä on nykyiselläänkin osittain sisällytettynä laitteisiin, kuten Oculus Riftiin ja HTC Viveen. Näitä laitteita käyttäessä ”room-scale” sovelluksissa molemmat laitteet varoittavat, jos käyttäjä on lähestymässä pelialueen rajaa. Mahdottomia tiloja ”impossible-spaces” on tutkittu jonkin verran, suurimmaksi osaksi huoneiden tai käytävien asettamista toistensa päälle. Tämän kaltaisista metodeista olisi mahdollista tehdä jatkotutkimusta vieläkin mahdottomammista tiloista, kuten useammista huoneista ja muista täysin päällekkäin menevistä tiloista vaikka ne eivät luonnollisilta näyttäisikään. Tällä saataisiin mahdutettua suuri määrä tilaa pieneen.

Tulevaisuudessa mitä luultavimmin vapaa kävely tulee voittamaan paikallaan liikuttavat laitteet, koska lähes kaikissa aiheita käsittelevissä tutkimuksissa todetaan, että vapaa kävely tuottaa laitteisiin verrattuna paremman paremman paikalla olon tunteen. Myös markerless tekniikka näyttää lupaavalta, vain jos siihen tarvittavaa tekniikkaa saadaan kehitettyä tarpeeksi. Nykyisellään markerless -laitteita ei juuri ole käytössä virtuaaliodellisuussovelluksissa. Yksi tulevaisuuden mahdollisuus olisi markerless tekniikalla toimivat VR-lasit, joissa olisi kaikki prosessointi kokonaan itsessään tai ne ainakin olisivat täysin langattomat langat-

tomat. Näin ollen fyysisen tilan saa todella tehokkaasti käyttöön, varsinkin jos kyseinen laite osaisi estää käyttäjää törmäämästä seiniin tai muihin, mahdollisesti liikkuviinkin esteisiin esimerkiksi uudelleenohjausmenetelmien avulla.

Lähteet

Bruder, G., F. Steinicke ja P. Wieland. 2011. “Self-motion illusions in immersive virtual reality environments”. Teoksessa *2011 IEEE Virtual Reality Conference*, 39–46. Maaliskuu. doi:10.1109/VR.2011.5759434.

Chen, C., W. Chen, J. Peng, B. Cheng, T. Pan ja H. Kuo. 2017. “A Real-Time Markerless Augmented Reality Framework Based on SLAM Technique”. Teoksessa *2017 14th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms and Networks 2017 11th International Conference on Frontier of Computer Science and Technology 2017 Third International Symposium of Creative Computing (ISPAN-FCST-ISCC)*, 127–132. Kesäkuu. doi:10.1109/ISPAN-FCST-ISCC.2017.87.

Chen, Haiwei, ja Henry Fuchs. 2017. “Supporting Free Walking in a Large Virtual Environment: Imperceptible Redirected Walking with an Immersive Distractor”. Teoksessa *Proceedings of the Computer Graphics International Conference*, 22:1–22:6. CGI '17. Yokohama, Japan: ACM. ISBN: 978-1-4503-5228-4. doi:10.1145/3095140.3095162. <http://doi.acm.org.ezproxy.jyu.fi/10.1145/3095140.3095162>.

HTC. 2016. *What is the recommended space for the play area*. <https://www.vive.com/us/support/vive/cats-is-the-recommended-space-for-play-area.html>.

Interrante, V., B. Ries ja L. Anderson. 2006. “Distance Perception in Immersive Virtual Environments, Revisited”. Teoksessa *IEEE Virtual Reality Conference (VR 2006)*, 3–10. Maaliskuu. doi:10.1109/VR.2006.52.

Keller, M., ja F. Exposito. 2018. “Game Room Map Integration in Virtual Environments for Free Walking”. Teoksessa *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 763–764. Maaliskuu. doi:10.1109/VR.2018.8446385.

Langbehn, E., P. Lubos, G. Bruder ja F. Steinicke. 2017. “Application of redirected walking in room-scale VR”. Teoksessa *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*, 449–450. Maaliskuu. doi:10.1109/VR.2017.7892373.

Liu, James, Hirav Parekh, Majed Al-Zayer ja Eelke Folmer. 2018. "Increasing Walking in VR Using Redirected Teleportation". Teoksessa *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 521–529. UIST '18. Berlin, Germany: ACM. ISBN: 978-1-4503-5948-1. doi:10.1145/3242587.3242601. <http://doi.acm.org.ezproxy.jyu.fi/10.1145/3242587.3242601>.

Nabiyouni, Mahdi, ja Doug A. Bowman. 2016. "A Taxonomy for Designing Walking-based Locomotion Techniques for Virtual Reality". Teoksessa *Proceedings of the 2016 ACM Companion on Interactive Surfaces and Spaces*, 115–121. ISS Companion '16. Niagara Falls, Ontario, Canada: ACM. ISBN: 978-1-4503-4530-9. doi:10.1145/3009939.3010076. <http://doi.acm.org.ezproxy.jyu.fi/10.1145/3009939.3010076>.

Nescher, T., M. Zank ja A. Kunz. 2016. "Simultaneous mapping and redirected walking for ad hoc free walking in virtual environments". Teoksessa *2016 IEEE Virtual Reality (VR)*, 239–240. Maaliskuu. doi:10.1109/VR.2016.7504742.

Oculus. 2016. *Kuinka paljon tilaa tarvitsen Touch-ohjainten käyttämiseen Oculus Riftillä?* <https://support.oculus.com/287240295005475/faq287240295005475>.

Sra, Misha, Sergio Garrido-Jurado, Chris Schmandt ja Pattie Maes. 2016. "Procedurally Generated Virtual Reality from 3D Reconstructed Physical Space". Teoksessa *Proceedings of the 22Nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology*, 191–200. VRST '16. Munich, Germany: ACM. ISBN: 978-1-4503-4491-3. doi:10.1145/2993369.2993372. <http://doi.acm.org/10.1145/2993369.2993372>.

Steinicke, F., G. Bruder, K. Hinrichs, A. Steed ja A. L. Gerlach. 2009. "Does a Gradual Transition to the Virtual World increase Presence?" Teoksessa *2009 IEEE Virtual Reality Conference*, 203–210. Maaliskuu. doi:10.1109/VR.2009.4811024.

Steinicke, F., G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz ja M. Lappe. 2010. "Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques". *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 16, numero 1 (tammikuu): 17–27. ISSN: 1077-2626. doi:10.1109/TVCG.2009.62.

Suma, E. A., G. Bruder, F. Steinicke, D. M. Krum ja M. Bolas. 2012. “A taxonomy for deploying redirection techniques in immersive virtual environments”. Teoksessa *2012 IEEE Virtual Reality Workshops (VRW)*, 43–46. Maaliskuu. doi:10.1109/VR.2012.6180877.

Suma, E. A., Z. Lipps, S. Finkelstein, D. M. Krum ja M. Bolas. 2012. “Impossible Spaces: Maximizing Natural Walking in Virtual Environments with Self-Overlapping Architecture”. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18, numero 4 (huhtikuu): 555–564. ISSN: 1077-2626. doi:10.1109/TVCG.2012.47.

Virtuix. 2019. *Virtuix omni*. <https://www.virtuix.com/>.

Zhang, R., ja S. A. Kuhl. 2013. “Flexible and general redirected walking for head-mounted displays”. Teoksessa *2013 IEEE Virtual Reality (VR)*, 127–128. Maaliskuu. doi:10.1109/VR.2013.6549395.