



HAL
open science

Sonification pour l'accessibilité des jeux VR et de l'entraînement sportif aux personnes aveugles et malvoyantes

Florian Apavou

► To cite this version:

Florian Apavou. Sonification pour l'accessibilité des jeux VR et de l'entraînement sportif aux personnes aveugles et malvoyantes. IHM'24 - 35e Conférence Internationale Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, AFIHM; Sorbonne Université, Mar 2024, Paris, France. hal-04490411

HAL Id: hal-04490411

<https://hal.science/hal-04490411>

Submitted on 5 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Sonification pour l'accessibilité des jeux VR et de l'entraînement sportif aux personnes aveugles et malvoyantes

Sonification for the accessibility of shooting games and sports training to blind and visually impaired people in virtual reality

FLORIAN APAVOU, Université Paris-Saclay, CNRS, LISN, Equipe VENISE, France

L'accessibilité numérique est importante pour permettre l'autonomie des personnes en situation de handicap dans les tâches du quotidien, ainsi que pour favoriser l'inclusion sociale par la pratique de loisirs. Dans ce contexte, cette thèse s'intéresse à la conception et la comparaison de méthodes de substitution sensorielle sonores pour rendre plus accessibles, aux personnes aveugles et malvoyantes, les tâches de pointage à distance, qu'il s'agisse de tir sportif ou de jeux vidéo de tir en réalité virtuelle.

Digital accessibility is important not only to help people with disabilities achieve independence in everyday tasks, but also to support social inclusion through leisure activities. In particular, this thesis focuses on the design and comparison of audio sensory substitution methods to make distal pointing tasks more accessible to blind and visually impaired people, whether in sport shooting or virtual reality shooting video games.

CCS Concepts: • **Human-centered computing** → **Accessibility design and evaluation methods**; **Auditory feedback**; **Pointing**; • **Applied computing** → **Computer games**.

Mots Clés et Phrases Supplémentaires: Interface humain-machine, Technologie d'assistance, Accessibilité, Sonification, Guidage auditif, Sports, Jeux vidéo, Tâche de pointage, Tâche de visée, Réalité virtuelle, Réalité augmentée

Additional Key Words and Phrases: Human-Machine Interface, Assistive Technology, Accessibility, Sonification, Auditory Guidance, Sports, Video Games, Pointing Task, Aiming Task, Virtual Reality

Reference:

Florian APAVOU. 2024. Sonification pour l'accessibilité des jeux VR et de l'entraînement sportif aux personnes aveugles et malvoyantes. *IHM '24 : Rencontres Doctorales de la 35^e conférence Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, March 25–29, 2024, Paris, France*

1 INTRODUCTION

Les loisirs sont des activités importantes au développement physique et mental de toute personne. Ils permettent aussi un épanouissement social par la pratique de sport en clubs, de jeux en ligne ou encore par le partage et les échanges autour de passions communes via des communautés. Cependant l'accès à ces activités peut s'avérer difficile pour des personnes en situation de handicap, en particulier les personnes aveugles et malvoyantes (PAM).

Bien qu'il existe en France officiellement 34 sports destinés aux personnes en situation de handicap moteur ou sensoriel (appelés handisports)¹, seulement 21 sont accessibles aux PAM, ce qui constitue une offre plus restreinte. De plus, les clubs adaptés sont moins nombreux et moins bien répartis que les clubs ordinaires, ce qui rajoute une barrière à la pratique de ces activités.

Quant aux jeux vidéo grand public, ces derniers ne sont généralement pas accessibles aux joueurs handicapés. On note le développement de jeux récents tels que *The Last of Us 2*, *Forza Motorsport*, *Mortal Kombat*, *God of War* ou *Spider-Man 2* qui ont été salués pour leurs innovations en terme d'accessibilité en permettant, par exemple, à des PAM de jouer grâce à l'ajout de contrastes élevés, lecteurs d'écran ou encore de retours sonores pour l'aide à la navigation.

