

Développement de jeux-vidéos basés sur le suivi oculaire

Hugolin BOUHINEAU-CHEVIGNY

UGA et LIG

Grenoble, France

Hugolin.Bouhineau-Chevigny@etu.univ-grenoble-alpes.fr

Supervisé par : Didier SCHWAB

I understand what plagiarism entails and I declare that this report is my own, original work.
Name, date and signature:

Hugolin BOUHINEAU-CHEVIGNY, 09/06/2023

Abstract

People with cognitive or motor disabilities can find it hard to interact with their environment due to their limited abilities. Traditional interaction methods are not suitable for them, which causes stress as well as strains their social relationships. One approach to solving this problem is to use eye movements as a new interaction method. Video games are considered a good way to help disabled people develop the skills needed for this new type of interaction. This paper focuses on exploring different ways to develop such games and conducting user tests to evaluate the different methods developed.

Keywords: Eye-Tracking, Serious Games, Augmentative and Alternative Communication, Eye-based Interaction

1 Introduction

Les personnes atteintes de *polyhandicap*¹ rencontrent des difficultés à communiquer et à interagir avec leur environnement. Il est donc essentiel de pouvoir leur proposer une alternative aux méthodes d'interaction classiques basées par exemple sur la parole et le toucher. Afin de mettre en place cette Communication Augmentée et Alternative² (CAA), le regard est souvent considéré comme l'un des moyens les plus naturels et les plus faciles à mettre en place [1]. Certaines

compétences comme la fixation et la poursuite oculaire décrites plus loin doivent cependant être entraînées afin de pouvoir utiliser correctement les outils de CAA. Les jeux vidéo, du fait de leur côté ludique et très interactif, se prêtent plutôt bien à l'apprentissage de ces compétences. L'industrie du jeu vidéo elle-même s'intéresse beaucoup aux différentes utilisations possibles de l'oculométrie³ pour améliorer l'expérience de jeu par exemple en contrôlant la caméra à l'aide du regard. Souvent utilisé en complément des méthodes d'interactions classiques (souris, clavier), l'oculométrie peut également être utilisée comme moyen principal d'interaction, comme c'est le cas dans cette étude visant à explorer les différentes solutions pour adapter des jeux vidéo à une utilisation avec un oculomètre.

2 Contexte

2.1 Oculométrie

L'étude des mouvements des yeux remonte aux années 1800. Ces études ont permis de mettre en évidence les mouvements spécifiques que l'œil humain exécute [1] :

- Des saccades lorsque les yeux se déplacent d'un point d'intérêt à un autre.
- Une poursuite lorsque les yeux suivent une cible en mouvement.
- Une fixation lorsque les yeux cessent de balayer la scène et se focalisent sur un certain point.
- Un clignement consistant en une fermeture suivie rapidement par une ouverture de la paupière.

Le premier appareil mesurant ces mouvements apparaît autour des années 1900. Composé d'une sorte de lentille fixée à un fil relié à une aiguille, ce dispositif très invasif permettait de distinguer clairement les saccades et le trajet global du regard. Heureusement, ce genre d'appareil aujourd'hui appelé

¹ Le polyhandicap se définit comme un "handicap grave à expressions multiples associant toujours une déficience motrice et une déficience intellectuelle sévère ou profonde, entraînant une restriction extrême de l'autonomie et des possibilités de perception, d'expression et de relation" (<https://www.onisep.fr/inclusion-et-handicap/mieux-vivre-sa-scolarité/différentes-situations-de-handicap/scolarité-et-polyhandicap/définition-du-polyhandicap>)

² Pour plus de détails : <https://www.assistiveware.com/fr/apprendre-cao/quest-ce-que-la-cao>

³ L'oculométrie regroupe un ensemble de technique permettant d'enregistrer les mouvements oculaires. (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Oculom%C3%A9trie>)

oculomètre (Eye-Tracker en anglais) a beaucoup progressé et est devenu bien moins invasif grâce à l'utilisation de caméras infrarouges. Bien que les oculomètres ont souvent été assez chers et peu abordables avec des prix se comptant en milliers d'euros, on retrouve maintenant des marques proposant des oculomètres bon marché telle que Tobii⁴. Le Tobii 5 coûte actuellement 280€ et prend la forme d'une barre (voir figure 1) qui se place en dessous de l'écran et se connecte en USB sur un ordinateur.



