

等身大ヒューマノイドによる物体受け取り姿勢計画と行動実現

山崎公俊 槇俊明 森優人 小島光晴 岡田慧 稲葉雅幸 (東大)

A Pose Planning for a Humanoid Robot to be Handed an Object

*Kimitoshi YAMAZAKI, Toshiaki MAKI, Yuto MORI, Mitsuharu KOJIMA, Kei OKADA and Masayuki INABA (The University of Tokyo)

Abstract—In this paper, a pose planning method for a robot which is handed an object from a person. Relative large objects which are often held by both of two arm are assumed, we propose the pose planning for the robot to receive such objects from the person to the robot. The planning is effectively performed through reducing search space by considering initial pose of the robot, several feasibility poses are acquired from 50 or 100 times trial. The effectiveness of our method are shown through experiments.

Key Words: Duak Arm, Pose Planning, Whole Body Grasping

1. はじめに

等身大ロボットには、人間の代替として様々な作業を行わせることが期待できる。特に、ヒューマノイドロボットは人間と同等の動き自由度を備えており、我々が日常的に行っているような形態で物体を扱える [2]。これは、複数の人間が協調して作業をする場合に、そのうち一人がロボットに入れ替わっても、人間は特に意識することなく、作業を遂行できることを意味する。

本研究では、人間が両腕で持つような比較的大きな物体を、人間 - ロボット間で受け渡す方法について検討する。本稿の主題は、人間から受け渡された物体を、ロボットが安定して保持するための姿勢計画である。

提案方式では、順運動学的アプローチでロボットの姿勢を探索していき、物体とロボットの接触点も計画時に随時変更する。この実現のため、物体のモデル表現として方向付き点群を用いる。また、ロボットの初期姿勢を抱きかかえに適した姿勢に限定することで、姿勢探索処理を削減する。これらより、様々な形状の物体に対して、実現可能性の高い保持姿勢を効率よく見つけることができる。

2. 問題設定とアプローチ

2.1 問題設定

受け渡す物体は、例えば図1に示すように、数十 cm 程度の両腕で抱える大きさとする。重さ、形状は特に制限しないが、本研究では、人手で与える。ロボットはそれらに応じた受け取り姿勢を自動で計画する。

受け渡し動作では、人間はロボットの前方に立ち、物体を差し出す。ロボットは、それを受け取る姿勢になり、人間がロボットに物体を渡す。

2.2 アプローチ

ロボットは、ヒューマノイドを想定する。すなわち、胴体とその左右に二本のアームを持つ機構とする。人間対人間での受け渡し動作をロボットに代替させるため、少なくとも上半身については、人間同等の機構とする。



Fig.1 Object Holding

ここで、人間が比較的大型の物体を持つ姿勢について考察する。人間は、胸・腕などの部位と物体との接触を適切に分散させ、滑り落ちないように抱きかかえを行うことがしばしばである。そこで本研究では、ロボットの受け取り姿勢を評価する基準として、

- 物体が容易に転がり落ちない
- 抱きかかえることにより、物体の固定が可能

の二つに重点を置き、姿勢を計画する。例えば図1の物体の場合で、人間が安全と思える抱え方の特徴としては、腕と両手を利用して物体を支え、かつ腕と胸の間で、物体を固定する力を加えられるような姿勢が取られる。このとき、物体の重心は、人体と物体との接触点で構成される多角形を考えたとき、その内部に来ることが多い。そこで本研究では、上記の二項目を安定した抱え姿勢とし、ロボットの姿勢評価基準に適用する。

3. 受け取り姿勢計画

3.1 物体モデルの表現

物体のモデルは、方向付き点群 [6] の形式とする。方向付き点群は、物体の表面形状を密な三次元点の集まりで表現し、それぞれの点に物体表面の法線成分を持たせたものである。従来、このようなモデルは、物体の