1. <https://www.handisport.org/>

Pour le reste, les joueurs PAM se tournent vers les jeux dits audio qui sont spécifiquement conçus pour eux et qui s'appuient principalement sur des retours sonores et haptiques [3, 21, 35?]. Cependant, ces jeux sont moins nombreux et la plupart d'entre eux n'intéressent que les PAM (et non les personnes valides), ce qui accroît l'exclusion sociale. Or, R. Andrade *et al.* suggèrent dans leur enquête que les joueurs handicapés souhaitent pouvoir jouer aux mêmes jeux que les personnes valides [2].

L'objectif de cette thèse est de donner accès, à moindre coût, au tir sportif en club ordinaire et à des jeux de tir aux PAM afin de favoriser des pratiques mixtes entre voyants et malvoyants et aveugles. Pour ce faire, nous nous intéressons à la tâche de visée que l'on trouve dans les deux activités sportive et vidéoludique. Cependant, ces deux loisirs ont des contraintes différentes. En effet, en pratique sportive, la phase de tir repose sur des contraintes de précision et de vitesse fortes, mais les cibles sont généralement fixes. Tandis qu'en jeu vidéo, les cibles peuvent être mobiles et multiples, mais la visée peut alors s'appuyer sur des aides interactives (par exemple magnétisme). Cela induit des contraintes de précision moins fortes, mais l'activité nécessite toujours d'être rapide afin d'éliminer les ennemis avant qu'ils ne touchent le joueur.

Mes travaux visent à rendre accessible cette tâche de visée grâce à des méthodes de sonification et spatialisation sonore. Nous souhaitons aussi vérifier si ces méthodes de guidage sonore peuvent être généralisées à différents contextes (tir réel augmenté par du son vs. jeu vidéo en immersion virtuelle multi-sensorielle), ce qui permettrait d'étudier aussi le transfert de compétences entre environnements réels et virtuels.

2 APERÇU DE L'ÉTAT DE L'ART

Le développement d'outils d'accessibilité permet aux personnes en situation de handicap de pratiquer de manière autonome diverses tâches du quotidien et favorise leur inclusion sociale [17]. On trouve majoritairement des études sur l'aide à la navigation [4][15] en intérieur et extérieur, mais il existe aussi des recherches plus spécialisées dans les loisirs [16].

En dehors des sports accessibles proposés par la Fédération Française de Handisport, quelques études en cécifoot (football adapté aux PAM avec un ballon équipé de grelots ainsi que des gardiens de buts et personnes préposées au guidage voyants) se sont focalisées sur le temps de réaction des joueurs aveugles pour identifier la direction d'un son [19]. D'autres travaux proposent des cages de foot émettrices de sons et qui permettent aux joueurs PAM de s'entraîner à tirer [34]. Il existe aussi des recherches dédiées à l'accessibilité de nouvelles disciplines aux PAM, comme pour le badminton [13, 26].

Par ailleurs, des études ont été menées sur l'apport de retours sonores pour améliorer les performances sportives de personnes voyantes, par exemple en cyclisme, course à pied, aviron, ski [11, 32]. En tir, Konttinen *et al.* montrent qu'après 4 semaines d'entraînement avec des retours sonores, des tireurs voyants obtiennent de meilleures performances ainsi qu'une meilleure rétention de leurs aptitudes au travers du temps [14].

Concernant le jeu vidéo, les recherches sont principalement réparties en 2 catégories pour aborder le sujet de l'accessibilité du monde vidéoludique aux PAM. La première s'intéresse au développement de jeux spécifiquement conçus pour ce public. Ce sont majoritairement des jeux audio qui sont basés sur le rythme [9, 21, 35]. Certaines recherches tentent cependant de diversifier les genres en concevant des jeux basés sur d'autres mécanismes, tels que l'exploration ou des jeux de puzzles sonorisés [3?]. La seconde méthode consiste à créer des outils qui, à l'aide de retours sonores ou haptiques [23, 30], vont permettre de rendre accessibles aux PAM des jeux vidéo initialement destinés au public valide, tels que des jeux de courses [24, 28], éducatifs [31] ou de tir [33].



