

BACHELORPROEF

Effect van “change blindness” op immersie in virtuele omgevingen.

Proefschrift voorgelegd tot het behalen van de graad van bachelor in de wetenschappen, te verdedigen door:

Randy Thiemann

Promotor: Prof. Dr. Philippe Bekaert

Begeleiders: Patrik Goorts, Steven Maesen

Inhoudsopgave

1	Literatuurstudie	4
1.1	Inleiding	4
1.2	Redirectietechnieken (RDTs)	4
1.2.1	Rotationele vervorming	5
1.2.2	Translationele vervorming	6
1.2.3	Change blindness	7
1.3	Reoriëntatietechnieken (ROTs)	7
1.3.1	Verbale commandos	7
1.3.2	Visuele commandos	8
1.3.3	Afleidings	8
1.4	Andere zintuigen	8
1.5	Inherente zwaktes	9
1.6	Positionele tracking & Head-mounted displays (HMDs)	9
2	Verder onderzoek	11
3	Virtuele omgeving	12
3.1	Ontwerp	12
3.2	Implementatie	14
3.2.1	Engine	14
3.2.2	Tracking	14
3.2.3	Hardware	15
4	Experiment	17
A	Meetings	18
A.1	Meeting 1: 2014-01-31	18
A.2	Meeting 2: 2014-02-13	18
A.3	Meeting 3: 2014-02-28	19
A.4	Meeting 4: 2014-03-12	19

Hoofdstuk 1

Literatuurstudie

1.1 Inleiding

Redirected walking is een techniek waarbij een proefpersoon in een virtuele omgeving weergegeven in een head-mounted display kan rondwandelen door middel van het vervormen van de route die deze proefpersoon in een fysieke omgeving wandelt.

Het doel is, door de 1:1 relatie van fysieke beweging en virtuele beweging te ontkoppelen, rondwandelen in grotere tot zelfs arbitrair grote virtuele ruimtes mogelijk te maken.

Om dit te effect te bekomen zijn er 2 brede categorieën van technieken, ik zal deze twee categorieën beknopt toelichten samen met enkele concrete voorbeelden.

Naast de technieken voor immersie door middel van het zicht zijn er ook technieken om de andere zintuigen te betrekken, ik beschrijf deze ook even beknopt.

Vervolgens zal ik enkele inherente zwaktes in redirected walking toelichten. Ik behandel dan even de hardware beschikbaar voor dit onderzoek.

1.2 Redirectietechnieken (RDTs)

RDTs zijn technieken waar de fysieke bewegingen van een proefpersoon ontkoppeld worden van de resulterende virtuele bewegingen.

Bij deze technieken is het belangrijk om de vervormingen onmerkbaar te houden

voor de proefpersoon[14], maar ook om ze consistent te houden om simulatieziekte te vermijden[7].

Ik beschrijf hier kort enkele van deze technieken samen met onderzoeken die er over gevoerd zijn.

1.2.1 Rotationale vervorming

In een onderzoek gevoerd door Razzaque et. al., 2001 [14] werden proefpersonen gevraagd om een virtuele brandoefening uit te voeren.

In de opstelling voor dit onderzoek waren er in het fysieke labo twee knoppen geplaatst op dezelfde afstand als in de virtuele omgeving. In de virtuele omgeving waren er echter 4 knoppen met telkens een hoek van 90 graden er tussen.

In dit onderzoek heeft men ondervonden dat er 3 manieren zijn om rotationele vervorming in te voegen:

1. Als de proefpersoon stil staat is het mogelijk om een kleine hoeveelheid constante rotatie in te voegen, de proefpersoon zal dan automatisch meedraaien.
2. Indien de proefpersoon zelf ronddraait kan deze rotatie overdreven worden.
3. Ten laatste is het mogelijk om het pad in de virtuele omgeving een bepaalde hoeveelheid te buigen die proportioneel is met de lineaire snelheid van de proefpersoon in de fysieke omgeving.

Deze gegevens werden dan gebruikt om de proefpersoon in de richting van de volgende knop te sturen zodat de proefpersoon voor een fysieke knop stond als dit ook het geval was in de virtuele omgeving.

Dit onderzoek vereist een voorberekend pad en een minimale deviatie van dit pad door de proefpersoon voor een optimale ervaring. In Engel et. al., 2008 [5] wordt een techniek voorgesteld om deze rotationele vervorming dynamisch te bepalen.

