

Travaux en Évitement de Collision au JRL-Japon

A. Escande, P. Evrard, A. Kheddar, N. Mansard, S. Miossec, O. Stasse, K. Yokoi

AIST/CNRS Joint French-Japanese Robotic Laboratory (JRL), Tsukuba, Japon

{ adrien.escande, evrard.paul, abderrahmane.kheddar, nicolas.mansard, sylvain.miossec, olivier.stasse, kazuhito.yokoi } @aist.go.jp

Abstract—L'évitement de collision pour un système robotique peut s'écrire sous la forme d'un système de contraintes unilatérales de grande dimension. Dans cet article, nous traitons de la prise en compte de ce système pour des robots humanoïdes soit dans la planification soit en temps réel dans une commande réactive. Le problème est double : comment écrire sous une forme "sympathique" le problème des contraintes d'évitement de collision et d'auto-collision ? Comment prendre en compte un système quelconque de contraintes unilatérales de manière continue dans la loi de commande ? Une solution générique est proposée pour répondre à ces deux questions, ainsi que des expériences en simulation et sur le robot HRP-2 permettant d'illustrer l'intérêt de notre approche.

Thème— Modélisation, commande en robotique humanoïde

Mots-clé— Évitement d'obstacle, contraintes unilatérales, fonction de tâche, redondance, surfaces englobantes, optimisation de mouvement

I. CADRE DU TRAVAIL

La thématique de l'évitement de collision du robot avec l'environnement ou avec lui-même a été largement traité [2], [3]. Ce problème est particulièrement important en robotique humanoïde où le grand nombre de degrés de liberté entraîne un nombre de collisions possibles encore plus important. Notre travail s'est focalisé sur les points suivants. D'une part, une hypothèse classique consiste à considérer que la distance entre corps est C^1 . Cette hypothèse est évidemment fautive, et un volume englobant est généralement ajouté autour de l'objet pour assurer continuité et convexité. Dans un premier temps, nous avons construit une enveloppe par recollement de structure géométrique simple. Cette solution permet d'obtenir un rapport volume englobant / volume réel plus faible que les méthodes existantes. Puis nous nous sommes intéressés à la prise en compte de ces contraintes lors des étapes de planification et de commande. Les propriétés de convexité et de continuité C^1 permettent d'ajouter directement ces contraintes dans un problème d'optimisation. Par contre, cela ne suffit pas à assurer l'évitement de collision lors d'une commande réactive. Nous proposons alors une solution générale pour prendre en compte des contraintes unilatérales dans une commande réactive garantissant l'évitement et assurant la continuité de la commande en tout point.

II. ENVELOPPE CONVEXE CONTINUE

Le gradient de la distance entre deux objets convexes par rapport à leur position relative présente des discontinuités si leurs surfaces comprennent des parties planes. Ces discontinuités apparaissent quand deux de ces parties planes sont parallèles, et sont susceptibles de provoquer des problèmes de convergence ou de stabilité dans les algorithmes se basant sur une descente de gradient (en contrôle, en planification).

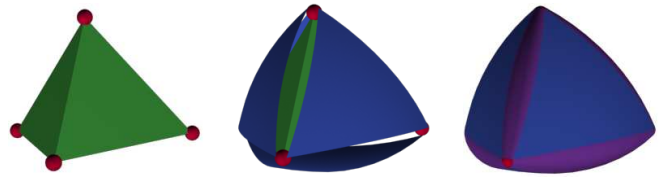


Fig. 1. Construction des STP-BV.

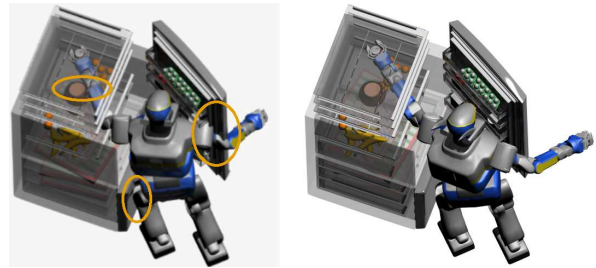


Fig. 2. Optimisation de posture sans et avec évitement de collision.

