

Finn Alberts 30 november 2021 – 21 januari 2022

Eyetracking FoLA2
Extended Abstract

Lectoraat Data Intelligence

1. Abstract

Tijdens de LAK21-conferentie werd door de RWTH een demonstratie gegeven voor het eyetracken van meerdere personen op een digitale tafel.

Marcel Schmitz van het Lectoraat Data Intelligence zag mogelijkheden van deze technologie voor het onderzoeken van de samenwerking tussen spelers tijdens het spelen van FoLA2. FoLA2 is een door Schmitz ontwikkeld spel voor het plannen van onderwijsactiviteiten. De doelstelling van dit project was dan ook het ontwikkelen van een prototype, waarmee meerdere personen tijdens het spelen van FoLA2 op een digitale tafel kunnen worden ge-eyetracked.

Tijdens dit project is middels het Design Science Research-framework van Hevner een prototype ontwikkeld. Voorafgaand aan het realiseren van dit prototype is de oplossing van de RWTH geanalyseerd en is een oplossingsrichting geadviseerd. Het prototype is na de realisatie ook getest op werking, performance en accuraatheid.

Daar de oplossing van de RWTH niet direct geschikt bleek te zijn, is gekozen voor een oplossing met de Tobii Pro Glasses 3-hardware en Apriltags. Deze oplossing heeft de vorm aangenomen van een applicatie die de verzamelde data van de eyetracking-hardware achteraf kan verwerken.

Hiermee is de doelstelling, het realiseren van een prototype voor het onderzoeken van de samenwerking tijdens het spelen van FoLA2 op een digitale tafel middels eyetracking, bereikt.

Lectoraat Data Intelligence

2. Introductie

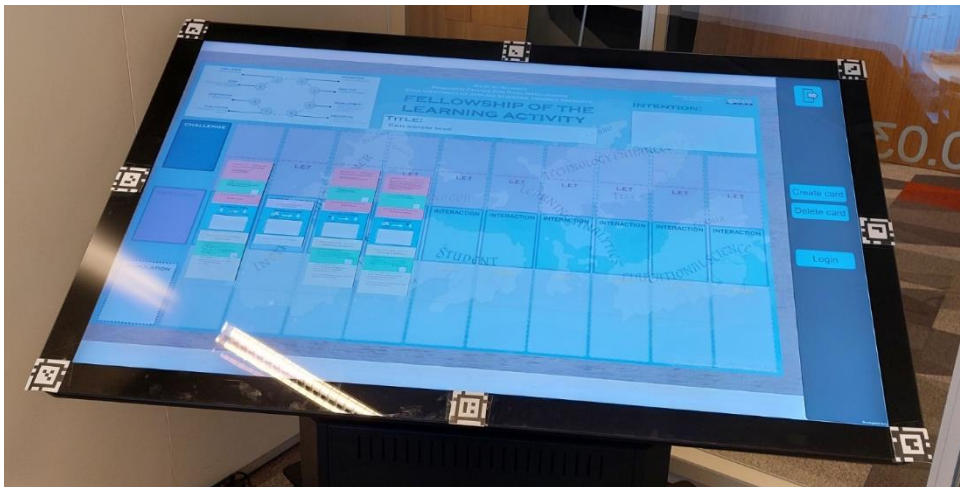
2.1 Aanleiding

Tijdens de LAK21-conferentie gaf de RWTH Aachen universiteit een demonstratie van hun nieuwe eyetracking-module voor het MTLG-framework (Ehlenz, 2020). Hiermee kan op projectietafels worden gekeken waar iemand naar kijkt en kunnen de ogen dus worden gevolgd.

Marcel Schmitz van het Lectoraat Data Intelligence was aanwezig bij deze conferentie en was zeer geïnteresseerd in deze presentatie.

Binnen het Lectoraat Data Intelligence van Zuyd Hogeschool worden de mogelijkheden en nieuwe inzichten onderzocht in de wereld van Data Intelligence. Ze bedenken oplossingen voor het omgaan met data op een slimme manier. Hun voorkeur gaat uit naar het werken aan maatschappelijke projecten die Limburg sterker maken. Het ontwikkelen en valideren van datagedreven innovatieve toepassingen is hun doel (Lectoraat Data Intelligence, sd).

Marcel Schmitz heeft zelf een spel ontwikkeld, The Fellowship of the Learning Activity & Analytics (FoLAz), waarmee leeractiviteiten kunnen worden gepland (Schmitz, 2020). Dit spel is ook in digitale vorm aanwezig, wat kan worden gespeeld op de digitale tafel van Zuyd Hogeschool, zie Figuur 1. Hij is geïnteresseerd in de mogelijkheden van eyetracking bij zijn spel. Hiermee wil hij onderzoeken hoe mensen samenwerken tijdens het spelen van FoLAz.



