

ED SMAER

Sujet de thèses 2014

Laboratoire : ISIR

Établissement de rattachement : UPMC

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : Olivier Sigaud, PR 27 CNU (30%)

Codirection et section CNU ou CNRS : Vincent Padois, MdC 27 CNU (70%)

Titre de la thèse : Commande prédictive pour le contrôle corps-complet en robotique humanoïde : apport de l'apprentissage de primitives comportementales

Collaborations dans le cadre de la thèse : la thèse pourra donner lieu à des collaborations avec Freek Stulp (ENSTA-Paristech) et avec les partenaires du projet européen FP7 CODYCO

Rattachement à un programme : NON

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI

Résumé du sujet :

L'ISIR dispose d'une expertise reconnue dans le domaine de la commande corps-complet de robots à nombreux degrés de liberté comme les humanoïdes. Les outils formels développés permettent de combiner efficacement de nombreuses tâches élémentaires sur ces plates-formes de manière réactive. Récemment, ces méthodes ont été étendues par le recours à la commande prédictive qui répond à la nécessité d'un regard en avant pour optimiser le comportement du robot au cours du temps et accroître la robustesse aux perturbations. Le coût de calcul de ces méthodes est élevé et limite leur application à des contextes où l'horizon d'optimisation est faible et le modèle retenu pour le système est assez fortement simplifié.

Dans ce contexte, on souhaite apprendre le comportement du robot au cours du temps dans une situation donnée. Cette information peut être exploitée par effet mémoire en initialisant intelligemment le problème de commande prédictive pour en faciliter la résolution. Les gains en temps de calcul résultants peuvent être exploités pour aborder des scénarios plus complexes. Les « primitives motrices dynamiques » semblent constituer un formalisme adéquat pour cet apprentissage. Ces objets mathématiques permettent de représenter le déroulement de tâches élémentaires de telle façon que ce déroulement puisse être appris par démonstration ou bien optimisé au vu d'un critère quantitatif quelconque.

L'objet de la thèse est de mettre au point les méthodes et outils permettant d'apprendre un comportement dynamique complexe tel que ceux qui peuvent être générés par la commande prédictive en ayant recours au formalisme des primitives motrices dynamiques. Les travaux s'appuieront centralement sur la compétence de Vincent Padois sur les méthodes de combinaison de tâches pour la commande corps-complet et sur celle d'Olivier Sigaud sur l'apprentissage de primitives motrices dynamiques. Les démonstrations résultantes seront effectuées de préférence sur le robot humanoïde iCub.

Sujet développé

La disponibilité récente de plates-formes robotiques poly-articulées, en particulier humanoïdes, a engendré un intérêt croissant pour les méthodes de commande qui permettent de combiner plusieurs tâches simultanément en sollicitant les nombreux degrés de liberté du robot et en garantissant le respect des contraintes qui lui sont imposées par ses limites technologiques et son environnement. L'état de l'art de ces méthodes concerne principalement des approches réactives (Salini et al. 2011, Liu et al. 2012, Saab et al. 2013).

Les approches réactives sont limitantes dans les contextes où un regard en avant est utile pour réagir de manière adaptée à une perturbation. C'est notamment le cas pour des tâches de maintien de l'équilibre postural et de locomotion. Les méthodes réactives sont donc souvent associées à des méthodes de commande prédictive. Leur rôle est de générer des trajectoires de références qui règlent de manière localement optimale le conflit potentiel entre les tâches associées à un certain nombre de points clés du robot (centre de masse, pieds, ...). Elles permettent d'optimiser et de rendre robuste le comportement du robot en réponse à des perturbations (Herdt et al. 2010, Ibanez et al. 2012, Ibanez et al. 2013, Ibanez et al. 2014).

Une propriété importante de la commande prédictive est qu'elle accroît la robustesse aux perturbations en recalculant la trajectoire optimale à partir de chaque état. Mais la contrepartie de cette propriété est un coût de calcul élevé, qui limite leur application à des contextes où l'horizon d'optimisation est faible et le modèle retenu pour le système est assez fortement simplifié.

Dans ce contexte, on souhaite apprendre le comportement du robot engendré par la commande prédictive dans une situation donnée de façon à exploiter ce comportement lorsqu'on se retrouve dans une situation analogue. Cette exploitation peut être réalisée de différentes façons, notamment en utilisant la solution précédemment mémorisée pour initialiser intelligemment le problème de commande prédictive, ce qui accélère la résolution. Les gains en temps de calcul résultants peuvent être exploités pour aborder des scénarios plus complexes.

