

Informatique, Biologie Intégrative et Systèmes Complexes – EA 4526

Rapport de mémoire présenté par

**M. Frédéric Leishman**

en vue de la soutenance de thèse de doctorat de l'université de Lorraine

Spécialité : Informatique, Automatique, Electronique-Electrotechnique et Mathématiques

Etabli par Philippe Hoppenot

Professeur 61<sup>ème</sup> section à l'université d'Evry Val d'Essonne (EVE)

Monsieur Frédéric Leishman présente un mémoire intitulé "Conception de fonctionnalité d'assistance robotisée à la mobilité sous contraintes d'acceptabilité et d'adaptabilité" en vue de l'obtention du grade de docteur en Informatique, Automatique, Electronique-Electrotechnique et Mathématiques de l'université de Lorraine. Ce travail a été mené au LASC (Laboratoire d'Automatique humaine et de Sciences Comportementales) sous la direction du professeur Guy Bourhis.

Le mémoire de Monsieur Leishman est divisé en cinq chapitres principaux bien équilibrés respectivement intitulés : "Etat de l'art", "Fauteuil intelligent, architecture matérielle et logicielle", "Fonctionnalités autonomes", "Commande déictique" et "Evaluation". S'y ajoutent une introduction générale, une conclusion générale, deux annexes et une bibliographie.

Le premier chapitre, consacré à l'état de l'art, est composé de deux parties. La première traite des fauteuils roulants électriques. Elle est bien documentée et aborde tous les aspects, de la structure générale d'un tel système aux différents capteurs en passant par les fonctionnalités d'assistance et les interfaces. Il est néanmoins dommage que, concernant les fonctionnalités autonomes, sujet du troisième chapitre, elle se limite au strict contexte des fauteuils roulants électriques. Il aurait été intéressant de montrer les limites des fauteuils roulants électriques intelligents et d'élargir l'étude bibliographique à des domaines d'application différents afin d'y trouver des éléments pour les améliorer. La seconde partie traite de l'approche déictique. Des exemples de telles interfaces sont donnés en robotique mobile et pour des bras robotiques ainsi que quelques approches spécifiques pour l'assistance aux personnes handicapées. Les références se limitent aux seules interfaces déictiques, sans ouvrir le point de vue sur des disciplines annexes (IHM, mise en correspondance 2D-3D) qui pourraient justifier les développements du quatrième chapitre.

Le second chapitre présente en détails l'architecture matérielle et logicielle, la perception et les modes de déplacement du fauteuil VAHM du LASC. Tant la structure multi-agent de l'architecture logicielle que le conditionnement des mesures laser et la simulation du joystick par logique floue sont présentés sous l'angle de l'ingénierie plus que celui de la recherche. Il est fondamental que les travaux en robotique donnent lieu à des implémentations réelles, qui sont coûteuses en temps de développement. Néanmoins, ces questions doivent rester secondaires par rapport aux aspects recherche des travaux. Il aurait peut-être fallu moins les détailler et les présenter après les troisième et quatrième chapitres. La part de l'existant et du travail du doctorant pourrait être mieux précisée, l'emploi du "nous" étant parfois équivoque à ce sujet.

Le troisième chapitre porte sur les fonctionnalités autonomes. L'objectif est de proposer à l'utilisateur une assistance à la conduite dans deux situations particulières : le franchissement de passage étroit et le suivi de mur. Dans le premier cas, Monsieur Leishman propose une démarche en trois étapes : (i)

détection des passages étroits, (ii) suivi du passage choisi par l'opérateur et (iii) génération de la trajectoire permettant de franchir le passage. Une première méthode de détection de passages étroits (à partir de demi-cercles) n'ayant pas donné satisfaction, une seconde par regroupement d'ensembles est proposée en s'inspirant d'un papier de Premebida et Nunes en 2005, par simplification d'un des algorithmes exposé dans cet article. Le suivi du passage choisi lors de l'avancée du robot est plus simple, mais il est utile à prendre en compte si l'on ne veut pas risquer de changer la cible en cours de déplacement. Enfin, une méthode de suivi de trajectoire est proposée, prenant en compte les dimensions du passage et du fauteuil. Une évaluation sérieuse, en situation réelle, a été menée permettant de conclure que l'assistance est efficace dans presque toutes les situations. Une analyse critique des limites de la méthode est ensuite menée, conduisant à proposer des améliorations (par exemple passer une détection sur 360° de l'environnement) et de préciser les conditions de validité de l'assistance (passage d'au moins 85 cm pour un fauteuil de 70 cm de large et 100 cm de long).

Concernant le suivi de mur, la démarche a été de commencer par analyser le comportement d'un utilisateur suivant un mur. De là, une méthode basée sur l'évaluation de trois distance est élaborée. Une première série d'expériences, là encore sur le fauteuil réel, montre les résultats de la méthode et permet de déterminer ses limites. Une amélioration de la méthode est ensuite proposée et à nouveau évaluée, montrant l'efficacité des améliorations apportées.

La démarche scientifique est ici solide : analyse du besoin, proposition d'une première assistance, évaluation en situation réelle, analyse des résultats, amélioration de la proposition et nouvelle évaluation. Les résultats auraient pu être mieux mis en valeur en détaillant les apports par rapport à la littérature et en comparant les résultats obtenus dans des situations similaires.