Figuur 1 De digitale tafel van Zuyd Hogeschool waarop FoLAz wordt gespeeld

2.2 Doelstelling

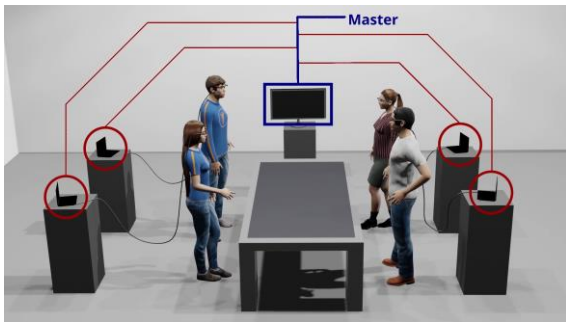
Het doel van dit project is om een werkend prototype te ontwikkelen voor het eyetracken van meerdere personen tijdens het spelen van FoLAz op de digitale tafel. Hiermee kan in de toekomst onderzocht worden hoe mensen samenwerken tijdens het spelen van FoLAz.

Lectoraat Data Intelligence

3. Theoretisch kader

Eyetracking is een techniek die al langere tijd wordt ingezet. Zo wordt het onder andere gebruikt voor robotica, in auto's en voor tijdens het spelen van videospellen (Eyeware, 2018). Ook voor digitale tafels is eyetracking al eens ingezet, onder andere door de RWTH met hun MTLG-framework (Ehlenz, 2020).

Een probleem wat de RWTH reeds opgelost heeft, is de complexiteit die ontstaat, wanneer er meerdere personen tegelijkertijd moeten worden getracked. Waar het tegenwoordig namelijk relatief eenvoudig is om met één computer één persoon te eyetracken, is het erg gecompliceerd om meerdere personen te tracken (Haslam, 2019). Ze hebben hiervoor een oplossing gecreëerd, waarbij met meerdere 'clients' wordt gewerkt. Iedere client eyetrackt daarbij één persoon en stuurt deze data door naar een 'master'. Zie voor een schematische weergave hiervan Figuur 2.



Figuur 2 Schematische weergave van eyetracking-oplossing RWTH met het MTLG (Ehlenz, 2020)

Het willen onderzoeken van de samenwerking tijdens het spelen van FoLA2 via eyetracking is een nieuw probleem. De technologie die de RWTH inzet kan echter mogelijk worden ingezet om dit probleem op te lossen. Mocht de technologie niet één op één te gebruiken zijn, dan kunnen er in ieder geval lessen worden getrokken uit de oplossing die de RWTH heeft gerealiseerd.

Er is dus sprake van een bestaande oplossing voor een nieuw probleem. Dit betekent dat er sprake is van een 'exaptation' als er wordt gekeken naar de DSR-matrix van Hevner (Hevner & Gregor, Positioning and presenting Design Science Research for maximum impact, 2013).

Lectoraat Data Intelligence

4. Methode

Voor het uitvoeren van dit project zal het Design Science Research-framework van Hevner als uitgangspunt worden genomen (Hevner, A three cycle view of design science research, 2007).

Binnen het framework van Hevner zijn er drie domeinen, namelijk de environment, de knowledge base en de design science research. De environment is hierin de context waarin een project wordt uitgevoerd; de knowledge base bevat alle kennis die over dit onderwerp al beschikbaar is en binnen het design science research domein wordt het artefact gerealiseerd en geëvalueerd. Deze drie domeinen worden middels cycli met elkaar verbonden.

Binnen dit framework worden vier activiteiten uitgevoerd. Hiervoor wordt dus ook het Hevner framework vier keer doorlopen.

De eerste activiteit is het analyseren van het MTLG-framework en het beoordelen van de bruikbaarheid. Deze beoordeling zal worden gedaan op basis van beoordelingscriteria, die middels interviews met de opdrachtgever worden opgehaald. Vervolgens zal het framework worden beoordeeld op basis van de documentatie, de code en het uittesten van het framework.

Vervolgens zal in de tweede activiteit een advies worden gegeven over de oplossingsrichting. Hiervoor zal onder andere worden gekeken naar de bruikbaarheid van het MTLG-framework. Mocht dit framework niet bruikbaar blijken, dan zal worden gezocht naar alternatieven. Voor het vinden van alternatieven wordt gebruik gemaakt van desktop research en brainstorm.

Het advies wat hier uitrolt zal worden besproken met de opdrachtgever. Hij bepaalt vervolgens de definitieve oplossingsrichting.

Tijdens de derde activiteit zal de gekozen oplossingsrichting worden gevolgd om via deze weg een prototype te realiseren. De details van dit prototype zullen worden vastgelegd in de requirements, waarmee wordt beschreven wat het prototype moet kunnen. Deze requirements worden opgehaald middels interviews met de opdrachtgever. Deze requirements zullen tevens geprioriteerd worden met de MoSCoW-methode (Wikipedia-community, 2021).

