

Apprentissage profond pour la modélisation et la formation en Réalité virtuelle des conducteurs des deux-roues motorisés (English version below)

Mots clés : Interaction-Homme-Machine, Réalité Virtuelle, Apprentissage profond, Intelligence Artificielle, Formation à la conduite Moto, Simulateur, Eye-tracking.

Direction des travaux

Directeur de thèse : Hedi TABIA, PU, équipe IRA2, IBISC/UEVE-Université Paris Saclay, hedi.tabia@univ-evry.fr

Co-encadrant : Amine CHELLALI, MCF, équipe IRA2, IBISC/UEVE-Université Paris Saclay, amine.chellali@univ-evry.fr

Domaines scientifique et axes stratégiques

Ce projet de thèse interdisciplinaire se trouve à la frontière entre les domaines de l'interaction homme-machine (IHM) et de la réalité virtuelle (RV) d'un côté, et de l'intelligence artificielle de l'autre. Il répond à des enjeux sociétaux majeurs comme la mobilité et la sécurité routière. Ce projet s'inscrit pleinement dans le cadre de l'institut DATAIA de l'Université Paris Saclay. Il sera réalisé au sein de l'équipe IRA2 du laboratoire IBISC et en étroite collaboration avec l'équipe SIAM dans le cadre de l'axe transverse de recherche du laboratoire autour de l'IA. Il fait suite au projet TEDw1 lauréat de l'AAP 2019 du Département STIC de l'Université Paris-Saclay et qui a permis de financer une partie du matériel nécessaire à sa réalisation.

Thématique scientifique : actualité et enjeux

1.1. Contexte

Les véhicules à deux-roues motorisés (V2RM) sont un axe de recherche prioritaire pour les institutions en charge de l'étude du comportement et de la sécurité des usagers vulnérables. L'accidentologie des deux-roues est bien plus importante, comparée à celle des autres usagers. En moyenne, 1200 motards sont tués chaque année sur les routes depuis 20 ans. Alors que la mortalité routière en France a connu une baisse notable, celle des motards s'est fortement aggravée (~25% des accidents mortels sur la route, bilan de l'ONISR). Aujourd'hui, la situation reste critique et demeure un enjeu européen comme en témoigne l'investissement de la communauté européenne dans ce secteur, notamment en ce qui concerne les conducteurs novices qui constituent 45% des accidents.

Bien que les avancées techniques soient balbutiantes, les études portant sur les facteurs humains dans ce contexte sont quasi absentes. Ce projet de thèse se veut précurseur au niveau national sur la modélisation des conducteurs des V2RM dans le but de prédire les situations accidentogènes et d'aider les conducteurs novices à mieux réagir.

1.2. Problématique

La vision humaine est capitale pour une meilleure conduite. Les conducteurs scrutent en permanence l'environnement pour suivre une direction souhaitée, éviter les véhicules et les dangers. Aussi, le rôle de la direction du regard et l'étendu du champ visuel sur la conduite a été l'objet de plusieurs travaux de recherche [1, 2, 3, 4, 5]. Ces études ont montré que ces facteurs impactent la variabilité de la direction du véhicule et son positionnement sur la chaussée. D'autres études ont examiné la relation entre différents facteurs humains (défiance visuelle, distractions, charge cognitive...) et la conduite [6, 7, 8]. Cependant très peu de ces travaux ont concerné les V2RM.

A ce jour, aucun travail n'a abordé l'impact de la direction du regard sur la conduite moto. De nombreuses discussions avec des centres de formation à la conduite V2RM ont confirmé que l'impact de la direction du regard sur les performances de conduite est capital et se manifeste à travers différentes situations telles que : 1- l'adaptation de la vitesse lors d'un changement de voie, 2- le maintien de la trajectoire dans les courbes, 3- la position sur la chaussée pendant les virages, 4- le maintien des distances inter véhiculaires, 5- les compétences d'anticipation, 6- l'interaction avec les autres véhicules etc. Un exemple avéré est celui

¹ Training the Eye for Driving two-wheeled vehicles

d'un mouvement de haut en bas de la tête qui conduit en une trajectoire en zig-zag (variabilité accrue) de la moto menant à des situations parfois dangereuses.

