HAL
open science

ARPH: Comparaison d'une méthode classique et d'une méthode utilisant la coopération homme-machine pour exploiter la redondance de l'assistant robotisé

Etienne Colle, Khiar Nait-Chabane, Sébastien Delarue, Philippe Hoppenot

To cite this version:

Etienne Colle, Khiar Nait-Chabane, Sébastien Delarue, Philippe Hoppenot. ARPH: Comparaison d'une méthode classique et d'une méthode utilisant la coopération homme-machine pour exploiter la redondance de l'assistant robotisé. HANDICAP 2006, Jun 2006, Paris, France. pp.121–125. hal-00341300

HAL Id: hal-00341300

https://hal.science/hal-00341300v1

Submitted on 16 Jul 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ARPH : Comparaison d'une méthode classique et d'une méthode utilisant la coopération homme-machine pour exploiter la redondance de l'assistant robotisé

E. Colle, K. Nait Chabane, S. Delarue, P. Hoppenot
LSC CNRS FRE 2494, Université d'Evry,
hoppenot|ecolle@iup.univ-evry.fr

Résumé- **Les solutions retenues en robotique d'assistance se démarquent souvent très fortement de celles employées en robotique industrielle. Du point de vue de la conception, il est pertinent de considérer la personne et le robot d'assistance comme deux éléments appartenant à un système complexe global. La coopération interne entre ces deux entités devient indispensable et permet de mettre en place des solutions innovantes. Ce papier tente de montrer sur l'exemple de la commande d'un bras mobile qu'il est possible de proposer de nouveaux algorithmes en s'appuyant sur les capacités de la personne. Nous avons montré qu'une méthode de résolution de problèmes utilisée en IAD offre une alternative aux modèles mathématiques généralement mis en œuvre pour commander un robot. Cette approche offre des avantages. Cependant le caractère local de la résolution nécessite la présence d'un niveau supérieur possédant une vision globale du processus et capable de décision. En robotique d'assistance ce rôle est joué par la personne dans le cadre de la coopération homme-machine.**

I. INTRODUCTION

Les personnes présentant une déficience motrice grave comme les tétraplégiques ou les myopathes peuvent bénéficier d'aides techniques innovantes pour compenser leur handicap.

La robotique est une des disciplines qui peut apporter des solutions permettant de réduire la situation de handicap en termes de mobilité et de manipulation. Cependant la conception de l'aide doit prendre en compte les aspects spécifiques du domaine d'application. Le premier primordial est que ce type d'aide ne concerne que quelques milliers de personnes en France. Il ne faut donc pas compter sur un effet d'échelle pour rendre financièrement abordable l'assistant robotisé sauf considéré un espace étendu au moins à l'Europe [1]. Au niveau du roboticien, plusieurs approches de conception non exclusives doivent être envisagées.

La première est de réutiliser autant que faire se peut des composants existants pour la propulsion, la manipulation et la perception. Cette option offre deux avantages non négligeables qui sont l'assurance de fiabilité d'un produit commercial et l'existence d'un réseau qui assure la maintenance.

La deuxième approche veille à minimiser pendant tout le cycle de R&D la complexité de l'aide. Celle-ci peut être réduite de manière significative en impliquant la personne dépendante dans le service que rend l'aide robotisée. Cette coopération homme machine a pour rôle principal de répartir les tâches avec un degré d'implication de la personne adaptable et évolutif. Aussi pour définir au mieux la collaboration et la rendre la plus efficace, il est important d'évaluer les compétences et les capacités des deux entités personne et machine qui peuvent être considéré comme des partenaires.

La dernière approche qui vise à élargir le champ d'application et donc développer l'effet d'échelle, consiste à envisager cette aide comme faisant partie d'un ensemble de services dont l'objectif est de favoriser le maintien à domicile de cette personne dépendante. A priori les services potentiels sont la suppléance fonctionnelle pour la mobilité et la manipulation, la télévigilance et la télémédecine. Abordé du point de vue des services, il est possible de mutualiser les moyens et donc de réduire les coûts.