Dit werd gedaan door het dynamische-rotatie probleem te reduceren tot een optimalisatie probleem, welke in de AI gemeenschap reeds bekend zijn.

Dit algoritme maakte het mogelijk om optimale rotationele vervormingen te berekenen maar vereist in ieder geval een gedeeltelijke kennis over het te volgen virtuele pad.

In een ander onderzoek in Neth et. al., 2012 [12] werd verder onderzocht wat de precieze relatie tussen bewegingssnelheid en maximaal acceptabele rotationele vervorming is.

Uit dit onderzoek bleek dat tragere snelheden grotere vervormingen toelaten, maar dat deze relatie niet lineair is.

Aangezien mensen over het algemeen trager wandelen in virtuele omgevingen [11], kan men dit toepassen in redirected walking.

In een tweede experiment [12] werd onderzocht of deze bevindingen effectief konden gebruikt worden dynamische schalering van vervorming toe te passen in een rijke virtuele omgeving. Er werd hier onderzocht of er een significant verschil is tussen de effectiviteit van statische rotationele vervorming versus dynamische rotationele vervorming.

Naast de technieken van Razzaque et. al., 2001 [14] om rotationele vervorming in te voegen met een constant, een statisch en een dynamisch component, werd er ook gebruik gemaakt van versterking van de effecten nabij de randen van de fysieke omgeving, om het verlaten van het tracking gebied te vermijden.

Er werd gemeten wat de mediaanafstand is die een proefpersoon kan wandelen in een grote virtuele omgeving voor de proefpersoon moet geforceerd geheroriënteerd worden richting het centrum van de fysieke omgeving om het verlaten van het tracking gebied te voorkomen.

Uit dit experiment is gebleken dat er een positief significant verschil is tussen de mediaan gewandelde afstand bij dynamische vervorming versus statische vervorming zonder een significante verhoging in simulatorziekte.

Uit al deze onderzoeken blijkt dat er een trade-off is tussen een virtuele omgeving met een ongekend pad[12] versus een betere immersie wegens minder onderbrekingen[5, 14].

Alle vorige studies behandelden rotationele vervorming in beweging, dus over curves. Het is echter ook mogelijk om rotationele vervorming in stilstand te hebben.

In [15] werd bepaald dat in dit specifieke geval compressies tot 77% acceptabel zijn voor de proefpersoon het merkt.

Rotationele vervorming vormt de basis van redirected walking, gegeven een voldoende grote ruimte kan deze techniek toegepast worden om elke virtuele omgeving te doorlopen.

1.2.2 Translationele vervorming

Naast rotationele vervorming is het ook mogelijk om de lineaire snelheid van een proefpersoon te vervormen daar onderzoek heeft aangetoond dat proefpersonen in

virtuele omgevingen afstand [9], snelheid [2] en afgelegde afstand [6] onderschatten.

In Steinicke et. al., 2009 [15] werd er een experiment uitgevoerd om onder andere te bepalen wat de maximaal acceptabele translationele vervorming is voor een gegeven snelheid.

Er werd bepaald dat de vervorming merkbaar is bij een versnelling tussen 20% en 60% met een ideale waarde van ongeveer 20%.

Translationele vervorming vormt samen met rotationele vervorming een ideale basis om realistische redirected walking toe te passen, maar toch de benodigde fysieke ruimte tot een minimum te houden.

1.2.3 Change blindness

Een alternatieve methode, zonder ontkoppeling van de 1:1 relatie tussen fysieke en virtuele locatie is het gebruik maken van change blindness. **MEER**

In Suma et. al., 2011 [17] werd er getest of veranderingen in de virtuele omgeving voor de proefpersonen merkbaar waren. In een virtuele omgeving werd de locatie van de deur in een kamer veranderd zodra de proefpersoon weg keek.

Uit dit experiment is gebleken dat, in zulke omstandigheden, veranderingen in de virtuele omgeving voor zowel ervaren als naïeve proefpersonen onmerkbaar zijn.

1.3 Reoriëntatietechnieken (ROTs)

ROTs zijn technieken om te voorkomen dat de proefpersoon het fysiek trackbare gebied verlaat.

In tegenstelling tot RDTs zijn deze technieken niet noodzakelijk onmerkbaar, ik beschrijf er hier enkele.