1.3. Objectifs du projet

Ce projet de thèse utilisera les techniques d'intelligence artificielle (IA) basées sur l'apprentissage profond pour analyser et modéliser le comportement humain et les techniques d'interaction homme machine basées sur une conception centrée sur l'humain afin de modifier ce comportement. Pour ce faire, ce projet se propose, d'un côté, d'**analyser les performances de la conduite des V2RM**, en termes de variabilité de la trajectoire, **en fonction de la direction du regard** (mouvement oculaire) et de l'expertise du conducteur et d'en extraire les relations de cause-à-effet. De l'autre côté, il vise à **proposer un système d'aide à la conduite** permettant la **correction de la direction du regard des motocyclistes** pour faire converger la trajectoire réelle vers celle souhaitée. Cette phase sera réalisée en proposant de nouvelles techniques d'interaction homme machine dans des environnements virtuels de simulation de conduite des V2RM.

La première tâche de ce travail de thèse **consistera à concevoir un système interactif** (en réalité virtuelle ou mixte) **capable de reproduire une situation de conduite réelle dans un environnement simulé** [9]. Cet outil logiciel sera couplé avec la plateforme physique de simulation de V2RM du laboratoire [10]. Il devra permettre à l'aide d'un casque de réalité virtuelle équipé d'un oculomètre de simuler un scénario de conduite d'un V2RM et d'extraire les comportements oculaires du conducteur. Une phase de validation de ce système sera nécessaire afin de s'assurer que le comportement du conducteur sur le simulateur est similaire à son comportement en conduite réelle.

La seconde tâche consistera ensuite à **analyser et à comparer les performances de conduite entre plusieurs motards en fonction de différents paramètres**, en particulier, la direction et la trajectoire de leur regard. Les mesures seront réalisées sur le simulateur avec des motards ayant des niveaux d'expertise différents (novice, confirmé et expert). Les paramètres de conduite qui incluent la trajectoire réalisée, les changements de voies, la variabilité du placement latéral, l'accomplissement de la trajectoire de sécurité, le suivi de leader, seront codées par des réseaux de neurones profonds [11, 12]. Ces derniers seront capables (1) d'évaluer le niveau d'un conducteur et (2) de prédire la trajectoire optimale dans un environnement non contrôlé. Un des scénarios typiques que l'on prendra comme base de comparaison sera celui de la prise de virage (avec ou sans trafic).

La troisième tâche consistera à proposer, sur la base du modèle identifié, **un outil de formation et d'aide à la conduite** pour améliorer les performances des conducteurs novices. Pour ce faire, nous proposons de concevoir un outil interactif pour la formation des motards. Cette outil permettra : 1- d'extraire les comportements oculaires du conducteur novice pendant la conduite simulée, 2- de comparer en temps-réel ces données avec le modèle proposé et 3- de mettre en place des guides virtuels permettant de corriger la direction de son regard, lorsque celle-ci diverge de celle d'une conduite sûre. En se basant sur une méthodologie de conception centrée sur l'humain [13], différentes modalités de guidage seront proposées et comparées à travers des échanges avec les experts du domaine et des études expérimentales simulant différents scénarios de conduite.

La quatrième tâche consistera enfin à **évaluer le transfert des compétences apprises sur le simulateur proposé vers le monde réel**. Une nouvelle étude expérimentale sera mise en place pour évaluer les performances de conduite, mais cette fois dans une situation de conduite réelle.

Résultats attendus

- Réaliser une étude de l'état de l'art sur l'impact du regard sur la qualité de la conduite.
- Concevoir et développer le prototype virtuel d'un simulateur de conduite V2RM,
- Proposer un modèle permettant de décrire les relations de cause-à-effet entre la direction du regard et les performances de conduite des motocyclistes, en fonction de l'expertise du conducteur,
- Concevoir un système d'aide à la conduite basé sur des guides virtuels, permettant la correction de la direction du regard des conducteurs de V2RM afin de faire converger la trajectoire réelle vers celle de sécurité,
- Évaluer le prototype pour valider son efficacité pour la formation des conducteurs novices,

- Publier les résultats dans des conférences internationales reconnues (ex. IEEE VR ou ACM CHI) et dans au moins une revue de renommée internationale.