Les travaux présentés ici font partie de la deuxième approche. Comme il a été précisé précédemment le préalable d'une bonne coopération requiert de préciser les capacités et les limites de chaque partenaire. L'objectif de ce papier est de tirer partie au mieux du système robotisé constitué d'un bras Manus fixé sur une plateforme mobile en exploitant la redondance des degrés de liberté des deux sous-systèmes et la coopération entre l'homme et la machine. La première section présente une approche classique utilisée en robotique. La deuxième section décrit une approche issue de l'IAD (Intelligence Artificielle Distribuée) mais qui suppose une coopération avec la personne. Ces deux approches sont ensuite comparées en simulant l'exécution de tâches de suivi de trajectoire.

II. EXPLOITATION DE LA REDONDANCE, APPROCHE ROBOTICIENNE

A. Description et modélisation du manipulateur mobile

Le manipulateur mobile est constitué du bras Manus de la société Exact Dynamics monté sur une plateforme mobile à deux roues arrières motorisées indépendantes et une roue folle

à l'avant (Fig.1). Manus est un bras a 6 liaisons rotoïdes, 3 pour la position et 3 pour l'orientation de la pince. Nous avons adopté les hypothèses suivantes pour la modélisation (Fig. 2). Il n'y pas de glissement entre les roues et le sol. La plateforme ne peut se déplacer de côté en raison de la contrainte de non-honolomie. Le manipulateur est fixé de façon rigide sur la plateforme.

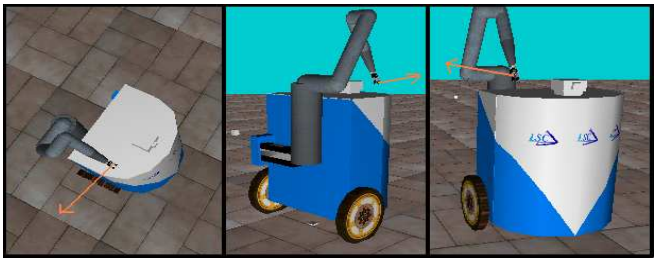

Figure 1. Manipulateur mobile ARPH

Le modèle géométrique direct du manipulateur qui utilise le formalisme de Denavit Hartenberg [2] lie les variables de l'espace articulaire et de l'espace de la tâche :

$$X_a = f_a(q_a), \tag{1}$$

où $X_a = [x_{a1}, x_{a2}, \cdots x_{am}]^T \in R^m$ est le vecteur des variables de la tâche exprimé dans l'espace de la tâche à *m* dimensions, $q_a = [q_{a1}, q_{a2}, \cdots q_{an}]^T \in R^n$ est le vecteur des variables articulaires exprimé dans l'espace articulaire à *n* dimensions, et f_a est une fonction non linéaire.

En dérivant (1) en fonction du temps, on obtient une équation linéaire au niveau des vitesses :

$$\dot{X}_a = J_a(q_a)\dot{q}_a, \tag{2}$$

où $\dot{X}_a$ est le vecteur vitesse de la tâche, $\dot{q}_a$ est le vecteur vitesse articulaire et $J_a(q_a)$ est la matrice jacobienne.

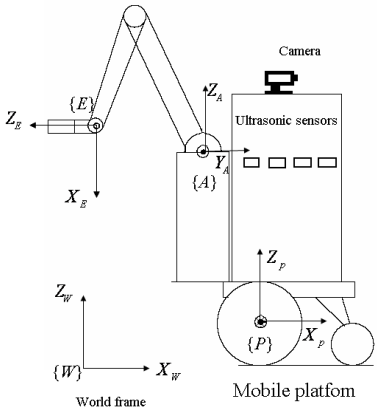

Figure 2. Les repères liés au manipulateur mobile

Le modèle cinématique de la plateforme est donné par [3]:

$$\dot{q}_p = S(q_p)u_P \tag{3}$$

où $S(q_p) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_p) & 0 \\ \sin(\theta_p) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ et $u_p = [v, \omega]^T$, dans lequel *v* et ω sont les vitesses linéaire et angulaire de la plateforme. Ainsi le modèle géométrique de l'ensemble manipulateur et plateforme peut être exprimé par

$$X = f(q_p, q_a), \tag{4}$$

dans lequel q_p sont les coordonnées généralisées de la plateforme mobile et q_a les variables articulaires du bras Manus. La configuration du manipulateur mobile est par *N=n+3* coordonnées généralisées :

$$q = [q_p^T, q_a^T]^T = [x_p, y_p, \theta_p, q_{a1}, \cdots, q_{an}]^T \tag{5}$$

Le modèle cinématique du manipulateur mobile est donné par :

$$\dot{X} = J(q)\dot{q}, \tag{6}$$

avec $J(q) = \dfrac{\partial f}{\partial q}$.

