

Sujet de thèse

Compagnon Virtuel de Maintenance par une Réalité Augmentée Personnalisée

1 - Contexte

La thèse de doctorat proposée a pour contexte l'aide à la maintenance industrielle par la réalité augmentée. Elle s'inscrit dans le cadre du projet VIMACO, labellisé par l'ANR à travers l'appel à projet de recherche collaborative avec l'entreprise en 2021 (projet d'une durée de 4 ans). Le projet VIMACO (pour Virtual Maintenance Companion) vise à favoriser la transmission de connaissances et compétences entre opérateurs experts et novices à travers un ensemble de technologies associant l'observation de l'opérateur, l'intelligence artificielle et la réalité augmentée.

Le projet VIMACO a pour objectif de développer des méthodes et outils de réalité augmentée personnalisée pour l'assistance à la maintenance industrielle. Il s'agit d'un projet de recherche collaborative entreprise (PRCE) associant les laboratoires LiSPEN (sciences de l'ingénieur en immersion virtuelle et intelligence artificielle) et CAPS (sciences de la cognition) et les entreprises DIOTA (PME en technologies de la réalité augmentée pour l'industrie) et SAFRAN (grand groupe de l'industrie aéronautique). La maintenance industrielle est un domaine pour lequel les compétences humaines sont précieuses et les opérations complexes. La littérature scientifique dans le domaine de l'assistance à la maintenance par la réalité augmentée fait état de travaux sur la valeur ajoutée de la réalité augmentée, la capture et l'analyse du geste humain ainsi que l'analyse de procédure de maintenance basée sur le système. Peu de travaux s'intéressent à l'opérateur, son niveau d'expertise et les informations adaptées à sa tâche. Le projet VIMACO a pour ambition d'apporter une assistance personnalisée à l'opérateur de maintenance. Les problématiques scientifiques identifiées sont liées à l'analyse du comportement afin d'extraire un squelette de la procédure de maintenance, la connaissance du niveau d'expertise et des singularités motrices de l'opérateur ainsi que les techniques de guidage interactif en réalité augmentée. Trois questions de recherche sont traitées dans le cadre de ce projet : Comment extraire une procédure de maintenance par l'analyse des mouvements d'un opérateur expert ? Comment extraire les singularités motrices d'un opérateur standard et en déduire son niveau d'expertise afin de mieux le guider ? Quels sont les retours sensoriels à apporter à un opérateur standard en fonction de l'information manquante juste nécessaire ?

2 - Problématiques

Au sein du projet VIMACO, la thèse de doctorat proposée s'attachera plus particulièrement à la recherche de méthodes et outils permettant de capitaliser les connaissances et savoir-faire des opérations de maintenance industrielle en vue d'apporter les informations nécessaires adaptées à l'opérateur dans le système de guidage par réalité augmentée. Les problématiques sont ainsi liées à l'extraction du niveau d'expertise et des singularités motrices de l'opérateur ainsi que les retours sensoriels justes nécessaires à apporter à l'opérateur en réalité augmentée en fonction de l'information manquante.

3 - Etat de l'art

L'immersion virtuelle par la réalité virtuelle et augmentée est par essence très dépendante de la perception du sujet. Aussi, il existe de nombreuses expériences d'immersion virtuelle pour lesquelles des différences de perception entre les sujets sont observées (cybersickness, motion sickness, comportement). De nombreux

facteurs [ljs00] peuvent expliquer cela (âge, expérience, capacités cognitives et motrices...). Aussi, l'adaptation personnalisée des modalités d'interaction fait l'objet de travaux de recherche concernant principalement la simulation de conduite (pour éviter le mal des simulateurs) [Cle19] et l'interaction en réalité virtuelle [Mic20] [Plo18]. Cependant, peu de travaux existent sur l'adaptation personnalisée des interactions en réalité augmentée. Il est également observé que la multisensorialité peut améliorer l'immersion virtuelle lorsqu'elle est adaptée au sujet [Tri19].