Figure 1 : Tobii Eye Tracker 5

2.2 Techniques d'interactions

Plusieurs techniques d'interactions utilisant un oculomètre ont été imaginées [2]. Les techniques basées sur les clignements d'œil semblent être à première vue une bonne idée car un clignement d'œil pourrait remplacer un clic de souris. En réalité, ces techniques sont très dures à mettre en place car il est très compliqué de distinguer les clignements volontaires des clignements involontaires. De plus, dans le cas présent, un clignement peut parfois être très difficile à réaliser volontairement par une personne souffrant de polyhandicap [1]. La technique d'interaction la plus couramment utilisée dans les logiciels de CAA est celle dite de *temps de fixation* (Dwell-Time en anglais). Cette technique permet de sélectionner ou d'interagir avec un objet en le fixant du regard pendant un certain temps. Idéalement, un retour visuel est donné à l'utilisateur sous la forme d'une barre de progression. Cette méthode permet d'atténuer le problème du *Toucher de Midas*⁵. En effet, si à chaque fois que l'on regarde quelque chose une commande est activée, il devient vite impossible d'utiliser son regard comme on le fait habituellement afin de récupérer des informations sur ce qui se passe à l'écran. En ajoutant un délai avant que la commande ne soit exécutée, on atténue ce problème au prix d'un temps plus long pour exécuter une action.

C'est cette technique qui est principalement utilisée dans le logiciel GazePlay présenté ci-dessous.

2.3 GazePlay

GazePlay⁶ est un logiciel libre et gratuit rassemblant une soixantaine de mini-jeux entièrement jouables avec un oculomètre. Compatible avec les oculomètres des marques grand public tels que Tobii ou Eye Tribe⁷, il permet d'utiliser le regard comme moyen principal d'interaction. Il est également possible d'utiliser la souris pour jouer et la navigation dans les menus n'est actuellement possible qu'à l'aide de la souris. L'objectif est de permettre aux utilisateurs de se divertir tout en entraînant leur regard à effectuer certaines interactions pour par la suite pouvoir mettre en place une communication plus complexe fonctionnant par exemple grâce à des pictogrammes. En effet, GazePlay s'inscrit dans un projet plus grand nommé *InterAACtionBox*⁸ contenant trois autres logiciels : *AugCom*, *InterAACtion Scene* et *InterAACtion Player*. Visant tous à proposer un moyen de communication basé sur le regard, ils permettent par exemple de créer des grilles de pictogrammes et de s'exprimer à « voix haute » sans utiliser sa propre voix à l'aide de la synthèse vocale intégrée. Les jeux présents dans GazePlay visent tous à développer une ou plusieurs compétences. Ces compétences peuvent être rassemblées en cinq catégories [1] :

- Compétences d'action-réaction afin d'apprendre les différentes conséquences qu'un regard peut avoir sur ce qui se passe à l'écran.
- Compétences de sélection où le joueur doit sélectionner avec son regard un élément à l'écran.
- Compétences de mémorisation travaillant à la fois la mémoire à court terme et à long terme.
- Compétences liées à la littératie, regroupant les connaissances fondamentales dans les domaines de la lecture et de l'écriture
- Compétences logiques et mathématiques qui sont généralement apprises dans un enseignement scolaire classique auquel les personnes en situation de polyhandicap n'ont pas toujours accès.



Figure 2 : Menu principal de GazePlay

3 Objectifs

L'objectif de ce travail est dans un premier temps de développer de nouveaux jeux permettant de diversifier le

⁴ <https://www.tobii.com/>

⁵ Midas est un dieu de la mythologie grecque pouvant transformer tout ce qu'il touche en or, ce qui se révèle en fait être une terrible malédiction (pour plus de détail <https://fr.wikipedia.org/wiki/Midas>)

⁶ <https://gazeplay.github.io/GazePlay/>

⁷ Eye-Tribe n'existe plus et a été racheté par Facebook

⁸ <https://interaactionbox.afsr.fr/logiciels/>

catalogue de GazePlay. En particulier, permettre le développement de nouvelles compétences autres que celles déjà citées auparavant. D'autre part, la majorité des jeux déjà présents étant relativement simples, l'objectif est de proposer des jeux offrant un défi un peu plus important. Ces différents points ont orienté la recherche vers le développement de jeux en temps réel⁹ nécessitant de la rapidité d'exécution, de l'attention et de la précision. La difficulté est que ce genre de jeux n'est pas facilement adaptable à une utilisation avec un oculomètre. L'objectif de ce travail est donc également d'explorer les différentes possibilités d'adaptation de ce genre de jeux à un oculomètre.