1.3.1 Verbale commandos

In het onderzoek van Razzaque et. al., 2001 [14] werd, indien de proefpersoon dreigde het tracking gebied te verlaten, de proefpersoon met verbale commando's gevraagd stil te staan en heen en weer te kijken om de proefpersoon in de fysieke omgeving terug in de juiste richting te laten kijken.

Er werd in een andere studie van Peck et. al., 2009 [13] echter bevonden dat verbale commando's niet de beste optie zijn voor redirectietechnieken, en dat afleidingen betere resultaten geven.

1.3.2 Visuele commandos

In het onderzoek van Neth et. al., 2012 [12] werd onder andere gebruik gemaakt van een stopteken. Als dit werd getoond werd de hele virtuele wereld stil gelegd. Er werd op voorhand aan de proefpersoon gevraagd rond te draaien tot het stopteken verdwijnt indien het getoond werd.

Hoewel dit een zeer intrusieve methode is, is ze zeer effectief om het verlaten van het tracking gebied te voorkomen.

1.3.3 Afleiders

Bovenstaande ROTs zijn allemaal erg intrusief, daarom is er een derde categorie van ROTs die tracht zo onopvallend mogelijk te zijn.

Dit is de categorie van de afleidingen, zoals andere “personen” in de virtuele omgeving[12], om de proefpersoon subtiel in de juiste richting te leiden.

In Peck et. al., 2009 [13] wordt er onder andere gebruik gemaakt van een te volgen object (een vlinder) om de proefpersoon de illusie te geven dat hij 360° heeft gedraaid terwijl hij eigenlijk maar 180° heeft gedraaid. Hieruit bleek dat proefpersonen minder het gevoel hadden dat de wereld versneld draaide met een afleiding dan bij andere technieken.

1.4 Andere zintuigen

Hoewel visie voor redirected walking het belangrijkste is, omdat bij conflicten tussen het proprioceptieve en het vestibulaire systeem en visie, visie vaak dit conflict wint[3, 4, 16], zijn de andere zintuigen toch belangrijk om immersie te verkrijgen.

Als men in een virtuele omgevingen geluid realistisch kan positioneel reproduceren helpt dit bijvoorbeeld de immersie enorm[8], maar zelf het maskeren van geluid van in de fysieke wereld met bijvoorbeeld ruis kan helpen[18].

In Engel et. al., 2008[5] wordt ook opgemerkt dat de hoeveelheid omgevingslicht en omgevingsgeluid dat binnensijpelt een merkbare negatieve invloed heeft op de effectiviteit van redirectietechnieken.

Naast audio is het ook mogelijk om de immersie te verhogen met proxy-objecten in de fysieke omgeving die overeen komen met objecten in de virtuele omgeving[15].

1.5 Inherente zwaktes

Hoewel redirected een realistische en immersieve omgeving kan creëren zijn er toch enkele inherente zwaktes waar op zich niet omheen kan gewerkt worden.

Zo is het bijvoorbeeld onmogelijk om arbitraire fysieke collisie overeen te laten komen met collisie in de virtuele omgeving tenzij het labo expliciet voor die virtuele omgeving is gebouwd.

Een ander voorbeeld is dat het onmogelijk is om heuvels of ander ruw terrein te hebben in de virtuele omgeving zonder immersie te breken.

Desondanks deze behoorlijke beperkingen heeft redirected walking toch veel potentiële toepassingen zoals virtuele rondleidingen.

1.6 Positionele tracking & Head-mounted diplays (HMDs)

Naast het software aspect van redirected walking is er ook het hardware aspect van het positioneel tracken en het head-mounted display.

Er zijn twee grote categorieën van head trackers. Inwaartse tracking, waar de proefpersoon door één of meer camera's in de omgeving wordt getrackt. En uitwaartse tracking, waar een camera aan de proefpersoon hangt en deze de omgeving trackt.

In het algemeen wordt bij redirected walking gebruik gemaakt van inwaartse tracking[16, 5, 15, 14, 12, 19]. Er zijn ook commerciële uitwaartse tracking systemen die gebruikt worden in redirected walking onderzoeken[13, 17]. Verder is er nog actief onderzoek naar betere uitwaartse tracking systemen[10].

Voor HMDs is het ideaal om een zo hoog mogelijke field of view te hebben, dit lijkt geen groot effect te hebben op de prevalentie van simulatieziekte[1] maar verhoogt

de performantie en immersie drastisch[1].

