

Assistance à la saisie en milieu non structuré

R. Gharbi¹, N. Rezzoug¹, P. Gorce¹, P. Hoppenot², E. Colle²

¹Laboratoire ESP EA 3162
Université de Toulon et du Var
BP 20132, 83957 La Garde
gorce{rezzoug, gharbi}@univ-tln.fr

²Laboratoire Systèmes complexes
IUP d'Evry
40 rue du Pelvoux 91020 Evry
hoppenot{colle}@iup.univ-evry.fr

Résumé

Dans cet article, nous présentons une méthode d'apprentissage de la configuration du bras MANUS implanté sur la plateforme APRH lors de la saisie d'un objet. Fondée sur le principe de semi ou co-autonomie, elle exploite des informations fournies par l'utilisateur et permet de l'assister pour l'accomplissement des tâches fastidieuses lors de l'utilisation du MANUS en milieu non structuré. Des résultats de simulation illustrent les performances de la méthode.

1. Introduction

Depuis maintenant plus de trois décennies, le développement d'aides techniques robotisées a permis d'améliorer de manière significative l'autonomie des personnes à mobilité très réduite. Dans cette optique, plusieurs systèmes robotiques ont été développés. On en dénombre trois catégories : les stations de travail fixes (RAID, AFMASTER, [2]), les télémanipulateurs montés sur fauteuil roulant (MANUS [4, 6]), et enfin, les télémanipulateurs sur base mobile (MOVAID [3], APRH [9, 10]). Ces derniers représentent la solution la plus complexe, mais aussi la plus souple dans le but d'améliorer les performances de l'assistance à la manipulation.

L'utilisation de systèmes robotiques par les personnes à mobilité réduite induit un certain nombre de particularités. Ainsi, ils nécessitent :

1. Une bonne adéquation entre leur commande et les capacités physiques et cognitives de l'utilisateur (ne pas surcharger l'utilisateur de commandes compliquées et fastidieuses),
2. une utilisation combinée des capacités de l'utilisateur et du système robotique de manière satisfaisante (semi ou co-autonomie),

Une des fonctionnalités souvent demandée par les utilisateurs potentiels est de pouvoir utiliser leur robot dans des environnements variés (à l'intérieur ou à l'extérieur du domicile) [2, 7, 11]. Ainsi, les challenges à relever par la robotique de réhabilitation sont la

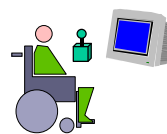
navigation et la prise d'objet en milieu non structuré. En effet, dans ces conditions, la programmation autonome d'un robot n'est pas possible et ses mouvements doivent être commandés manuellement par l'utilisateur. Ceci engendre une charge cognitive et physique supplémentaires qui peuvent constituer un frein psychologique à l'utilisation d'un système robotisé. Afin de pallier à cette difficulté, une voie intéressante consiste à faire exécuter de manière semi-automatique une partie de la tâche par le robot et, ainsi, laisser l'utilisateur gérer les problèmes de haut niveau. Ceci présente un double avantage :

1. l'utilisateur est partie prenante dans le déroulement de la tâche,
2. il ne gère pas la commande manuelle fastidieuse puisque celle-ci est dédiée au robot.

Dans ce cadre, nous proposons une méthode basée sur l'apprentissage par renforcement afin de définir de manière semi-automatique la configuration d'un robot MANUS lors de la saisie d'objets en milieu non structuré.

2. Architecture du système ARPH

Le système d'assistance ARPH est composé d'un robot d'assistance et d'une station de commande (Fig. 1).



Station de commande



Robot d'assistance

Figure 1: Station de commande et système robotisé

L'utilisateur pilote à distance le robot à l'aide d'une station fixe composée d'un organe de commande adapté aux capacités résiduelles de la personne, d'un écran qui affiche l'image envoyée par la caméra et différents types d'information nécessaires à la commande (Fig. 2).