La maintenance est un axe d'amélioration important dans l'industrie 4.0 en raison de la complexité et de la diversité des tâches et de la transmission des compétences entre experts et novices [Dam18] [Gat19] [Scu18]. [Cha17] propose des méthodes et des outils de démontage par RA en deux étapes (détection d'une séquence d'états et d'actions à partir d'une analyse des interactions possibles entre les pièces, puis RA pour fournir un guidage). L'expertise de l'opérateur n'est pas prise en compte (approche centrée sur le système). [Syb16] propose des instructions dynamiques pour les opérations de maintenance données à l'opérateur en fonction d'un système expert basé sur des règles. Les règles du système expert sont alimentées par un expert hors ligne et manuellement. L'intelligence artificielle (IA) est une technologie prometteuse pour améliorer les opérations dans l'industrie [Fah20]. Les travaux de recherche récents sur l'utilisation de l'IA pour la maintenance sont surtout menés pour faire de la reconnaissance de situation sur les équipements [Mou20] [Buk20].

L'analyse du mouvement humain fait l'objet de nombreux travaux [Adi20] [Ben17]. Certains sont appliqués dans le domaine de la rééducation fonctionnelle notamment mais aussi industriels pour des études d'ergonomie des postes de travail. De nombreux travaux ont été réalisés sur la capture et l'analyse des gestes en utilisant des techniques sophistiquées de classification ou d'intelligence artificielle [Kow21] [Yan19] [Adi20] ou en présentant une approche topologique de la reconnaissance de gestes humains via la persistance homologique dont les résultats sont déjà très prometteurs [Dir16],[Zel21]. [Mal21] a étudié le jumeau numérique d'un couple humain-robot afin de détecter les conflits potentiels pour programmer le mouvement du robot. Pour cela, un mannequin virtuel, contrôlé par une capture de mouvement experte, est utilisé. Récemment, [Num20] a développé un travail visant à créer une base de données de connaissances des gestes de la main dans les tâches de maintenance. Le projet européen WEKIT a développé un cadre pour enregistrer un mouvement expert et le restituer à un apprenti. Un état de l'art intéressant a été fait concernant les systèmes de RA basés sur des capteurs [Lim18], montrant des goulots d'étranglement dans la modélisation des processus cognitifs, la mesure de l'état émotionnel de l'opérateur ainsi que la capture des performances des experts. Depuis quelques années, plusieurs travaux ont mis en évidence l'existence de singularités motrices dans le mouvement humain [Hil16]. Dans la littérature, cependant, très peu de travaux concernent l'analyse de l'opérateur et de son niveau d'expertise.

4 - Verrous scientifiques

Afin d'atteindre les objectifs de la thèse, les verrous scientifiques suivants ont été identifiés :

- **Verrou scientifique 1 : classification en différents niveaux d'expertise.** L'ambition liée à ce verrou est de développer des méthodes et outils permettant d'extraire une classification des signatures de mouvements en différentes classes de niveaux d'expertise. Des méthodes et des outils seront développés pour distinguer des classes de niveaux d'expertise (par exemple 5 classes) construites à partir de données sur les mouvements (trajectoires de la main, regard) et la performance de la tâche (vitesse d'exécution, précision du geste, séquence de mouvement) d'un ensemble significatif d'opérateurs humains. Afin de faciliter ce travail de classification, nous faisons l'hypothèse qu'une expérimentation en immersion virtuelle de l'ensemble de la tâche de maintenance permet de construire cette classification. Pour valider l'utilisation de la réalité virtuelle dans cette étude, des comparaisons expérimentales seront effectuées sur des cas représentatifs entre le modèle physique et son équivalent en modèle virtuel. La classification sera mise en œuvre à l'aide d'une analyse élaborée des données utilisant des techniques d'intelligence artificielle (méthodes d'apprentissage automatique).
- **Verrou scientifique 2 : extraction du profil de l'opérateur.** En lien avec le verrou précédent, des méthodes et outils seront consacrés à l'extraction de la spécificité du comportement de l'opérateur par rapport à sa stratégie de réalisation de la tâche. Cela permettra de déterminer le modèle expert le plus approprié à suivre

pour le guidage à effectuer. Cela concerne des préférences possibles de l'opérateur en terme de retours d'informations (visuelles, tactiles, sonore) par rapport à son approche proprioceptive lors de l'opération.