Compétences et qualités requises

Bonne maîtrise de la conception/programmation (si possible Unity/C#), connaissance des interactions 3D, de la réalité virtuelle, de la méthodologie de conception centrée utilisateur, et des méthodes d'analyse de données et d'intelligence artificielle, avoir un goût pour la recherche, le travail d'équipe et les échanges pluridisciplinaires.

Par ailleurs, les critères de sélection du candidat sont très importants, nous citons par exemple :

- La qualité du candidat (résultats du Master ou équivalents, aptitudes du candidat à la recherche telles qu'elles peuvent s'évaluer à partir des périodes de stage ou mémoire de recherche, publications, et recommandations des encadrants pédagogiques),
- L'adéquation du profil du candidat à la réalisation du projet de thèse.

Conditions de travail

Les travaux de thèse seront réalisés au laboratoire IBISC. [Des plateformes expérimentales](#) (plateforme de réalité virtuelle EVR@ (fig1), plateforme Véhicules et Drones) seront mises à disposition avec différents dispositifs matériels et logiciels nécessaires à la réalisation du projet (oculomètres, casques de réalité virtuelle, motos, simulateur de moto, logiciel d'analyse de données oculaires...). Cette thèse sera réalisée dans la suite des travaux de l'équipe IRA2 sur l'étude du comportement visuel [14], la conception des simulateurs et des aides multimodales pour la formation [9, 13, 15]. Elle sera également réalisée en collaboration avec l'équipe SIAM du laboratoire IBISC qui a une longue expérience dans le domaine de la conception des simulateurs et des systèmes d'aides à la conduite de V2RM [10, 16].



Fig1. Exemples de simulations et technologies présentes sur les plateformes IBISC (CAVE, casques, bras à retour d'efforts, oculomètres...)

Dossier de candidature

Le dossier de candidature comportant un CV, une lettre de motivation, les relevés de notes (M1 et M2) avec classements, deux lettres de recommandation est à envoyer par mail à : amine.chellali@univ-evry.fr et hedi.tabia@univ-evry.fr avant le 5 Mai 2020. La candidature finale devra être directement déposée sur le site de candidature de l'Université Paris Saclay.

Deep learning for modeling and training two-wheeled vehicle drivers in Virtual Reality

Key words: Human Computer Interaction, Virtual reality, Deep learning, Artificial Intelligence, Training motorcycle drivers, Driving Simulators, Eye tracking

Supervisors

Thesis director: Hedi TABIA, Pr, IRA2 group, IBISC/UEVE-Université Paris Saclay, hedi.tabia@univ-evry.fr
Co-supervisor: Amine CHELLALI, Assistant Professor, IRA2 group, IBISC/UEVE-Université Paris Saclay, amine.chellali@univ-evry.fr

Scientific fields and strategic axes

This interdisciplinary thesis project is at the intersection of the fields of human-computer interaction (HCI) and Virtual Reality (VR) on the one hand, and Artificial Intelligence (AI) on the other. It tackles major societal challenges such as mobility and road safety. It is fully in line with the research topics of the DATAIA Institute at Paris Saclay University. It will be carried out within the IRA2 research group, at the IBISC laboratory and in close collaboration with the SIAM research group as part of the laboratory transverse research axis around AI. It will be carried out in the context of the TEDw project, funded by the 2019 AAP of the STIC Department, Université Paris-Saclay, which served to fund the necessary equipment for its realization.

1.4. Research problematic: context and challenges

1.1. Context

Two-wheeled vehicles (2-WV) are a priority research area for institutions studying the behavior and safety of vulnerable users. The number of accidents for bikers is much more important, compared to that of other users. On average, 1,200 bikers have been killed on the roads every year during the last 20 years. While road mortality in France has dropped significantly, that of motorcyclists has greatly worsened (~ 25% of fatal road accidents, ONISR results). Today, the situation is still critical and remains a European challenge as demonstrated by the investment of the EU in this sector, in particular with regard to novice drivers who are involved in 45% of accidents.

Although technical advances, studies on human factors in the field are very limited. This thesis project aims to be a national pioneer on the modeling of 2-WV drivers' behavior in order to predict accident-causing situations and help novice drivers to better react.