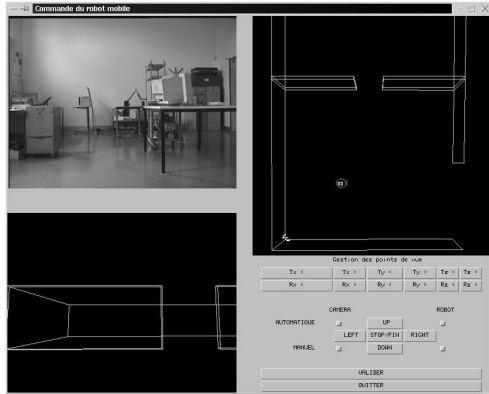


Figure 2: Station de commande et de contrôle.

L'utilisateur est assisté pour agir et percevoir par des techniques tirées du domaine de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée.

2.1. Structure du robot

Le robot ARPH, composé d'une base mobile portant un bras manipulateur, est capable de se déplacer en évitant des obstacles, de saisir des objets usuels et d'aller explorer les différentes pièces du domicile. Le choix des éléments composant le robot mobile correspond à un compromis entre plusieurs critères notamment le coût, la fiabilité, la maintenabilité. Les composants matériels sont pour l'essentiel, des produits du commerce [9].

La caméra orientable joue un rôle particulier puisqu'elle intervient dans trois fonctions : le retour d'information vidéo à l'utilisateur, la localisation du robot dans le domicile et la commande du robot.

2.2. Commande du système ARPH

Dans le domaine de l'assistance, la personne est partie prenante du service que lui rend la machine [10]. Se pose le problème d'une coopération entre la personne et la machine semi-autonome, chaque entité pouvant être considérée comme "handicapée" au sens où ses moyens ne permettent pas d'effectuer complètement une tâche donnée. Le robot d'assistance est doté d'un ensemble de fonctions automatiques destinées à lui assurer une certaine autonomie en respectant les impératifs de coût et de complexité.

Cependant, si on se fixe un niveau de complexité donné, toutes les tâches ne peuvent être automatisées. De plus, bien que l'automatisation ait la propriété de réduire la charge de travail de l'opérateur, elle ne présente pas moins des effets subversifs, tels qu'une diminution du

niveau d'attention ou une difficulté de reprise en main des commandes. ARPH propose une semi-autonomie variable centrée sur une coopération homme-machine faisant appel à un ensemble de fonctions automatiques adaptées aux critères spécifiques du domaine de l'assistance [1].

2.3. Modes et stratégies pour le déplacement

L'exemple se limite au déplacement du robot mais peut être étendu à la saisie d'objets. On distingue trois types de modes: a) automatique, le robot est commandé par le système, b) manuel, l'utilisateur pilote à distance le robot, c) partagé, la commande du robot est partagée entre la machine et l'utilisateur. On peut citer en exemple le mode dans lequel la personne désigne la direction à suivre tandis que le robot évite localement les obstacles. Il existe actuellement différents modes de commande implantés sur le robot 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.

2.4. Comportements de type humain

Pour éviter que l'utilisateur soit projeté en dehors de la boucle de contrôle de la machine et faire en sorte qu'il reste la partie centrale du système Homme-machine, il doit être activement impliqué dans la tâche, même si celle-ci est partiellement automatisée, et adéquatement informé sur l'état général de l'activité autonome. Une approche consiste à donner un comportement de type humain aux opérations automatiques exécutées par le robot. C'est dans ce sens qu'ont été élaborés les divers niveaux d'automatisation intégrés aux modes de commande automatiques ou partagés du robot, qui sont brièvement présentés dans les paragraphes suivants.

Tout d'abord, les *modes de navigation à dominante manuelle* dans lesquels la personne pilote directement à distance le déplacement du robot. Pour cela, la personne reçoit comme retour d'information une image vidéo à partir de la caméra embarquée et différents points de vue virtuels destinés à préciser les positions relatives des objets de la pièce (robot, portes, meubles, ...). Dans ce mode, la charge de travail de l'opérateur peut-être abaissée en enclenchant la procédure d'évitement des obstacles à l'aide des capteurs télémétriques ultrasonores, l'utilisateur n'ayant qu'à définir la direction vers la destination.