Voor dit prototype zal ook de benodigde gebruikers- en systeemdokumentatie worden uitgewerkt. Hiermee wordt gewaarborgd dat het prototype in de toekomst ook bruikbaar blijft. Binnen de systeemdokumentatie zal ook gebruik worden gemaakt van UML-diagrammen (Bennett, McRobb, & Farmer, 2010).

In de vierde en laatste activiteit zal het prototype worden getest op werking en accuraatheid. Hiervoor zal een integratie-, performance- en accuraatheidstest worden uitgevoerd.

Tijdens de integratietest zal de applicatie worden getest waarbij de invoer zoals verwacht is. Daarnaast zal worden getest met onverwachte invoer, zoals een niet-bestaand bestandspad of een incorrect bestand.

Voor de performancetest zal de tijdsduur van de verschillende stappen in de applicatie worden gemeten. Hiermee wordt duidelijk waar bottlenecks zitten en hoe snel de applicatie de data kan verwerken. Tijdens de performancetest zal de applicatie met verschillende configuraties worden getest.

Voor de accuraatheidstest zal worden getest hoe accuraat de resultaten zijn. Om dit te kunnen doen zal worden gekeken naar een bekend punt op de tafel (de positie van dit punt is dus

Lectoraat Data Intelligence

bekend) terwijl een meting wordt gemaakt. Vervolgens zal deze meting door de applicatie worden verwerkt. De resultaten van de applicatie kunnen nu worden vergeleken met de daadwerkelijke positie, zodat een afwijking kan worden bepaald.

Lectoraat Data Intelligence

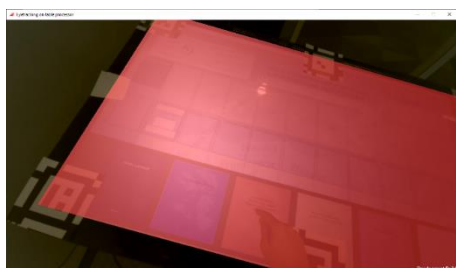
5. Resultaten

5.1 Eyetracking On Table applicatie

Het eindresultaat van dit project is een prototype voor een applicatie voor het verwerken van eyetrackingdata die is verzameld door de Tobii Pro Glasses 3 eyetracking hardware.

Dit prototype vraagt de videobeelden en gazedata (dit is de eyetrackingdata) die de Tobii Pro Glasses 3 opneemt. De applicatie verwerkt deze data en geeft de kijkposities relatief gezien aan de tafel terug in een bestand in json-formaat. Dit gebeurt niet realtime. De data moet eerst door de Tobii Pro Glasses 3 worden opgenomen en kan vervolgens door het prototype worden verwerkt.

Een schermafbeelding van het prototype en de data die wordt berekend zijn te zien in Figuur 3 en Figuur 4. De data in Figuur 4 is de data van slechts één frame van de opname.



Figuur 3 Het prototype

```

1  {
2      "Timestamp":0.7666666666666667,
3      "RelativeGazePosition":
4      {
5          "x":55.90903091430664,
6          "y":15.82791805267334
7      }
8  }

```

Figuur 4 Voorbeeld van berekende data

De resultaten van de individuele stappen, zoals beschreven in hoofdstuk 4, zijn in onderstaande hoofdstukken toegelicht.

5.2 Analyse MTLG-framework

De eerste stap die is gevolgd is de analyse van het MTLG-framework, zoals ook beschreven in de methode. Voor deze analyse zijn vier beoordelingscriteria vastgesteld, die bepalen of het framework geschikt is. Deze criteria zijn vastgesteld op basis van interviews met de opdrachtgever. Een overzicht hiervan is te zien in Tabel 1.

Tabel 1 Overzicht criteria MTLG-framework (Alberts, Analyse MTLG-framework, 2021)

Nummer	Criterium
1	De huidige digitale versie van FoLA2 kan in het MTLG-framework worden geïmplementeerd <u>of</u> de huidige digitale versie van FoLA2 kan worden herschreven in het MTLG-framework.
2	Het MTLG-framework is toekomstbestendig. Dat wil zeggen: het beperkt de verdere ontwikkeling van de digitale versie van FoLA2 niet.
3	Er is uitgebreide en actuele documentatie beschikbaar voor het MTLG-framework.
4	Het MTLG-framework en de bijbehorende eyetracking-module functioneren zoals verwacht op basis van de documentatie.

Uit de analyse is gebleken dat aan criteria 1 tot en met 3 niet wordt voldaan door het MTLG-framework. Aan het vierde criterium werd met een aantal kanttekeningen wel voldaan (Alberts, Analyse MTLG-framework, 2021).

