

Commande à distance d'un système d'assistance robotique aux personnes handicapées

Yves Rybarczyk, Omar Ait Aider, Philippe Hoppenot, Etienne Colle

CEMIF-LSC 40 rue du Pelvoux 91000 Evry
yrybarc | oaider | hoppenot | ecolle @cemif.univ-evry.fr

RESUME

Des systèmes d'assistance technique aux personnes handicapés de plus en plus sophistiqués voient le jour. Rendre en partie la capacité de manipulation est un des objectifs visés par ces applications. Le projet ARPH (Assistance Robotisée aux Personnes Handicapées) est un bras manipulateur embarqué sur une base mobile. L'autonomie du système robotique étant étudiée, une coopération entre l'homme et la machine est mise en place par l'intermédiaire d'une architecture informatique client-serveur. Un problème de base est alors de connaître la capacité d'appropriation de l'assistance technique par l'opérateur humain. L'exemple du retour visuel lors de la commande de la base mobile est présentée pour illustrer l'approche retenue. Le travail actuel porte sur l'incorporation du bras manipulateur dans le schéma corporel du téléopérateur.

MOTS CLES : Robotique d'assistance, coopération homme-machine, approche pluridisciplinaire (robotique-cognitive).

INTRODUCTION

Les applications de robots ou plus généralement de technologies et du savoir-faire dérivés des recherches en robotique, destinés à la médecine, ont évolué très rapidement ces dernières années de la spéculation de scientifiques visionnaires à la réalité. Deux domaines ont trouvé des applications pratiques : la chirurgie et l'assistance aux personnes handicapées ou âgées, aussi bien à domicile qu'en hôpital ou en centre spécialisé.

Dans le domaine de l'assistance, les apports de la robotique concernent les fonctions autonomes intégrées aux dispositifs d'assistance à la mobilité – fauteuils roulants - ou à la préhension. La manipulation d'objets requiert l'usage d'un bras manipulateur. Dans les faits plusieurs configurations ont été envisagées suivant que le bras manipulateur est soit fixé sur un bureau, soit embarqué sur un fauteuil électrique ou un robot mobile. C'est cette dernière configuration qui a été retenue au CEMIF LSC pour le projet ARPH (Assistance Robotisée pour Personne Handicapée) en raison de ses potentialités à être utilisée par des personnes présentant un handicap plus lourd et de l'élargissement du champ des utilisations qu'elle autorise. En effet, le bras manipulateur peut être

commandé en vision directe ou à distance ; on entre alors dans le cadre de la téléopération. Des assistants robotiques de bureau sont d'ores et déjà sur le marché comme MANUS [1] ou AFMASTER [2]. Mais leur diffusion reste extrêmement restreinte en grande partie à cause d'un coût prohibitif et de performances jugées inférieures à celles attendues par l'utilisateur.

Ce qu'on peut appeler un surcoût peut s'expliquer par le fait que les solutions robotiques utilisées dans les systèmes d'assistance sont directement issues du milieu industriel dont les contraintes économiques et techniques diffèrent notablement. Il semble nécessaire d'accomplir un effort de recherche appliquée supplémentaire afin de concevoir des fonctions autonomes respectant les contraintes notamment de coûts de ce domaine en particulier pour les fonctions de perception. La transposition de solution du monde industriel s'est aussi traduite par une volonté d'automatiser au maximum et donc de rendre le robot le plus autonome possible. En fait dans le domaine de l'assistance, la personne doit être partie prenante du service que lui rend la machine et il faut plutôt s'intéresser à une coopération entre la personne et une machine semi-autonome. Avec comme conséquence une réduction de la complexité de la machine et donc du coût. En ce qui concerne le système ARPH, nous nous sommes attachés à développer ces différents aspects : l'autonomie avec des fonctions automatiques adaptées aux critères spécifiques du domaine de l'assistance et la coopération homme machine. Le papier s'articule en deux parties, une présentation générale de l'état actuel du système ARPH en insistant sur le problème de localisation, suivie d'un développement plus complet de notre approche de la coopération homme machine. L'état d'avancement des travaux en coopération dépend de la fonction concernée. En ce qui concerne la mobilité, l'opérateur dispose d'un ensemble de modes de commandes automatiques, partagés et manuels qui sont, c'est une volonté, complémentaires et redondants. Les travaux sur la manipulation d'objets se situent à un niveau plus théorique car nous nous intéressons à la notion d'appropriation de la machine par l'opérateur dans un contexte de saisie d'objets. Il est à noter que l'interface homme machine, qui peut être considérée comme la partie émergée de la CHM, n'est pas décrite mais fait

appel à des techniques issues de la réalité augmentée et de la réalité virtuelle.