D'autres modes partagés peuvent être imaginés par exemple celui basé sur le comportement humain d'anticipation visuelle. Avec les *modes de navigation à dominante visuelle*, l'utilisateur pilote indirectement le

robot via la caméra en utilisant le même principe qu'une personne qui se déplace selon la direction de son regard. L'objectif, une direction à suivre ou un objet à saisir, est à désigner par la personne qui utilise la caméra comme un organe de commande. La loi de commande qui lie l'orientation de la caméra à la direction de déplacement du robot dépend du mode. Une loi simple consiste à aligner l'axe du robot le long de la direction visuelle. L'automatisation permet également de diminuer la charge humaine de travail en utilisant une fonction de suivi automatique d'objet. Une des utilisations potentielles est le suivi d'un objet en mouvement comme par exemple un fauteuil roulant. Cependant ce type de mode qui semble très attractif est à affiner pour prendre en compte des actions complémentaires comme la phase d'approche ou l'usage momentanée de la caméra pour une rapide exploration de la pièce.

Enfin, on terminera par le mode de commande le moins lourd du point de vue de la charge mentale, qu'on pourrait baptiser le *mode de 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 enregistrées avec les modes précédents.

Outre la navigation de la plate-forme mobile, la fonction de saisie revêt une importance cruciale. Dans la partie suivante, nous envisageons une méthode permettant sa mise en œuvre dans un environnement non structuré.

3. Assistance à la saisie

Le manipulateur MANUS est doté de 6 degrés de liberté (Fig. 3) qui permettent de placer son organe effecteur dans la configuration désirée.

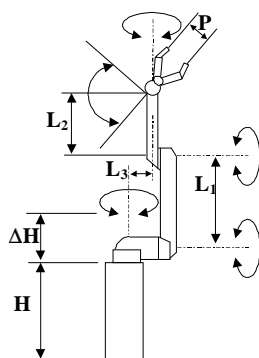


Figure 3: Mobilités du manipulateur MANUS.

Lors de la saisie d'un objet dans un environnement non

structuré, le mouvement à effectuer comporte plusieurs phases :

1. une phase durant laquelle le préhenseur est amené au voisinage de l'objet
2. une phase de saisie où sont effectués des ajustements précis afin d'orienter le préhenseur de manière adéquate.

Cette dernière phase peut nécessiter des mouvements assez fins et fastidieux s'ils sont effectués en contrôle manuel.

Afin de réduire la pénibilité de cette tâche, nous nous proposons d'automatiser la phase de saisie en travaillant au voisinage de la configuration adoptée manuellement lors de la phase d'approche. Plus précisément, nous définissons la configuration angulaire des différentes articulations afin de placer le préhenseur dans une configuration adéquate pour la saisie. Ce problème est rendu difficile car il possède plusieurs solutions qui dépendent de nombreux facteurs liés à l'objet, au préhenseur et à la tâche.

3.1. Méthode

Du fait de la précision du MANUS, cette opération est rendue difficile par l'utilisation d'une commande classique. En effet, ces dernières nécessitent une connaissance précise des données du problème. De plus, afin d'identifier l'objet à atteindre, il est nécessaire d'avoir des informations provenant d'une caméra, ce qui peut compliquer notablement la tâche à accomplir. De ce fait, il semble important que la quantité d'informations disponible pour le contrôle soit la plus faible possible évitant ainsi la mise en œuvre de moyens informatiques trop importants.

Afin de tenir compte de ces deux points, nous considérons que la phase d'ajustement consiste à faire correspondre deux points définis sur la surface de l'objet et un point situé sur chacun des mors de la pince du MANUS. De cette manière, on gère non seulement les contraintes induites par le positionnement mais aussi par l'orientation du repère du préhenseur par rapport au repère de l'objet. De plus, on limite les informations nécessaires à la connaissance de la position de deux points dans l'espace.