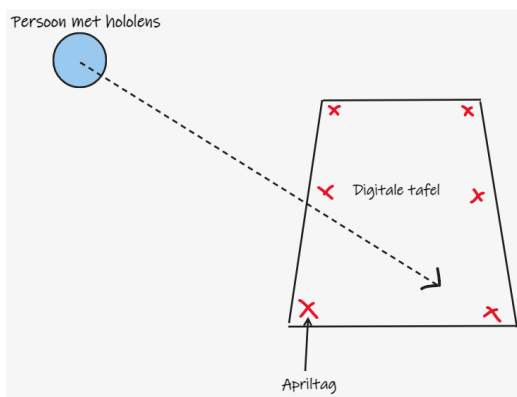
Lectoraat Data Intelligence

Doordat het framework aan slecht één van de vier criteria voldoet, waarbij zelfs bij het vierde criterium kanttekeningen te plaatsen zijn, is de conclusie van de analyse dat het MTLG-framework niet geschikt is voor de realisatie van een prototype (Alberts, Analyse MTLG-framework, 2021).

5.3 Advies oplossingsrichting

De volgende stap in het komen tot het eindresultaat is het uitbrengen van een advies voor de oplossingsrichting, zoals eerder genoemd in de methode in hoofdstuk 4. Daar het MTLG-framework niet geschikt bleek te zijn, is gebrainstormd over een nieuwe oplossing.

Voor deze oplossing is inspiratie opgedaan bij de werkwijze die de RWTH heeft toegepast bij hun MTLG-framework. De brainstorm heeft geleid tot een idee, waarbij gebruik wordt gemaakt van Apriltags en een Hololens 2 (Alberts & Kornips, Brainstorm oplossing eyetracking FoLA2, 2021). Via de camera van de Hololens wordt de positie van de tafel bepaald. Dit wordt gecombineerd met de eyetrackingdata die de Hololens geeft om zo de relatieve positie op de tafel te bepalen. Een schematische weergave is te zien in Figuur 5. Een diepgaandere toelichting is te lezen in hoofdstuk 5.4.



Figuur 5 Schematische weergave oplossing (Alberts & Kornips, Brainstorm oplossing eyetracking FoLA2, 2021)

Vanwege de korte tijdsscope van het project is direct aan de slag gegaan met het realiseren van een prototype voor de software, gelijktijdig met het onderzoeken van alternatieve hardware. De realisatie van dit prototype is verder beschreven in hoofdstuk 5.4.

Voor de hardware zijn een aantal alternatieven voor de Hololens onderzocht. Deze opties zijn: de Pupil Core van Pupil Labs (Pupil Labs, sd), de Tobii Pro Glasses 3 (TobiiPro, sd) en de Magic Leap (Magic Leap, sd). Deze verschillende opties zijn met elkaar vergeleken. De volledige vergelijking is te zien in bijlage 9.1.

Op basis van deze vergelijking is geadviseerd om aan de slag te gaan met de Hololens 2. Het voordeel van de Hololens is dat deze breder is in te zetten dan alleen voor eyetracking. Daarnaast kan deze goed gecombineerd worden met de AR-assistent voor FoLA2 die momenteel in ontwikkeling is (Alberts, Adviesrapport oplossingsrichting eyetracking FoLA2, 2021).

5.4 Realisatie prototype

Op basis van de opgehaalde requirements bij de opdrachtgever (zie voor de requirements bijlage 9.2) zijn twee prototypes gerealiseerd.

Lectoraat Data Intelligence

5.4.1 Prototype met Hololens 2

Een eerste prototype wat deels is gerealiseerd, is een prototype voor de Hololens 2.

De Unity Package voor het detecteren van de Apriltags, die in het prototype voor de software wordt gebruikt, bleek echter UWP niet te ondersteunen (Takahashi, 2021). UWP is de architectuur waarmee de Hololens werkt (polar-kev, keveleigh, thetuvix, & RogPodge, 2021). Er is geen alternatieve package beschikbaar.

Het is mogelijk om deze package zelf te realiseren op basis van de officiële Apriltag-repository (April Robotics, 2021). Het schrijven van zo'n package is binnen de tijdscope van dit project echter een te tijdsintensief proces.

Het is binnen de Hololens 2 mogelijk om wellicht eenzelfde resultaat te bereiken door gebruik te maken van de ingebouwde QR-code tracking (dorreneb & vtieto, 2021). Hiervan is echter niet bekend hoe accuraat deze is en of deze snel genoeg functioneert voor het doel van dit project.

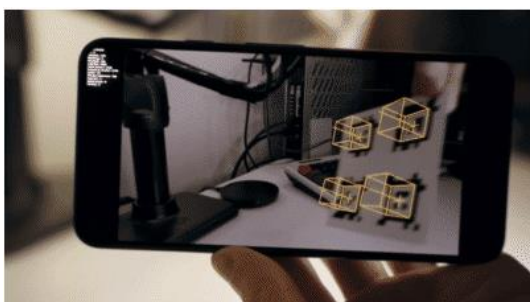
Door de beperkte tijd is besloten om de Hololens 2 daarom voor nu niet te gebruiken, omdat het herschrijven van de code van het prototype of het schrijven van een Apriltag-package niet realistisch is binnen de tijdscope en QR-codes een te grote onzekerheid met zich meebrengen.