Fig. 1. Athlète malvoyant avec un pistolet laser équipé d'un support pour smartphone

Malgré tout, assez peu de recherches s'intéressent exclusivement au tir et à la visée, c'est pourquoi nous avons mené une étude bibliographique systématique sur la base de combinaison de mots-clés liés à la sonification (« Audio », « Auditory », « Sound », « Non-visual », « Sonification ») et aux tâches de pointage et de tirs (« Guidance », « Target », « Shooting », « Fitts », « Pointing », « Poursuit ») dans des domaines variés.

Cette revue nous a permis de retenir 15 articles. Parmi ceux là, certains travaux étudient des méthodes de sonification sans application prédéterminée. Par exemple, [12, 25] comparent plusieurs paramètres sonores pris séparément pour aider un utilisateur à trouver une cible sur une ligne. Guarese et al. propose aussi une comparaison de méthodes de sonification pour guider un curseur sur un écran 2D à l'aide d'une souris, destiné par la suite à améliorer des tâches micro-guidage manuel en réalité virtuelle pour des PAM [10]. Gao et al. [8] comparent différentes manières de représenter la hauteur du son sur l'axe vertical (afin de compenser notre mauvaise perception du son en élévation) en combinaison avec du tempo sur l'axe horizontal. On trouve aussi des recherches pour la selection de cibles 3D guidée par l'haptique, en combinaison à des signatures audio spatialisées pour lever l'ambiguïté de la cible à sélectionner parmi plusieurs [18]. Côté applicatif, les travaux les plus fréquents se trouvent dans le domaine médical [20, 36?] où les études s'attèlent à guider par du son la main du chirurgien dans des conditions de visibilité faible. Enfin, l'usage de retours sonores pour aider des utilisateurs à s'orienter vers une cible a été étudié dans divers autres contextes, tels que : le pointage à distance [5, 6], la recherche de points d'intérêt dans un panorama [7] et le cadrage de caméra sur un sujet [27].

3 PROBLÉMATIQUE ET QUESTIONS DE RECHERCHE

La tâche de tir (visée ou pointage à distance) est une tâche que l'on retrouve à la fois dans certains sports et dans certains jeux vidéo. Toutefois, les contraintes de cette tâche varient en fonction du contexte. Ainsi, le sportif fait face à des contraintes fortes de vitesse et de précision. Par exemple, en Laser Run qui est le sport que nous cherchons à rendre accessible, il est demandé d'atteindre 5 fois en moins de 50 secondes le centre d'une cible de 17 cm seulement placé à 10 m du tireur. En revanche en jeu vidéo, on trouve des aides à la visée permettant aux joueurs de toucher plus facilement les ennemis. La difficulté en jeu vidéo est alors réglable mais vient surtout du fait que les cibles soient généralement mouvantes, multiples et hostiles envers les joueurs.

La première partie de cette thèse s'intéresse à rendre le Laser Run accessible aux PAM à moindre coût pour des clubs sportifs ordinaires. Pour cela, nous développons une application d'aide à la visée sonore pour smartphone. Le

smartphone sera fixé sur un pistolet de tir ordinaire et utilisera la réalité augmentée (RA) afin de détecter des cibles réelles et émettre des retours sonores en fonction de la distance angulaire par rapport à la cible (Fig.1).

Une première question se pose alors : quelle est la méthode de sonification qui permet des performances optimales de visée sur des cibles fixes en tir sportif pour des personnes aveugles et malvoyantes (RQ1) ?

Pour ce faire, nous avons développé une plateforme expérimentale de tir en réalité virtuelle (RV) pour s'appuyer sur le système de suivi de mouvement intrinsèque aux dispositifs de RV. Cela nous permet de comparer diverses méthodes de guidage sonore trouvées dans la littérature.