Pour avoir une distance à gradient continue, l'idée clé est d'assurer la stricte convexité d'au moins un des deux objets, en utilisant pour cela un volume englobant (VE) ayant cette propriété. Il existe de nombreuses classes de VE. Aucune cependant ne propose de solution qui soit à la fois strictement convexe, très proche de l'objet original et offre un calcul de distance simple. Nous proposons ici un nouveau type de VE vérifiant ces trois propriétés : le STP-BV (Sphere-Torus-Patch Bounding Volume, voir figure 1) [1].

L'idée est de partir de l'enveloppe convexe d'un nuage de points. A chaque sommet est associée une petite sphère dont le rayon r correspond à la marge de sécurité pour la détection de collision. Chaque face est recouverte d'une partie de sphère de grand rayon R , tangente aux petites sphères des sommets de la face. Au niveau des arêtes, ces sphères sont jointes de manière C^1 par des parties de tores. R contrôle le rayon de courbure maximal de l'objet final : la vitesse de variation du gradient diminue donc avec R . Quand R tend vers l'infini et r vers 0, on retrouve l'enveloppe convexe de départ. Le calcul de la distance à un tel objet ne fait intervenir qu'une sur-couche à temps constant sur un algorithme classique de calcul de distance à un polyèdre. Cette sur-couche est peu coûteuse, car elle ne fait intervenir que des distances à des objets géométriques simples.

La figure 2 montre le résultat d'une optimisation de posture en espace contraint, où les contraintes de collision sont calculées sur la base de distance entre STP-BV. La figure 3 présente le résultat d'un évitement de collision lors de la réalisation d'une tâche réactive de saisie pendant la marche [9].



Fig. 3. Évitement de collision et d'auto-collision.

III. PRISE EN COMPTE DES CONTRAINTES UNILATÉRALES DANS LA COMMANDE

La partie précédente nous permet d'exprimer le problème des collisions sous la forme d'un ensemble d'inégalités $e > 0$, dont le critère e varie de manière C^1 . Nous nous sommes ensuite intéressés à la prise en compte de ces inégalités dans la commande. L'objectif est d'obtenir une loi de commande qui garantisse le respect des contraintes $e > 0$ et qui permettent simultanément de réaliser au mieux une tâche donnée. Nous nous plaçons dans le cadre de la fonction de tâche [7], qui permet d'écrire de manière intuitive des lois de commande à partir de plusieurs tâches organisées de manière hiérarchique [8], [5]. Mais cette solution ne permet de considérer que des tâches écrites sous la forme de contrainte bilatérale (c'est-à-dire $e = 0$). Les contraintes unilatérales présentent au contraire une irrégularité qui empêche leur prise en compte dans le formalisme de la fonction de tâche [4]. La solution pragmatique utilisée généralement consiste à embarquer la contrainte dans une fonction de coût dont le gradient est nul lorsque la contrainte est réalisée [2]. Mais cette solution ne permet pas de considérer les contraintes unilatérales comme des tâches prioritaires.

Plutôt que de considérer une tâche sous la forme d'un vecteur d'état e seul, nous proposons de considérer le couple (e, \mathbf{H}) , où $\mathbf{H} = \text{diag}(h)$ est la matrice d'activation dont les coefficients varient continûment de 0 à 1 selon que la contrainte est respectée ($h = 0$) ou violée ($h = 1$). Lorsque l'activation est nulle, le robot peut bouger librement dans la direction correspondante, pour par exemple réaliser une tâche secondaire. Lorsque la tâche est active, le robot doit bouger pour ramener la tâche dans la zone où elle est réalisée.