5.4.2 Prototype met Tobii Pro Glasses 3

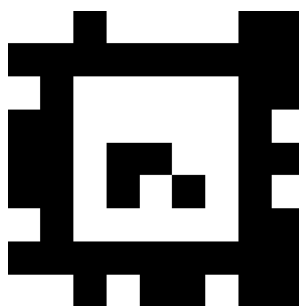
Als alternatief voor de Hololens 2 is aan de slag gegaan met de Tobii Pro Glasses 3. Een nadeel wat deze hardware wel heeft, is dat er voor het ophalen van de videobeelden een vertraging is van circa 1 seconde. Hierdoor loopt de eyetrackingdata niet synchroon met de videobeelden. Daarom is besloten om de data achteraf te verwerken, in plaats van realtime.

De applicatie is wel modulair gebouwd, zodat deze later als basis kan worden gebruikt, wanneer met de Hololens 2 aan de slag wordt gegaan.

De applicatie werkt met behulp van Apriltags, die op de digitale tafel worden geplaatst. Een Apriltag is een code, die digitaal gedetecteerd kan worden, zie Figuur 6 en Figuur 7.



Figuur 6 Digitaal gedetecteerde Apriltags in Unity (Takahashi, 2021)



Figuur 7 Voorbeeld van een Apriltag (Krogius, 2019)

Via deze Apriltags wordt de tafel gedetecteerd en digitaal gereconstrueerd. Vervolgens wordt door middel van raycasting op de positie van de eyetrackingdata het punt berekend waar de gebruiker op de tafel kijkt. Raycasting is een techniek, waarbij een 'lijn' wordt getekend in een gegeven richting (in dit geval de kijkrichting). Bij deze lijn kan ook berekend worden op welke punten deze andere objecten snijdt.

De volledige applicatie is beschikbaar op GitHub (Alberts, Eyetracking-On-Table, 2022).

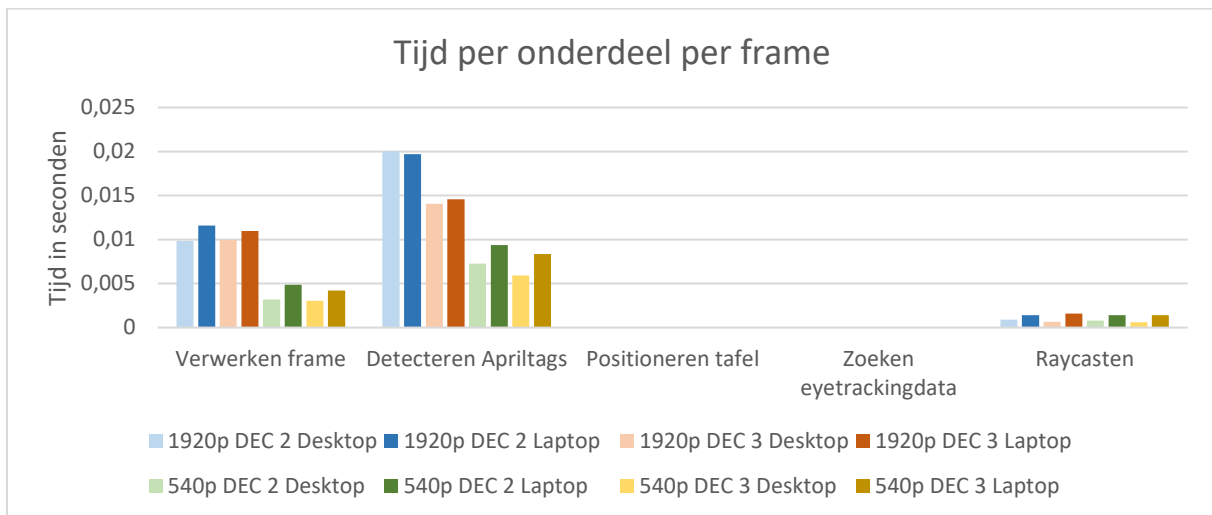
Lectoraat Data Intelligence

5.5 Testen

De applicatie is, zoals beschreven in de methode, getest middels een integratie- performance- en accuraatheidstest.

Uit de integratietest is gebleken dat de applicatie goed functioneert, wanneer de gebruiker de data op de goede manier invoert (Alberts, Testrapport eyetracking FoLA2, 2022). Omdat er geen controle op de invoer is ingebouwd, zijn de tests waarbij een verkeerde invoer wordt gegeven zoals verwacht ook niet geslaagd. Een overzicht van de testresultaten is te zien in bijlage 9.3.

