

多指ハンドの把持形態の生成と分類

塗 甜 (九州大学), 辻 徳生 (九州大学), 田原 健二 (九州大学),
原田 研介 (産総研), 諸岡 健一 (九州大学), 倉爪 亮 (九州大学)

Generate and classify grasp types of a multifingered hand

Tian Tu, Tokuo Tsuji, Kenji Tahara, Kensuke Harada, Kenichi Morooka, Ryo Kurazume

Abstract: We proposed a method for generating grasp types of a multifingered hand automatically. We explore grasp patterns by random sampling of joint angles and object positions, and then classify them according to the contact state of fingers and a target object. In this paper, we show the experimental results of classified grasp types by using the proposed method.

1. はじめに

物の持ち運びや受け渡し等の単純作業を行う生活支援ロボットにおいて、ロボットハンドによる物体把持は必須の技術である。我々は、多関節からなる指を複数備える多指ハンドの研究を行っている。多指ハンドは、多自由度であるため、対象物の形状に合わせて、様々な把持姿勢で物体を把持できる。しかし、対象物を安定して把持するには、多指ハンドの多くの関節角度の組み合わせの中から、安定な把持姿勢を探索する必要がある。しかし、多指ハンドの探索空間は広大であり、したがって、最適姿勢探索の効率化が必要である。そこで、予め複数の把持形態 (grasp type) を定義し、物体に応じて適切な把持形態を選択し、把持姿勢を決定する手法が提案されている。

従来、典型的な把持形態を人が手動で定義することで把持姿勢を計画する手法¹⁾が提案されている。また、単純なプリミティブ形状に対し単一の把持形態を用いた把持姿勢を決定する手法²⁾が提案されている。これらの手法では、ロボットの把持形態を手動で生成しており、それらのパターンは人の形態で可能な範囲に限定されており、個数も少ない。また、プリミティブ形状に対し典型的な人の把持形態を生成し、人の把持のグラフィック画像を自動的に生成する研究³⁾が行われている。しかし、ロボットハンドと人の手の構造が必ずしも一致しているとは限らず、したがって、ロボットハンドの構造に合わせて把持形態を生成する必要がある。また、対象物の形状・環境・作業の多様性に対応するためには、多数の把持形態が必要である。

そこで、本研究では、指の関節角をランダムに設定することにより、多指ハンドの構造に合わせて、多数の把持形態を自動的に生成し、分類する手法を提案する。まず、円柱体や錐体などのプリミティブ形状に対し、関節の移動範囲内で関節の角度をランダムに与え、対象物と指の接触点を探索する。この探索を繰り返し、多数の把持形態を生成する。次に、それぞれの把持形態に対し安定性の評価を行い、より安定した把持形態を選別する。最後に、ハンドと物体の接触点の情報を用い、探索した多様な把持形態を分類する。

本予稿では、多指ハンドによる把持形態の自動的に生成・分類についての提案手法を説明し、提案手法によるシミュレーション結果を示す。

2. 提案手法

2.1 使用する多指ハンドの構造

提案手法は、一般的なハンドに適用可能であるが、本予稿では我々が開発した三本指ハンドを用いる。そのハンド

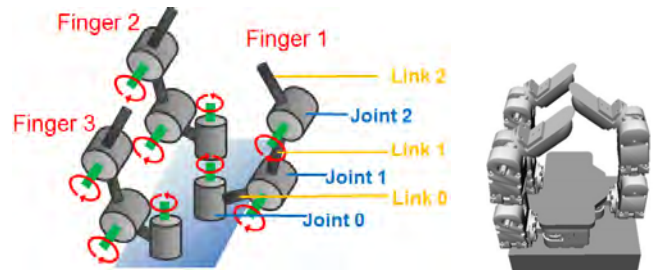


Fig.1 三本指ハンド

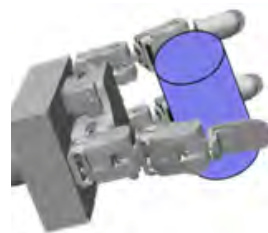


Fig.2 ハンドの位置と姿勢を設定

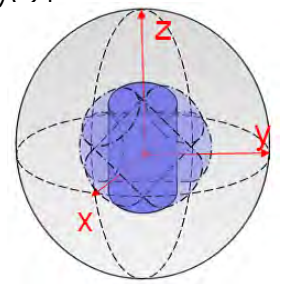


Fig.3 円柱体をランダムに回転

の構造を Fig.1 に示す。各指の三つの関節を、($Joint(0)$, $Joint(1)$, $Joint(2)$) とする。関節間の2つのリンクと指先を、($Link(0)$, $Link(1)$, $Link(2)$) とする。各関節の回転軸を緑の線で示す。

2.2 プリミティブ形状

把持対象物をプリミティブ形状の組み合わせで近似する。プリミティブ形状として、円柱体、楕円体、錐体などがある。

2.3 把持形態の探索

各指の関節角の可動範囲内で多様な把持形態を生成するため、以下の手順により探索する。ここで、Fig.2 に示すように、ハンドの初期位置は、掌から把持物体の重心までの距離が指の長さよりも短くなるように設定しておく。