L'utilisation d'un formalisme d'apprentissage par renforcement semble bien adapté pour résoudre ce genre de difficulté [5]. En effet, il est basé sur une recherche de solution par essai – erreur afin de définir une configuration adéquate à partir d'un modèle du préhenseur qui peut être de faible précision.

Différentes techniques basées sur ce principe ont été développées [5] et appliquées [8]. On en distingue principalement 2 types : les méthodes directes et indirectes. Ces dernières sont basées sur la construction du modèle du processus à contrôler. A partir de ce modèle, il est possible d'évaluer les actions entreprises afin d'améliorer les performances. Dans le cadre des méthodes directes, les informations pertinentes pour l'apprentissage sont obtenues en perturbant le système de manière aléatoire. Ainsi, une recherche stochastique de la solution est effectuée. Cette technique semble très intéressante car elle ne nécessite pas la construction du modèle de l'action à accomplir, tâche qui peut être très difficile. Sur la base de ces remarques, nous avons choisi d'utiliser une méthode directe qui est simple à implémenter et qui donne de bons résultats. Celle-ci passe par la mise en œuvre d'un réseau de neurones multicouches dont l'architecture est définie dans la Fig.4.

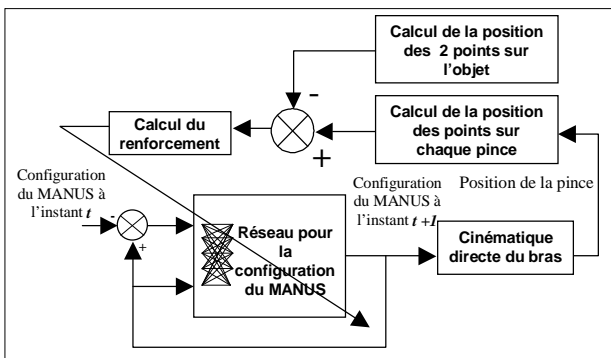


Figure 4: Architecture du modèle de définition de la posture du MANUS.

Elle fonctionne de la manière suivante :

1. L'entrée du réseau est constituée par un vecteur qui comprend la dernière position et vitesse des articulations du robot. En sortie de ce réseau nous obtenons la nouvelle configuration du bras,
2. A partir de la nouvelle configuration du bras, on calcule la position et orientation de la pince du MANUS.
3. A partir de cette dernière, on calcule la position dans un repère global des points définis sur chaque mors de la pince du MANUS.
4. On calcule la distance entre les deux points définis sur la surface de l'objet et le mors correspondant.
5. A partir de ces 2 distances, on calcule la fonction d'évaluation de la posture et la valeur de renforcement, en découlant. Celle-ci est utilisée pour mettre à jour les paramètres du réseau de neurones.

6. On réitère cette procédure jusqu'à ce qu'une solution satisfaisante soit obtenue ou que le nombre maximum d'itérations maximum soit atteint.

Nous cherchons à optimiser le placement de la pince par rapport à l'objet. Nous effectuons cette tâche en minimisant la distance entre deux points situés sur les mors de la pince et deux points situés de part et d'autre de l'objet. Ainsi on définit

$$\mathbf{PX}_i^D = (x_i^D, y_i^D, z_i^D)^T \quad (1)$$

le vecteur des coordonnées d'un des points définis sur la pince du MANUS dans le repère global au pas de temps k .

$$\mathbf{PX}_i^M = (x_i^M, y_i^M, z_i^M)^T \quad (2)$$

représente la position des points définis sur la surface de l'objet. L'erreur total au pas de temps est :

$$E_k = \sum_{i=1}^2 \|\mathbf{PX}_i^D - \mathbf{PX}_i^M\| \quad (3)$$

3.2. Résultats de simulation

Dans cette section, nous présentons des résultats de simulation relatifs à la saisie d'un objet de forme parallélépipédique dans une configuration « basse » qui simule un objet posé au sol et dans une configuration « haute ». Dans la Fig. 5 est représentée la posture finale adoptée pour saisir l'objet en position « basse ». Les graphiques de la Fig. 6 (renforcement et écart-type) décrivent l'évolution des paramètres d'apprentissage qui montrent la capacité du modèle à découvrir la configuration adéquate.

