

# Simulation Dynamique Interactive pour les Robots Humanoïdes

J.-R. Chardonnet, F. Keith, S. Miossec, A. Kheddar, F. Pierrot, K. Yokoi

**Abstract**—Nous présentons un simulateur dynamique interactif pour robots humanoïdes. Nous utilisons les méthodes par contraintes pour le calcul des forces de contact avec frottement non discrétisé, ce qui accroît sensiblement la rapidité de calcul du simulateur, permettant ainsi une utilisation temps-réel. L'utilisateur peut, avec notre simulateur, interagir avec l'environnement virtuel et manipuler des objets ou effectuer des tâches collaboratives avec des humanoïdes grâce à un dispositif haptique à retour d'effort. Nous illustrons notre propos par des exemples de simulation avec le robot HRP-2.

**Thème**—Modélisation, commande en robotique humanoïde

**Mots-clés**—Simulation dynamique, méthode par contraintes, interaction haptique

## I. INTRODUCTION

Les robots humanoïdes que nous voyons dans les médias tels que ceux de Honda ou Toyota ont été présentés pour le divertissement. Un robot humanoïde est cependant destiné à coopérer avec des humains dans des usines ou dans la vie quotidienne. Pour pouvoir opérer de manière satisfaisante, il est nécessaire de valider les modèles par la simulation. De fait, les simulateurs jouent un rôle essentiel dans le développement des robots humanoïdes. Depuis quelques années, plusieurs simulateurs ont été proposés, en particulier pour la planification ou le contrôle. Nous pouvons citer SAI [1], qui utilise l'espace opérationnel, ou encore OpenHRP [2], qui n'est cependant pas interactif. Duriez *et al.* [3] montrent des simulations d'objets déformables en utilisant des méthodes de résolution des contacts par contraintes avec frottements non discrétisés.

La plupart des simulateurs dynamiques actuels incluent le calcul des forces de contacts frottants par des méthodes par pénalités [4]. Même si ces méthodes présentent de grands avantages en termes de temps de calcul, leurs inconvénients résident dans le choix des différents paramètres des modèles.

Nous avons implémenté dans notre simulateur une alternative aux méthodes par pénalités qui est la méthode par contraintes, basée sur [1]. Nous avons inclus également la possibilité d'interagir avec l'environnement virtuel grâce à un dispositif à retour d'effort. Enfin nous pouvons simuler des corps poly-articulés ayant des joints sphériques comme par exemple des avatars humains (Fig. 1). Ce simulateur dynamique est intégré dans un framework général appelé AMELIF [5] et destiné au prototypage général.

Jean-Rémy Chardonnet est membre du LIRMM et du JRL (e-mail : jr-chardonnet@aist.go.jp)

François Keith, Sylvain Miossec, Abderrahmane Kheddar et Kazuhito Yokoi sont membres du JRL (e-mail : {prenom.nom}@aist.go.jp)

François Pierrot est membre du LIRMM (e-mail : pierrot@lirmm.fr)

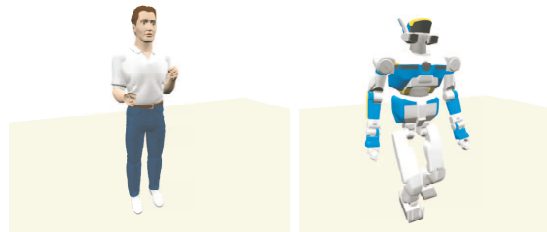


Fig. 1. Avatar humain possédant des joints sphériques et robot HRP-2

## II. MÉTHODE PAR CONTRAINTES POUR LE CALCUL DES FORCES

Les méthodes par contraintes sont de plus en plus populaires pour calculer les forces de contact [6]. Ces méthodes incluent explicitement les contraintes de non-pénétration dans les équations de la dynamique. Celles-ci s'écrivent sous la forme complémentaire :

$$0 \leq \mathbf{a}_c \perp \mathbf{f}_c \geq 0 \quad (1)$$

En partant de l'équation dynamique, on peut montrer que les efforts de contacts sont liés aux accélérations des points de contacts par une relation linéaire :