B. *Mesure de manipulabilité*

Le concept de manipulabilité a été introduit par Yoshikawa [4], [5] pour les bras manipulateurs afin de caractériser la capacité du manipulateur à se déplacer dans certaines directions. L'ensemble des vitesses de l'effecteur qui découle des vitesses articulaires telles que la norme Euclidienne de $\dot{q}_a$, $\|\dot{q}_a\| = (\dot{q}_{a1}^2 + \dot{q}_{a2}^2 + \cdots \dot{q}_{an}^2)^{1/2}$, satisfait $\|\dot{q}_a\| \le 1$ est une ellipse dans l'espace Euclidien à m dimension. Cette ellipse représente la capacité de manipulation et est appelée ellipse de manipulabilité. Yoshikawa définit une mesure de manipulabilité *w* :

$$w = \sqrt{\det(J_a(q_a)J_a^T(q_a))}, \tag{7}$$

qui peut se simplifier en $w = |\det(J_a(q_a))|$ quand $J_a(q_a)$ est une matrice carrée.

C. *Schéma de contrôle du bras mobile*

La mesure de manipulabilité *w* peut être introduite pour contrôler le bras mobile. Whitney [6] a proposé l'utilisation de la pseudo-inverse de la matrice jacobienne pour résoudre le

système d'équations linéaires qui donne à l'effecteur la vitesse désirée. Il est aussi possible d'utiliser la pseudo inverse pondérée afin de prendre en compte les caractéristiques différentes de chaque articulation [7]. Une variante de cette approche permet d'introduire un terme d'optimisation [8], [9].

La même idée peut être appliquée au cas d'un manipulateur mobile non holonome. L'inverse du système est donnée par :

$$u = \overline{J}^{+}\dot{X}_d + (I - \overline{J}^{+}\overline{J})Z, \qquad (8)$$

où Z est un vecteur arbitraire de dimension N-1.

La solution du system est composé d'une solution particulière $\overline{J}^{+}\dot{X}_d$ qui minimise la norme $\left|\dot{X}_d\right|$ et d'un terme d'optimisation $(I - \overline{J}^{+}\overline{J})Z$ qui appartient à l'espace nulle $N(\overline{J})$ c'est à dire dont l'effet n'engendre pas de mouvements de l'effecteur. Aussi Z peut être exploité pour minimiser localement un critère scalaire comme la manipulabilité en exploitant la redondance du système mécanique articulé. En utilisant cette idée, Bayle [10] a proposé le schéma suivant:

$$u = \overline{J}^{+}\dot{X}_d - (I - \overline{J}^{+}\overline{J})M^{T}W(\frac{\partial P}{\partial q})^{T}, \qquad (9)$$

où $\dot{X}_d$ est le vecteur définissant la tâche désirée, W est une matrice définie positive et $P(q)$ est une fonction dépendant de la configuration du bras manipulateur.

III. Exploitation de la redondance, approche multiagent

La méthode générale vue précédemment pour contrôler un bras manipulateur consiste à calculer les modèles géométriques et cinématiques. Cette approche produit de bons résultats pour des tâches répétitives dans des environnements connus, ce qui ne correspond pas aux conditions d'utilisation en robotique de service à la personne pour lequel le domicile n'est pas complètement connu mais en revanche évolutif. . D'autre part généralement les modèles sont calculés hors ligne et sont incapables de s'adapter à des modifications de la machine, par exemple un disfonctionnement d'un des axes du robot, sans l'addition de modes spécifiques de traitement de panne. La possibilité d'offrir un « service minimum » malgré une panne en attendant le réparateur est un élément important de la qualité de service. L'intelligence artificielle distribuée [11], [12] propose des méthodes de résolution de problèmes complexes qui permettent de s'affranchir de la connaissance des modèles mathématiques du robot [13], [14], [15]. Dans notre cas, la solution est construite autour d'une architecture multi agents divisée en deux parties, une concerne le bras manipulateur et la deuxième la plateforme mobile. La redondance du système est exploitée pour améliorer la tolérance à certaines pannes mais aussi pour donner des comportements ou des configurations au robot qui facilitent l'appropriation de la machine par la personne et dons la coopération.