Le développement de ces deux plateformes RA et RV devrait nous permettre de répondre à une deuxième question durant la thèse : un transfert de compétence entre environnement virtuel et réel est-il possible (RQ2) ? Autrement dit, nous souhaitons vérifier dans un deuxième temps si l'entraînement aux sports de tir est possible en réalité virtuelle, c'est-à-dire la RV est-elle susceptible d'améliorer les performances réelles ? En outre, ces travaux permettront également de déterminer si l'entraînement dans un environnement réel augmenté peut entraîner une amélioration des performances dans un environnement virtuel (en jeu vidéo). Autrement dit, les sportifs qui s'entraînent au tir en réalité augmentée audio acquièrent-ils des compétences de visée utiles en jeu vidéo ?

Enfin, la troisième partie de la thèse s'intéressera plus particulièrement aux jeux vidéo de tir en RV. Nous voulons en effet traiter la phase précédant la tâche de visée (repérage et sélection des autres personnages, compréhension de l'environnement en jeu) et la rendre accessible par le son. Cela aurait pour but d'accroître l'indépendance de joueurs PAM et leurs capacités à établir leurs propres stratégies. Nous souhaitons déterminer quels retours sonores : - permettent de distinguer et localiser des groupes d'alliés et d'ennemis (RQ3) ? - comprendre et prévoir les déplacements d'une cible mouvante (RQ4) ?

4 AVANCEMENT DES TRAVAUX ET PREMIÈRES CONTRIBUTIONS

L'objectif de notre première étude est de déterminer quelle méthode de sonification permet d'obtenir les meilleures performances de guidage en termes de vitesse et de précision. Suite à notre étude bibliographique systématique (cf section 2), il s'avère qu'il existe peu d'articles dans la littérature en tir sportif [1, 22] et peu de jeux de FPS audio en dehors de jeux tels que *Terraformers*. Par ailleurs, toutes ces recherches sont très variées en termes de précision et de durée des tâches. En l'occurrence :

- (1) Les espaces à parcourir pour trouver une cible vont de quelques centimètres sur un écran à quelques mètres autour de l'utilisateur.
- (2) Les temps de visée vont de quelques secondes à près d'une minute.

Il en résulte qu'il est difficile sur la base de cette étude bibliographique de sélectionner la méthode la plus appropriée à notre contexte d'aide à la visée pour le tir sportif et le jeu vidéo.

Nous avons donc choisi de créer une plateforme de tir en réalité virtuelle afin de profiter du suivi de mouvement du système ainsi qu'un meilleur contrôle de l'environnement expérimental sous Unity. Parmi les méthodes sonores recensées dans la littérature, 4 ont été sélectionnées basées sur leur conception et leur performance : une méthode basée sur la hauteur du son seule [29], 2 méthodes basées sur la hauteur du son et le tempo [8] et une méthode basée sur la couleur, les battements et la rugosité du son [36].

En plus de comparer ces méthodes, nous souhaitons également observer si les performances en visée audio peuvent s'approcher des performances de visée visuelle des participants voyants. L'évaluation de ces méthodes se fait sur des personnes aveugles et malvoyantes, mais aussi sur des personnes voyantes que nous mettons en situation de handicap

visuel (cibles invisibles), afin de pallier la difficulté de trouver des participants aveugles et malvoyants. Cela nous permet également d'établir une base de référence en visée visuelle.

Les premiers résultats de cette étude, obtenus sur une population de personnes voyantes, montre que les méthodes de guidage audio mènent globalement à des tirs plus précis que la visée visuelle pouvant s'expliquer par la présence de sons contrastants au centre des cibles. Cependant, la condition visuelle a mené à des performances de vitesse bien meilleures que les conditions audio. Les analyses montrent aussi que la méthode basée sur les paramètres de couleur, battements et rugosité amène à des performances plus lentes que les autres méthodes possiblement dues à la complexité de cette dernière. Cette étude est toujours en cours de recrutement de personnes aveugles et malvoyantes.