Tijdens de performancetest is duidelijk geworden dat het detecteren van de Apriltags en het ontvangen, omzetten en doorsturen (verwerken) van één frame de grootste bottlenecks van de applicatie zijn, zie Figuur 8. In deze figuur is de tijd te zien die de verschillende stappen kosten voor één frame. Er is hierbij getest met een video van 540p en 1080p en met een decimatie van 2 en van 3.



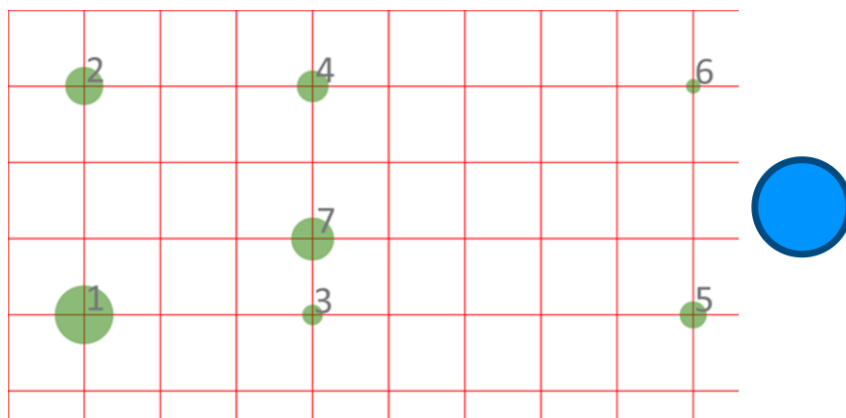
Figuur 8 Tijd per onderdeel per frame (Alberts, Testrapport eyetracking FoLA2, 2022)

Wat ook duidelijk wordt, is dat een hogere decimatie en een lagere resolutie (grote) impact hebben op de snelheid waarop de applicatie de data verwerkt (Alberts, Testrapport eyetracking FoLA2, 2022).

Uit de accuraatheidstest is gebleken dat de afwijking tussen de 1,4 centimeter en 5,7 centimeter ligt. Gemiddeld is de afwijking 3,24 centimeter. Dit komt overeen met een gemiddelde afwijking van 0,634 graden (Alberts, Testrapport eyetracking FoLA2, 2022).

Dit is ook te zien in Figuur 9. In deze figuur is de accuraatheid op verschillende punten te zien. Het geruite vlak is hierbij het tafelblad. Er is naar het midden van de groene cirkels gekeken, waarbij de gemiddelde afwijking de straal van de cirkel vormt. De blauwe cirkel is de testpersoon.

Lectoraat Data Intelligence



Figuur 9 Accuraatheid gevisualiseerd (Alberts, Testrapport eyetracking FoLA2, 2022)

6. Discussie

Tijdens dit project heeft de beperkte tijdsscope vaak een grote invloed gehad op belangrijke keuzes. Zo is bijvoorbeeld ervoor gekozen om geen Apriltags package voor UWP te schrijven, maar om in plaats daarvan met de Tobii Pro Glasses 3 te werken, waarbij dit niet noodzakelijk is.

Ook is vaak door de beperkte tijdsscope sneller of direct aan de slag gegaan met ideeën, voordat deze volledig waren onderzocht. Er kan zeker worden gezegd dat andere keuzes zouden zijn gemaakt, wanneer de tijd een minder grote rol had gespeeld.

Daarnaast is er ook snel voor gekozen om de applicatie niet realtime te laten werken, vanwege de complexiteit die ontstond door de vertraging in de beelden. Ook hierbij is de tijdsscope van grote invloed geweest. Wanneer de tijdsscope namelijk geen invloed zou hebben gehad, is het aannemelijk om te zeggen dat voor een realtime oplossing zou zijn gekozen. Deze zou dan bijvoorbeeld ook aan de FoLA2-applicatie kunnen worden gekoppeld, zodat de gevonden kijkpositie direct in FoLA2 kan worden gevisualiseerd.

Het prototype is wel zo modulair mogelijk gerealiseerd, zodat deze in een vervolgproject zou kunnen worden gebruikt om een realtime oplossing te realiseren. Ook aan de documentatie van de code is om deze reden veel aandacht besteed.

Tijdens de realisatie van het prototype is vooral de focus gelegd op het realiseren van een functioneel goede applicatie, waarbij performance en accuraatheid een grotere rol hebben gespeeld dan de user experience. Uiteraard is wel gezorgd voor een goede user interface, maar een controle om te zien of de data goed wordt ingevuld in de applicatie ontbreekt bijvoorbeeld.

Al met al kan wel worden gezegd, dat ondanks de aanwezige constraints, de keuzes zo objectief mogelijk zijn gemaakt, waarbij het realiseren van een functionerend eindproduct altijd de prioriteit heeft gehad.

