

# 等身大ヒューマノイドによる物体重量を考慮した双腕抱きかかえ行動の実現

東京大学 山崎 公俊, 榎 俊明, 森 優人, 小島 光晴, 岡田 慧, 稲葉 雅幸

## Dual Arm Object Holding by a Humanoid Robot with Considering the Object Weight

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

**Abstract**— In this paper, an object holding by dual-arm robot is described. Relatively large and heavy objects are targeted and a pose planning which can select feasible holding pose are presented. The main topic of this paper is the extension of our original planner to cope with heavy object. Physics simulator is utilized to proof the feasibility of holding poses and the joint load of the arms are considered. The effectiveness of our method are shown through experiments. We succeeded to make the robot to hold an object which weighs 25 kg.

### 1. はじめに

本稿では、比較的大きな物体の抱きかかえ動作を、等身大の双腕ロボットで実現する方法について検討する。関連研究として、物体の幾何形状を考慮した姿勢計画法 [3] がある。本研究の目的は、この計画法を重量物体へ適用可能にするため、改良を加えて実際のロボットで検証することである。

姿勢計画法 [3] 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を計画時に随時変更することで、実現可能性の高い抱きかかえ姿勢を様々に選出可能である。物体のモデル表現として方向付き点群を用い、ロボットの初期姿勢を抱きかかえ動作に適した姿勢に限定することで、探索処理を大幅に削減している。

この手法を重量物抱きかかえに適用する場合、(1) 物体の滑り、(2) 各関節にかかる負荷、について考慮すべきである。これらの対処のため、前者は、物理シミュレータを用いて抱きかかえのロバスタさを判断する。後者は、各関節にかかる負荷を、腕の重さを含めておおまかに見積もって評価する。本稿では、これらの対処法について述べ、25kg 程度の重量物の抱きかかえ実験について報告する。

### 2. 問題設定とアプローチ

受け渡す物体は、例えば Fig.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、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。

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。例えば Fig.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。そこで、ロボットの姿勢は、このように抱きかかえが可能なものを選択する。



Fig.1 Object Holding

### 3. 姿勢計画 [3] の概要

リンクの形状を直方体で近似した双腕ロボットモデル定義する。また、方向付き点群の形式で表現した物体の幾何形状モデルを定義する。姿勢探索では、二つのモデル間での接触状態を評価しながら、姿勢を生成していく。

手順は以下の通りである。

#### (1) ロボットの初期姿勢

両肩の自由度をランダムに変化させ、腕の初期姿勢を作る。

#### (2) 姿勢探索

アーム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、目標点も随時変更しながら、各部品に十分近いところに目標点が見つかるか、物体と接触するまで探索を続ける。

#### (3) 姿勢評価

(2) の処理が終了したロボットモデルと、方向付き点群との距離を調べる。このとき、ロボットモデルとの距離が所定の閾値以下の点を選び、抱きかかえ時の接触点とする。姿勢評価では、(i) これらの接触点で構成される多角形の内部に物体重心が存在するか、(ii) その接触点を頂点とする円錐領

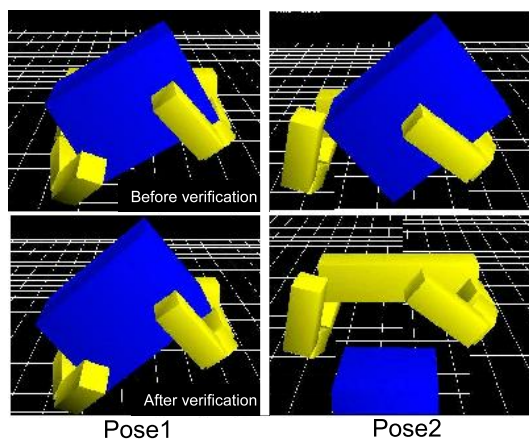


Fig.2 Verification by physics simulator

域の内部に、ロボットと接触している別の点があるか、といった事柄を評価し、抱きかかえ姿勢の安定性を判断する。

#### 4. 物体重量を考慮した姿勢評価

##### 4.1 物理シミュレータによる滑りへのロバスト性検証

重量物の抱きかかえでは、アームが発生できる押し付け力以上の力が重力方向に働き、物体が滑り落ちるといった事態が想定できる。これに対応するため、計画した抱きかかえ状態を物理シミュレータへ入力し、摩擦を考慮しなかった場合に物体が滑り落ちない保持が可能であれば、良い評価を与えることとした。シミュレータには、EusDyna [2] を用いた。