Traditioneel waren HMDs met hoge field of view zeer duur en niet beschikbaar voor consumenten, maar tegenwoordig zijn er enkele betaalbare HMDs beschikbaar met een redelijk hoge field of view, zoals de Oculus Rift DK1 (110° diagonaal).

Hoofdstuk 2

Verder onderzoek

In dit onderzoek heb ik er voor gekozen om te kijken hoe effectief “change blindness” is op het behouden van immersie in een virtuele omgeving in een zeer gelimiteerde fysieke omgeving. Bij andere redirectietechnieken zoals rotationele of translationele vervorming worden er constant veranderingen gemaakt aan het pad dat de proefpersoon neemt. Dit leidt tot conflicten tussen het visuele en het vestibulaire systeem, wat op zijn beurt misselijkheid als effect kan hebben.

Change blindness heeft dit probleem niet daar het niet het virtuele pad van de proefpersoon is dat wordt vervormd, maar de virtuele omgeving zelf. En door de verandering van de virtuele omgeving wordt het pad van de proefpersoon gemanipuleerd om binnen de beschikbare fysieke ruimte te blijven.

Voor deze bachelorproef zal ik een experiment uitvoeren om te kijken hoe merkbaar change blindness met afleiders en taken is in een virtuele omgeving.

Verder heb ik er voor gekozen om taken en afleiders toe te passen met als doel de change blindness minder te laten opvallen.

Hoofdstuk 3

Virtuele omgeving

3.1 Ontwerp

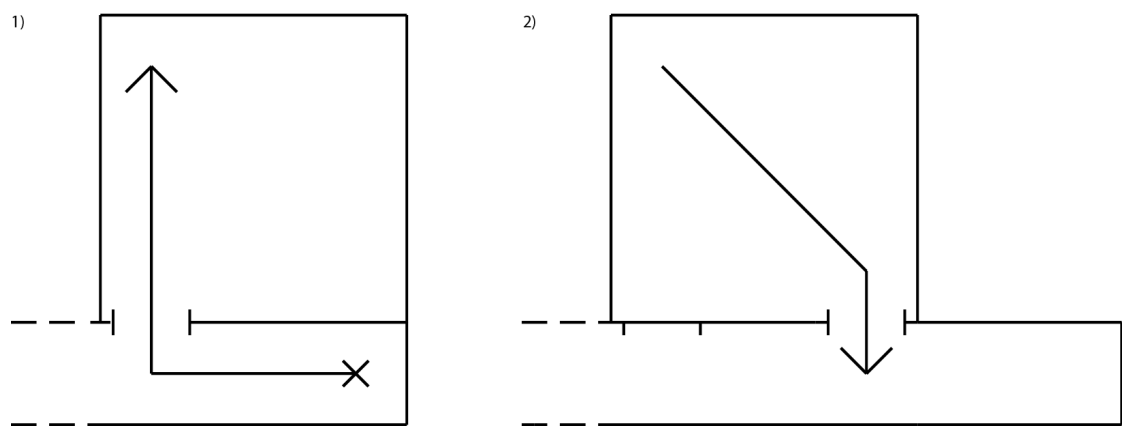
Voor dit onderzoek heb ik een virtuele omgeving ontworpen met meer dan 48m^2 aan bewandelbare ruimte, de proefpersoon kan deze omgeving volledig verkennen en toch in een 3 m x 4 m tracking area blijven.

Deze virtuele omgeving bestaat uit een lange gang met drie kantoren en een uitgang er direct aan verbonden. De kantoren zijn zo ontworpen dat het mogelijk is om de deur te verplaatsen wanneer de proefpersoon deze niet in het zicht heeft. De gang zelf is 1 meter breed met een arbitraire lengte zodat deze oneindig lang lijkt. De kantoren zijn allemaal ontworpen om 3 m x 3 m te zijn.

Bij het betreden van de virtuele omgeving staat de proefpersoon aan het begin van de gang, aan de rechtermuur zijn 4 deuren te zien, 80 cm breed met 80 cm er tussen.

