

# ヒューマノイドロボットの支持接触点計画法

Adrien ESCANDE (IBISC, CNRS) Abderrahmane KHEDDAR (JRL, CNRS),  
Sylvain MIOSSEC (JRL, AIST) 横井一仁 (産総研)

## Planning Support Contact-points for Humanoid Robots

Adrien ESCANDE (IBISC, CNRS) Abderrahmane KHEDDAR (JRL, CNRS),  
Sylvain MIOSSEC (JRL, AIST) \*Kazuhito YOKOI (JRL, AIST)

**Abstract**— This paper deals with the motion planning of a poly-articulated robotic system for which support contacts are allowed to occur between some part of the body and some part of the environment. Starting with a description of the environment and of a target, it computes a sequence of postures that allow our system to reach its target. We describe a very generic architecture of this planner, highly modular, as well as a first implementation of it. We then present the experimental results for a simple grasping task using humanoid robot HRP-2.

**Key Words:** Humanoid, Contact-point planning, Support condition

### 1. はじめに

近年、ヒューマノイドロボットの歩行動作はかなり確立されてきており、走行するヒューマノイドロボットも実現されている。しかし、ほとんどのヒューマノイドロボットは、足裏のみを環境（地面）と接触させて移動を行っている。移動ロボットやマニピュレータの動作計画においても、環境は障害物として接触を回避するものと捉えられることが多い。

これに対し、人は手や体の一部を環境と接触させることにより歩行および動作の安定性を増大させている。人と類似の形態を有するヒューマノイドロボットも、足裏以外の身体部位を環境と積極的に接触させることにより、作業性や安定性の向上が図れると考えられる。ヒューマノイドロボットを用いたこのような試みとして、原田らは、ヒューマノイドロボットの手をつくことにより安定性を増大させ、机の奥のほうにある物体に触ったり、大きな段差を昇ったりさせることに成功している [1, 2]。Nishiwaki らは、ヒューマノイドロボットに片膝を着かせることで安定に床の上の物体を拾いあげることに成功している [3]。また、Hauser らによっても環境との接触を考慮した動作計画手法が提案されている [4]。

我々も、ヒューマノイドロボットの足裏以外の身体部位を環境との接触を選択的に実行させることにより、ヒューマノイドロボットの作業性を向上させる研究を遂行している。本報では、ヒューマノイドロボットと環境との接触状態を選択的に変化させることにより、ヒューマノイドロボットの安定性の増大と作業性の向上を両立させる動作計画手法を示す。

### 2. 環境との接触を考慮した動作計画法

ヒューマノイドロボットと環境との接触を考える際には、ヒューマノイドロボット側の接触点と環境側の接触点の両者をどのようにして決定するかが重要な課題である。

我々が使用したヒューマノイドロボット HRP-2 は、

身長 154cm, 30 自由度, バッテリ内臓にも関わらず、体重 58kg と軽量化を重視した設計となっているため、全ての身体部位で自らの体重を支えるだけの構造強度を有していない。そこで、ヒューマノイドロボット側の環境との接触点は、構造強度等を参考にし予め設定する。

また、環境に存在するどの物体の、どの面が、ロボットを支えることができる領域（環境側支持可能領域）であるかは、結局体重を預けてみなければわからない場合が多いので、全て既知であるとする。また、ロボットと環境との接触は、接触状態の保持が容易で並進力とモーメントを伝達することができる面接触を仮定する。

このような前提条件のもと、ヒューマノイドロボットと環境との接触点を、追加したり、減少させたりしながら、目標作業を実行する動作を計画する手法を開発している。以下に、本動作計画法の概要を示す。

1. ヒューマノイドロボットの現在の状態から目標状態まで、関節角度制限、転倒安定性、自己干渉、ロボットと環境との接触状態維持等の制約条件を満足しつつ到達できるかどうかを調べる。
2. 目標状態へ到達できれば、これまで蓄積された動作列に追加する。目標状態が最終的な目標状態であれば、動作列を解として動作計画を終了する。目標状態が最終的な目標状態でなければ、最終的な目標状態を目標状態として設定し 1 へ戻る。
3. 目標状態へ到達できなければ、現在の接触状態を変化させるように支持接触点候補のペアを追加あるいは削除し、それを目標状態として設定し 1 へ戻る。

この時、環境側の支持接触点候補の選択には、ロボット身体側の支持接触点の候補の可動範囲の内部にある環境側支持可能領域の中からランダムに選択する。本手法と Hauser らの提案する手法 [4] との違いは、彼らの手法は、まず全ての支持接触点候補のペアを考慮するのにに対し、我々の手法は、逐次的に支持接触点候補のペアを増加させる点にある。

### 3. 実験

提案手法を用いて、ヒューマノイドロボット HRP-2 を用いて、テーブルの奥に置かれた缶を取る動作を計画し、実験を行った。テーブルは、ヒューマノイドロボットには、動作実行のための障害物であると同時に、自らの体を支える環境でもあることに注意されたい。

本実験では、ヒューマノイドロボット HRP-2 身体側の支持接触点候補は、両足裏、両手、両大腿部を選定した。また、動作計画にかかる計算時間を短縮するために、環境側の支持接触点は、可動範囲の中からランダムに選択するのではなく、机の上面・手前・右側に一箇所、机の前面・左側に一箇所、初期姿勢において両足裏が接触している床面二箇所とした。