7. Conclusie

Tijdens dit project is een applicatie gerealiseerd, waarmee de data van de Tobii Pro Glasses 3 kan worden verwerkt om zo te kijkposities op de tafel te berekenen. Hiermee wordt de oorspronkelijke doelstelling, het realiseren van een werkend prototype waarmee meerdere personen tijdens het spelen van FoLA2 kunnen worden ge-eyetracked, behaald.

Dit prototype voldoet aan alle must- en should-requirements. Aan het could-requirement, het visualiseren van de kijkposities op de tafel, kon door de beperkte tijdsscope niet worden voldaan.

Door de modulaire opbouw van de applicatie is het mogelijk dit in vervolgproject wel toe te voegen. Wel is het belangrijk om hierbij op te merken dat dit wellicht alternatieve hardware vereist, waarbij de latency voor het uitlezen van de data minder groot is (de Tobii Pro Glasses hebben een latency voor de videobeelden van circa 1 seconde). Dit zorgt er uiteraard voor dat binnen de individuele componenten in de applicatie ook de nodige wijzigingen zullen moeten worden gemaakt.

Ondanks dat het met het prototype niet mogelijk is om de kijkposities te visualiseren, is het prototype wel inzetbaar voor zijn oorspronkelijke doel: het onderzoeken van de samenwerking tijdens het spelen van FoLA2. De data kan hiervoor namelijk wel achteraf worden geanalyseerd.

Er zijn een aantal aanbevelingen voor vervolgprojecten te doen. Allereerst wordt aanbevolen om, zoals al eerder genoemd, de applicatie uit te breiden, zodat deze de data realtime kan verwerken.

Ook wordt aanbevolen om een field test op te zetten, waarin de toegevoegde waarde van eyetracking bij het onderzoeken van de samenwerking tijdens het spelen van FoLA2 wordt onderzocht.

Lectoraat Data Intelligence

8. Verwijzingen

Alberts, F. (2021). *Adviesrapport oplossingsrichting eyetracking FoLA2*.

Alberts, F. (2021). *Analyse MTLG-framework*.

Alberts, F. (2022, januari 19). *Eyetracking-On-Table*. Opgehaald van GitHub:
<https://github.com/FinnAlberts/Eyetracking-On-Table>

Alberts, F. (2022). *System Requirements Specificatie*.

Alberts, F. (2022). *Testrapport eyetracking FoLA2*.

Alberts, F., & Kornips, J. (2021). *Brainstorm oplossing eyetracking FoLA2*.

April Robotics. (2021, november 29). *AprilTag 3*. Opgehaald van GitHub:
<https://github.com/AprilRobotics/apriltag>

Bennett, S., McRobb, S., & Farmer, R. (2010). *Object-Oriented Systems Analysis and Design Using UML 4th Edition*. Maidenhead: McGraw-Hill Higher Education.

dorreneb, & vtieto. (2021, oktober 19). *QR code tracking overview*. Opgehaald van Microsoft Docs: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/develop/advanced-concepts/qr-code-tracking-overview>

Ehlenz, M. (2020, december 2). *Research Focus Class 2020 - Eye-Tracking in MTLG*. Opgehaald van YouTube:
<https://www.youtube.com/watch?v=7QbBoPnZwJQ&list=PLpxvUgFzizd7J8fyBJixWubwKQwjSznTI>

Eyeware. (2018, augustus 8). *Top 7 Use Cases & Applications for 3D Eye Tracking*. Opgehaald van Eyeware: <https://eyeware.tech/blog/top-7-use-cases-for-3d-eye-tracking/>

Haslam, O. (2019, september 18). *Apple is working on multi-user eye tracking for gaming and more*. Opgehaald van iMore: <https://www.imore.com/apple-working-multi-user-eye-tracking-gaming-and-more>

Hevner, A. R. (2007). A three cycle view of design science research. *Scandinavian journal of information systems*, 19(2), 4.

Hevner, A. R., & Gregor, S. (2013). Positioning and presenting Design Science Research for maximum impact. *MIS Quarterly Vol. 37 No. 2*, 337-355.

Krogius, M. (2019, januari 4). *AprilTag-imgs*. Opgehaald van Github:
https://github.com/AprilRobotics/apriltag-imgs/blob/master/tagStandard41h12/tag41_12_00000.png

Lectoraat Data Intelligence. (sd). *Over lectoraat Data Intelligence*. Opgehaald van Lectoraat Data Intelligence: <https://dataintelligence.zuyd.nl/over-lectoraat-di/>

Magic Leap. (sd). *Magic Leap*. Opgehaald van Magic Leap: <https://www.magicleap.com/en-us>

polar-kev, keveleigh, thetuvix, & RogPodge. (2021, juli 1). *Deploying to HoloLens and WMR headsets*. Opgehaald van Microsoft Docc: <https://docs.microsoft.com/en->

Lectoraat Data Intelligence

us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/supported-devices/wmr-mrtk?view=mrtkunity-2021-05