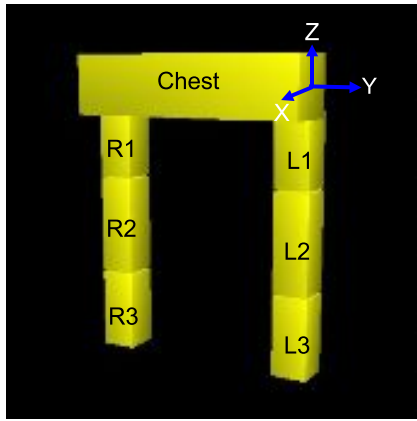


Fig.2 Body Model



Fig.3 Holding Example

姿勢認識や、二指ハンドでの把持計画に利用されている。このモデルの利点は、ロボットと物体の接触部位を様々に選ぶことが容易で、保持姿勢のレパトリを豊富に考えられることである。また、データ表現が単純なため、物体形状自体をロボットに自動で獲得させたい場合にも、適用が容易である。

本稿では、物体モデルは人手で生成して与えているが、今後の展開として、人間が差し出した未知の物体に対しても受け取り動作を実現することを想定しているため、方向付き点群をモデル表現に適用する。

3.2 姿勢評価

前述したように、姿勢評価の基準を

1. 物体が容易に転がり落ちない
2. 抱きかかえることにより、物体の固定が可能

と定める。

前者については、ある受け取り姿勢を取った場合に、物体が胸・腕のどの部分と接触しているかを調べ、それらの接触点で構成される多角形の内部に、物体の重心が収まっていれば良いとする。

把持計画に関する従来研究 [7] では、安定把持の判断基準として、物体がどの方向にも動かせないような接触点の配置「form closure」が提案されている [1]。この基準では、図 3 のような把持は不安定と評価されてしまう。

しかし現実的には、form closure が成立しなくとも、抱きかかえを行うことで安定保持は可能である。そこ

で、物体に対して締め付け力を加えられると判断される場合にも、良い評価を与えるように評価関数を設定する。これは「force closure の成立が見込まれる姿勢」を選出していることになるが、本稿では、force closure [5] を厳密に評価しておらず、今後の課題である。

3.3 姿勢探索

姿勢探索は、ロボットの初期姿勢をランダムに設定し、その姿勢から抱きかかえ姿勢を生成する手順で行う。ただし、両腕を広げた状態の姿勢のみを初期姿勢とすることで、姿勢探索を効率化する。詳細は以下の通りである。

まず、図 2 に示すように、胸部品 of 両端に腕の部品群がつながった状態の双腕ロボットモデルを定義する。腕は 7 自由度（肩 3 自由度、肘 1 自由度、手首 3 自由度）を想定する。探索手順は次のようである。

(1) ロボットの初期姿勢

両肩の 3 自由度をランダムに変化させ、腕の初期姿勢を作る。本研究では、実験機の可動範囲から、ピッチ角 90 度、ロール角 25 度、ヨー角 40 度の範囲でランダムに関節角度を与え、初期姿勢を生成した。

(2) 抱きかかえ姿勢の生成

腕の各部品から一番近い方向付き点をそれぞれ見つけ、目標点とする。そして、各部品が、それぞれの点になるべく近づくように各関節を動かす。このときの関節動作量を以下のように決める。

$$\begin{pmatrix} \phi_s \\ \theta_s \\ \psi_s \\ \theta_e \\ \phi_w \\ \theta_w \\ \psi_w \end{pmatrix} + = \begin{pmatrix} k_{s\phi} dA_{s\phi} \\ k_{s\theta} dD_{s\theta} \\ k_{s\psi} dA_{s\psi} \\ k_{e\theta} dD_{e\theta} \\ k_{w\phi} dA_{w\phi} \\ k_{w\theta} dD_{w\theta} \\ k_{w\psi} dA_{w\psi} \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 s は肩関節、 e は肘関節、 w は手首関節を表す。また、 ϕ はロール角、 θ はピッチ角、 ψ はヨー角を表す。 dA は、目標点の方向成分と、アームの接触面の法線成分の方向差分を表す。 dD は距離差分である。 k は重み係数であり、本研究では経験的に、 $k_{s\phi} = 0.05$ 、 $k_{s\theta} = 0.01$ 、 $k_{s\psi} = 0.05$ 、 $k_{e\theta} = 0.05$ 、 $k_{w\phi} = 0.5$ 、 $k_{w\theta} = 0.02$ 、 $k_{w\psi} = 0.5$ とした。