Bij het betreden van het kantoor en het sluiten van de blinden wordt de hele gang naar achter verschoven zodat de deur nu aan de andere kant van de kamer staat zoals geïllustreerd in figuur 3.1, na het verlaten van het kantoor staat de proefpersoon weer op de exacte locatie waar hij begonnen is. Wegens de beweging van de gang wordt er hier de illusie gecreëerd dat men verder in de gang staat dan eerst. De proefpersoon kan dan de deur van het kantoor sluiten om de volgende deur te openen. Dit geheel wordt drie keer herhaald.

Om wat variëteit te behouden zijn de drie kantoren, zoals geïllustreerd in figuur 3.2, lichtjes verschillend ontworpen. Enkel de knop om de blinden te sluiten en het fotokader er boven staat in ieder kantoor op dezelfde plaats.



Figuur 3.1: Verandering van de omgeving.



Figuur 3.2: De drie kantoren.

De vierde kamer dient enkel als markering van het einde, bij het betreden van deze kamer gaan de lichten langzaam uit.

Om een kleine hoeveelheid ruimte rondom de tracking area over te houden heb ik een constante factor van 1.1 op de bewegingssnelheid toegepast daar dit klein genoeg is om onmerkbaar te zijn[15].

Wegens de manier waarop dit systeem werkt is het onmogelijk om een grondplan te tekenen dat overeen komt met de realiteit, in figuur 3.3 is te zien wat het beoogde mentale vloerplan is van de testpersonen.

3.2 Implementatie

3.2.1 Engine

Voor de implementatie van de virtuele omgeving heb ik er voor gekozen om met de Unity engine te werken. Ik heb deze keuze gemaakt omdat de Unity engine relatief eenvoudig is om mee te werken en mij meer tijd over laat om te werken aan de benodigde algoritmen.

Voor het ontwerp van de omgeving heb ik gebruik gemaakt van de Blender 3d editor, wegens eerdere ervaring met deze editor.

3.2.2 Tracking

Voor integratie met het trackingsysteem heb ik gebruik gemaakt van de gratis editie van de MiddleVR middleware. Deze maakt het mogelijk om via het VRPN protocol te communiceren met de tracking server.

MiddleVR geeft ook toegang tot “virtual trackers” waarmee men de data van een tracker kan transformeren. Het resultaat hiervan is dat ik de pitch en de roll van de HMD heb kunnen gebruiken, en de yaw van het camera tracking systeem. Dit omdat de HMD een kleine hoeveelheid “yaw drift” heeft, en dit zou kunnen zorgen voor botsingen met de fysieke omgeving.

Ik heb dit systeem ook gebruikt om de trillingen in de gerapporteerde yaw van het trackingsysteem te verminderde, door een gewogen gemiddelde van twee metingen te gebruiken. Daar de “framerate” van het systeem voldoende is, heeft dit bijna geen effect op de latency van de bewegingen.

Aan de serverkant heb ik gebruik gemaakt van de OptiTrack:Motive software om de VRPN data te broadcasten.

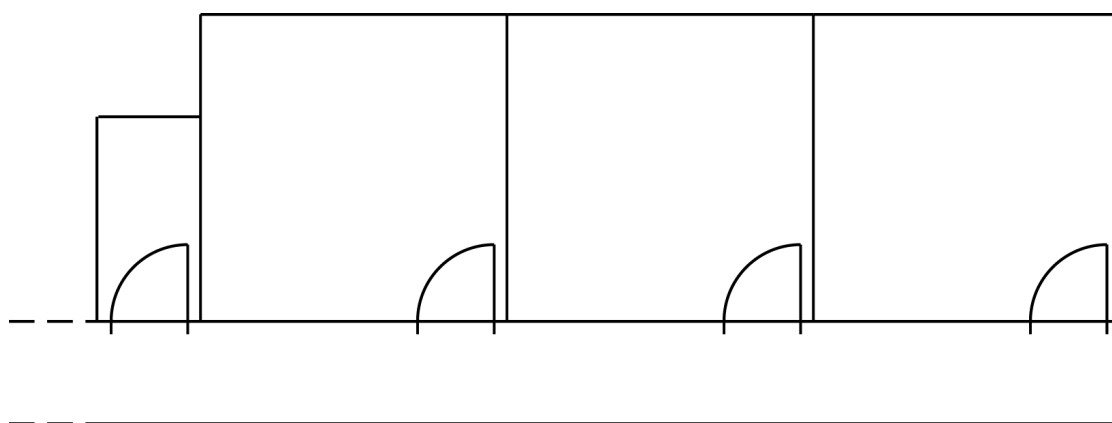
3.2.3 Hardware

Om een vloeiende werking te verzekeren werd de virtuele omgeving gedraaid op een Apple MacBook Pro (13", midden 2012) met een 2,5 GHz Intel Core i5 processor, 8 GB 1333 MHz DDR3 RAM geheugen en een Intel HD Graphics 4000 GPU.