4 Développement de jeux

4.1 Environnement de travail

GazePlay est un logiciel développé en Java utilisant le framework *JavaFX*¹⁰ pour la création de ses interfaces graphiques et s'appuyant sur plusieurs outils tels que *Gradle*¹¹ ou *Spring*¹² pour la construction du projet et les tests. La création d'un nouveau jeu ou d'une nouvelle fonctionnalité se fait en suivant les règles de *GitFlow*¹³. Les développeurs précédents de GazePlay ont développé une interface native Java pour construire une bibliothèque Java exploitant la bibliothèque C++ de Tobii [1]. Celle-ci permet d'utiliser les oculomètres de la marque Tobii facilement à l'aide d'événements¹⁴ similaires à ceux émis par une souris. L'Eye-Tribe dispose quant à lui déjà d'une bibliothèque Java qui est donc directement intégrée.

4.2 Puissance 4

Afin de se rendre compte des difficultés lors du développement d'un jeu vidéo jouable avec un oculomètre, une version du célèbre jeu *Puissance 4* a été développée (figure 3). Le principe de ce jeu est assez simple, les joueurs placent tour à tour un jeton dans la colonne de leur choix et le premier à aligner quatre jetons gagne. Dans la version développée, le placement d'un jeton se fait en fixant le haut de la colonne jusqu'à ce que l'indicateur de progression soit complet. La mise en place d'un jeu multijoueur jouable avec un oculomètre est relativement compliqué puisqu'il faudrait pouvoir suivre le regard des deux joueurs en même temps. Cela implique d'avoir un oculomètre avec une amplitude assez grande pour capter les deux joueurs, de pouvoir avoir un calibrage différent pour chaque joueur et de pouvoir savoir quel regard appartient à quel joueur. Ces difficultés font que dans la version développée, le joueur joue contre une « IA » basique.

Le développement de ce jeu a permis d'observer deux choses : la précision du regard est plus faible que celle d'une

souris et il est plus lent d'effectuer une action avec l'oculomètre en utilisant la méthode de fixation. Ces deux paramètres sont importants car ils signifient que les objets interactifs doivent avoir une taille minimale et que les actions nécessitant de la rapidité ne doivent pas être punitives. Bien que le puissance 4 soit un bon jeu pour commencer du fait de sa simplicité, il ne nécessite pas vraiment de rapidité et donc se prête relativement bien à une utilisation avec un oculomètre.

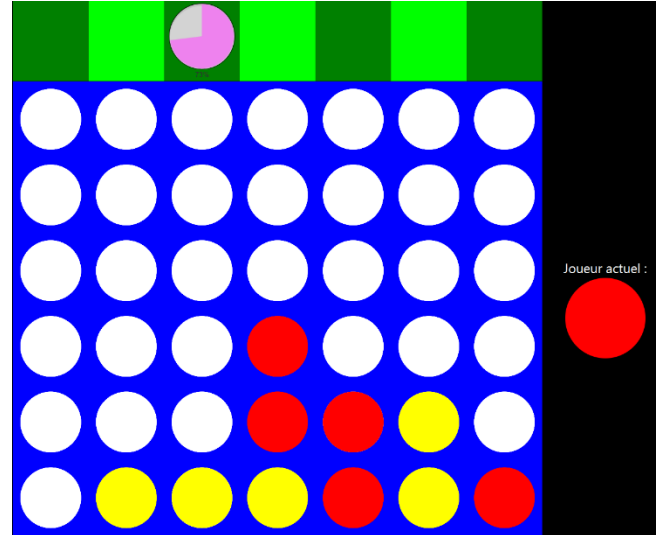


Figure 3 : Puissance 4 avec l'indicateur de progression rempli au trois quarts dans la 3^{ème} colonne

4.3 Aiguillages

L'objectif est de développer un jeu nécessitant de la rapidité d'exécution, de l'attention et de la précision et de l'adapter à une utilisation avec un oculomètre. Pour cela, le jeu *Aiguillages* (figure 4) inspiré du jeu *A toute vapeur* du site Lumosity¹⁵ a été développé.