- **Verrou scientifique 3 : Informations multi-sensorielles en réalité augmentée pour le guidage personnalisé.** Ce verrou consiste à étudier et proposer les informations pertinentes pour le guidage personnalisé de l'opérateur en fonction de son niveau d'expertise et de son profil stratégique (gradation entre une approche visuelle et une approche proprioceptive). Ces informations seront constituées d'un niveau de guidage et d'un type de retour sensoriel (couplage visuo-haptique et poids relatifs des modalités).

Les verrous technologiques suivants seront également étudiés dans le cadre de cette thèse :

- **Verrou technologique 1 : analyse en temps réel du niveau d'expertise de l'opérateur.** Des méthodes et outils seront développés pour extraire en temps réel les paramètres les plus pertinents des mouvements de l'opérateur qui serviront à identifier son niveau d'expertise (par comparaison avec les classes d'expertise préalablement déterminées). L'homologie persistante mise à contribution pour extraire des descripteurs topologiques des données dynamiques analysées sera combinée avec des méthodes d'Intelligence Artificielle afin de discriminer les opérateurs selon leur niveau d'expertise.
- **Verrou technologique 2 : démonstrateur technologique.** Un démonstrateur technologique sera réalisé pour ces travaux de recherche. Il est envisagé de développer un démonstrateur en réalité virtuelle mais une version en réalité augmentée pourra faire l'objet de développement spécifique en fonction de l'avancée des travaux.

5 - Approche proposée

L'approche proposée suivra les étapes suivantes :

- Etat de l'art lié aux problématiques
- Etudes des verrous scientifiques et expressions des questions de recherche
- Propositions d'expérimentations et protocoles expérimentaux
- Développement de démonstrateurs technologiques sur des scénarii représentatifs
- Expérimentations et analyse de données pour validation des propositions
- Publications

6 - Résultats attendus

Les résultats attendus de ces travaux de recherche sont les suivants :

- Démonstrateurs technologiques
- Evaluations en laboratoire
- Publications dans des conférences internationales et dans des journaux à comité de lecture
- Communications en séminaires internes, réunions internes
- Manuscrit de thèse et soutenance finale

7 - Lieu de réalisation des travaux

Les travaux seront réalisés sur le site du laboratoire LISPEN de Chalon-sur-Saône.

8 - Contacts

- Christophe Guillet (christophe.guillet@ensam.eu)
- Frédéric Merienne (frederic.merienne@ensam.eu)
- Aylen Ricca (aylen.ricca@ensam.eu)