Het beeld werd getoond op een Oculus Rift (Devkit 1) aan 60 fps voor beide ogen. Deze HMD heeft een diagonale FoV van 110° en vult hierdoor bijna het hele zicht van de proefpersonen voor een maximale immersie.

Tracking van positie en rotatie in 3 assen werd gedaan door een 6 camera OptiTrack systeem rondom een 3 m x 4 m omgeving.

Om gebruikersinvoer te voorzien heb ik gewoon een bluetooth muis gebruikt, zodat de proefpersoon op eender welke knop kon klikken om het object voor hem te activeren.



Figuur 3.3: Mentaal grondplan van de virtuele omgeving.

Hoofdstuk 4

Experiment

Bijlage A

Meetings

A.1 Meeting 1: 2014-01-31

Aanwezig: Steven Maesen, Randy Thiemann.

In deze eerste meeting hebben we besproken hoe de bachelorproef van start zal gaan.

Er werd afgesproken dat ik een literatuurstudie zal doen van een aantal geleverde papers met verder nog enkele zelf opgezochte papers, dit om een onderwerp te vinden om de bestaande research verder te zetten.

Ik zal deze literatuurstudie bij de volgende meeting voorleggen.

A.2 Meeting 2: 2014-02-13

Aanwezig: Steven Maesen, Randy Thiemann.

Er werd in deze meeting kort overlopen wat er verbeterd moest worden aan de al geleverde literatuurstudie. Ik zal deze herschrijven met minder lange zinnen en een betere verdeling van paragrafen. Ook zal ik meer aandacht besteden aan het deel over afleiders voor reoriëntatietechnieken.

Voor het concrete onderwerp van de bachelorproef heb ik een onderzoek naar de effectiviteit van taakgebonden afleiders in reoriëntatie en veranderingsblindheid voorgesteld. Concreet zou dit een gang in een kantoorgebouw zijn met als taak de

blinden in elk kantoor te sluiten (waarna de deur van locatie wisselt) en bij het buiten komen de deur te sluiten (hier gebeurt dan reoriëntatie).

Concreet zal ik nu eerst de komende weken Unity leren en een ruwe versie van dit scenario uitwerken. Deze eerste versie zal bestuurd worden met toetsenbord en de pitch/yaw/roll van de oculus rift.

A.3 Meeting 3: 2014-02-28

Aanwezig: Steven Maesen, Randy Thiemann.

Er werd in deze meeting kort besproken wat het geleverde werk tot dit punt is. Met name, ik heb de omgeving klaar met uitzondering van kamervulling en ik heb een implementatie van de testen voor change blindness.

Ik heb ook enkele ideeën getoond van hoe ik de overblijvende problemen wil oplossen. Ik wilde het probleem van hoogfrequent ruis oplossen met een gewogen gemiddelde van de twee sensors, maar er werd me ook aangeraden om dit op te lossen met een andere sensor fusion methode. Ten laatste hebben we ook een beetje zitten na te denken over een goed systeem voor collisions in de virtuele omgeving, ik heb gezegd dit voorlopig te willen negeren en als laatste stap te houden.

Steven zal nu het trackinglokaal voor me boeken en me iets laten weten wanneer dit beschikbaar is. Tot dat lokaal beschikbaar is zal ik verderwerken aan de kamervulling en de literatuurstudie.

A.4 Meeting 4: 2014-03-12

Aanwezig: Steven Maesen, Randy Thiemann.

Ik heb vandaag kort de voortgang in de aankleding van het kantoor getoond. Er werd hier opgemerkt dat ik best enkele verschillende prefabs zou kunnen maken voor de kamers voor variëteit.

Achteraf zijn we de trackingruimte gaan bekijken om te bespreken hoe en wanneer ik daar het best zou kunnen werken rond de basisintegratie van het optitrack systeem in mijn virtuele omgeving. Ik heb gezegd vanaf maandag middag daar te beginnen met het werk aan de integratie.