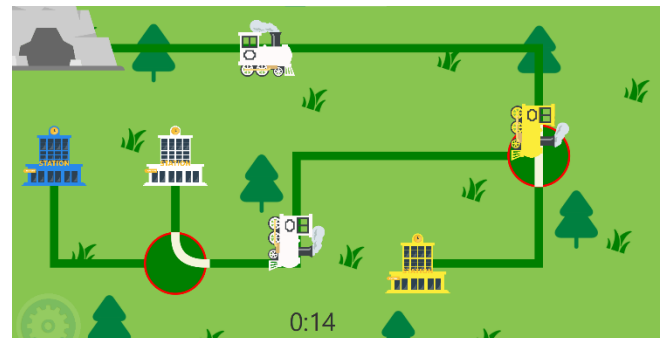


Figure 4 : Niveau 3 Gares du jeu Aiguillages

⁹ Jeux n'utilisant pas de découpage arbitraire du temps en tour de jeu.

¹⁰ <https://openjfx.io/>

¹¹ <https://gradle.org/>

¹² <https://spring.io/>

¹³ <https://www.atlassian.com/fr/git/tutorials/comparing-workflows/gitflow-workflow>

¹⁴ En JavaFX, un événement est une action ou un changement qui se produit dans une application graphique, comme un clic de souris, une pression de touche ou un changement d'état d'un composant. Les événements permettent aux développeurs de réagir et de prendre des mesures en fonction des interactions de l'utilisateur avec l'interface utilisateur.

¹⁵ <https://www.lumosity.com/fr/>

Le but du jeu d'*Aiguillages* est très simple, il suffit d'amener chaque train à la gare de la couleur correspondante. Un nombre prédéfini de trains sortent un par un de la montagne (en haut à gauche sur la figure 4) à intervalle régulier. Afin d'aiguiller les trains, il est possible d'activer les aiguillages (ronds verts cerclés de rouge) en les fixant du regard pendant un certain temps. Cela a pour effet de changer la voie vers laquelle ils orientent le train. Le score correspond au nombre de trains ayant atteint la gare de leur couleur et le temps mis à acheminer tous les trains à une gare est donné à titre indicatif. Trois niveaux sont disponibles, chacun d'une difficulté différente représentée par le nombre de gare. En effet, plus le nombre de gare est important, plus il est difficile de planifier un chemin. Le jeu est très simple à comprendre mais très difficile à maîtriser.

Ce jeu fait appel à la capacité de diviser son attention, c'est à dire la capacité à répondre simultanément à plusieurs tâches. En effet, il faut être attentif à tout l'écran et non pas seulement à un seul train. L'attention étant une ressource limitée, il est également très important de planifier à l'avance un maximum. De plus, les erreurs d'inattention ne sont pas très permissives car une fois qu'un train a dépassé un aiguillage il est impossible de revenir en arrière. D'autre part, il faut parfois activer très rapidement les aiguillages et ceux-ci sont parfois assez rapprochés dans les niveaux les plus durs. Ces différents points font que le jeu est en l'état relativement peu adapté à une utilisation avec un oculomètre. Plusieurs variantes ont donc été développées afin de rendre le jeu plus adapté.

La première appelée *Pause* consiste à mettre en pause le jeu à chaque fois qu'un train arrive à un aiguillage en laissant un délai minimal entre les pauses. Lorsque le jeu se met en pause, un bouton *Reprendre le jeu* apparaît en bas de l'écran et permet lorsque fixé du regard de reprendre le jeu lorsque souhaité (voir figure 5). Cette variante permet d'éliminer la contrainte de rapidité et d'être libre de prendre tout son temps. Elle n'élimine cependant pas toute la difficulté puisqu'il faut toujours trouver le bon chemin pour chaque train et faire attention à chaque train qui pourrait se situer sur un aiguillage.

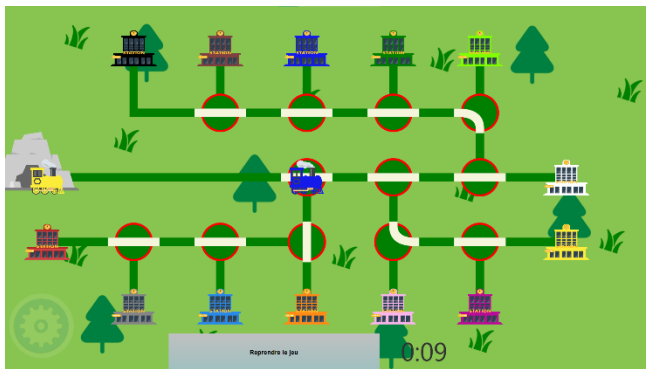


Figure 5 : Niveau 13 Gares du jeu Aiguillages avec le bouton reprendre le jeu en bas

La seconde variante appelée *Renvoyés* consiste à modifier le nombre de trains envoyés de telle sorte à ce que lorsqu'un

train atteint la mauvaise gare il soit renvoyé plus tard. Cette variante permet de rendre les erreurs plus permissives. Dans cette solution, le score est donc moins important que le temps mis à ce que tous les trains atteignent la bonne gare puisque tous les trains finiront par atteindre la bonne gare.