Une seconde étude est actuellement en cours de développement afin d'adapter une plateforme sur smartphone en utilisant la réalité augmentée pour détecter des cibles réelles et émettre des sons pour guider la visée. Cela permettrait aux clubs ordinaires de s'équiper de supports de smartphone moins coûteux se plaçant sur des armes conventionnelles de tir. L'étude permettrait de rendre accessible des disciplines qui ne le sont pas encore comme le Laser Run. Cependant la pratique sportive demandant une grande précision, des problèmes techniques doivent préalablement être abordés afin d'éviter des erreurs de calibration de cible, de suivi de mouvement ou d'imprécision des capteurs pouvant affecter les performances des sportifs. Une fois développée, cette plateforme mobile nous permettra d'entraîner des PAM en tir et aussi de vérifier si les compétences acquises lors d'entraînement en réalité virtuelle peuvent se transférer dans la pratique réelle.

5 PERSPECTIVES ET CONCLUSION

La substitution sensorielle est un domaine d'étude qui connaît une croissance significative dans la recherche pour l'accessibilité, seulement peu d'études se penchent sur le contexte du tir sportif ou encore des jeux vidéo de tir en réalité virtuelle. Notre étude s'intéresse à concevoir et comparer des méthodes de sonification permettant des performances de précision et de vitesse optimale. Nous souhaitons aussi développer des solutions peu coûteuses pour les clubs et les PAM afin d'ouvrir l'accès à de nouvelles activités en pratique mixte avec des personnes voyantes et ainsi de permettre une meilleure inclusion sociale. Les futurs travaux de cette thèse s'intéresseront à améliorer l'accessibilité des jeux vidéo de tir. Notre objectif serait de favoriser la compréhension de l'environnement de jeu en élaborant des retours sonores pour localiser et distinguer diverses cibles fixes ou encore suivre des cibles en mouvements.

REMERCIEMENTS

Je remercie mes encadrants de thèse Tifanie Bouchara et Patrick Bourdot pour leur supervision et leurs conseils ainsi que l'association MixHandi-CapsurLaVie pour leur collaboration. Ces travaux ont en partie été financé par l'ANR dans le cadre du programme d'Investissements d'Avenir (PIA) au titre de la subvention ANR-21-ESRE-0030 / CONTINUUM.

RÉFÉRENCES

- [1] Peter M. Allen, Keziah Latham, Rianne H. J. C. Ravensbergen, Joy Myint, and David L. Mann. 2019. Rifle Shooting for Athletes With Vision Impairment : Does One Class Fit All? *Frontiers in Psychology* 10 (2019). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.01727>
- [2] Ronny Andrade, Melissa J. Rogerson, Jenny Waycott, Steven Baker, and Frank Vetere. 2019. Playing Blind : Revealing the World of Gamers with Visual Impairment. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Glasgow Scotland Uk, 1–14. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300346>
- [3] Dominique Archambault. 2004. *The TiM Project : Overview of Results*. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3118. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 248–256. https://doi.org/10.1007/978-3-540-27817-7_38
- [4] M. Bujacz and P. Strumillo. 2016. Sonification : Review of Auditory Display Solutions in Electronic Travel Aids for the Blind. *Archives of Acoustics* Vol. 41, No. 3 (2016), 401–414. <https://doi.org/10.1515/aoa-2016-0040>