$$\mathbf{a}_c = \Lambda^{-1} \mathbf{f}_c + \mathbf{a}_{\text{libre}} \quad (2)$$

où  $\Lambda^{-1}$  est l'opérateur de Delassus exprimant l'inertie du système projetée dans l'espace des contacts,  $\mathbf{a}_{\text{libre}}$  est l'accélération des points de contacts en mouvement libre calculée avec l'algorithme de Featherstone [7]. Ces deux équations forment un problème de complémentarité linéaire (LCP) qui se résoud aisément en utilisant par exemple l'algorithme de Lemke.

La prise en compte des frottements de Coulomb est plus délicate car la loi de Coulomb est non-linéaire :

$$\|\mathbf{f}_{ct}\| \leq \mu f_{cn} \quad (3)$$

Il est possible de garder une formulation LCP de ce problème à condition de discrétiser le cône de frottements, ce qui augmente sensiblement la taille de la matrice  $\Lambda^{-1}$  et donc le temps de calcul avec une précision qui devient compromise. Nous avons préféré les méthodes itératives, plus particulièrement les méthodes de type Gauss-Seidel, qui ne nécessitent pas la discrétisation des cônes [8]. Contrairement à la formulation LCP, la méthode de type Gauss-Seidel est plus rapide et plus précise [3]. Une fois les efforts calculés, la dynamique du système est mise à jour. Nous obtenons une complexité globale de l'algorithme en  $\mathcal{O}(nm + m^2)$  où  $n$  est le nombre de corps du système et  $m$  le nombre de points de contact. L'implémentation est détaillée dans [9], [10].



Fig. 2. Exemples de simulations dans lesquelles le robot porte des objets.

### III. INTERACTION HAPTIQUE

L'utilisateur peut souhaiter interagir avec l'environnement pour réaliser par exemple des tâches collaboratives. Il est alors nécessaire d'intégrer un dispositif à retour d'effort. Nous avons choisi d'intégrer le dispositif PHANToM<sup>1</sup> qui possède six degrés de liberté de mouvement et trois de retour d'effort. Il existe alors principalement deux manières d'interagir avec l'environnement, le simple toucher et la manipulation d'objets :

- Pour le toucher, la force est directement donnée par le dispositif moyennant un coefficient choisi par l'utilisateur.
- La manipulation d'objets est plus délicate car l'objet manipulé doit suivre la trajectoire du dispositif tout en restituant un effort à l'utilisateur. La méthode la plus courante est de modéliser un ressort-amortisseur entre l'objet et le pointeur du dispositif. Le choix des paramètres se fait en fonction de la masse de l'objet.

L'une ou l'autre interaction crée une force extérieure qui est ajoutée à la dynamique libre des objets touchés.

### IV. DYNAMIQUE DES MULTI-CORPS À JOINTS SPHÉRIQUES

Nous avons étendu le modèle dynamique à des corps poly-articulés ayant des joints sphériques afin d'obtenir un simulateur complètement général. En effet, un joint sphérique est très souvent simulé par trois joints pivots, même si ce n'est pas suffisant.

Pour traiter de telles liaisons, nous avons comparé différentes méthodes : les angles d'Euler, les quaternions et la formulation exponentielle. Nous avons choisi les quaternions car les autres méthodes ne nous ont pas donné des résultats satisfaisants, en particulier nous avons observé des divergences autour des positions singulières. Nous avons alors étendu l'algorithme de Featherstone aux joints sphériques avec les quaternions. L'implémentation est détaillée dans [5].

### V. RÉSULTATS

Nous présentons ici quelques exemples de simulations réalisées avec notre simulateur dynamique. Le modèle utilisé ici est celui du robot HRP-2 construit par Kawada Industries.

Dans la figure 2, nous demandons au robot de porter des objets. Dans le premier cas, il se sert de la table pour s'appuyer et aller chercher l'objet.