La dernière variante appelée *Un par un* consiste à envoyer les trains un par un de sorte que le train suivant ne soit envoyé que lorsque le train actuel atteint une gare. Cette variante ne fait donc plus appel à la compétence d'attention divisée puisqu'il n'y a plus qu'un seul élément à surveiller à la fois. La planification en revanche est toujours nécessaire.

Certaines améliorations communes à toutes les variantes et au jeu de base ont également été apportées. Par exemple, lorsqu'un train sort de la montagne, un son de sifflet de train est joué pour signaler au joueur qu'il y a un nouveau train à guider. De la même manière, lorsqu'un train arrive à une gare, un son et une petite animation se fait à l'emplacement de la gare concernée et dépend de si le train est bien de la même couleur que la gare (coche verte si oui, croix rouge sinon et le son change également). Les petites animations des trains permettent de rendre le jeu plus agréable à l'œil. Enfin, le premier train n'arrive que cinq secondes après le lancement du jeu pour laisser à l'utilisateur un petit temps pour analyser le niveau. Un compte rebours permet de savoir quand le premier train va partir et ce compte à rebours est animé de sorte à attirer l'œil sur la montagne qui est le point de départ des trains.

5 Test utilisateurs

Afin d'essayer de déterminer les avantages et inconvénients de chaque variante, un test utilisateurs a été mis en place.

5.1 Participants

L'expérience a pu être réalisée sur quatre personnes d'une moyenne d'âge de 23 ans ne possédant pas d'handicaps moteurs ou cognitifs. Les participants jouent fréquemment à des jeux-vidéos pour se divertir mais très peu à des jeux sérieux et n'ont pas ou très peu d'expérience avec un oculomètre. L'oculomètre utilisé pour cette expérience est le Tobii Eye Tracker 5.

5.2 Protocole

Avant le début du test, le principe du jeu et les différentes variantes ont été expliqués aux participants. Chacun a pu ensuite tester le jeu *Aiguillages* dans sa version classique en utilisant la souris comme moyen d'interaction sur le niveau le plus simple pour bien comprendre le jeu. Après un calibrage de l'oculomètre, les quatre versions (Classique + 3 variantes) utilisant l'oculomètre comme moyen d'interaction ont été testées sur le premier et dernier niveau. Chaque participant a testé les variantes dans un ordre différent avec une pause entre chaque variante afin d'essayer d'éviter les biais dû à la connaissance du jeu/niveau ou à la fatigue entraînée par l'utilisation de l'oculomètre qui est assez importante lors des premières sessions. A la fin de chaque niveau, le score et le temps mis à compléter le niveau est noté et l'utilisateur donne son ressenti sur son expérience de jeu.

5.3 Résultats

Au cours du test, il est très vite apparu que sur le niveau simple composé de seulement trois gares, la version classique du jeu est suffisante pour obtenir un score élevé (Score moyen de 9/10). Les variantes n'ont donc pas été testées sur ce niveau simple afin de ne pas trop fatiguer les utilisateurs. Les résultats du test sur le niveau composé de 13 Gares (voir figure 5) sont affichés dans la figure 6.

Variante	Score moyen	Temps moyen
Classique	4/10	1 m 04 s
Pause	7/10	4 m 36 s
Renvoyés	10/17	1 m 42
Un par un	7/10	1 m 55s

Figure 6 : Résultat du test utilisateur sur le niveau 13 Gares

Si l'on ne regarde que les données quantitatives on peut voir que :

- Dans la version *Classique* le score est assez bas.
- La variante *Pause* permet d'améliorer nettement le score au prix d'un temps de jeu bien supérieur. Le score moyen est cependant loin d'être parfait car bien que l'on dispose de tout le temps que l'on souhaite, les erreurs d'inattentions sont assez fréquentes.
- La variante *Renvoyés* n'apporte pas grand-chose par rapport à la version classique et obtient un score similaire (6 ratés pour la version classique contre 7 pour la version *Renvoyés*) et dure un peu plus longtemps.
- La variante *Un par un* permet d'obtenir un bon score tout en ayant une durée de jeu raisonnable.