Nous avons alors proposé une loi de commande générique pour réaliser ce comportement à partir de n'importe quelle tâche (e, \mathbf{H}) . Cette loi de commande repose sur un nouvel opérateur d'inversion matriciel [4] ayant les propriétés suivantes : l'inverse est continue par rapport aux variations de \mathbf{H} ; lorsque les h sont binaires ($h = 0$ ou $h = 1$), l'inverse est égale à l'inverse classique. Le premier point permet de garantir que la commande est continue partout. Le second point permet de garantir que lorsque toutes les contraintes sont soit complètement actives, soit complètement inactives, la loi de commande se comporte comme une loi de commande classique calculé à partir du sous-ensemble $e_{\mathcal{P}}$ des contraintes actives. Cette loi de commande a ensuite été étendu pour prendre en compte un ensemble hiérarchisé de tâches tel que la pile de tâches [5], calculé à partir de la

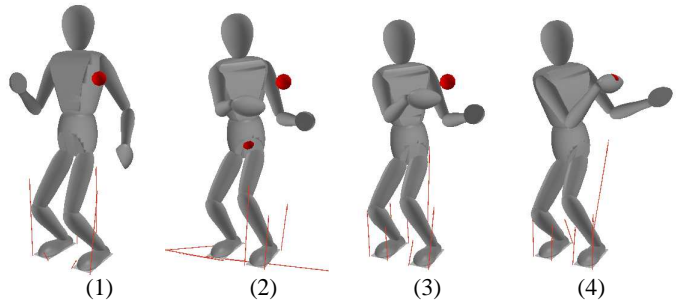


Fig. 4. Atteindre la balle en maintenant la stabilité et le contact. (1) Pose initiale (2) Épaule en butée (3) Bras complet en butée, le torse commence à bouger (4) Le torse bouge jusqu'à ce que le point désiré soit atteint.

cinématique directe, ou à partir de la dynamique directe [6].

Enfin, des expériences ont été menées en simulation sur un modèle de robot humanoïde. Une expérience typique (positionnement en respectant les butées articulaires) est présenté sur la figure 4. Le robot est contrôlé directement en couple [6]. La tâche complète à réaliser consiste à déplacer la main pour atteindre la balle rouge, tout en assurant les contraintes de butées articulaires, en conservant le centre de gravité au milieu du polygone de support et en ne bougeant qu'en dernier recours les axes du torse. La balle est atteinte en respectant les butées.

IV. CONCLUSION

Nous nous sommes intéressés à la prise en compte des contraintes de collisions lors de la planification et du contrôle. Cela nous a mené à développer une forme originale de surfaces englobantes aux propriétés intéressantes, puis à formaliser la prise en compte des contraintes unilatérales au sens général lors de la construction de la loi de commande. Notre prochaine étape consiste à utiliser ces deux développements en une même application.

REFERENCES

- [1] A. Escande, S. Miossec, and A. Kheddar. Continuous gradient proximity distances for humanoid free-collision optimized-postures generation. In *IEEE/RAS International Conference on Humanoid Robots*, Pittsburgh, USA, Nov. 2007.
- [2] O. Khatib. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. *Int. Journal of Robotics Research*, 5(1) :90–98, Spring 1986.
- [3] J. Kuffner, K. Nishiwaki, S. Kagami, Y. Kuniyoshi, M. Inaba, and H. Inoue. Self-collision detection and prevention for humanoid robots. In *IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (ICRA'02)*, pages 2265–2270, Washington DC, USA, May 2002.
- [4] N. Mansard, A. Remazeilles, and F. Chaumette. Continuity of varying-feature-set control laws. Technical Report 1698, IRISA, Rennes, France, September 2007.
- [5] N. Mansard, O. Stasse, F. Chaumette, and K. Yokoi. Visually-guided grasping while walking on a humanoid robot. In *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA'07*, Roma, Italia, April 2007.
- [6] J. Park. *Control Strategies for Robots in Contact*. PhD thesis, Stanford University, California, USA, Mar. 2006.
- [7] C. Samson, M. Le Borgne, and B. Espiau. *Robot Control : the Task Function Approach*. Clarendon Press, Oxford, United Kingdom, 1991.
- [8] B. Siciliano and J.-J. Slotine. A general framework for managing multiple tasks in highly redundant robotic systems. In *IEEE Int. Conf. on Advanced Robotics (ICAR'91)*, Pisa, Italy, June 1991.
- [9] O. Stasse, B. Verrelst, Wieber P.-B., B. Vanderborght, P. Evrard, A. Kheddar, and K. Yokoi. Modular architecture for humanoid walking pattern prototyping and experiments. *Advanced Robotics*, 2008. (to be published).