

# Saisie guidée par la vision pendant la marche

Nicolas Mansard<sup>1</sup>, Olivier Stasse<sup>2</sup>, François Chaumette<sup>1</sup>, Kazuhito Yokoi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IRISA - INRIA Rennes, France

E-Mail : {nmansard, chaumett}@irisa.fr

<sup>2</sup> JRL ISRI/AIST-CNRS Tsukuba, Japan

E-Mail : {Olivier.Stasse, Kazuhito.Yokoi}@aist.go.jp

**Abstract**— Dans ce travail, nous avons proposé un cadre général pour réaliser une tâche complexe en utilisant des méthodes de contrôle référencé capteur. Notre approche consiste à diviser l'action à réaliser en plusieurs tâches élémentaires référencées capteur. Ces tâches sont exécutées simultanément par une structure de contrôle nommée *pile de tâches*. Un contrôleur de haut niveau est alors utilisé pour assurer la convergence de l'ensemble des tâches et le respect de contraintes secondaires. Cette approche a été implémentée en utilisant l'asservissement visuel. À titre d'exemple, nous avons réalisé une tâche de saisie pendant la marche avec un robot humanoïde de type HRP-2. Le robot marche le long d'une trajectoire imposée, tout en gardant l'objet à saisir dans le champ de vue des caméras. Lorsqu'il se trouve suffisamment proche, une tâche de saisie guidée vision permet au robot de saisir la marche sans interrompre la marche.

## I. CADRE DU TRAVAIL

Le point de départ de nos travaux est l'asservissement référencé capteur, et plus précisément l'asservissement visuel [3]. Ces méthodes consistent à contrôler les mouvements d'un robot en utilisant directement dans la boucle fermée de commande les informations fournies par les capteurs, en minimisant ainsi la phase de reconstruction de l'environnement nécessaire au calcul de la commande. Ceci permet d'assurer localement une très bonne convergence, en garantissant précision, réactivité et robustesse aux bruits de mesure et de modèle. Néanmoins, des difficultés apparaissent lorsque le déplacement à réaliser est complexe par rapport aux degrés de liberté disponibles et aux contraintes à respecter.

Les méthodes classiques pour répondre à ce problème de convergence locale consistent à planifier les mouvements du robot. Ces méthodes offrent une solution complète permettant de résoudre des problèmes complexes. En contrepartie, elles nécessitent un grand nombre de connaissances tant sur l'environnement que sur le modèle dynamique du robot. De plus, on leur reproche généralement un manque de réactivité, puisqu'elles contraignent le robot à replanifier sa trajectoire dès que l'environnement ne correspond pas exactement au modèle utilisé. Enfin, la planification de mouvement se heurte à des problèmes d'explosion combinatoire lorsque la complexité du robot augmente (comme c'est le cas par exemple pour les robots humanoïdes).

Partant de ces deux constatations, les travaux présentés ici ont cherché à élargir la portée des méthodes d'asservissement

référencé capteur, de manière à limiter au maximum la phase de planification de mouvement tout en conservant un large domaine de convergence. L'objectif final est d'étendre suffisamment les capacités d'exécution du robot pour pouvoir les relier directement à ses fonctionnalités décisionnelles, sans passer par l'étape aujourd'hui nécessaire de planification. Deux avantages principaux sont attendus d'une telle approche. D'une part, la réactivité du système est ainsi augmentée, tout en conservant un domaine de validité très large. De plus, on peut prendre en compte au plus bas niveau les incertitudes inhérentes à toute modélisation et ainsi simplifier la conception des modules de haut niveau et du système en général. Ces deux avantages trouvent un écho particulier en robotique humanoïde, où la complexité tant du système mécanique que des modèles physiques associés nécessite des capacités de contrôle toutes particulières.

L'approche que nous avons choisi est celle de l'enchaînement de tâches [10]. Cette méthode consiste à diriger le robot par une loi de commande référencée capteur (c'est-à-dire ayant de bonnes propriétés locales), et à enchaîner une seconde tâche pour assurer des propriétés globales comme le respect de contraintes secondaires, ou la convergence de la tâche globale. Toute la difficulté est alors de choisir l'enchaînement à réaliser.