式 (1) の操作を、アームの各部品が目標点に十分近くなるか、物体と接触するまで繰り返し、保持姿勢を生成する。なお、この姿勢更新を一度行うたびに、腕の各部品の目標点も変更する。

(3) 姿勢評価

3.2 節で述べた基準で姿勢評価を行い、よい姿勢があった場合は処理をやめる。そうでない場合、1. に戻る。具体的には、まず、2. の処理が終了した

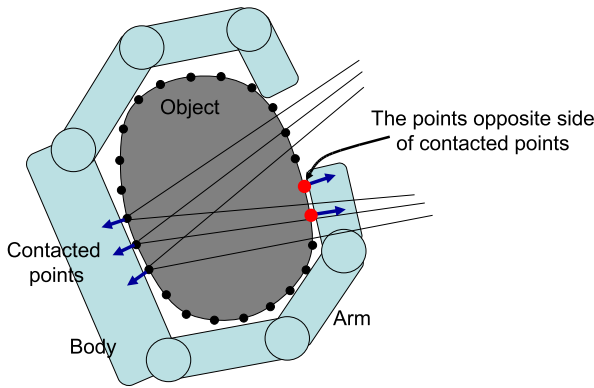


Fig.4 Pose Evaluation by Utilizing Oriented Points

姿勢の双腕ロボットモデルと、方向付き点群との距離を調べる。このとき、ロボットモデルの各部品との距離が所定の閾値以下の点を選び、物体とロボットの接触点とする。次に、これらの接触点を用いて地面に平行な多角形を生成し、その内部に物体の重心が含まれているかを調べる。

次に、接触点を持つ方向成分を元に、その接触点を頂点とする円錐を定義する。そして、円錐領域の内部に、物体と接触している別の点があるかどうかを調べる。そのような相対点を見つければ、締め付け把持が可能であると判断できる。この概念図を図4に示す。

これらの情報から、受け取り姿勢の評価値を算出する。

この方式は、初期姿勢の探索空間を3次元×2程度の低次元空間で行い、後に局所解探索を行っていると言い換えることもできる。本研究で取り組んでいる問題は、ロボットが多自由度な上に、物体とロボットの目標接触位置が計画途中で変わっていく複雑な問題である。これに対し、提案する探索手法は効率よく動作する。

このとき、局所解探索で良いかどうかの議論も必要であるが、本研究での主張は次のようである。物体姿勢の自由度を大きく上回るロボットにとって、物体を保持できる解は無数に存在する。その中から、現実的な処理時間で実現可能性の高い解が見つければ、それは十分に有用である。

なお、この姿勢探索を通すことで、抱きかかえ姿勢だけでなく、初期姿勢から抱きかかえ姿勢へ移行するまでの中間姿勢列も生成できる。これを利用することで、自然な抱きかかえ動作が期待できる。

3.4 重さを考慮した姿勢の決定

ヒューマノイドロボットで物体を抱きかかえる場合、物体の重さを考慮する必要がある。すなわち、ロボットの重量バランスを崩さないような姿勢をとる必要がある。これは、物体を抱えた状態のロボットの重心がどこにあるかを調べ、その移動分を反映することで実現できる。