Les « primitives motrices dynamiques » ou DMP (Ijspeert et al. 2013) semblent constituer un formalisme adéquat pour cet apprentissage. Ces objets mathématiques permettent de représenter le déroulement de tâches élémentaires de telle façon que ce déroulement puisse être appris par démonstration ou bien optimisé au vu d'un critère quantitatif quelconque. Il existe aussi une version étendue de ces objets, les DMP « contextuels », qui les dote de propriétés de généralisation supplémentaires utiles pour représenter des tâches plus complexes (Stulp et al. 2013).

L'objet de la thèse est de mettre au point les méthodes et outils permettant d'apprendre un comportement dynamique complexe tel que ceux qui peuvent être générés par la commande prédictive en ayant recours au formalisme des primitives motrices dynamiques. Les travaux s'appuieront centralement sur la compétence de Vincent Padois sur les méthodes de combinaison de tâches pour la commande corps-complet et sur celle d'Olivier Sigaud sur l'apprentissage de primitives motrices dynamiques.

Le travail de recherche à mener est doté d'une composante théorique importante. Il s'agit de formuler les problèmes de commande prédictive et les primitives motrices dynamiques de façon à intégrer ces deux objets mathématiques dans un même formalisme de résolution efficace.

Par ailleurs, la composante pratique est non moins importante. Le doctorant devra prendre en main les outils logiciels développés dans les deux cadres et montrer expérimentalement les

bénéfices que l'on peut retirer de la combinaison des deux cadres de commande. Les démonstrations résultant de ce travail seront effectuées de préférence sur le robot humanoïde iCub.

Références :

A. Herdt, A. and H. Diedam, H. and Wieber, P.-B. and Dimitrov, D. and Mombaur, K. and M. Diehl (2010). Online walking motion generation with automatic footstep placement, in *Advanced Robotics*, vol. 24, no. 5-6, pp. 719–737.

Ibanez, A. and Bidaud, Ph. and Padois, V. (2014). Automatic optimal biped walking as a Mixed-Integer Quadratic Program . In proceedings of the 14th International Symposium on Advances in Robot Kinematics. Ljubljana, Slovenia.

Ibanez, A. and Bidaud, Ph. and Padois, V. (2014). A Distributed Model Predictive Control approach for robust postural stability of a humanoid robot. In proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. Hong-Kong, China.

Ibanez, A. and Bidaud, Ph. and Padois, V. (2013). Previewed impedance adaptation to coordinate upper-limb trajectory tracking and postural balance in disturbed conditions. In proceedings of the 16th CLAWAR International Conference, World Scientific, publisher. Pages 519-528. Sydney, Australia.

Ibanez, A. and Bidaud, P. and Padois, V. (2012). Unified preview control for humanoid postural stability and upper-limb interaction adaptation. In proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Pages 1801-1808. Vilamoura, Portugal.

Ijspeert, A. J., Nakanishi, J., Hoffmann, H., Pastor, P., and Schaal, S. (2013). Dynamical movement primitives: learning attractor models for motor behaviors. *Neural computation*, 25(2):328–373.

Liu, M. and Micaelli, A. and Evrard, P. and Escande, A. and Andriot, C. (2012). Interactive Virtual Humans: A Two-Level Prioritized Control Framework With Wrench Bounds. *IEEE Transactions on Robotics*. Vol 28 No 6 Pages 1309 - 1322.

Saab, L. and Ramos, O. and Mansard, N. and Souères, P. and Fourquet, J.-Y. (2013). Dynamic Whole-Body Motion Generation Under Rigid Contacts and Other Unilateral Constraints. *IEEE Transaction on Robotics*.

Salini, J. and Padois, V. and Bidaud, P. (2011). Synthesis of Complex Humanoid Whole-Body Behavior: a Focus on Sequencing and Tasks Transitions. In proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. Pages 1283-1290 . Shanghai, China.

Stulp, F., Raiola, G., Hoarau, A., Ivaldi, S., and Sigaud, O. (2013). Learning compact parameterized skills with expanded function approximators. In proceedings of the IEEE International Conference on Humanoids Robotics.