

Laurent DELAHOUCHELTI EA 3899, Université de Picardie Jules Verne
Avenue des facultés, 80025 AMIENS Cedex 1**Rapport sur le mémoire de thèse de doctorat****De Monsieur Frédéric Leishman****Intitulé****Conception de fonctionnalités d'assistance robotisée à la mobilité sous contraintes d'acceptabilité et d'adaptabilité****en vue de l'obtention du grade de docteur de l'Université de Lorraine, spécialité Automatique, Traitement du signal et des images, Génie informatique.**

Monsieur Frédéric Leishman a travaillé durant sa thèse sur le développement de fonctionnalités d'assistance à la personne sous contraintes d'acceptabilité et d'adaptabilité. L'objectif est de proposer un système de navigation semi-automatique en respectant des contraintes d'acceptabilité, de fiabilité et de coût. Pour ce faire, une commande dite « déictique » est proposée, elle consiste à gérer automatiquement des tâches pour l'utilisateur par rapport à des objectifs remis à jour régulièrement mais sans jamais se substituer à la commande manuelle. La régulation résultante, qualifiée de semi-automatique, repose sur une alternance de consignes manuelles et de consignes générées par l'interface.

Le mémoire s'organise autour de cinq chapitres. Le premier présente un état de l'art sur les technologies couramment intégrées sur les fauteuils dits intelligents. Le deuxième introduit le concept de commande déictique et converge vers la description matérielle et logicielle du démonstrateur VAHM 3. Le quatrième s'attache plus particulièrement à détailler les aspects commandes et retour d'information. Enfin le dernier synthétise le protocole et les résultats de l'évaluation du dispositif.

Le premier chapitre fournit un état de l'art relativement complet des projets relevant de l'intégration de l'informatique embarquée sur un fauteuil roulant, le fauteuil étant alors qualifié « d'intelligent ». Les travaux qui ont abouti à l'élaboration de prototypes sont décrits, leurs avantages et inconvénients mis en perspective. Cette partie est relativement complète sachant qu'une ouverture sur des technologies bas coûts et « grand public » aurait pu être faite. Ainsi les fauteuils roulants ou assistances (« Autonomous Kinect Electric Wheelchair », projet « wi-GO ») utilisant un capteur « kinect » seraient intéressants à citer. En outre, et de façon beaucoup plus générale, le fauteuil roulant intelligent étant assimilable à une base mobile autonome, toutes les technologies intégrées sur des robots mobiles seraient dans ce cadre à remettre en perspective. Dans une deuxième partie le chapitre s'attache à dresser un état des lieux, lui aussi relativement exhaustif, des adaptations permettant à un utilisateur d'interagir avec le fauteuil roulant. Il s'agit d'une dimension à large spectre qui intègre en amont les dispositifs permettant de récupérer une action en fonction d'un handicap donné et en aval le développement d'interfaces homme-machine ergonomiques et adaptées. Une partie plus ciblée sur des aspects commandes aurait pu apparaître.

Le second chapitre présente en premier lieu le démonstrateur VAHM-3 sur lequel les tests expérimentaux ont été réalisés. L'architecture matérielle et logicielle est décrite, le système de perception faisant l'objet d'une analyse détaillée. Ce dernier est composé de trois capteurs laser à balayage permettant d'obtenir des mesures télémétriques sur 360 degrés. Cette perception panoramique produit, après conditionnement des données, un modèle sensoriel télémétrique de l'environnement proche du fauteuil. C'est ce dernier qui sera exploité pour la prise en charge « automatique » de certaines actions. Les problèmes d'étalonnage, de chevauchement, de filtrage sont discutés. On peut éventuellement regretter de ne pas trouver de comparaison, en termes de performance, avec les nombreux travaux issus de la robotique mobile qui s'appuient notamment sur l'exploitation de données laser, voire télémétrique plus largement (SLAM, évitement d'obstacles, suivi etc ...). Une deuxième partie introduit le concept de commande déictique consistant à combiner les consignes manuelles et celles générées automatiquement. Le premier problème abordé est celui de la simulation de la sortie du joystick par une interface logicielle. La solution retenue repose sur un module de logique floue qui aligne les tensions de sortie « constructeur » et « simulées » en corrélant directement les déplacements constatés du fauteuil avec ses entrées. Cette stratégie permet d'établir les fonctions d'appartenance de façon relativement aisée. La régulation permettant de commander les actionneurs en fonction d'un objectif est obtenue à partir d'un régulateur PID paramétré avec une méthode empirique (Takahashi). Ce module semble d'une part robuste et d'autre part reproduire des trajectoires identiques à celles générées manuellement par un utilisateur.