Concernant les retours des utilisateurs, la version *Classique* est jugée trop dure et frustrante. La version *Pause* dure trop longtemps et n'est pas fluide à cause des trop nombreuses pauses. Elle est également très fatigante pour les yeux à cause de la manière dont la fonctionnalité pour reprendre le jeu est implémentée. La version *Renvoyés* est considérée, comme la version *Classique*, trop dure. Enfin, la version *Un par un* est la plus appréciée avec une difficulté modérée dépendant surtout de l'habileté de l'utilisateur avec l'oculomètre. Cette version est cependant jugée par certains un peu ennuyante avec beaucoup de temps d'attente lorsque tous les aiguillages ont été orientés correctement et qu'il ne reste plus qu'à attendre que le train arrive à la gare.

Il est également important de rappeler que la variante *Pause* entraîne une perte de la compétence de rapidité et que la variante *Un par un*, une perte de la compétence d'attention

divisée. De plus, ce test n'a pu être réalisé que sur 4 personnes qui ne font pas vraiment partie du public cible ce qui doit être pris en compte lors de l'analyse de ces résultats.

6 Conclusion

Ce travail a permis d'explorer plusieurs pistes pour adapter un jeu en temps réel nécessitant de la rapidité d'exécution et de l'attention divisée à une utilisation avec un oculomètre. Nous avons vu que les versions les plus efficaces d'un point de vue performance sont aussi celles entraînant une perte d'une partie des compétences visées et de l'expérience de jeu. D'autre part, il est très important de ne pas surcharger le joueur en lui ajoutant des actions supplémentaires à réaliser et de ne pas allonger la durée du jeu de manière excessive. Pour un travail futur, il serait intéressant de pouvoir effectuer les tests sur un plus grand nombre de personnes faisant partie du public cible. De plus, une expérimentation se déroulant en plusieurs parties sur une plus longue période serait intéressante afin de voir l'évolution des performances dans le temps. Concernant le jeu *Aiguillages*, il pourrait être intéressant de moduler la vitesse des trains et le délai entre les trains de manière dynamique en fonction des performances du joueur sur le niveau en cours. Par exemple, si le joueur est en difficulté la vitesse des trains pourrait être réduite et le délai entre les trains augmenté et inversement pour un joueur ne faisant pas d'erreurs.

Remerciements

Je tiens à remercier mon tuteur de stage Didier Schwab pour son soutien et son support tout au long de mon stage. Je remercie également Jordan Arrigo pour son encadrement sur le projet GazePlay. Enfin, je remercie ma tutrice pédagogique Vania Marangozova-Martin pour les retours faits sur mon pré-rapport.

Références

[1] D. Schwab, S. Riou, A. Fejza, L. Vial, J. Marku, W. El Husseini, E.K. Sannara, M. Bardon, Y. Robert, « Le projet GazePlay : des jeux ouverts, gratuits et une communauté pour les personnes en situation de polyhandicap », 1024 – Bulletin de la société informatique de France, 2020. (hal-03004915)

[2] Robert J. K. Jacob. 1990. "What you look at is what you get: eye movement-based interaction techniques". In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '90). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 11–18.
<https://doi.org/10.1145/97243.97246>

[3] A. Kar and P. Corcoran, "A Review and Analysis of Eye-Gaze Estimation Systems, Algorithms and Performance Evaluation Methods in Consumer Platforms," in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 16495-16519, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2735633.

[4] Lee, Min Kyung & Kim, Mirae & Dabbish, Laura. (2015). Shop-i: Gaze based Interaction in the Physical World for In-Store Social Shoppin Experience. 10.1145/2702613.2732797.

[5] Richardson, D. C., & Spivey, M. J. (2004). Eye tracking: Characteristics and methods. *Encyclopedia of biomaterials and biomedical engineering*, 3, 1028-1042.

[6] Velichkovsky, B., Sprenger, A., Unema, P. (1997). Towards gaze-mediated interaction: Collecting solutions of the "Midas touch problem". In: Howard, S., Hammond, J., Lindgaard, G. (eds) *Human-Computer Interaction INTERACT '97*. IFIP — The International Federation for Information Processing. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35175-9_77

[7] Stephen Vickers, Howell Istance, and Matthew Smalley. 2010. EyeGuitar: making rhythm based music video games accessible using only eye movements. In *Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '10)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 36–39. <https://doi.org/10.1145/1971630.1971641>