Le quatrième chapitre traite de la commande déictique. L'objectif est ici de proposer une méthode simple et intuitive à l'utilisateur pour indiquer son objectif. La première partie traite de la conception de l'interface, de la perception à l'organe de commande en passant par la structure de l'affichage. Le système de perception utilisé est une caméra. Le pointage est réalisé grâce au joystick du fauteuil, augmenté d'un bouton poussoir pour passer du mode manuel de contrôle du fauteuil au mode pointage. Une première interface est proposée sur laquelle l'utilisateur choisit d'abord un type d'action (par exemple passage étroit). Les lieux possibles d'exécution de cette tâche sont alors affichés et l'opérateur pointe l'un d'eux. Une seconde interface propose sur l'image l'ensemble des actions possible (passages étroits et suivis de mur), l'opérateur n'ayant plus qu'à désigner celui de son choix. Il n'a ainsi qu'une opération à réaliser, la contrepartie étant que l'interface est plus chargée et que si deux actions sont possibles à un même lieu, il faut définir une priorité. La seconde partie traite de la mise en correspondance entre la coordonnée du point dans l'image et sa projection dans l'environnement 3D du fauteuil afin de pouvoir planifier la trajectoire à réaliser. L'idée directrice de la méthode, géométrique, est de diviser l'image en partie haute et partie basse afin de prendre en compte la hauteur du plan laser dans l'image vidéo pour la correspondance 2D-3D. Enfin, une réflexion sur l'affichage des actions possibles a été menée.

Un travail important a été réalisé afin de permettre à la personne handicapée de pouvoir profiter des fonctionnalités d'assistance présentées dans le chapitre précédent. Il s'est concrétisé dans une interface fonctionnelle qui a été présentée à des personnes handicapées comme cela est décrit dans le dernier chapitre de ce mémoire. Néanmoins, l'apport scientifique par rapport à la littérature n'est pas évoqué, ni dans le domaine de l'ergonomie des interfaces, ni dans celui de la mise en correspondance 2D-3D.

Le cinquième et dernier chapitre porte sur l'évaluation du dispositif. Une première étape, qualitative, a été de présenter le système à des personnes handicapées, grâce à un partenariat avec l'AFM. L'approche déictique a été accueillie positivement ; les remarques (souhait d'utilisation en marche arrière, simplification du choix) ont été prises en compte. Une évaluation quantitative a alors pu être menée, au laboratoire avec des personnes valides, portant d'une part sur les performances et d'autre part sur la charge cognitive de l'opérateur. Les protocoles expérimentaux, sérieux, sont clairement décrits dans les deux cas. Dans la première série, trois critères de performance (temps, fréquence d'utilisation des modes et indice d'inconfort) et la charge de travail sont analysés. Il en ressort que le mode automatique est plus lent que le mode manuel. L'inconfort est en moyenne identique dans les

deux modes, avec une répartition plus homogène inter sujets en mode automatique. Ce résultat est en lien avec le précédent : pour assurer un bon niveau de confort, des accélérations limitées ont été utilisées en mode automatique, ce qui réduit donc la vitesse moyenne de déplacement. La charge de travail, mesurée grâce à la méthode TLX, montre une exigence physique perçue plus faible en mode automatique qu'en mode manuel, mais une activité mentale ressentie plus élevée en mode automatique. Ces résultats ont conduit Monsieur Leishman à évaluer la charge cognitive de l'utilisateur. Une première tâche secondaire a été demandée à l'utilisateur : répondre à un stimulus auditif de type unique. Une seconde, plus complexe, était de répondre de façon différenciée à deux types de stimuli auditifs. Des études statistiques précises montrent d'une part que les deux modes de conduite imposent une charge attentionnelle significativement plus élevée que le groupe de contrôle et qu'elles ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre et d'autre part que cette charge est élevée pendant les phases d'arrêt (établissement d'une commande), moyenne pour les actions réalisées en commande manuelle et faible pour les phases avec assistance. L'analyse de la capacité décisionnelle de l'utilisateur montre quant à elle que la conduite avec assistance induit des mécanismes de prise de décision plus complexes.

Des conclusions claires et sans concessions sont tirées par Monsieur Leishman de ces évaluations très intéressantes et très rigoureusement menées. La première expérience montre que l'assistance n'est réellement pertinente que pour les personnes ayant des difficultés à conduire leur fauteuil en mode manuel. Dans ce cas, les autres conclusions permettent de définir les prérequis physiques et cognitifs nécessaires à l'utilisation de l'assistance.

En conclusion, Monsieur Leishman résume rapidement les travaux effectués et leur pertinence par rapport à un objectif de transfert de technologie reposant sur deux principes : l'adaptabilité (architecture matérielle modulaire) et l'acceptabilité (assistance à la navigation et interface déictique). Plusieurs perspectives intéressantes sont ensuite évoquées (proposer différentes modalités d'utilisation avec plusieurs niveaux d'autonomie, offrir d'autres types d'interaction avec l'interface déictique comme par exemple un balayage des éléments surlignés couplé à une validation tout ou rien, élargir l'interface à la commande d'environnement ou à l'appel d'urgence). Un transfert de technologie est envisagé, qui devra être réalisé sur un prototype industriel afin de garantir les exigences de sécurité.

Si j'ai émis quelques remarques sur la situation des travaux par rapport à l'état de l'art et l'organisation globale du manuscrit, il n'en demeure pas moins que Monsieur Frédéric Leishman a effectué un travail important pendant sa thèse. Une démarche saine a été appliquée, consistant à implanter systématiquement les aides proposées sur un système réel, à les tester et à les critiquer afin de les améliorer. Des évaluations globales, qualitatives avec des personnes handicapées et quantitatives avec des personnes valides, ont aussi permis de dégager les intérêts et les limites du système complet.

Enfin, le document est très clair, agréable à lire et bien rédigé.

Pour toutes ces raisons, je donne un avis favorable à la soutenance orale de ce travail en vue de l'obtention du titre de docteur de l'université de Lorraine, dans la spécialité Informatique, Automatique, Electronique-Electrotechnique et Mathématiques.

Evry, le 13 février 2012



Pr. Philippe Hoppenot