Pour simplifier le problème, nous proposons tout d'abord de se détacher de la commande articulaire, pour commander le robot au niveau des tâches, en utilisant une structure de contrôle appelée *pile de tâches* [9]. La pile de tâche permet de calculer la loi de commande par composition de plusieurs tâches élémentaires et de contraintes à respecter. En modifiant les tâches actives dans la pile, il est alors possible de modifier simplement le comportement du robot. Un second niveau utilise alors ces fonctionnalités de contrôle au niveau des tâches pour enchaîner automatiquement des tâches successives, de manière à garantir le respect des contraintes et la convergence du système.

À titre d'application, nous avons mis en œuvre notre méthode sur le robot HRP-2 du JRL-Japan, pour réaliser une tâche de saisie pendant la marche du robot.

## II. ÉTAT DE L'ART

Les premiers résultats permettant d'utiliser les parties basses et hautes de l'humanoïde pour réaliser une tâche

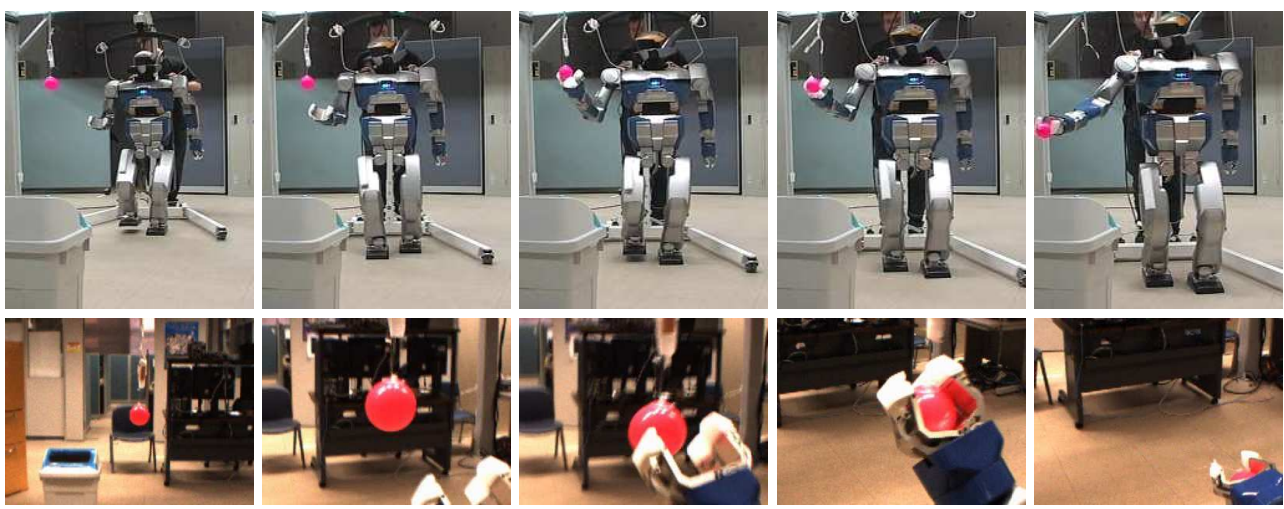


Fig. 1. *Saisie d'une balle pendant la marche : exemple typique d'exécution avec le robot HRP-2. Haut : vue de la caméra externe. Bas : vue de la caméra embarquée, utilisée pour le contrôle des mouvements du robot.*

de manipulation ont été obtenues par planification [7]. Il est ensuite possible d'étendre ces méthodes pour permettre par exemple une planification dynamique basée vision [11], ou pour générer des postures nécessitant l'utilisation de l'ensemble du corps du robot [12]. Néanmoins, ces méthodes n'ont jusqu'à présent pas permis de réaliser des tâches de manipulation pendant la marche.

Contrairement aux approches basées sur la planification, il existe peu de travaux basés sur la réalisation de tâches référencées capteurs autres que pour le contrôle de l'équilibre. On peut tout de même citer [18] ou, pour la partie haute du robot [1], [17], [8]. Ces travaux montrent (si besoin est) l'intérêt de réaliser une tâche de manipulation en se basant sur un retour capteur. Mais ces travaux n'ont pour l'instant pas été généralisés au robot humanoïde complet. Toutefois, plusieurs travaux s'intéressent à spécifiquement à la génération réactive de mouvements utilisant l'ensemble du corps et maintenant l'équilibre du robot pendant l'exécution [15], [4], [13], [14].