1.2. Problematic

Human vision is crucial for a safer driving. Drivers visually explore their environment to follow a desired direction, and to avoid vehicles and hazards. Therefore, the role of gaze direction and the extent of the visual field on driving has been the subject of several research studies [1, 2, 3, 4, 5]. These studies have shown that these factors impact the direction of the vehicle and its position on the road. Other studies have examined the relationship between different human factors (visual impairment, distractions, cognitive load, etc.) and driving [6, 7, 8]. However, only a few of these studies have concerned 2-WV. To our best knowledge, no previous work has addressed the impact of the gaze direction on motorcycle driving. Our discussions with 2-WV training centers have confirmed that the impact of gaze direction on driving performance is crucial and can be observed in different situations such as: 1- adapting the speed during a lane change, 2- maintaining the vehicle trajectory in curves, 3- Positioning the vehicle on the roadway during turns, 4- maintaining inter-vehicle distances, 5- Developing anticipation skills, 6- Interacting with other vehicles etc. For instance, up and down head movements lead to a zigzag (increased variability) trajectory of the motorcycle leading sometimes, to dangerous situations.

1.3. Objectives

This thesis project will use AI techniques based on deep learning to analyze and model human behavior, and HCI techniques based on a human-centered design to improve this behavior. For that purpose, this project proposes, on the one hand, to analyze the 2-WV driving performance, in terms of trajectory

variability, based on gaze direction (eye movements) and the driver's expertise, and to extract cause-and-effect relationships. On the other hand, it aims to propose a driving training assistance system allowing the correction of the gaze direction of the motorcyclists to change the real trajectory towards a safety trajectory. This phase will be carried out by proposing new interaction techniques in a VR driving simulation for 2-WV.

The first task of this thesis work will be to **design an interactive system** (in virtual or mixed reality) to **recreate a real driving situation in a simulated environment** [9]. This software tool will be coupled with the physical simulation platform of our laboratory [10]. It will use a VR headset equipped with an eye tracker to simulate a 2-WV driving scenario, and to extract the driver's gaze behavior. A validation phase of this system will be necessary to ensure that the driver's behavior on the simulator is similar to his behavior in actual driving.

The second task will then consist in **analyzing and comparing the driving performance between several bikers according to different parameters**, in particular, their gaze direction and movements. These measurements will be carried out on the simulator with bikers with different levels of expertise (novices, confirmed and experts). The driving parameters which include the vehicle trajectory, the lane changes, the variability of the vehicle lateral movements, the accomplishment of the safety trajectory, the leader follow-up, will be coded using deep neural networks [11, 12]. This will permit to (1) assess the level of a driver and (2) predict the optimal trajectory in an uncontrolled environment. One of the typical scenarios that will be used as a basis for comparison will be that of turns taking (with or without traffic).

The third task will consist in proposing, on the basis of the identified model, **a training and driving aid tool to improve the performance of novice drivers**. For that purpose, we propose to design an interactive tool for training bikers. This tool will allow: 1- to extract the gaze behavior of a novice driver during simulated driving, 2- to compare it in real time with the proposed model, and 3- to use visual aids to correct the direction of his gaze, when it diverges from that of safe driving. Based on a human-centered design methodology [13], different visual guidance methods will be proposed and compared through discussions with field experts, and experimental studies simulating different driving scenarios. The final task will consist in **evaluating the transfer of skills** learned on the proposed simulator to the real world. A new experimental study will be set up to assess driving performance, but this time in a real driving situation.

Expected results

- Carrying out a literature review on the impact of gaze behavior on the quality of driving,
- Designing and developing the prototype of the virtual 2-WV driving simulator,
- Proposing a model to describe the cause-and-effect relationship between the gaze direction and the driving performance of motorcyclists, based on the driver's expertise,
- Designing a training assistance system based on virtual guides, allowing the correction of the gaze direction of a 2-WV driver in order to correct the real trajectory towards that of safety,
- Evaluate the prototype to validate its effectiveness for training novice drivers,
- Publish the results in recognized international conferences (eg. IEEE VR or ACM CHI) and in at least one international journal.

Required skills and qualities

Good design/programming skills (Unity/C# if possible), knowledge of 3D interactions, virtual reality, user-centered design methodology, data analysis methods, deep learning, and artificial intelligence, have a taste for research, teamwork and multidisciplinary work.