Fig.2 は評価例である。Pose1 では、シミュレータを実行した前後で物体の姿勢はほとんど変わらず、重力方向の力に対して安定している。一方、Pose2 では物体が地面に落下しており、滑りが生じると物体を落とす危険性が高いと判断できる。

##### 4.2 各関節にかかる負荷の推定

各関節への負荷は、(1) アームの姿勢や、(2) 物体との接触点分布、(3) 物体重量などにより変化する。(1) については、アームそのものの重さが各関節に及ぼす負荷を推定する。一方、(2)(3) については、ロボットモデル化に伴う形状誤差や、実環境での作業を想定しているといった理由から不確定要素が多く存在する。そこで、負荷が各関節に均等に分散するものと仮定して、各関節にかかる負荷が最大トルクより小さいほど、良い姿勢として評価する。

#### 5. 実験

Fig.3, 左は、抱きかかえに適していると判断された姿勢である。姿勢計画では、200 回の試行を通して 13 の姿勢候補が選出され、4 章の評価を通して、この姿勢が選択された。Fig.3, 右は、これに対応するような姿勢で、重量物を抱きかかえた様子である。ここでは、 $320 \times 450 \times 310\text{mm}$  の箱の中身に本を均等に詰めることで、25 kg 程度の重量物を構成した。

Fig.4 は、抱きかかえ前後における、アーム各軸のトルク比の変化を示したものである。各軸にかかる力の

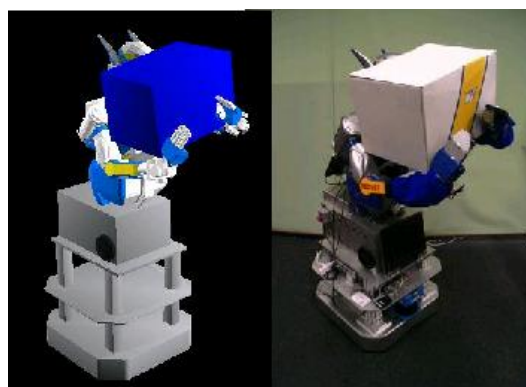


Fig.3 Holding pose

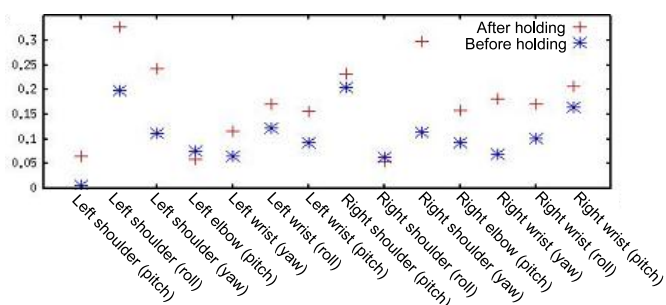


Fig.4 Torque change

変化が分散しており、余裕を持って抱きかかえ動作を実現できていることが判る。

#### 6. まとめ

本稿では、比較的大きな重量物の抱きかかえをロボットで行うための姿勢計画法について述べた。幾何形状のみを考慮していた従来法を改良し、実機実験にて、重量物の抱きかかえを実現した。

従来、各接触点からかかる力により各関節が受ける負荷を推定する研究がある [1]。これらのアプローチを、例えばロボットが人間から物体を受け取って抱きかかえるような動作に適用しようと考えたと、計画どおりの接触状態を常にも実現できるとは考えにくい。そのような状況で、ロバストな動作がどう実現できるかを、今後も実験を交えながら検証していく予定である。

#### 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] 原田 他：「人間型ロボット機構の全身マニピュレーションにおける動作内力解析」日本ロボット学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 647.655, 2003.
- [2] 小倉 他：「ヒューマノイドのための新しいロボットプログラミング環境:EusDyna」第 24 回ロボット学会学術講演会予稿集, pp 1H31, 2006.
- [3] 山崎 他：「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」第 25 回日本ロボット学会学術講演会, 2007.