DESCRIPTION DU SYSTEME

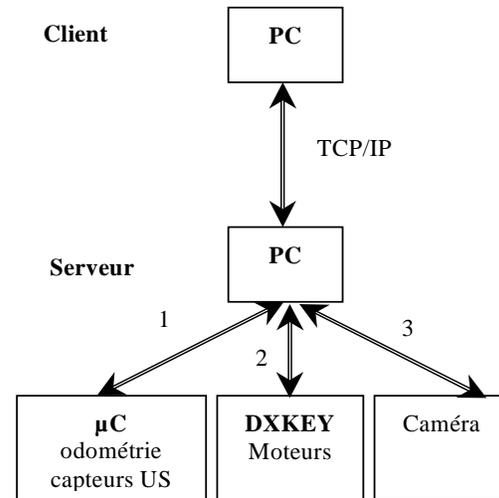
L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) définit avec précision un ensemble de fonctionnalités pouvant être altérées par un handicap. En particulier, "aller et saisir un objet", "aller pour voir" et "explorer" sont associées au handicap physique.

Le système ARPH (Figure 1) cherche à pallier ces incapacités. Il est composé d'une base mobile portant un bras manipulateur Manus. Elle est dotée de moteurs DX pour utiliser une norme répandue dans les fauteuils roulants électriques, afin de profiter de leur fiabilité et de la capacité de maintenance des revendeurs actuels. Différents capteurs assurent une capacité d'autonomie au robot : odomètre, ultrasons et caméra.



Figure 1 : ARPH - Assistance Robotisée aux Personnes Handicapées.

La commande de ARPH repose sur une architecture informatique de type client-serveur (Figure 2). Le PC serveur est embarqué sur la base mobile. Il pilote les moteurs via l'interface proposée par DX : le DXKEY. Les capteurs à ultrasons et l'odomètre sont pilotés par l'intermédiaire d'une carte à micro contrôleur qui décharge le PC du traitement. La caméra est orientable en site et en azimut par liaison série.



1 & 3 : Liaisons série
2 : Liaison parallèle

Figure 2 : Architecture client-serveur.

Des clients peuvent se connecter à ce serveur par Internet à l'aide d'un navigateur classique. Cette structure, inspirée du système ARITI développé au CEMIF-LSC [3], permet à plusieurs clients de demander l'accès à la machine. Dans le cas d'une utilisation en institution cette possibilité permet de partager le système entre plusieurs personnes.

AUTONOMIE DU SYSTEME D'ASSISTANCE

L'objectif de ARPH est de rendre une part d'autonomie à la personne handicapée. Il ne s'agit pas d'agir à sa place mais de la seconder dans des tâches qu'elle ne peut pas accomplir seule. La réalisation d'une mission repose sur des capacités de perception, de décision et d'action. L'homme et la machine en sont doués. L'autonomie en robotique étant dans un premier temps étudiée, la Coopération Homme-Machine est ensuite présentée.

La commande d'un robot mobile autonome s'appuie sur trois piliers. La planification consiste à générer une trajectoire reliant la position actuelle du robot avec le but souhaité à partir des connaissances sur l'environnement et le robot. Une technique classique utilise la dilatation des obstacles pour prendre en compte les dimensions du robot, la génération d'un graphe de visibilité énumérant tous les chemins possibles entre deux sommets d'obstacles et enfin la recherche du chemin le plus court en utilisant un algorithme de minimisation, par exemple A* [4]. La phase de navigation se charge de suivre la trajectoire définie lors de la planification. Si l'environnement modélisé est identique à l'environnement réel et que la position du robot est connue avec précision lors du mouvement, le suivi est simple. Si des obstacles inconnus se trouvent sur la trajectoire, il faut les éviter grâce à des capteurs extéroceptifs les détectant. Il s'agit

pour ARPH des capteurs à ultrasons. La stratégie d'évitement est basée sur la logique floue [5].