A. Description des agents associés au bras manipulateur

(a) Principe de fonctionnement

A chaque articulation est affecté un agent réactif dont par définition les capacités cognitives sont très limitées [16], [17]. Chaque agent réalise en parallèle des autres une tâche locale sans connaissance a priori des actions des autres agents. Il est possible de faire émerger un comportement global de tous les agents qui satisfait l'objectif à atteindre. Chaque agent calcule la position de l'effecteur et essaye alors de faire coïncider cette position avec le but à atteindre. Par une approche du type mouvement virtuel-vérification, chaque agent tend par de petits déplacements locaux à satisfaire cette contrainte. Si le but est en dehors du domaine atteignable, chacun finira par aligner le membre qu'il contrôle selon le vecteur $\overrightarrow{P_{Articulation}P_{Objectif}}$, le bras étant alors complètement tendu.

La figure 3 montre une extension du principe à 4 agents.

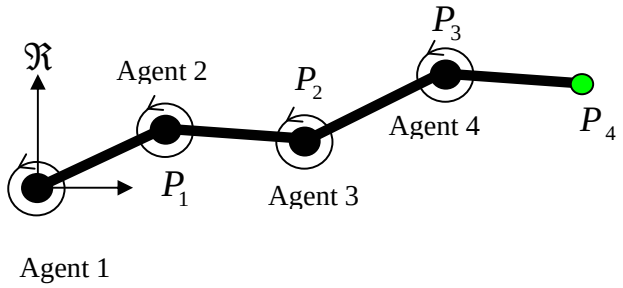

Figure 3. Bras présentant 4 couples « articulation-agent »

(b)Discussion

Chaque agent agit de façon indépendante sans inter synchronisation. Le système devient dans certaines limites, tolérant aux fautes. En effet, si une des articulations « tombe en panne » les autres agents vont chercher à compenser la défaillance. C'est l'autonomie de ces agents dont la seule tâche est la minimisation d'une distance qui permet d'obtenir ce résultat. Cette résolution locale du problème présente bien entendu des inconvénients connus mais qui sont fortement atténués dans un contexte de coopération. La personne apporte ses capacités décisionnelles qui permettent une résolution globale.

B. *Description de l'agent associé à la Plateforme mobile*

C'est un agent à caractère généralement réactif qui possède en outre la capacité d'entrer dans un mode cognitif spécial. Ce mode permet de prévenir des situations de blocages ou de faciliter la stabilisation de l'organe terminal quand on couple les deux sous-systèmes, bras manipulateur et plateforme mobile.

IV. Comparaison des méthodes par simulation

La simulation a pour but de comparer les deux approches de commande du bras mobile pour une tâche de suivi d'une trajectoire rectiligne par l'organe terminal. Le terme MIM correspond à l'approche utilisant le modèle mathématique, MAS à celle utilisant les agents.

La figure 4 définit la position de la plateforme par rapport au repère de référence et la table 1 les conditions initiales et les paramètres de simulation.

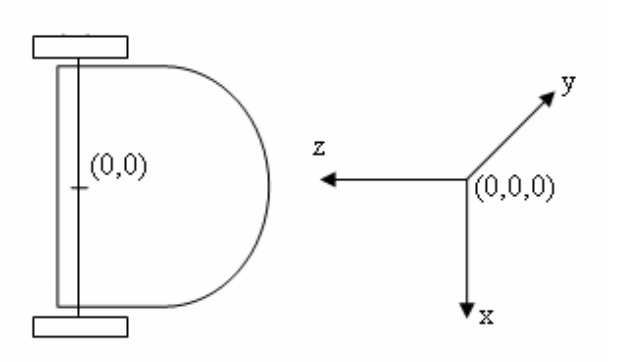

Figure 4. Position initiale de la plateforme

TABLE I
Conditions initiales de simulations

Objet	Valeur initiale
Position de la plateforme	(0, 0, 0) cm
Articulation n°1 du bras	270 degrés
Articulation n°2 du bras	120 degrés
Articulation n°3 du bras	-125 degrés
Position de l'effecteur	(18, 79, -20) cm