ヒューマノイドロボットは接触によって自らの体を支えることなく缶を掴むことはできない位置に缶を置いた。この時の支持接触点および動作計画は次のようになった。

まず、ロボット身体側の支持接触点候補と環境側の支持接触点候補のペアとして、右手と机の上面・手前・右側の点が選択された。その後、右手と机の上面・手前・右側の点の接触を実現する動作計画がなされた。しかし、右手をテーブルの上につくだけでは、安定に缶を掴むことができない。そこで、さらに左脚大腿部と机の前面・左側の点が、次の接触点ペアとして選定され、両者を安定に接触させるための動作計画が行われた。しかし、今度は過拘束状態となり、全ての接触状態を維持したまま、缶を掴むことができない。そこで、右手をテーブルから離し、接触点ペアを減少させることが選択された。これにより大腿部のみでテーブルと接触し安定性を増加させることにより、最終的に缶を掴む動作が可能となった。

実験結果を Fig.1 に示す。シーン 3 において右手をテーブルに接触させ、シーン 5 において左脚をテーブルに接触させ、シーン 6 において右手をテーブルから離し、シーン 7 において左手で缶を把持している。さらに、シーン 9 において右手を再度テーブルに接触させ、シーン 10 において左脚をテーブルから離し、シーン 12 において右手をテーブルから離し、初期状態に戻って一連の動作が完了させることができた。

これにより提案するヒューマノイドロボットの支持接触点計画法の有効性が示された。

#### 参考文献

- [1] K. Harada, S. Kajita, K. Kaneko, and H. Hirukawa: "ZMP Analysis for Arm/Leg Coordination," Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robot and Systems, pp. 75-81, 2003.
- [2] K. Harada, H. Hirukawa, F. Kanehiro, K. Fujiwara, K. Kaneko, S. Kajita, and M. Nakamura: "Dynamical Balance of a Humanoid Robot Grasping an Environment," Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robot and Systems, pp. 1167-1173, 2004.
- [3] K. Nishiwaki, M. Kuga, S. Kagami, M. Inaba, and H. Inoue: "Whole-body Cooperative Balanced Motion Generation for Reaching," Int. J. Humanoid Robotics, 2-4, pp. 437-457, 2005.
- [4] K. Hauser, T. Bretl, and J.-C. Latombe: "Non-Gaited Humanoid Locomotion Planning," Proc. IEEE-RAS Int. Conf. Humanoid Robots, pp. 7-12, 2005.

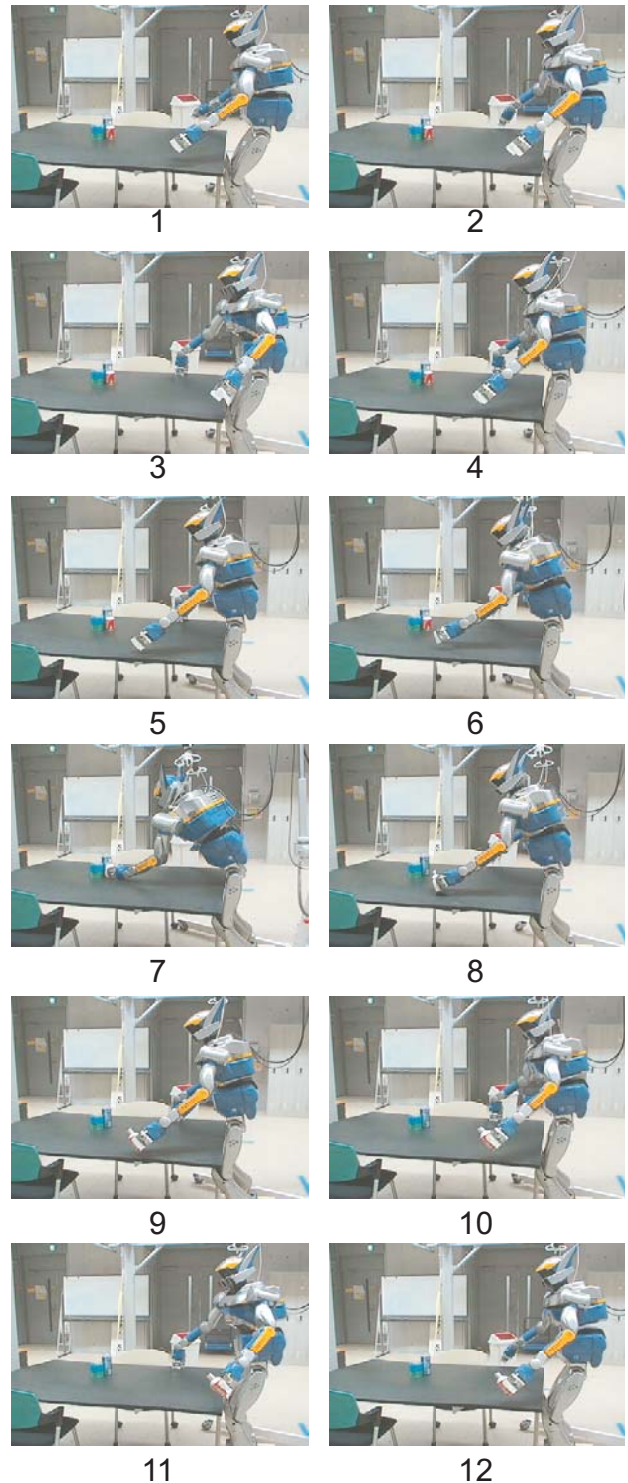


Fig.1 Experimental Results with Humanoid Robot HRP-2