Pupil Labs. (sd). *Pupil Core*. Opgehaald van Pupil Labs: <https://pupil-labs.com/products/core/>

Schmitz, M. (2020, maart 25). *FoLA2 The Fellowship of Learning Activity & Analytics Promovideo*. Opgehaald van YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=pz5DtayUo1g>

Takahashi, K. (2021, februari 1). *jp.keijiro.apriltag - AprilTag package for Unity*. Opgehaald van Github: <https://github.com/keijiro/jp.keijiro.apriltag>

TobiiPro. (sd). *Tobii Pro Glasses 3*. Opgehaald van TobiiPro: <https://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-glasses-3/>

Wikipedia-community. (2021, april 30). *MoSCoW-methode*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/MoSCoW-methode>

Lectoraat Data Intelligence

9. Bijlagen

9.1 Vergelijking hardware oplossingsrichting

Tabel 2 Vergelijking hardware en oplossingsrichting (Alberts, Adviesrapport oplossingsrichting eyetracking FoLA2, 2021)

	Hololens van Microsoft	Pupil Core van Pupil Labs	Tobii Pro Glasses 3	Magic Leap
Aanschafkosten	Reeds ter beschikking. Indien meer gewenst kost de Hololens 2 € 3849,-	€ 2740,- (exclusief korting)	Reeds ter beschikking. Indien meer gewenst, prijs op aanvraag (circa € 15.000).	Reeds ter beschikking. Indien meer gewenst, prijs op aanvraag.
Mogelijkheden voor eyetracking op objecten (zoals een tafel)	Met Hololens 2. Hololens 1 alleen o.b.v. rotatie van het hoofd	✓	✓	
Breder inzetbaar dan alleen eyetracking	✓			✓
Te combineren met AR-assistent voor FoLA2	✓			✓
Geen eigen geschreven software voor eyetracking op tafel nodig*		✓		
Geen hoge investering in proof of concept nodig	✓		✓	✓
Los van FoLA2 te gebruiken	✓	✓	✓	✓

Lectoraat Data Intelligence

9.2 Requirements

Tabel 3 Eisen (Alberts, System Requirements Specificatie, 2022)

Nummer	Eis	Prioriteit	Datum
F1	Het systeem kan een gebruiker eyetracken, wanneer de gebruiker op de digitale tafel kijkt.	Must	7-12-2021
N2	Het systeem houdt rekening met de positie van de gebruiker ten opzichte van de tafel.	Must	7-12-2021
F3	Het systeem moet meerdere gebruikers tegelijkertijd kunnen eyetracken.	Must	7-12-2021
F4	Een externe applicatie moet de eyetracking-data kunnen uitlezen.	Should	7-12-2021
F5	De FoLA2-applicatie kan de eyetracking-data visualiseren voor de gebruikers.	Could	7-12-2021
F6	De eyetracking-data wordt gelogd.	Must	7-12-2021
N7	De eyetracking-resultaten hebben een zo klein mogelijke afwijking.	Should	7-12-2021
N8	Het interval tussen twee eyetracking-meetmomenten is zo klein mogelijk.	Should	7-12-2021
N9	De applicatie verwerkt de data zo snel mogelijk.	Should	12-1-2022

Lectoraat Data Intelligence

9.3 Testresultaten

Tabel 4 Testresultaten (Alberts, Testrapport eyetracking FoLA2, 2022)

Testnaam	Daadwerkelijk resultaat	Toelichting
Succesvol verwerken van data	Zoals verwacht.	
Videopad bestaat niet	Het scherm wordt wit (en blijft wit).	Controle is niet geïmplementeerd.
Gazedata-pad bestaat niet	De applicatie begint met verwerken, maar geeft vervolgens een foutmelding in de console. De applicatie loopt vervolgens vast.	Controle is niet geïmplementeerd.
Configuratiebestand-pad bestaat niet	Er verschijnt een foutmelding in de development console.	Controle is niet geïmplementeerd.
Decimatie bevat een illegale waarde	De applicatie verwerkt de data op een onbekende decimatie.	Controle is niet geïmplementeerd.
Uitvoerpad bestaat niet	De applicatie begint met verwerken, maar geeft vervolgens een foutmelding in de console. De applicatie loopt vervolgens vast.	Controle is niet geïmplementeerd.
Videobestand is niet juist	Het scherm wordt wit (en blijft wit).	Controle is niet geïmplementeerd.
Gazedatabestand is niet juist	De applicatie begint met verwerken, maar geeft vervolgens een foutmelding in de console. De applicatie loopt vervolgens vast.	Controle is niet geïmplementeerd.
Configuratiebestand is niet juist	Er verschijnt een foutmelding in de development console.	Controle is niet geïmplementeerd.
Uitvoermap is niet juist	De applicatie begint met verwerken, maar geeft vervolgens een foutmelding in de console. De applicatie loopt vervolgens vast.	Controle is niet geïmplementeerd.