- [5] SeungA Chung, Kyungyeon Lee, and Uran Oh. 2020. Investigating Three-dimensional Directional Guidance with Nonvisual Feedback for Target Pointing Task. In *2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*. IEEE, Recife, Brazil, 206–210. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct51615.2020.00061>
- [6] Seung A Chung, Kyungyeon Lee, Sohyeon Park, and Uran Oh. 2021. Three-dimensional Nonvisual Directional Guidance for People with Visual Impairments. In *2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops)*. 81–86. <https://doi.org/10.1109/PerComWorkshops51409.2021.9431084>
- [7] Konstantinos Dadamis, John Williamson, and Roderick Murray-Smith. 2022. 3D Cues for Human Control of Target Acquisition in Auditory Augmented Reality. (2022).
- [8] Zihan Gao, Huiqiang Wang, Guangsheng Feng, and Hongwu Lv. 2022. Exploring Sonification Mapping Strategies for Spatial Auditory Guidance in Immersive Virtual Environments. *ACM Transactions on Applied Perception* 19, 3 (July 2022), 1–21. <https://doi.org/10.1145/3528171>
- [9] Eitan Glinert and Lonce Wyse. 2007. AudiOdyssey : an accessible video game for both sighted and non-sighted gamers. In *Proceedings of the 2007 conference on Future Play - Future Play '07*. ACM Press, Toronto, Canada, 251. <https://doi.org/10.1145/1328202.1328255>
- [10] Renan Guarese, Ron van Schyndel, and Fabio Zambetta. 2022. Evaluating micro-guidance sonification methods in manual tasks for Blind and Visually Impaired people. (2022).
- [11] Shoichi Hasegawa, Seiichiro Ishijima, Fumihiro Kato, Hironori Mitake, and Makoto Sato. 2012. Realtime sonification of the center of gravity for skiing. In *Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference*. ACM, Megève France, 1–4. <https://doi.org/10.1145/2160125.2160136>
- [12] Prithvi Ravi Kantan. 2022. Comparing Sonification Strategies Applied to Musical and Non-Musical Signals for Auditory Guidance Purposes. (June 2022). <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6573218>
- [13] Shin Kim, Kun-pyo Lee, and Tek-Jin Nam. 2016. Sonic-Badminton : Audio-Augmented Badminton Game for Blind People. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM, San Jose California USA, 1922–1929. <https://doi.org/10.1145/2851581.2892510>
- [14] Niilo Kontinen, Kaisu Mononen, Jukka Viitasalo, and Toni Mets. 2004. The Effects of Augmented Auditory Feedback on Psychomotor Skill Learning in Precision Shooting. *Journal of Sport and Exercise Psychology* 26, 2 (June 2004), 306–316. <https://doi.org/10.1123/jsep.26.2.306>
- [15] Bineeth Kuriakose, Raju Shrestha, and Frode Eika Sandnes. 2022. Tools and Technologies for Blind and Visually Impaired Navigation Support : A Review. *IETE Technical Review* 39, 1 (Jan. 2022), 3–18. <https://doi.org/10.1080/02564602.2020.1819893>
- [16] Manuel López Ibañez, Alejandro Romero Hernández, Borja Manero, and María Guijarro Mata-García. 2022. Computer Entertainment Technologies for the Visually Impaired : An Overview. *IJIMAI* 7, 4 (2022), 53–68.
- [17] Roberto Manduchi and Sri Kurniawan. 2018. *Assistive Technology for Blindness and Low Vision*. CRC Press. Google-Books-ID : Df3RBQAAQBAJ.
- [18] Bob Menelas, Lorenzo Picinalli, Brian F. G. Katz, and Patrick Bourdot. 2010. Audio haptic feedbacks for an acquisition task in a multi-target context. In *2010 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*. IEEE, Waltham, MA, 51–54. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2010.5444722>
- [19] Takumi Mieda, Masahiro Kokubu, and Mayumi Saito. 2019. Rapid identification of sound direction in blind footballers. *Experimental Brain Research* 237, 12 (Dec. 2019), 3221–3231. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05670-4>
- [20] Ognjen Miljic, Zoltan Bardosi, and Wolfgang Freysinger. 2019. Audio Guidance for Optimal Placement of an Auditory Brainstem Implant with Magnetic Navigation and Maximum Clinical Application Accuracy. In *Proceedings of the 25th International Conference on Auditory Display (ICAD 2019)*. Department of Computer and Information Sciences, Northumbria University, Newcastle upon Tyne, 313–316. <https://doi.org/10.21785/icad2019.075>
- [21] Daniel Miller, Aaron Parecki, and Sarah A. Douglas. 2007. Finger dance : a sound game for blind people. In *Proceedings of the 9th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets '07*. ACM Press, Tempe, Arizona, USA, 253. <https://doi.org/10.1145/1296843.1296898>
- [22] Joy Myint, Keziah Latham, David Mann, Phil Gomersall, Arnold J Wilkins, and Peter M Allen. 2016. The relationship between visual function and performance in rifle shooting for athletes with vision impairment. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine* 2, 1 (Feb. 2016), e000080. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2015-000080>
- [23] Vishnu Nair, Jay L. Karp, Samuel Silverman, Mohar Kalra, Hollis Lehv, Faizan Jamil, and Brian A. Smith. 2021. NavStick : Making Video Games Blind-Accessible via the Ability to Look Around. In *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. 538–551. <https://doi.org/10.1145/3472749.3474768> arXiv :2109.01202 [cs].
- [24] Gaëtan Parseihian, Mitsuko Aramaki, Sølvi Ystad, and Richard Kronland-Martinet. 2018. *Exploration of Sonification Strategies for Guidance in a Blind Driving Game*. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 11265. Springer International Publishing, Cham, 413–428. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01692-0_27
- [25] Gaëtan PARSEIHIAN, Charles Gondre, Mitsuko Aramaki, Sølvi Ystad, and Richard Kronland Martinet. 2016. Comparison and Evaluation of Sonification Strategies for Guidance Tasks. *IEEE Transactions on Multimedia* 18, 4 (2016), 674–686. <https://doi.org/10.1109/TMM.2016.2531978>
- [26] Masaaki Sadasue, Daichi Tagami, Sayan Sarcar, and Yoichi Ochiai. 2021. *Blind-Badminton : A Working Prototype to Recognize Position of Flying Object for Visually Impaired Users*. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 12769. Springer International Publishing, Cham, 494–506. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78095-1_36
- [27] Keiichi Seko and Kentaro Fukuchi. 2012. A guidance technique for motion tracking with a handheld camera using auditory feedback. In *Adjunct proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST Adjunct Proceedings '12)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 95–96. <https://doi.org/10.1145/2380296.2380339>
- [28] Brian A. Smith and Shree K. Nayar. 2018. The RAD : Making Racing Games Equivalently Accessible to People Who Are Blind. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Montreal QC Canada, 1–12. <https://doi.org/10.1145/3173574.3174090>