9 - Bibliographie

- [Adi20] Adithya V., Rajesh R., A Deep Convolutional Neural Network Approach for Static Hand Gesture Recognition, *Procedia Computer Science*, Volume 171, 2020, Pages 2353-2361, ISSN 1877-0509.
- [Ben17] Bensekka C., Guillet C., Merienne F., Pozzo T. A topological approach for human movement classification and anticipation. In *Gait & Posture*, volume 57, pages 229–230, Trondheim, Norway, September 2017. Elsevier.
- [Buk20] Bukhsh ZA., Stipanovic I., Saeed A., Doree A., Maintenance intervention predictions using entity-embedding neural networks, *Automation in Construction*, Volume 116, 2020, 103202, ISSN 0926-5805.
- [Cha17] M.M.L. Chang, S.K. Ong, A.Y.C. Nee, AR-guided Product Disassembly for Maintenance and Remanufacturing, *Procedia CIRP*, Volume 61, 2017, Pages 299-304, ISSN 2212-8271.
- [Cle19] Cleij D., Venrooij J., Pretto P., Katliar M., Bülthoff HH., Steffen D., Hoffmeyer FW., Schöner HP., Comparison between filter- and optimization-based motion cueing algorithms for driving simulation, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Volume 61, 2019, Pages 53-68, ISSN 1369-8478.
- [Dam18] Damiani L., Demartini M., Guizzi G., Revetria R., Tonelli F. Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 51, Issue 11, 2018, Pages 624-630, ISSN 2405-8963.
- [Dir16] A. Dirafzoon, N. Lokare and E. Lobaton, "Action classification from motion capture data using topological data analysis," *2016 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, 2016, pp. 1260-1264, doi: 10.1109/GlobalSIP.2016.7906043.
- [Fah20] Fahle S., Prinz C., Kuhlenkötter B. Systematic review on machine learning (ML) methods for manufacturing processes – Identifying artificial intelligence (AI) methods for field application. *Procedia CIRP* Vol 93, 2020, Pages 413-418, Elsevier B.V.
- [Gat19] Gattullo M., Scurati G., Fiorentino M., Uva AE., Ferrise F., Bordegoni M. Towards augmented reality manuals for industry 4.0: A methodology, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 56, 2019, Pages 276-286.
- [Hil16] Hilt P., Berret B., Papaxanthis C. et al. Evidence for subjective values guiding posture and movement coordination in a free-endpoint whole-body reaching task. *Sci Rep* 6, 23868 (2016).
- [Ijs00] Ijsselstein, Wijnand & Ridder, Huib & Freeman, Jonathan & Avons, Steve. (2000). Presence: Concept, determinants and measurement. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 3959. 10.1117/12.387188.
- [Kow21] Kowdiki M., Khaparde A., Automatic hand gesture recognition using hybrid meta-heuristic-based feature selection and classification with Dynamic Time Warping, *Computer Science Review*, Volume 39, 2021, 100320, ISSN 1574-0137.
- [Lim18] Limbu BH., Jarodzka H., Klemke R., Specht M., Using sensors and augmented reality to train apprentices using recorded expert performance: A systematic literature review, *Educational Research Review*, Volume 25, 2018, Pages 1-22, ISSN 1747-938X.
- [Mal21] Malik AA., Brem A., Man, machine and work in a digital twin setup: a case study, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 68, 2021, 102092, ISSN 0736-5845.
- [Mic20] Mici L., Parisi GL., Wermter S. A self-organizing neural network architecture for learning human-object interactions, *Neurocomputing*, Volume 307, 2018, Pages 14-24, ISSN 0925-2312.
- [Mou20] Mourtzis D., Angelopoulos J., Panopoulos N. A Framework for Automatic Generation of Augmented Reality Maintenance & Repair Instructions based on Convolutional Neural Networks, *Procedia CIRP*, Volume 93, 2020, Pages 977-982, ISSN 2212-8271.
- [Num20] Numfu M., Riel A., Noël F., Virtual reality based digital chain for creating a knowledge base of hand gestures in maintenance tasks, *Procedia CIRP*, Volume 90, 2020, Pages 648-653, ISSN 2212-8271.
- [Plo18] Plouzeau, J., Chardonnet, J., Merienne, F. Using cybersickness indicators to adapt navigation in virtual reality: a pre-study. In *IEEE Virtual Reality (VR)*, pp. 661–662, Reutlingen, Germany, 03/2018.

- [Scu18] Scurati GW., Gattullo M., Fiorentino M., Ferrise F., Bordegoni M., Uva AE. Converting maintenance actions into standard symbols for Augmented Reality applications in Industry 4.0, *Computers in Industry*, Volume 98, 2018, Pages 68-79.
- [Syb16] Syberfeldt A., Danielsson O., Holm M., Wang L., Dynamic Operator Instructions Based on Augmented Reality and Rule-based Expert Systems, *Procedia CIRP*, Volume 41, 2016, Pages 346-351, ISSN 2212-8271.
- [Tri19] Tripicchio P., Avizzano CA., Bergamasco M., A 6-DOF haptic manipulation system to verify assembly procedures on CAD models, *Procedia Manufacturing*, Volume 38, 2019, Pages 1292-1299, ISSN 2351-9789.
- [Yan19] Yan Y., Yi X., Yu C., Shi Y., Gesture-based target acquisition in virtual and augmented reality, *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, Volume 1, Issue 3, 2019, Pages 276-289, ISSN 2096-5796.
- [Zel21] Żelawski, M., Hachaj, T. (2021). The application of topological data analysis to human motion recognition. *Technical Transactions*: e2021011. <https://doi.org/10.37705/TechTrans/e2021011>

Ph.D. Thesis Proposal***Virtual Maintenance Companion through Personalized Augmented Reality*****1 - Context**

The proposed doctoral thesis has for context the assistance to industrial maintenance by augmented reality. It is part of the VIMACO project, labeled by the ANR through the call for collaborative research projects with the company in 2021 (project duration of 4 years). The VIMACO project (for Virtual Maintenance Companion) aims to promote the transmission of knowledge and skills between expert and novice operators through a set of technologies combining operator observation, artificial intelligence and augmented reality.