Ces deux phases ne peuvent se dérouler convenablement que si la position du robot est connue avec suffisamment de précision. Il existe deux grandes familles de localisation : relative, elle se base sur des mesures proprioceptives de déplacement (odométrie pour ARPH) ; absolue, elle utilise des mesures extéroceptives (caméra pour ARPH) et déduit la position du robot en les comparant aux parties connues de l'environnement. La première technique est simple et rapide. Ses inconvénients majeurs sont sa dérive au cours du temps et sa sensibilité aux glissements des roues. La seconde est plus complexe et moins rapide mais elle fournit des résultats dont l'erreur n'est pas fonction du temps. Il est alors classique de combiner les deux méthodes : la localisation relative est corrigée régulièrement par la localisation absolue. Cette dernière étant plus coûteuse en temps de calcul, des indicateurs sont calculés avant son déroulement. A partir des seules informations provenant des capteurs (ici une image), ils donnent une connaissance à priori sur la précision maximum des résultats. Si cette précision n'est pas suffisante, l'odométrie seule est prise en compte en attendant le prochain recalage. Si le robot est totalement perdu, seule la localisation absolue est opérationnelle. Il sera parfois obligatoire d'arrêter le robot et de prendre plusieurs d'images pour trouver la position du robot. Le processus n'est alors plus temps réel.

La localisation absolue se scinde en cinq étapes : acquisition d'image, extraction de primitives 2D à partir de segmentation, mise en correspondance de l'image 2D avec le modèle 3D, calcul des coordonnées de la caméra dans le repère absolu et enfin calcul des coordonnées du robot dans le repère absolu. Les phases trois et quatre sont actuellement les plus critiques. La phase deux demande un compromis entre la qualité de l'extraction de primitives et le temps réel. Pour ARPH, deux méthodes de calcul des coordonnées de la caméra (quatrième phase) sont comparées, l'une basée sur le principe de Horaud [6], l'autre sur celui de Lowe [7]. Chacune de ces méthodes propose de calculer les six degrés de liberté (une rotation et une translation). L'originalité de ce travail est de présenter des adaptations de ces méthodes à la robotique mobile : altitude connue, tangage et roulis connus soit une limitation à trois degrés de liberté. Les premiers résultats de simulation montrent que les deux méthodes permettent de localiser le robot avec une précision suffisante (1 à 2 degrés et 10 à 20 centimètres d'erreur pour un niveau de bruit réaliste) pour une application de déplacement en milieu structuré dans la plupart des situations avec au moins trois segments visibles et appariés.

PROBLEMATIQUE COGNITIVE

Permettre à la personne handicapée de commander un robot à distance, va donc lui donner la possibilité d'augmenter son champ d'intervention sur le monde, pour autant, il va soulever d'autres problèmes d'ordre cognitif. En effet, dans cette situation, l'humain ne va pouvoir produire qu'une action indirecte sur l'environnement et ne recevoir, également, qu'indirectement les résultats de cette action [8]. On entend par-là, que nombre des capteurs sensori-moteurs et de leur interconnexion ne pourront être mise en œuvre, comme dans le cas d'une action directe.

Ainsi, même si actuellement les moyens technologiques permettent de renvoyer au téléopérateur la plupart des modalités sensorielles (vue, audition, touché), il reste une importante fracture entre la dextérité naturelle de l'humain et celle qu'il expose via un robot téléopéré. Ceci est, en partie, dû au fait que nos capacités de perception du monde ne se résument pas aux cinq sens. On a beaucoup trop tendance à négliger des capteurs sensorielles essentiels tels que les capteurs vestibulaires, qui nous informent sur l'orientation du corps dans l'espace, et surtout les capteurs proprioceptifs qui donnent des informations sur le mouvement et les relations des éléments du corps les uns par aux rapport autres [9].

Il faut insister particulièrement sur cette dernière modalité, car elle circonscrit relativement bien le problème majeur que va rencontrer un humain devant agir par téléopération. Ce problème pourrait se résumer sous le terme d'une « désincarnation ». En effet, les capteurs proprioceptifs sont véritablement les principaux organes qui vont renvoyer à l'humain la sensation d'appartenir à un corps. Ce sont eux qui indiquent au cerveau la position du corps et de ses différents segments dans l'espace, ainsi que leur dynamique de déplacement en ligne.