Au fur et à mesure que l'apprentissage s'opère, la valeur de renforcement ou récompense augmente graduellement indiquant que la tâche s'effectue de mieux en mieux. Le paramètre d'exploration représenté par la valeur de l'écart type diminue indiquant que l'algorithme restreint la taille de l'espace où il recherche la solution accélérant ainsi son apprentissage.

Dans la Fig. 7 et 8 nous présentons les mêmes résultats pour la deuxième position de l'objet. A nouveau, on a une augmentation de la récompense, une diminution de l'erreur et de l'écart type (Fig. 8) attestant du succès de la tâche (au sens du critère choisi).

4. Conclusion

La semi ou co-autonomie est un concept qui pourrait

contribuer à une meilleure acceptation et efficacité des robots à l'usage des personnes atteintes de déficiences. Nous en avons proposé une application dans cet article dans la cadre de la préhension. Les prochaines étapes consistent à effectuer l'intégration des fonctions de saisie mais aussi de navigation afin de positionner non seulement le bras dans une configuration, mais aussi la base mobile sur laquelle il est implanté. Ainsi, on peut rendre plus conviviale et aisée leur utilisation dans un environnement non structuré.

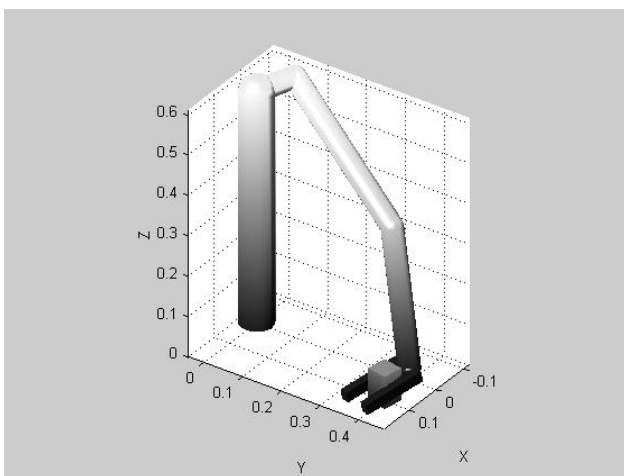


Figure 5: Configuration finale du robot MANUS pour la saisie d'un objet au sol.

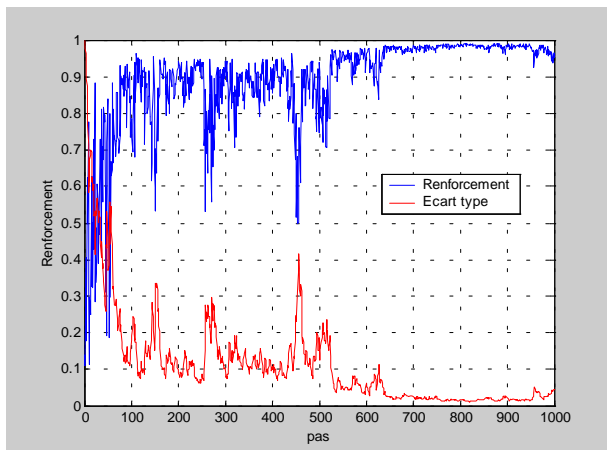


Figure 6: Evolution du renforcement et de l'écart type pour la première tâche.