TABLE II
Paramètres de simulations

Nombre de pas de simulation	400
Période d'échantillonnage	60 ms
Avancement à chaque pas	(0.42 , 0.12 , 0) cm
Durée totale du mouvement	24 s

La figure 5 illustre la trajectoire suivie par la plateforme pour les deux approches. Avec MIM la plateforme atteint un point de rebroussement puis part en marche arrière tandis que l'approche MAS donne une trajectoire régulière.

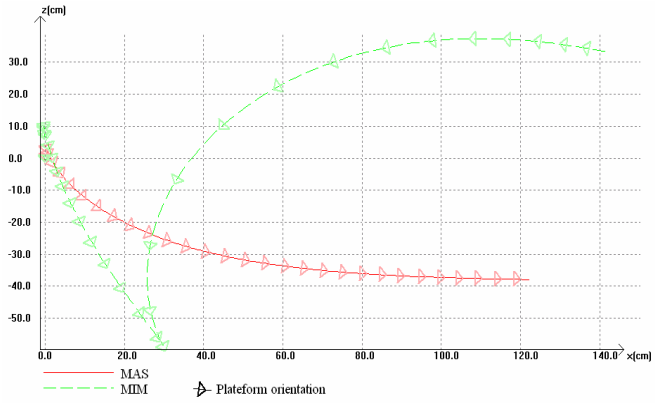

Figure 5. Trajectoires suivies par la plateforme selon la commande utilisée

Bien que ce ne soit pas illustré ici, il faut noter que les deux approches conduisent à une réalisation correcte de la tâche, à savoir le suivi d'une trajectoire rectiligne par l'effecteur.

La simulation suivante montre comment le système global, le bras manipulateur sur la plateforme mobile, se comporte en cas de défaillance. Comme MIM est incapable de gérer ce cas de figure, seule l'approche MAS est évaluée. Trois situations ont été testées :

- Défaillance de l'épaule (articulation n°1) à 60°
- Défaillance de l'épaule (articulation n°1) à 30°
- Défaillance du bras (articulation n°2) à 120°

La défaillance intervient à t= 0. La figure 6 illustre le déplacement de l'effecteur le long de l'axe x en fonction du temps.

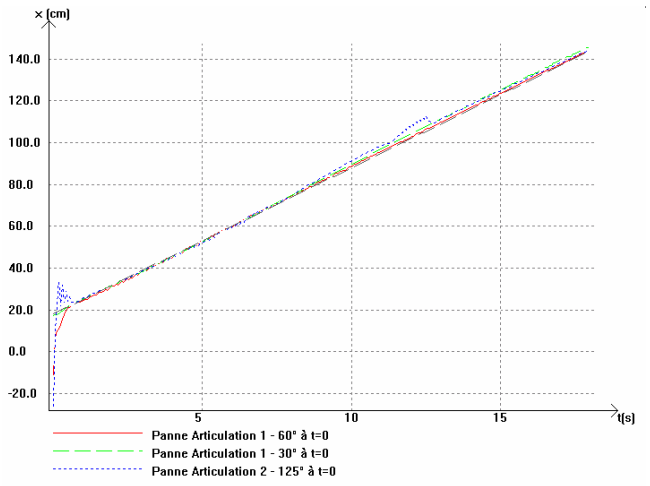

Figure 6. Trajectoire de l'effecteur le long de l'axe x

La trajectoire suivie par l'effecteur reste rectiligne malgré la panne simulée en début de tâche. L'approche MAS permet comme prévu de compenser la défaillance d'une des articulations en exploitant la redondance. En effet dans ce cas de simulation, l'articulation n°1 peut être en partie compensée par la rotation de la plateforme mobile et l'articulation n°2 par celle de l'articulation n°3.