Si l'on se réfère aux travaux des neuroscientifiques, c'est justement grâce au fait d'appartenir à un corps et d'agir à travers ce corps qui lui appartient, que l'humain s'adapte au monde en se construisant son propre schéma corporel [10]. Or, dans le cas d'une action effectuée en condition de téléopération cette adaptation paraît limitée, puisqu'on a affaire à deux entités physiquement distinctes.

Néanmoins, on sait, également, que le cerveau a une plasticité très élevée ce qui nous permet de posséder une grande capacité d'apprentissage pour s'adapter à toutes les situations nouvelles. C'est donc l'étude de cette capacité de l'humain à s'adapter à agir à travers un corps qui n'est pas le sien, qui va motiver la suite de nos travaux. Autrement dit, la question serait de connaître plus précisément le niveau de désincarnation entre

l'opérateur et le robot, sa modulation au cours du temps d'apprentissage et savoir si, au final, le schéma corporel de l'Homme ne s'étend pas à celui de la machine.

Pour cela, nous avons développé une double stratégie exploratoire (Figure 3). D'abord une artificielle, réalisée dans le sens robot-humain, qui consiste à évaluer l'amélioration de la coopération Homme-machine lorsqu'on implémente des comportements types humains dans le mode de fonctionnement du robot. Puis une naturelle, dans le sens humain-robot, où on étudie l'éventuelle appropriation du robot dans le schéma corporel de l'humain au cours du temps.

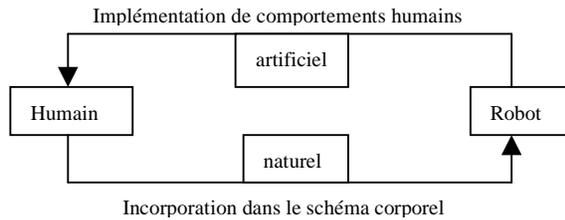


Figure 3 : Réduction de la « désincarnation ».

Implémentation du comportement d'anticipation visuelle sur le déplacement.

Le cerveau s'est construit au cours de l'évolution de manière à anticiper sur les actions futures. Se déplacer pour échapper à un prédateur ou chasser une proie, nécessite d'émettre des hypothèses sur le monde afin de deviner les intentions d'autrui. Ainsi, il ne s'agit pas de simples réflexes, de réponses passives à des stimuli sensoriels, mais au contraire, le contrôle de l'action nécessite que le cerveau soit un prédicteur qui simule les actions de l'autre comme de soi-même.

Par exemple, lors d'un mouvement de capture d'une balle, les enregistrements neurophysiologiques montrent que le cerveau n'attend jamais que les sens soient activés pour produire un début de réponse. Dans cette situation, le cerveau va produire une contraction des muscles, 300 ms avant que l'objet ne touche la main [11]. De même, il existe dans nos muscles des fuseaux neuromusculaires qui permettent de mesurer l'étirement et dont la sensibilité est modulable par le cerveau. Ceci signifie que le cerveau peut influencer sur la perception à sa source et donc que l'action influence la perception.

Ainsi, en ce qui concerne la locomotion, le cerveau va agir sur le reste du corps de manière à organiser les mouvements non pas des pieds à la tête, mais de la tête aux pieds. La tête est utilisée par tous les animaux comme une centrale inertielle de guidage qui est stabilisée dans l'espace et à partir de laquelle le mouvement du corps est coordonné. Ceci est dû au fait, que c'est cette partie du corps qui porte les yeux. En effet, le regard est une des formes les plus fondamentales

de notre navigation dans l'espace. C'est principalement à travers ce sens que l'individu interagit avec l'environnement, pour diriger son déplacement tout en évitant les obstacles [12].

Afin d'assurer une rapidité et une régularité de son déplacement, l'humain va donc utiliser les propriétés prédictives de son cerveau. Ainsi, des travaux neuroscientifiques ont montré que lorsqu'un individu doit contourner un obstacle lors de sa locomotion, son axe céphalique ne reste pas aligné avec le reste du corps. Il apparaît que pour des trajectoires courbes, l'orientation de la tête du sujet est déviée dans la direction de la marche, vers la tangente intérieure de la trajectoire [13]. Précisément, la direction de la tête guide le déplacement en anticipant systématiquement les changements de direction de la locomotion d'un intervalle d'environ 200 ms [14].