Enfin, la robotique humanoïde fournit un cadre particulièrement intéressant pour la programmation par tâches. En effet, il semble intéressant de chercher à contrôler le robot au niveau comportemental en sélectionnant des tâches de base plutôt que de chercher à commander directement chacune des articulations. En ce sens, les travaux en commande réactive que nous venons de citer semblent tous converger vers un tel niveau de programmation. A l'inverse, d'autres travaux adoptent une approche descendante et cherchent à définir des sémantiques générale pour la construction de comportements complexes sans forcément avoir de cadre approprié pour appliquer la commande [2], [5].

Par rapport aux travaux présentés dans les derniers paragraphes, notre démarche suit donc plutôt une approche *bottom-up* proche de celle adoptée par [15] ou [13] et ne peut donc pas vraiment être comparée aux derniers travaux que nous venons de citer [2], [5]. La pile de tâches assure un contrôle efficace au bas niveau, et nous avons alors pu appliquer les travaux réalisés sur le contrôle haut-niveau,

pour réaliser l'enchaînement de tâches automatiquement.

### III. EXPÉRIENCES ET RÉSULTATS

La méthode proposée a été implémentée sur le robot HRP-2 au JRL-Japan, à Tsukuba. La loi de commande est calculée pour l'ensemble des articulations du robot en utilisant la pile de tâches. Trois tâches sont intégrées dans la pile. La marche du robot est imposée comme tâche prioritaire. Durant le déplacement, on suppose que le robot passe à portée de l'objet à saisir. La marche est assurée par le *Pattern Generator* développé au JRL-Japan [16] et basé sur le travail de Kajita [6]. Une tâche de centrage permet ensuite de conserver l'objet dans le champ de vue du robot pendant le déplacement, et dans une certaine mesure de stabiliser la vision. Enfin, la tâche de saisie déclenchée lorsque le robot est suffisamment proche de l'objet. Elle est effectuée en utilisant la paire stéréo embarquée dans la tête du robot. De plus, durant l'exécution, le schéma de contrôle garantit le respect des butées du bras et de la tête, et optimise le critère de manipulabilité du bras.

Un exemple typique d'exécution est donné par la figure 1. Les vidéos de ce résultat sont accessibles aux URLs suivantes :

<http://www.irisa.fr/lagadic/team/nmansard/graspout.mpg>  
pour la vue externe, et

<http://www.irisa.fr/lagadic/team/nmansard/graspin.mpg>  
pour la vue de la caméra embarquée. Sur la première vidéo on peut voir l'asservissement du bras sur la balle, ainsi que la saisie lorsque le robot est suffisamment prêt. Sur la deuxième vidéo le centrage est clairement illustré. Il est intéressant de remarquer que si la vitesse de tracking (30 Hz) est suffisante, elle permet de compenser les vibrations induites par les impacts du robot sur le sol. Nous avons pu vérifier que ce résultat est très répétable. Il constitue aujourd'hui une démonstration classique du JRL-Japan.

### IV. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons proposé un cadre formel pour la construction de comportements complexes en robotique

humanoïde. En définissant la tâche globale par une composition de tâches élémentaires référencées capteur, on assure un contrôle fiable, robuste, précis et réactif. D'un autre côté, l'utilisation d'un contrôle de haut niveau permet de garantir la convergence de l'exécution, même dans des cas complexes.

Ce travail ne constitue qu'un premier résultat. Il permet de définir une approche prometteuse, mais soulève dans le même temps de nombreux points intéressants. Tout d'abord, quelques points techniques restent à résoudre avant d'obtenir une application complète, notamment le contrôle explicite de l'équilibre lors de grands mouvements articulaires du haut du corps. Mais c'est surtout l'extension automatique du contrôleur de haut niveau qui constitue la perspective la plus riche. Celle pourrait par exemple passer par des méthodes d'imitations, comme celles mises en œuvre dans le cadre de l'animation graphique.

#### ACKNOWLEDGMENT

Les auteurs tiennent à remercier le programme *JSPS Summer Program* ([www.jsps.go.jp/english/e-summer](http://www.jsps.go.jp/english/e-summer)), qui a financé en partie ce travail.