The VIMACO project aims to develop methods and tools for personalized augmented reality for industrial maintenance assistance. It is a collaborative research project (PRCE) involving the LISPEN (engineering sciences in virtual immersion and artificial intelligence) and CAPS (cognitive sciences) laboratories and the companies DIOTA (SME in augmented reality technologies for the industry) and SAFRAN (a major group in the aeronautics industry). Industrial maintenance is a field where human skills are precious and operations are complex. The scientific literature in the field of maintenance assistance by augmented reality reports works on the added value of augmented reality, the capture and analysis of human gestures as well as the analysis of maintenance procedures based on the system. Few works focus on the operator, his level of expertise and the information adapted to the strategy he chooses to perform the task. The VIMACO project aims to provide personalized assistance to the maintenance operator. The scientific issues identified are related to the analysis of the experts' behavior in order to extract a skeleton of the maintenance procedure, the knowledge of the level of expertise and the motor singularities of the operator, and the interactive guidance techniques in augmented reality. Three research questions are addressed in the framework of this project: how to extract a maintenance procedure by analyzing the movements of an expert operator? How to extract the motor singularities of a standard operator and deduce his level of expertise in order to better guide him? What is the timely/appropriate sensory feedback needed by a standard operator based on the missing information and his level of expertise/knowledge?

2 - Issue

Within the VIMACO project, the proposed Ph.D. thesis will focus on issues related to the extraction of the operator's level of expertise and motor singularities, as well as on the appropriate sensory feedback to be provided to the operator in augmented reality depending on the missing information.

3 - State of the art

Immersion through virtual and augmented reality technologies is in essence highly dependent on the subject's perception. Indeed, there are many virtual immersion experiences for which differences in perception between subjects are observed (cybersickness, motion sickness, behavior). Many factors [Ijs00] can explain this (age, experience, cognitive-motor skills...). Also, the personalized adaptation of interaction modalities is the subject of research work mainly concerning driving simulation (to avoid simulator sickness) [Cle19] and interaction in virtual reality [Mic20] [Plo18]. However, few works exist on the personalized adaptation of interactions in augmented reality. It is also observed that multisensoriality can improve virtual immersion when adjusted to the subject [Tri19].

Maintenance is an important area for improvement in Industry 4.0 due to the complexity and diversity of tasks, and the transfer of skills between experts and novices [Dam18] [Gat20] [Scu18]. [Cha17] proposes methods and tools for disassembly through AR in two steps: detection of a sequence of states and actions from an analysis of possible interactions between parts, and AR to provide guidance. The operator's expertise is not taken into account (system-centric approach). [Syb16] proposes dynamic instructions for maintenance operations given to the operator depending on a rule-based expert system, where the rules are added manually and offline by an expert. Artificial intelligence (AI) is a promising technology to improve operations in the industry [Fah20]. Recent research on AI use for maintenance is mostly conducted to make situation recognition on equipment [Mou20] [Buk20].

The analysis of human movement is the subject of many works [Adi20] [Ben17]. Some are applied in the field of functional rehabilitation in particular, but also in the industrial field for workstation ergonomics studies. A lot of work has been done on the capture and analysis of gestures using sophisticated classification or artificial intelligence techniques [Kow21] [Yan19] [Adi20] or by presenting a topological approach to human gesture recognition via persistent homology whose results are already very promising [Dir16],[Zel21]. [Mal21] studied the digital twin of a human-robot couple to detect potential conflicts when programming the robot movement. For that, a virtual manikin is used, controlled by the expert's motion capture. Recently, [Num20] developed a work aiming at creating a knowledge database of hand gestures in maintenance tasks. The European project WEKIT developed a framework for registering an expert movement and restoring it to an apprentice. An interesting state of the art has been done related to sensor-based AR systems [Lim18], showing bottlenecks in cognitive process modeling, emotional state measurement of the operator, as well as expert performance capture. Some works are beginning to appear on the personalized analysis of human movement [Hil16]. In the literature, very few works concern the analysis of the operator and his level of expertise.