C'est ce type de comportement fondamental, d'anticipation visuelle sur le déplacement du corps, qui a été implémenté sur le robot mobile. Pour cela, nous avons fait une analogie entre l'œil humain et la caméra mobile qui équipe le robot. Ainsi, nous avons automatisé un comportement anticipatoire de mouvement de caméra à partir des informations de direction de déplacement envoyées au robot, selon le modèle de la Figure 4.

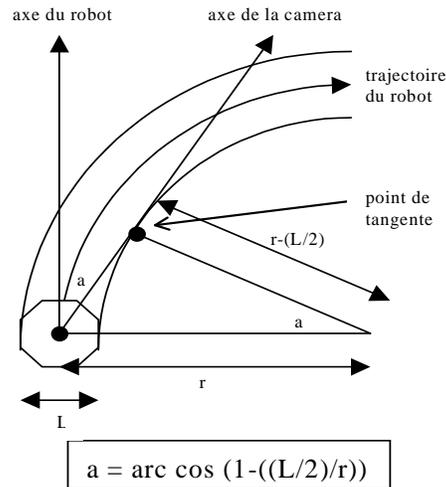


Figure 4 : L'angle de la caméra (a) est obtenu à partir du rayon de courbure (r) de la trajectoire du robot, en utilisant les propriétés trigonométriques. Ici, $\cos a = (r - (L/2))/r$, où L/2 correspond à la demi-largeur du robot. Sachant que r est donné par le rapport de la vitesse linéaire (v) sur la vitesse angulaire (w) du déplacement.

Les résultats expérimentaux sur des individus, dont on fait manœuvrer le robot en condition de téléopération (vision indirecte à travers la caméra), montre un net avantage de la condition caméra anticipatoire sur la condition caméra fixe (Figure 5). Ainsi, l'opérateur est significativement plus rapide pour faire exécuter au robot

le parcours expérimentale en condition caméra mobile ($F[2,117] = 13.9$; $p < .0001$). De même, la régularité des trajectoires du robot est significativement meilleure lorsque celui-ci est piloté à travers une caméra qui anticipe sur le déplacement : nombre d'arrêts moyens, $F[2,117] = 29.8$; $p < .0001$, et nombre de collisions moyennes, $F[2,117] = 9$; $p < .0002$ (voir [15], pour l'étude détaillée).

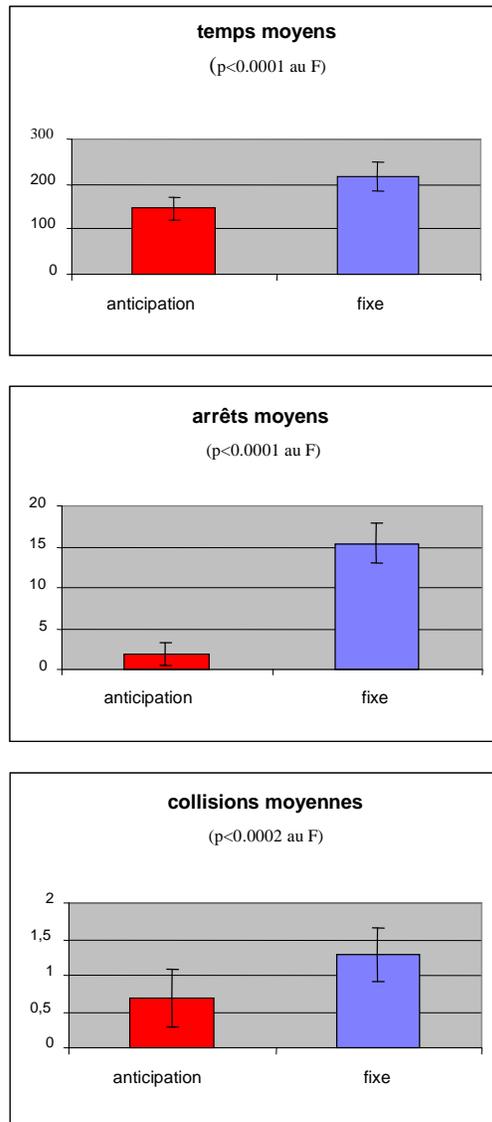


Figure 5 : Résultats expérimentaux.

Recherche du degré d'appropriation du robot manipulateur.