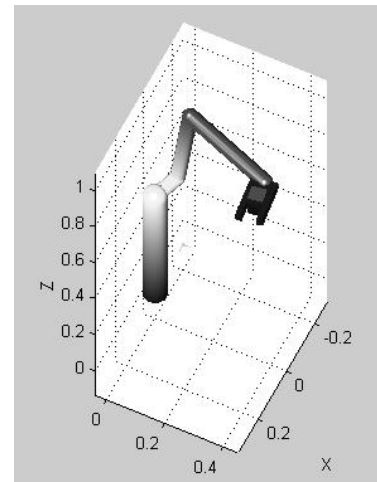


Figure 7: Configuration finale du robot MANUS pour la saisie d'un objet en hauteur.

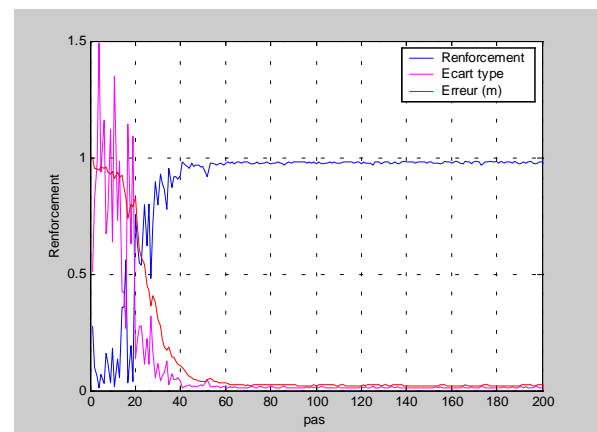


Figure 8: Evolution du renforcement, de l'écart type et de l'erreur pour la seconde tâche.

Références

- [1] O. Ait Aider, P. Hoppenot et E. Colle, "A Model to Image Straight Line Matching Method for Vision-Based Indoor Mobile Robot Self-Location", *Proc. IEEE Int. Conf. IROS'2002*, 2002.
- [2] M. Busnel, R. Gelin et B. Lesigne, "Evaluation of a robotized MASTER/RAID Workstation at home: Protocol and first results", *Proc. ICORR 2001*, Vol. 9, pp. 299-305, 2001.
- [3] P. Dario, E. Guglielmelli, C. Laschi et G. Teti, "MOVAID: a personal robot in everyday life of disabled and elderly people", *Technology and Disability Journal*, Vol.10, pp.77-93, 1999.
- [4] H.G. Evers, E. Beugels et G. Peters, "MANUS towards a new decade", *Proc. ICORR 2001*, Vol. 9, pp. 155-161, 2001.
- [5] V. Gullapalli, "A stochastic reinforcement learning algorithm for learning real valued functions", *Neural Networks*, Vol. 3, pp. 671-692, 1990.

- [6] H. Kwee et C. A. Stanger, "The Manus robot arm", *Rehabilitation Robotics Newsletter*, Vol.5, No.2, 1993.
- [7] S. D. Prior, "An electric wheelchair mounted robotic arm - a survey of potential users", *Journal of Medical Engineering & technology*, Vol. 14, n°4, pp 143-154, 1990.
- [8] N. Rezzoug et P. Gorce, "A biocybernetic method to learn hand grasping posture", *Kybernetes*, Vol. 32, No. 4, pp. 478-490, 2003.
- [9] Y. Rybarczyk, E. Colle et P. Hoppenot, "Contribution of neuroscience to the teleoperation of rehabilitation robot", *Proc. IEEE Int.Conf. SMC'2002*, 2002.
- [10] Y. Rybarczyk, S. Galerne, P. Hoppenot, E. Colle et D. Mestre, "The development of robot human-like behaviour for an efficient human-machine co-operation", *AAAT*, pp.274-279, 2001.
- [11] C. A. Stanger, C. Anglin, W. S. Harwin, et D. P. Romilly, "Devices for assisting manipulation : a summary of user task priorities", *Transactions of Rehabilitation engineering*, Vol. 4, n°2, pp 256-65, 1994.