Le chapitre trois propose deux fonctionnalités de navigation autonome qui permettront d'alléger la charge de conduite de l'utilisateur lors de manœuvres complexes, sans jamais s'y substituer. Le concept proposé est de générer automatiquement des consignes en fonction d'un point cible et de contraintes d'encombrement fournies par les mesures laser. Il est à préciser qu'aucune information odométrique n'est exploitée, ce qui aurait pourtant permis d'améliorer de façon substantielle la fiabilité de la cartographie instantanée utilisée pour la détermination des espaces libres. La première de ces fonctionnalités est le franchissement automatique de passages étroits. Ces derniers sont déterminés par analyse de distances entre des points frontières caractérisant des espaces libres ou délimitant des agrégats de points. Un premier algorithme dit des demi-cercles est proposé, ses limites sont discutées. Une deuxième solution, plus robuste, est formulée et consiste cette fois à se rapprocher de ce qui est généralement fait en robotique, à savoir classer les points en agrégats. L'analyse des points extrêmes permet alors d'identifier différentes configurations d'espace libre à prendre en compte. La génération de trajectoire utilisée pour franchir les zones identifiées est basée sur des points de passage calculés à partir des points frontières. Les résultats présentés semblent prouver la robustesse de la méthode. Là encore une comparaison avec des algorithmes de navigation aurait pu être intéressante. Le même principe est appliqué au suivi d'un mur avec un calcul de points de contrôle fonction d'une distance de sécurité.

Le quatrième chapitre traite de la conception de l'interface homme-machine permettant la désignation des objectifs. Celle-ci s'appuie sur un retour vidéo issu d'une webcam placée devant le fauteuil. L'image est présentée à l'utilisateur par rapport à différentes ergonomies. L'enjeu est d'obtenir une approximation de l'emplacement dans le repère global des points montrés par l'utilisateur sur l'interface. Pour se faire une combinaison du modèle télémétrique avec certaines zones de l'image est gérée. L'association de ces deux types d'information est améliorée par une mise en correspondance des plans de projection respectifs. Les objectifs pouvant d'une part être désignés par l'interface et d'autre

part être pris en charge par l'approche déictique sont affichés dans la vue perspective. La stratégie développée semble une nouvelle fois robuste mais aurait pu être probablement améliorée par l'intégration d'une phase de calibration du capteur de vision.

Le dernier chapitre est dédié à l'évaluation du dispositif. Le protocole est présenté, il tient à trois étapes, la première étant une estimation qualitative de l'assistance fournie par des spécialistes tels que des cliniciens. La seconde est une estimation plutôt quantitative des performances de l'association homme machine et de la densité de manipulation relativement à une conduite manuelle. La troisième est une évaluation de la charge cognitive de l'utilisateur en situation, plusieurs critères étant proposés. L'analyse et le dépouillement des résultats sont denses et bien structurés ce qui permet de mettre en évidence un certain nombre de constats. D'un point de vue global, l'intérêt d'un tel dispositif est établi pour certains profils utilisateurs.

Le mémoire se termine par une partie conclusions et perspectives bien argumentée avec une mise en exergue d'un possible transfert de technologie avec un industriel, ce qui semble important par rapport à ce type de travaux.

En conclusion, le travail de thèse fourni est important et de qualité, il couvre le large spectre de problématiques inhérentes au développement d'une assistance à la conduite et de son évaluation. Le mémoire est bien structuré et très didactique, les objectifs sont posés de manière pertinente et les solutions proposées sont convaincantes.

Pour toutes ces raisons je donne un avis favorable à la soutenance de thèse de Frédéric Leishman en vue de l'obtention du grade de docteur de l'Université de Lorraine, spécialité Automatique, Traitement du signal et des images, Génie informatique.

Fait à Amiens le 22 février 2012

Laurent Delahoche