Si un objet donné est situé dans l'environnement immédiat du corps (espace péripersonnel), l'atteinte et la saisie manuelle de celui-ci peut être accomplie sans faire usage de la locomotion. Inversement, si l'objet est placé au-delà de cette atteinte directe (espace extrapersonnel),

la locomotion est nécessaire pour accomplir l'action. Dans toutes les situations, il y a nécessité d'encoder la position de l'objet par rapport à la position du corps et de ses différentes parties.

D'une manière générale, il semble que ce soit l'aire frontale 8 [16] et LIP [17] qui sont impliquées dans la représentation de l'espace éloigné, et l'aire frontale 6, pariétale inférieure 7b [18] et VIP [19] qui représentent l'espace proche. Ces études montrent que la distinction entre l'espace proche et éloigné n'est pas seulement descriptive, mais que le cerveau a différentes connexions pour coder la position des objets relativement aux coordonnées du corps [20].

Si le cerveau construit différentes cartes selon l'espace proche et éloigné, la question serait de savoir si la notion de « proche » et de « lointain » se réfère simplement à la distance d'atteinte, ou si le codage des positions spatiales est une opération plus dynamique, qui peut être influencée par l'utilisation d'outils qui modifient la relation spatiale entre le corps et l'objet. En d'autres termes, est-ce que le schéma corporel de l'humain peut-être altéré par la saisie à distance via un robot manipulateur, comme il a pu être mis en évidence chez des patients héminégligents manipulant une baguette [21] ?

Une des conséquences possibles de la modification de la relation spatiale entre le corps et l'objet par l'utilisation du bras téléopéré étendant l'espace d'atteinte, serait une reconfiguration cérébrale du lointain en proche. Notre hypothèse serait donc qu'avec l'apprentissage, il y aurait amélioration de la précision de l'opérateur à discriminer ce qui est de ce qui n'est pas dans l'espace péripersonnel du robot, jusqu'à atteindre des performances proches d'une saisie directe, ce qui constituerait un argument expérimental en faveur d'une extension du schéma corporel de l'Homme à la machine.

BILAN DU NIVEAU D'AUTOMATISATION DES MODES DE COMMANDE DU ROBOT

Il existe actuellement différents modes de commande implémentés sur le robot, et dont le niveau d'automatisation est plus ou moins élevé. Ceci a été réalisé volontairement, dans le but de fournir à l'opérateur une souplesse optimale dans sa coopération avec la machine. Car, en effet, si l'automatisation a la propriété de réduire la charge de travail de l'opérateur, elle n'en a pas moins des effets subversifs, tels qu'une diminution du niveau attentionnel ou une difficulté de reprise en main des commandes [22].

Ainsi, projeter l'humain en dehors de la boucle de contrôle de la machine est le premier phénomène à éviter si l'on veut que l'automatisation soit efficace ([23] ; [24]). Au contraire, l'opérateur doit toujours rester la

partie centrale du système Homme-machine [25]. Il doit être activement impliqué dans la tâche et adéquatement informé sur l'état général de l'automatisation ([26] ; [27]). C'est dans ce sens que nous avons élaboré les divers niveaux d'automatisation des modes de commandes de notre robot, qui sont brièvement présentés dans les paragraphes suivants.

Tout d'abord, les *modes navigations manuelles* dans lequel l'opérateur commande les roues du robot pour guider son déplacement. Pour cela, la personne reçoit comme retour d'information une image vidéo à partir de la caméra et une représentation schématique vue de dessus du déplacement du robot dans la pièce. Dans ce mode, la charge de travail de l'opérateur peut-être abaissée en enclenchant des capteurs ultrasons qui vont automatiquement permettre au robot d'éviter les collisions contre les obstacles, l'humain n'ayant qu'à gérer la navigation au but. Enfin, c'est également à partir de ce mode que nous avons implémenté le comportement humain d'anticipation visuelle sur le déplacement.

Ensuite, viennent les *modes visuels* pour lesquels l'opérateur ne commande plus directement les roues, mais la direction de la caméra à travers laquelle le robot sera guidé. Ainsi, il existe un mode où tant que la caméra est en mouvement la base mobile conserve le même angle de navigation, et dès que la caméra stoppe son mouvement dans une direction particulière le robot modifie son orientation afin de s'aligner suivant cette nouvelle direction. Pour ce mode, on peut également diminuer la charge de travail de l'humain en utilisant une fonction de la caméra qui permet de fixer un objet de l'environnement, et à partir duquel la navigation est gérée automatiquement par tracking de cette cible.