#### REFERENCES

- [1] J. Coelho, J. Piater, and R. Grupen. Developing haptic and visual perceptual categories for reaching and grasping with a humanoid robot. *Robotics and Autonomous Systems*, 37(2-3) :195–217, Novembre 2001.
- [2] E. Drumwright and V. Ng-Thow-Hing. The task matrix : An extensible framework for creating versatile humanoid robots. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'06)*, pages 448–455, Orlando, USA, Mai 2006.
- [3] B. Espiau, F. Chaumette, and P. Rives. A new approach to visual servoing in robotics. *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, 8(3) :313–326, Juin 1992.
- [4] M. Gienger, H. Janssen, and C. Goerick. Task-oriented whole body motion for humanoid robots. In *IEEE/RAS International Conference on Humanoid Robotics (Humanoids'05)*, pages 238–244, Tsukuba, Japan, Décembre 2005.
- [5] F. Gravot, A. Haneda, K. Okada, and M. Inaba. Cooking for humanoid robot, a task that needs symbolic and geometric reasonings. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'06)*, pages 462–467, Orlando, USA, Mai 2006.
- [6] Shuuji Kajita, Fumio Kanehiro, Kenji Kaneko, Kiyoshi Fujiwara, Kensuke Harada, Kazuhito Yokoi, and Hirohisa Hirukawa. Biped walking pattern generation by using preview control of zero-moment point. In *International Conference on Robotics And Automation, Taipei Taiwan*, pages 1620–1626, September 2003.
- [7] J. Kuffner, K. Nishiwaki, S. Kagami, M. Inaba, and H. Inoue. Motion planning for humanoids robots. In *11th International Symposium of Robotics Research (ISRR'03)*, Siena, Italy, Octobre 2003.
- [8] M. Lopes and J. Santos-Victor. Visual learning by imitation with motor representations. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 35(3) :438–449, Juin 2005.
- [9] N. Mansard and F. Chaumette. Tasks sequencing for visual servoing. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'04)*, pages 992–997, Sendai, Japan, Novembre 2004.
- [10] N. Mansard and F. Chaumette. Task sequencing for sensor-based control. *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, 2006. To appear.
- [11] P. Michel, J. Chestnutt, J. Kuffner, and T. Kanade. Vision-guided humanoid footstep planning for dynamic environments. In *IEEE/RAS International Conference on Humanoid Robotics (Humanoids'05)*, pages 13–18, Tsukuba, Japan, Décembre 2005.
- [12] K. Nishiwaki, M. Kuga, S. Kagami, M. Inaba, and H. Inoue. Whole-body cooperative balanced motion generation for reaching. In *2004 4th IEEE/RAS International Conference on Humanoid Robots*, pages 672–689, Los Angeles, USA, Novembre 2004.
- [13] L. Sentis and O. Khatib. Synthesis of whole-body behaviors through hierarchical control of behavioral primitives. *International Journal of Humanoid Robotics*, 2(4) :505–518, Octobre 2005.
- [14] L. Sentis and O. Khatib. A whole-body control framework for humanoids operating in human environments. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'06)*, pages 2641–2648, Orlando, USA, Mai 2006.
- [15] N. Sian, K. Yokoi, S. Kajita, F. Kanehiro, and K. Tanie. A switching command-based whole-body operation method for humanoid robots. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 10(5) :546–559, Octobre 2005.
- [16] Olivier Stasse, Andrew Davison, Ramzi Sellaouti, and Kazuhito Yokoi. Real-time 3d slam for humanoid robot considering pattern generator information. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS, Beijing, China*, pages 348–355, October 9-15 2006.
- [17] G. Taylor and L. Kleeman. Flexible self-calibrated visual servoing for a humanoid robot. In *Australian Conference on Robotics and Automation (ACRA'01)*, pages 79–84, Sydney, Australia, Novembre 2001.
- [18] K. Yamamura and N. Maru. Positioning control of the leg of the humanoid robot by linear visual servoing. In *IEEE/RAS International Conference on Humanoid Robotics (Humanoids'04)*, pages 1–12, Los Angeles, USA., Novembre 2004.