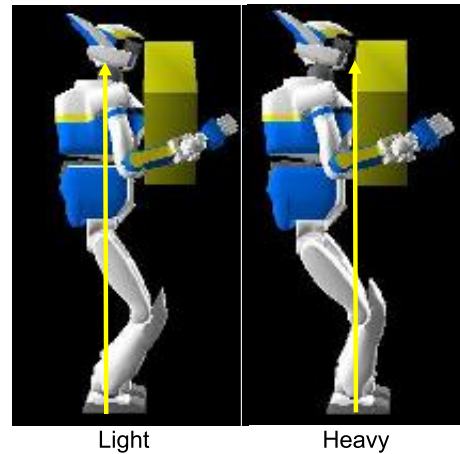


Fig.5 Weight consideration

図5は、その例である。全重量が60kg程度のロボットに対し、左図では、1kgの物体を想定した把持姿勢である。一方、右図は、20kgの物体を想定した把持姿勢である。ロボットの姿勢が変わり、重量物の抱え姿勢も生成可能なが判る。

4. 実験

4.1 シミュレーション

図8は、円筒形物体の抱きかかえ姿勢計画の結果である。3つの例を示しており、本研究の評価指標によれば、Pose A, Pose Bは良い評価が得られ、Pose Cではあまり良い評価が得られなかった。全ての例において、重心位置の評価は良かったものの、Pose Cでは物体が胸に接触しておらず、両腕による抱きかかえも十分にできないため、評価が落ちた。一方、Pose A, Pose Bでは腕を利用して胸へ押し付けることが可能な姿勢になっており、良い評価が得られた。

本シミュレーションでは、3.3節(1)~(3)の処理を10回程度行えば、図8のような姿勢の一つは見つけることができた。このとき、姿勢探索の際に逆運動学計算などがなかったため、探索は高速に行えた。

4.2 実機実験

直方体を二つ組み合わせた物体を構成し、受け取り実験を行った。まず、計算機上で同一の物体モデルを定義し、それを入力として姿勢を計画した。50回の試行を経て4つの姿勢が選出され、そのうち一番評価の良かった姿勢を用いて、実機に実装した。初期姿勢から受け取り姿勢に至るまでの中間姿勢は、計画時に出てきたものを利用した。

図7は、実験の様子を示している。細かな接触位置の違いはあるものの、ほぼ計画通りの状態で物体受け取りを実現できた。

なお、図8は、ロボット頭部のステレオカメラを利用して、人間が抱えている物体の姿勢を認識した結果である。今後は、人間から近づいてロボットに物体を渡すのではなく、図8のような結果を元に、ロボットが受け取りに行く動作も加えていく予定である。