Enfin, il faut terminer par le mode de commande le moins lourd du point de vue de la charge mentale, qu'on pourrait baptiser le *mode navigation automatique*. Dans celui-ci, l'opérateur n'a qu'à désigner un point sur la représentation schématique de la pièce. Par la suite, le programme établit automatiquement la trajectoire idéale que va suivre de manière totalement autonome le robot. Ceci dit, il reste important de noter qu'en dépit de son faible coût cognitif, ce mode est loin d'atteindre les performances enregistrés avec les modes précédents. D'où la nécessité de poursuivre nos investigations sur ces modes de commandes partagés et particulièrement ceux basés sur les comportements humains qui semblent tirer le meilleur parti entre efficacité et effort cognitif.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce papier présente l'état d'avancement d'une aide technique complexe permettant l'assistance à la manipulation d'objets en vision directe ou à distance.

Afin de réduire autant que faire se peut la difficulté de la commande d'un tel système les recherches actuelles portent sur le développement d'un ensemble de modes de commande complémentaires mais redondants. Les modes sont automatiques, manuel ou ce qui semble le plus prometteur partagés. Afin de faciliter le changement de modes, et par-là l'élaboration de stratégies permettant de répondre à des tâches plus complexes, nous cherchons à donner aux opérations automatiques réalisées par le robot un comportement de type humain. Cette approche permet d'améliorer les performances de mobilité du robot avec un temps d'exécution plus court, moins d'échecs et des trajectoires plus régulières comme l'a montré l'expérience sur l'anticipation visuelle.

Une autre voie de recherche dans ce domaine de la CHM s'intéresse à l'appropriation du système par la personne handicapée. Une expérience, en cours, portant sur la saisie d'objets a pour objectif d'analyser la capacité de l'être humain à étendre son schéma corporel à la machine.

Le deuxième aspect concerne le domaine de la robotique. Les solutions proposées pour assurer une certaine autonomie aux systèmes d'assistance existants résultent d'une transposition pratiquement directe de celles développées en robotique industrielle. Cependant la réduction du prix de ces aides est une contrainte forte. Un effort supplémentaire de recherche est nécessaire pour proposer des constituants technologiques répondant à un compromis correct entre le coût, les performances et la fiabilité ; c'est notamment le cas de la perception d'environnement. La méthodologie appliquée à la conception du système ARPH s'est appuyé sur ces contraintes pour guider le choix entre réalisation ou achat des différents constituants que ce soit la structure mécanique, la motorisation, l'informatique embarquée ou la perception.

En ce qui concerne la diffusion de ces aides techniques auprès des utilisateurs. Plusieurs éléments permettent d'espérer une évolution positive de cette situation. Le développement de la robotique de service et notamment ludique, dont les besoins sont très proches de ceux de l'assistance robotisée. La taille du marché peut alors permettre de financer la recherche pour le développement de constituants spécifiques. Une sensibilisation progressive des organismes de remboursement ; l'approche du gouvernement hollandais est dans ce sens exemplaire, puisqu'il a le projet de mettre à la disposition des personnes, pour lesquelles il y a eu une prescription médicale, un bras manipulateur MANUS.