In addition, the candidate selection criteria are very important, this includes for instance:

- The quality of the candidate (academic results of the Master or equivalent, research skills of the candidate that can be assessed through internships or research dissertations, publications, and recommendations of research supervisors),
- The matching between the candidate's profile and the research topic.

Working conditions

The thesis work will be carried out at the IBISC lab. Experimental platforms (EVR@ VR platform (fig 1), Vehicles and Drones platform) will be available with various hardware and software necessary for carrying out the project (eye tracking systems, VR headsets, motorcycles, a motorcycle simulator, Eye tracking data analysis software...). This thesis will be inline with the work of the IRA2 group on gaze behavior analysis [14], the design of VR simulators, and multimodal training aids [13, 9, 15]. It will also be conducted in collaboration with the SIAM group of the IBISC lab, which has a long experience in the design of simulators and driving assistance systems for 2-WV [10, 16].

Application file

The application file, including a CV, a motivation letter, transcripts (Master 1 and Maser 2) with rankings, two recommendation letters should be sent by email to: amine.chellali@univ-evry.fr and hedi.tabia@univ-evry.fr before May 5, 2020. The final application must be directly submitted through the application site of Université Paris Saclay.

Références

- [1] Lobjois R, Mars F (2019) Effects of motorcycle simulator configurations on steering control and gaze behavior in bends. *Journal of experimental psychology: applied*
- [2] Vansteenkiste P, Van Hamme D, Veelaert P, Philippaerts R, Cardon G, Lenoir M (2014) Cycling around a curve: the effect of cycling speed on steering and gaze behavior. *PloS one* 9
- [3] Itkonen T, Pekkanen J, Lappi O (2015) Driver gaze behavior is different in normal curve driving and when looking at the tangent point. *PloS one* 10
- [4] Di Nocera F, Camilli M, Terenzi M (2006) Using the distribution of eye fixations to assess pilots' mental workload. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, pp 63–65
- [5] Lobjois R, Siegler IA, Mars F (2016) Effects of visual roll on steering control and gaze behavior in a motorcycle simulator. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 38: 55–66
- [6] Harbluk JL, Noy YI, Trbovich PL, Eizenman M (2007) An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance. *Accident Analysis & Prevention* 39: 372–379
- [7] Seya Y, Nakayasu H, Yagi T (2013) Useful field of view in simulated driving: Reaction times and eye movements of drivers. *i-Perception* 4: 285–298
- [8] Deng Q, Wang J, Hillebrand K, Benjamin CR, Söffker D (2019) Prediction performance of lane changing behaviors: a study of combining environmental and eye-tracking data in a driving simulator. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*
- [9] Bouyer G, **Chellali A**, Lécuyer A (2017) Inducing self-motion sensations in driving simulators using force-feedback and haptic motion. *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*, pp 84–90
- [10] Arioui H, Nehaoua L, Hima S, Séguy N, Espié S (2010) Mechatronics, design, and modeling of a motorcycle riding simulator. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 15: 805–818
- [11] Luvizon D, Picard D, **Tabia H** (2020) Multi-task Deep Learning for Real-Time 3D Human Pose Estimation and Action Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*
- [12] Paumard MM, Picard D, **Tabia H** (2020) Deepzzle: Solving Visual Jigsaw Puzzles With Deep Learning and Shortest Path Optimization. *IEEE Transactions on Image Processing* 29: 3569–3581
- [13] **Chellali A**, Mentis HM, Miller A, Ahn W, Arikatla VS, Sankaranarayanan GS, Schwaitzberg SD, Cao CGL (2016) Achieving Interface and Environment Fidelity in the Virtual Basic Laparoscopic Surgical Trainer. *International Journal of Human-Computer Studies* 96: 22–37
- [14] Mentis HM, **Chellali A**, Schwaitzberg S (2014) Learning to see the body: supporting instructional practices in laparoscopic surgical procedures. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp 2113–2122
- [15] Roth-Monzon EL, **Chellali A**, Dumas C, Cao CGL (2012) Training effects of a visual aid on haptic sensitivity in a needle insertion task, Vancouver, pp 199–202
- [16] Nehaoua L, Arioui H, Seguy N, Mammam S (2013) Dynamic modelling of a two-wheeled vehicle: Jourdain formalism. *Vehicle System Dynamics* 51: 648–670