Dans la figure 3, nous réalisons une tâche collaborative simple avec le robot qui est de porter un objet à deux.

<sup>1</sup>PHANToM© Omni™ est un produit de la marque SensAble Technologies (<http://www.sensable.com>).

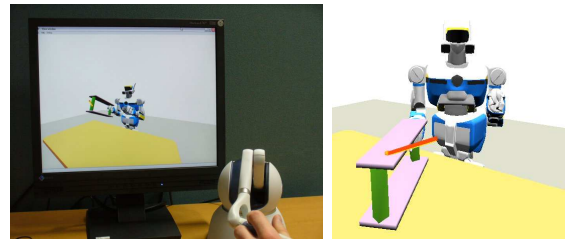


Fig. 3. Exemple de tâche collaborative avec le robot à travers le dispositif haptique. La barre fine orange représente le pointeur du dispositif haptique.

Comme nous l'avons dit plus haut, notre algorithme global est quadratique en nombre de points de contact. En présence d'un faible nombre de points de contacts (une trentaine), nous avons des simulations temps réel. Toutes les simulations ont été réalisées sur un PC portable avec un processeur à 1,66GHz fonctionnant sous Windows. En présence d'un grand nombre de points de contact (plus d'une centaine), la simulation ralentit sensiblement, ce qui empêche une interaction avec le dispositif haptique précise.

### VI. CONCLUSION ET TRAVAUX FUTURS

Ce simulateur permet de réaliser des simulations de corps poly-articulés en tous genres et de pouvoir manipuler la scène virtuelle de manière interactive. Une limitation classique de ce type de simulation est le temps de calcul en présence de nombreux points de contacts. Réduire le problème de contacts frottants en calculant la résultante des efforts en un point plutôt que de calculer un effort par point de contact permettrait de réduire considérablement les temps de calcul. Nous prévoyons également d'inclure les flexibilités dans les articulations et dans la carapace afin de simuler les corps poly-articulés déformables tels que les androïdes.

### REFERENCES

- [1] D. Ruspini and O. Khatib, "Collision/contact models for dynamics simulation and haptic interaction," in *Inter. Symp. of Robotics Research*, October 1999.
- [2] H. Hirukawa, F. Kanehiro, and S. Kajita, "Openhrp: Open architecture humanoid robotics platform," in *Int. Symp. Robotics Research*, 2001.
- [3] C. Duriez, F. Dubois, A. Kheddar, and C. Andriot, "Realistic haptic rendering of interacting deformable objects in virtual environments," *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, vol. 12, no. 1, January 2006.
- [4] K. Yamane and Y. Nakamura, "Stable penalty-based model of frictional contacts," in *IEEE Inter. Conf. on Robotics and Automation*, May 2006.
- [5] F. Keith, P. Evrard, J.-R. Chardonnet, S. Miossec, and A. Kheddar, "Haptic interaction with virtual avatars," in *submitted to Eurohaptics*, 2008.
- [6] D. Stewart and J. Trinkle, "An implicit time-stepping scheme for rigid body dynamics with coulomb friction," in *IEEE Inter. Conf. on Robotics and Automation*, April 2000.
- [7] R. Featherstone, *Robot dynamics algorithms*. Kluwer Academic Publishers, 1987.
- [8] T. Liu and M. Y. Wang, "Computation of three-dimensional rigid-body dynamics with multiple unilateral contacts using time-stepping and gauss-seidel methods," *IEEE Trans. on Automation Science and Engineering*, vol. 2, no. 2, January 2005.
- [9] J.-R. Chardonnet, S. Miossec, A. Kheddar, H. Arisumi, H. Hirukawa, F. Pierrot, and K. Yokoi, "Dynamic simulator for humanoid using constraint-based method with static friction," in *IEEE Inter. Conf. on Robotics and Biomimetics*, December 2006.
- [10] J.-R. Chardonnet, F. Keith, A. Kheddar, F. Pierrot, and K. Yokoi, "Interactive dynamic simulator for humanoid with haptic feedback," in *submitted to RomanSy*, 2008.