BIBLIOGRAPHIE

1. Evers, H.G., Beugels, E. and Peters, G. MANUS towards a new decade - *ICORR 2001* (Evry, France, avril 2001), vol. 9, pp. 155-161.
2. Busnel, M., Gelin, R. and Lesigne, B. Evaluation of a robotized MASTER/RAID Workstation at home : Protocol and first results - *ICORR 2001* (Evry, France, avril 2001), vol. 9, pp. 299-305.
3. Otmane, S., Mallem, M., Kheddar, A. and Chavand, F. ARITI : an Augmented Reality Interface for Teleoperation on the Internet - *Advanced Simulation Technologies Conference 2000 High Performance Computing* (April 16-20, Wyndham City Center Hotel, Washington, D.C., USA), pp. 254-261.
4. Benreguieg, M., Hoppenot, P., Maaref, H., Colle, E. and Barret, C. Fuzzy navigation strategy : Application to two distinct autonomous mobile robots - *Robotica*, 1997, vol. 15, pp. 609-615.
5. Hoppenot, P., Benreguieg, M., Maaref, H., Colle, E. and Barret, C. Control of a medical aid mobile robot based on a fuzzy navigation - *IEEE Symposium on Robotics and Cybernetics* (july 1996), pp. 388-393.
6. Horaud, R. and Monga, O. Vision par ordinateur, outils fondamentaux - *Ed. HERMES*, 1995.
7. Lowe, D.G. Three-Dimensional Object Recognition from Single Two-Dimensional Images - *Artificial Intelligence*, 1987, vol. 31, pp. 355-395.
8. Peruch, P., Mestre, D., Pailhous, J. and Savoyant, A. Visual interface in driving remote-controlled vehicles - *Vision in Vehicles*, North-Holland, Amsterdam, 1993, vol. 4, pp. 237-242.
9. Berthoz, A. Le sens du mouvement - *Odile Jacob Sciences*, 1997.
10. Varela, F. L'inscription corporelle de l'esprit - *Le Seuil*, 1993.
11. Lacquaniti, F. and Maioli, C. Anticipatory and reflex coactivation of antagonist muscles in catching - *Brain Research*, 1987, vol. 406, pp. 373-378.
12. Patla, A.E., Prentice, S.D., Robinson, C. and Neufeld, J. Visual control of locomotion : Strategies for changing direction and for going over obstacles - *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 1991, vol. 17, pp. 603-634.
13. Grasso, R., Prévost, P., Ivanenko, Y.P. and Berthoz, A. Eye-head coordination for the steering of locomotion in humans : an anticipatory synergy - *Neuroscience Letters*, 1998, vol. 253, pp. 115-118.
14. Grasso, R., Glasauer, S., Takei, Y. and Berthoz, A. The predictive brain : anticipatory control of head direction for the steering of locomotion - *NeuroReport*, 1996, vol. 7, pp. 1170-1174.
15. Rybarczyk, Y., Galerne, S., Hoppenot, P., Colle E. and Mestre, D.R. Implementation of human-like behaviour for a better guidance of rehabilitation mobile robot - *AAATE 2001 Conference*, vol. 10, pp. 274-279.
16. Rizzolatti, G. and Gallese, V. Mechanisms and theories of spatial neglect - *F. Boller and J. Grafman (Eds.), Handbook of neuropsychology*, 1988, vol. 1, pp. 223-249.
17. Colby, C.L., Duhamel, J.R. and Golberg, M.E. Visual, presaccadic and cognitive activation of single neurons in monkeys lateral intraparietal area - *Journal of Neurophysiology*, vol. 76, pp. 2841-2852.
18. Leinonen, L., Hyvarinen, G., Nymani, G., Linnankoski, I. Functional properties of neurons in lateral part of associative area 7 in awake monkeys - *Experimental Brain Research*, vol. 34, pp. 299.
19. Duhamel, J.R., Bremmer, F., Ben Hamed, S. and Graf, W. Spatial invariance of visual receptive field in parietal cortex neurons - *Nature*, 1997, vol. 389, pp. 845-848.
20. Shelton, P.A., Bowers, D. and Heilman, K.M. Peripersonal and vertical neglect - *Brain*, 1990, vol. 113, pp. 191-205.
21. Berti, A. and Frassinetti, F. When far becomes near : Remapping of space by tool use - *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2000, vol. 12, pp. 415-420.
22. Debernard, S. Allocation dynamique de tâches : exemple du contrôle aérien - *Journées automatique et homme*, Valenciennes, September 1998.
23. Riley, V. What avionics engineers should know about pilots and automation - *Proceedings of the Digital Avionics Systems Conference*, 1997, pp. 123-127.
24. Wickens, C.D., Mavor, A., Parasuraman, R. and MC Gee, J. The Future Air Traffic Control : Human Operators and Automation - *Washington, DC : National Academy Press*, 1998.
25. Jones, P.M., Chur, R.W. and Mitchell, C.M. A methodology for human-machine systems research : knowledge engineering, modeling and simulation - *IEEE Transaction on Systems and Cybernetics*, 1995, vol. 25, n°7, pp. 1025-1038.
26. Billings, C.E. Aviation Automation : The Search for a Human-Centered Approach, *Mahwah, NJ : Erlbaum*, 1997.
27. Woods, D.D. Decomposing automation : apparent simplicity, real complexity - *Eds. R. Parasuraman and M. Mouloua, Automation and Human Performance : Theory and Applications* (Mahwah, NJ : Erlbaum), 1996, pp. 7-17.