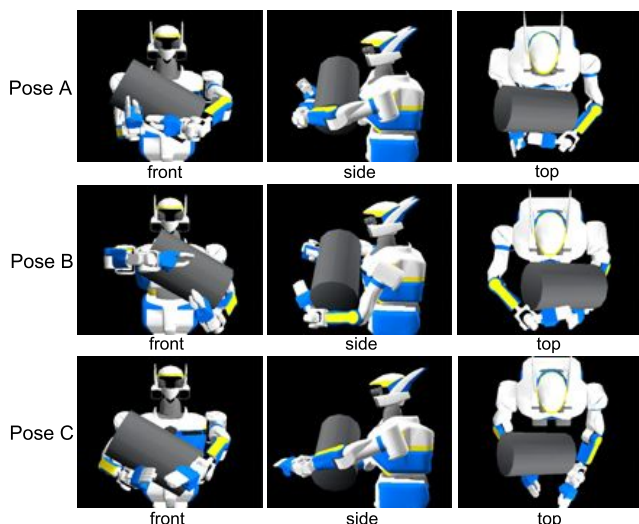


Fig.6 Planning Result

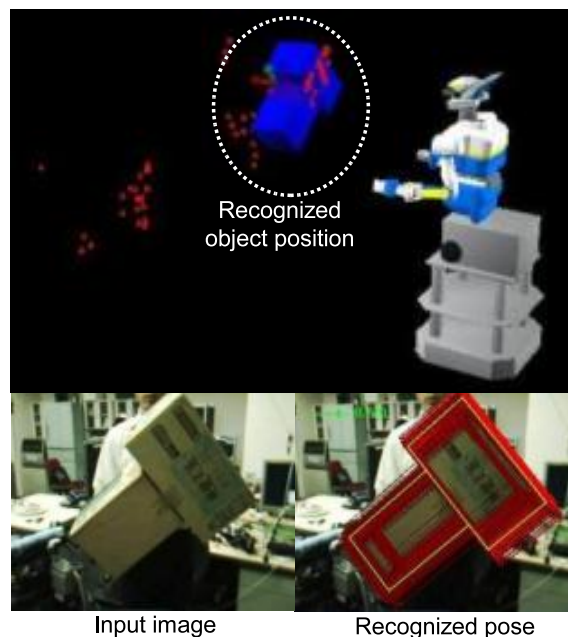


Fig.8 Pose Recognition

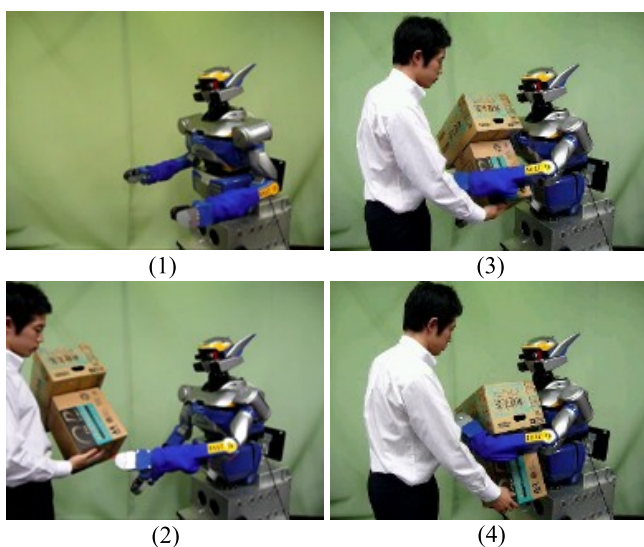


Fig.7 Experimental Result

5. まとめ

本稿では、比較的大きな物体を人間からロボットへ受け渡す動作を対象として、物体受け取りのための姿勢計画法について述べた。提案方式は、物体とロボットの接触点も計画時に随時変更しながらロボットの姿勢を探索していくことで、様々な形状の物体に対して、実現可能性の高い保持姿勢を効率よく見つけることができる。実験を行い、本手法の有効性を示した。

今後は、姿勢探索をより効率化し、かつ初見の物体に対しても受け取り可能にしていく。また、本稿では、物体の重さを考慮した姿勢計画の例を示したが、ここには、各関節の負担がどの程度か、保持姿勢のロバスト性や柔軟性がどの程度か [3][4] などといった事柄が考慮されていない。こちらも取り組んでいく予定である。

謝辞

この研究は、文部科学省「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成： 少子高齢社会と人を支える IRT 基盤の創出」で行われたものである。

- [1] D. Ding, Y. Liu, J. Zhang and A. Knoll : “Computation of fingertip positions for a form-closure grasp,” Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2217-2222, 2001.
- [2] “Imitation Learning of Whole-Body Grasps”, Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.5657-5662, 2006.
- [3] 金子: 「包み込み把握」日本ロボット学会誌, Vol.18, No.6, pp.782-785, 2000.
- [4] 金子: 「Envelope Family 操り問題」日本ロボット学会誌, Vol.20, No.2, pp.124-125, 2002.
- [5] V. Nguyen : “ Constructing force-closure grasps, ”The International Journal of Robotics Research, vol.7, no.3, pp.3.16, 1988.
- [6] K. Yamazaki, M. Tomono, T. Tsubouchi and S. Yuta: “A Grasp Planning for Picking up an Unknown Object for a Mobile Manipulator”, Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2143-2149, 2006.
- [7] 吉川: 「把持と操りの基礎理論」日本ロボット学会誌, Vol.13, No.7, pp.950-957, 1995.