Ik heb afgesproken zelf contact te nemen om een afspraak te regelen als de integratie compleet is. Dit houdt in dat ik een werkende kalibratie en mapping heb

tussen het systeem en mijn virtuele omgeving. Daarna zal ik beginnen met sensor fusion tussen mijn Oculus Rift en het Optitrack systeem.

Bibliografie

- [1] Kevin Wayne Arthur: *Effects of field of view on performance with head-mounted displays*. proefschrift, University of North Carolina, 2000.
- [2] Tom Banton, Jeanine Stefanucci, Frank Durgin, Adam Fass, en Dennis Proffitt: *The perception of walking speed in a virtual environment*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 14(4):394–406, 2005.
- [3] Alain Berthoz: *The brain's sense of movement*. Harvard University Press, 2002.
- [4] Johannes Dichgans en Thomas Brandt: *Visual-vestibular interaction: Effects on self-motion perception and postural control*. In *Perception*, pagina's 755–804. Springer, 1978.
- [5] David Engel, Cristóbal Curio, Lili Tcheang, Betty Mohler, en Heinrich H Bülthoff: *A psychophysically calibrated controller for navigating through large environments in a limited free-walking space*. In *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pagina's 157–164. ACM, 2008.
- [6] Harald Frenz, Markus Lappe, Marina Kolesnik, en Thomas Bührmann: *Estimation of travel distance from visual motion in virtual environments*. ACM Transactions on Applied Perception (TAP), 4(1):3, 2007.
- [7] Eugenia M Kolasinski: *Simulator Sickness in Virtual Environments*. Technisch Rapport, DTIC Document, 1995.
- [8] James R Lackner: *Induction of illusory self-rotation and nystagmus by a rotating sound-field*. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 1977.
- [9] Jack Loomis en Joshua Knapp: *Visual perception of egocentric distance in real and virtual environments*. 2003.

- [10] Steven Maesen, Patrik Goorts, en Philippe Bekaert: *Scalable optical tracking for navigating large virtual environments using spatially encoded markers*. 2013.
- [11] Betty J Mohler, Jennifer L Campos, M Weyel, en Heinrich H Bülthoff: *Gait parameters while walking in a head-mounted display virtual environment and the real world*. In *Proceedings of the 13th Eurographics Symposium on Virtual Environments*, pagina's 85–88, 2007.
- [12] Christian T Neth, Jan L Souman, David Engel, Uwe Kloos, Heinrich H Bülthoff, en Betty J Mohler: *Velocity-dependent dynamic curvature gain for redirected walking*. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 18(7):1041–1052, 2012.
- [13] Tabitha C Peck, Henry Fuchs, en Mary C Whitton: *Evaluation of reorientation techniques and distractors for walking in large virtual environments*. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 15(3):383–394, 2009.
- [14] Sharif Razzaque, Zachariah Kohn, en Mary C Whitton: *Redirected walking*. In *Proceedings of EUROGRAPHICS*, volume 9, pagina's 105–106. Citeseer, 2001.
- [15] Frank Steinicke, Gerd Bruder, Klaus Hinrichs, Jason Jerald, Harald Frenz, Markus Lappe, Jens Herder, Simon Richir, en Indira Thouvenin: *Real walking through virtual environments by redirection techniques*. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 6(2), 2009.
- [16] Frank Steinicke, Gerd Bruder, Jason Jerald, Harald Frenz, en Markus Lappe: *Analyses of human sensitivity to redirected walking*. In *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pagina's 149–156. ACM, 2008.
- [17] Evan A Suma, Seth Clark, D Krum, S Finkelstein, M Bolas, en Z Warte: *Leveraging change blindness for redirection in virtual environments*. In *Virtual Reality Conference (VR), 2011 IEEE*, pagina's 159–166. IEEE, 2011.
- [18] Martin Usoh, Kevin Arthur, Mary C Whitton, Rui Bastos, Anthony Steed, Mel Slater, en Frederick P Brooks Jr: *Walking? walking-in-place? flying, in virtual environments*. In *Siggraph*, volume 99, pagina's 359–364, 1999.
- [19] Mark Ward, Ronald Azuma, Robert Bennett, Stefan Gottschalk, en Henry Fuchs: *A demonstrated optical tracker with scalable work area for head-mounted display systems*. In *Proceedings of the 1992 symposium on Interactive 3D graphics*, pagina's 43–52. ACM, 1992.