4 - Scientific issues

In order to achieve the objectives of the thesis, the following scientific issues have been identified:

- **Scientific issue 1: Classification into different levels of expertise.** The ambition related to this issue is to develop methods and tools to extract a classification of motion signatures into different classes of expertise levels. Methods and tools will be developed to distinguish classes of expertise levels (e.g., 5 classes) constructed from data on movements (hand trajectories, gaze) and task performance (execution speed, gesture precision, movement sequence) of a significant set of human operators. In order to facilitate this classification work, we hypothesize that a virtual immersion experiment of the whole maintenance task allows us to build this classification. To validate the use of virtual reality in this study, experimental comparisons will be performed on representative cases between the physical model and its virtual equivalent. The classification will be implemented through an elaborate data analysis using artificial intelligence techniques (machine learning methods).

- **Scientific issue 2: Extraction of the operator's profile.** In connection with the previous issue, methods and tools will be devoted to the extraction of the specificity of the operator's behavior in relation to his strategy of realization of the task. This will allow determining the most appropriate expert model to follow for the guidance to be performed. This concerns the possible preferences of the operator in terms of feedback (visual, tactile, sound) in relation to his proprioceptive approach during the operation.

- **Scientific issue 3: Multi-sensory information in augmented reality for personalized guidance.** This issue consists in studying and proposing the relevant information for the personalized guidance of the operator according to his level of expertise and his strategic profile (gradation between a visual approach and a proprioceptive one). This information will consist of a level of guidance and a type of sensory feedback (visuo-haptic coupling and relative weights of the modalities).

The following technological issues will also be studied in this thesis:

- **Technology issue 1: Real-time analysis of the operator's level of expertise.** Methods and tools will be developed to extract in real time the most relevant parameters of the operator's movements that will be used to identify his level of expertise (by comparison with the previously determined expertise classes). Persistent

homology, used to extract topological descriptors from the analyzed dynamic data, will be combined with Artificial Intelligence methods to discriminate operators according to their level of expertise.

- **Technological issue 2: Technological demonstrator.** A technological demonstrator will be realized for this research work. It is envisaged to develop a virtual reality demonstrator but a version in augmented reality could be the subject of specific development according to the progress of the work.

5 - Proposed approach

The proposed approach will follow the following steps:

- State of the art related to the issues
- Study of the scientific issues and formulation of the research questions
- Proposals for experiments (protocols, set-up)
- Development of technological demonstrators from representative scenarios
- Experimentation and data analysis for validation of the proposals
- Publications

6 - Expected results

The expected results of this research work are as follows:

- Technological demonstrators
- Laboratory evaluations
- Publications in international conferences and peer-reviewed journals
- Communications in internal seminars, internal meetings
- Thesis manuscript and final defense

7 - Location of the work

The work will be carried out on the site of the LISPEN laboratory in Chalon-sur-Saône.

8 - Contacts

- Christophe Guillet (christophe.guillet@ensam.eu)
- Frédéric Merienne (frederic.merienne@ensam.eu)
- Aylen Ricca (aylen.ricca@ensam.eu)

9 - Bibliography

- [Adi20] Adithya V., Rajesh R., A Deep Convolutional Neural Network Approach for Static Hand Gesture Recognition, *Procedia Computer Science*, Volume 171, 2020, Pages 2353-2361, ISSN 1877-0509.
- [Ben17] Bensekka C., Guillet C., Merienne F., Pozzo T. A topological approach for human movement classification and anticipation. In *Gait & Posture*, volume 57, pages 229–230, Trondheim, Norway, September 2017. Elsevier.
- [Buk20] Bukhsh ZA., Stipanovic I., Saeed A., Doree A., Maintenance intervention predictions using entity-embedding neural networks, *Automation in Construction*, Volume 116, 2020, 103202, ISSN 0926-5805.
- [Cha17] M.M.L. Chang, S.K. Ong, A.Y.C. Nee, AR-guided Product Disassembly for Maintenance and Remanufacturing, *Procedia CIRP*, Volume 61, 2017, Pages 299-304, ISSN 2212-8271.
- [Cle19] Cleij D., Venrooij J., Pretto P., Katliar M., Bühlhoff HH., Steffen D., Hoffmeyer FW., Schöner HP., Comparison between filter- and optimization-based motion cueing algorithms for driving