V. CONCLUSION

Les solutions à apporter en robotique d'assistance se démarquent souvent très fortement de celles employées en robotique industrielle. Du point de vue de la conception, en dehors des considérations des critères spécifiques et cruciaux comme le coût, la Il est pertinent de considérer la personne et le robot d'assistance comme deux éléments appartenant à un système complexe global. La coopération interne entre ces deux entités devient indispensable et permet de mettre en place des solutions innovantes. Dans ce papier nous avons montré que des méthodes de résolution de problèmes utilisées en IAD offre une alternative à l'utilisation des modèles mathématiques pour commander le bras mobile. L'approche multiagent propose une façon de résoudre qui se rapproche du comportement humain qui permet dans notre cas d'améliorer la tolérance à certains types de panne de la machine ce qui permet de maintenir ce qu'on pourrait appeler un « service minimum ». Il faut rappeler que la fiabilité est un critère qui avec le coût est jugé crucial par les utilisateurs. Cependant, l'approche multiagent résout localement le problème et ne peut être envisagé sans un niveau supérieur capable d'avoir une vision globale de la situation et de décision. Dans le cas de la robotique d'assistance, ce niveau est assuré par la personne ce qui ne peut être le cas en robotique industrielle.

REFERENCES

[1] CIH-2 Classification Internationale du fonctionnement du handicap et de la santé : WHO/EIP/GPE/CAS/ICIDH2-f/01.1.

[2] L. Sciavicco and B. Siciliano, "Modeling and control of robot manipulators," The McGraw-Hill companies, inc., 1996.

[3] G. Campion, G. Bastin and B., D'Andréa-Novel, "Structural proprieties and classification of kinematic and dynamic models of wheeled mobile robots," IEEE Transaction on Robotics and Automation, vol 12, no 1, pp. 47-62, February 1996.

[4] T. Yoshikawa, "Manipulability of Robotic Mechanisms," International Journal of Robotics Research, 1985, vol. 4, no 2, pp. 3-9.

[5] T. Yoshikawa,. "Foundation of robotics: Analysis and control", The MIT Press, 1990.

[6] D.E Whitney, "Resolved Motion Rate Control of Manipulators and Human Prosthetics", IEEE Trans on Man Machine Systems, Vol 10, pp. 47-53, 1969.

[7] Y. Nakamura, "Advanced robotics, redundancy and optimization", Addison Wesley Publishing, 1991.

[8] T. Yoshikawa, "Analysis and control of Robot manipulators with redundancy", In M. Brady & R. Paul, editors, Robotics Research: The First International Symposium, MIT Press, pp. 735-747, 1984.

[9] P. Baerlocher, "Inverse kinematics techniques for the interactive posture control of articulated figures", PhD thesis, Lausanne, EPFL 2001.

[10] B. Bayle, J.Y Fourquet, and M. Renaud, "Coordinating mobility and manipulation using nonholonomic mobile manipulators", In ISER'99, pp.115-125, Sydney, Australia, March 1999.

[11] G. Weiss, "A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence", The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1999

[12] H. Wood, "Intelligent Agents", *Multiagent systems*, Wooldridge M., Weiss G. - Ed.: MIT Press - 1999.

[13] D. Duhaut, "Distributed Algorithm For High Control Robotics Structures", Int. Conf. On Artificial Intelligence, 1999, Vol.1, pp 45- 50

[14] Z. Guessoum, "A Hybrid Agent Model: a Reactive and Cognitive Behavior", ISAD97, IEEE, Berlin, Germany, pp. 25-32, April 1997.

[15] D. Duhaut "Using multi agent approach solve inverse kinematic problem", Int. Conf., 1993

[16] J. Ferber, "Les systèmes Multi agents Vers une intelligence collective", IIA Informatique Intelligence Artificielle InterEditions – septembre 1995

[17] B. Chaib-Draa., I. Jarras, B. Moulin, "Systèmes multi-agents : principes généraux et applications", *Principes et architectures des systèmes multi-agents*, J.-P. Briot et Y.Demazeau (Eds.) Hermès - 2001.