- [29] British Blind Sport. 2018. A Guide To Visually Impaired Friendly Sport. (2018).
- [30] Manohar Swaminathan, Sujeath Pareddy, Tanuja Sunil Sawant, and Shubi Agarwal. 2018. Video Gaming for the Vision Impaired. In *Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. ACM, Galway Ireland, 465–467. <https://doi.org/10.1145/3234695.3241025>
- [31] Shari Trewin, Vicki L. Hanson, Mark R. Laff, and Anna Cavender. 2008. PowerUp : an accessible virtual world. In *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (Assets '08)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 177–184. <https://doi.org/10.1145/1414471.1414504>
- [32] Vincent van Rheden, Thomas Grah, and Alexander Meschtscherjakov. 2020. Sonification approaches in sports in the past decade : a literature review. In *Proceedings of the 15th International Conference on Audio Mostly*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 199–205. <https://doi.org/10.1145/3411109.3411126>
- [33] T Westin. 2004. Game accessibility case study : Terraformers – a real-time 3D graphic game. *Virtual Reality* (2004), 6.
- [34] Francisco Yandun, Fernando A. Auat Cheein, Daniela Lorca, Omar Acevedo, and Cecilia Auat Cheein. 2019. Design and evaluation of sound-based electronic football soccer training system for visually impaired athletes. *BioMedical Engineering OnLine* 18, 1 (Dec. 2019), 76. <https://doi.org/10.1186/s12938-019-0695-5>
- [35] Bei Yuan and Eelke Folmer. 2008. Blind hero : enabling guitar hero for the visually impaired. In *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets '08*. ACM Press, Halifax, Nova Scotia, Canada, 169. <https://doi.org/10.1145/1414471.1414503>
- [36] Tim Ziemer and Holger Schultheis. 2019. Psychoacoustic auditory display for navigation : an auditory assistance system for spatial orientation tasks. *Journal on Multimodal User Interfaces* 13, 3 (Sept. 2019), 205–218. <https://doi.org/10.1007/s12193-018-0282-2>