- simulation, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Volume 61, 2019, Pages 53-68, ISSN 1369-8478.
- [Dam18] Damiani L., Demartini M., Guizzi G., Revetria R., Tonelli F. Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 51, Issue 11, 2018, Pages 624-630, ISSN 2405-8963.
- [Dir16] A. Dirafzoon, N. Lokare and E. Lobaton, "Action classification from motion capture data using topological data analysis," *2016 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, 2016, pp. 1260-1264, doi: 10.1109/GlobalSIP.2016.7906043.
- [Fah20] Fahle S., Prinz C., Kuhlenkötter B. Systematic review on machine learning (ML) methods for manufacturing processes – Identifying artificial intelligence (AI) methods for field application. *Procedia CIRP* Vol 93, 2020, Pages 413-418, Elsevier B.V.
- [Gat19] Gattullo M., Scurati G., Fiorentino M., Uva AE., Ferrise F., Bordegoni M. Towards augmented reality manuals for industry 4.0: A methodology, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 56, 2019, Pages 276-286.
- [Hil16] Hilt P., Berret B., Papaxanthis C. et al. Evidence for subjective values guiding posture and movement coordination in a free-endpoint whole-body reaching task. *Sci Rep* 6, 23868 (2016).
- [Ijs00] Ijsselstein, Wijnand & Ridder, Huib & Freeman, Jonathan & Avons, Steve. (2000). Presence: Concept, determinants and measurement. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 3959. 10.1117/12.387188.
- [Kow21] Kowdiki M., Khaparde A., Automatic hand gesture recognition using hybrid meta-heuristic-based feature selection and classification with Dynamic Time Warping, *Computer Science Review*, Volume 39, 2021, 100320, ISSN 1574-0137.
- [Lim18] Limbu BH., Jarodzka H., Klemke R., Specht M., Using sensors and augmented reality to train apprentices using recorded expert performance: A systematic literature review, *Educational Research Review*, Volume 25, 2018, Pages 1-22, ISSN 1747-938X.
- [Mal21] Malik AA., Brem A., Man, machine and work in a digital twin setup: a case study, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 68, 2021, 102092, ISSN 0736-5845.
- [Mic20] Mici L., Parisi GI., Wermter S. A self-organizing neural network architecture for learning human-object interactions, *Neurocomputing*, Volume 307, 2018, Pages 14-24, ISSN 0925-2312.
- [Mou20] Mourtzis D., Angelopoulos J., Panopoulos N. A Framework for Automatic Generation of Augmented Reality Maintenance & Repair Instructions based on Convolutional Neural Networks, *Procedia CIRP*, Volume 93, 2020, Pages 977-982, ISSN 2212-8271.
- [Num20] Numfu M., Riel A., Noël F., Virtual reality based digital chain for creating a knowledge base of hand gestures in maintenance tasks, *Procedia CIRP*, Volume 90, 2020, Pages 648-653, ISSN 2212-8271.
- [Plo18] Plouzeau, J., Chardonnet, J., Merienne, F. Using cybersickness indicators to adapt navigation in virtual reality: a pre-study. In *IEEE Virtual Reality (VR)*, pp. 661–662, Reutlingen, Germany, 03/2018.
- [Scu18] Scurati GW., Gattullo M., Fiorentino M., Ferrise F., Bordegoni M., Uva AE. Converting maintenance actions into standard symbols for Augmented Reality applications in Industry 4.0, *Computers in Industry*, Volume 98, 2018, Pages 68-79.
- [Syb16] Syberfeldt A., Danielsson O., Holm M., Wang L., Dynamic Operator Instructions Based on Augmented Reality and Rule-based Expert Systems, *Procedia CIRP*, Volume 41, 2016, Pages 346-351, ISSN 2212-8271.
- [Tri19] Tripicchio P., Avizzano CA., Bergamasco M., A 6-DOF haptic manipulation system to verify assembly procedures on CAD models, *Procedia Manufacturing*, Volume 38, 2019, Pages 1292-1299, ISSN 2351-9789.
- [Yan19] Yan Y., Yi X., Yu C., Shi Y., Gesture-based target acquisition in virtual and augmented reality, *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, Volume 1, Issue 3, 2019, Pages 276-289, ISSN 2096-5796.
- [Zel21] Żelawski, M., Hachaj, T. (2021). The application of topological data analysis to human motion recognition. *Technical Transactions: e2021011*. <https://doi.org/10.37705/TechTrans/e2021011>.