1. 多様な方向からの把持形態探索を実現するため、Fig.3 に示すように、円柱体を重心を原点としてランダムに回転させる。
2. 関節の移動範囲内で各指の関節角をランダムに与え、円柱体と指の接触点をその近傍で探索、円柱体の把持状態を生成する。

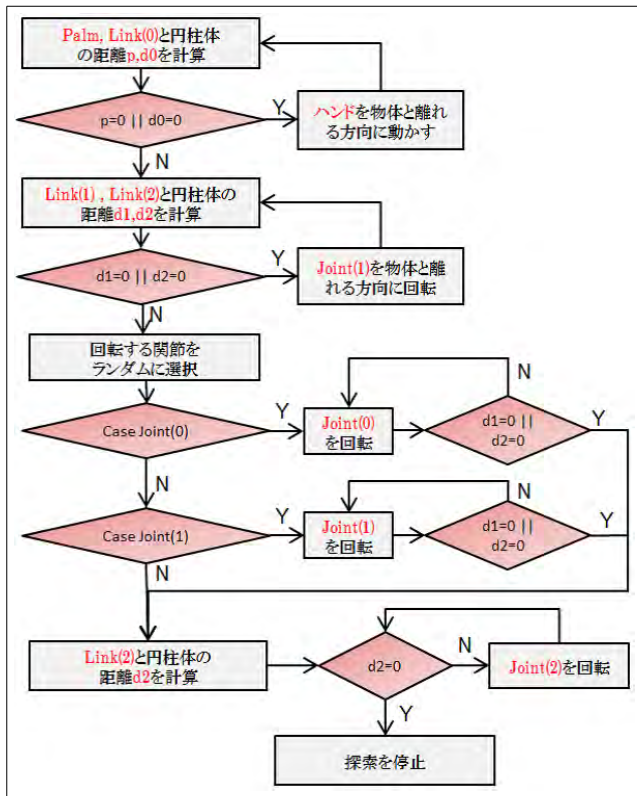


Fig.4 探索のフローチャート

この手順を繰り返し実行し、多様な把持形態を生成する。提案手法のフローチャートを Fig.4 に示す。

ステップ 2 を詳しく説明する。ここで、 p , d_0 , d_1 , d_2 は、ハンドの掌、各指の $Link(0)$, $Link(1)$, $Link(2)$ と円柱体との最小距離である。まず、 p , d_0 の値を計算し、その値が 0 の時、掌、 $Link(0)$ は円柱体と接触するか円柱体の中にめり込んでいるため、ハンド全体を円柱体から離れる方向に動かす。次に、 d_1 , d_2 の値を計算し、その値が 0 の時、 $Joint(1)$ を物体と離れる方向に回転させる。次に回転する関節角をランダムに選択する。 $Joint(0)$ が選択された場合、 $Link(1)$ か $Link(2)$ が円柱体と接触するまで回転させる。 d_1 , d_2 の値を計算し、その値の両方が正の時、 $Joint(2)$ を微少回転させ、 $Link(1)$ と $Link(2)$ を円柱体へ接近させ、接触するまでこの操作を繰り返す。 $Joint(1)$ が選択された場合、 $Link(1)$ か $Link(2)$ が円柱体と接触するまで $Joint(1)$ の微少回転を繰り返す。さらに、 $Link(1)$ が先に接触した場合、 $Joint(2)$ 回転させ $Link(2)$ を円柱体に接触させる。 $Joint(2)$ が選択された場合、 $Link(2)$ が円柱体と接触するまで $Joint(2)$ の微少回転を繰り返す。

2.4 安定性評価

安定な把持形態を生成するためには、各把持形態の把持安定性の評価を行う必要がある。本研究では、Force closure に基づき、物体にかかる外力の許容値を把持安定性の評価値とする。安定性評価値が正なら、それに対応する把持形態は安定である。0 なら、不安定である。安定性評価値が高ければ高いほど、その把持形態はより強い外乱に耐えることができ、安定している。

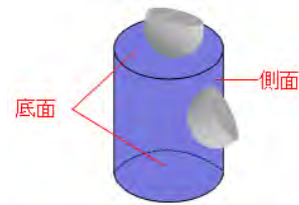


Fig.5 円柱の例

id: 0	ID
0010110210	Contact_state
0.0364444	Force_closure_index
0.259866	
-0.003836	
0.812676	Object_p
0.383567 0.817015 0.430537	
0.519224 -0.576318 0.631081	
0.763729 -0.0185164 -0.645271	Object_R
0.259866	
-0.0669161	
0.812676	Palm_p
1 -0.000312701 -0.000571021	
-0.000571209 -0.000600153 -1	
0.000312359 1 -0.000600332	Palm_R
0.00229053 0 0	
0.33224 -0.10472 -0.331613	
0.354706 0.261799 -1.22173	Joint(0)(0)~Joint(2)(2)

Fig.6 保存データ

2.5 把持形態の分類

保存した多様な把持形態を、Contact state により分類する。Contact state は、長さが 10 の配列であり、ハンドの 9 つの Link・掌と物体の接触状態を表す。物体の各プリミティブの表面に対し、その場所によって ID を与え、その ID によって、Contact state を記述する。

指の接触している部位と役割によって、把持形態を記述する手法が、齋藤と永田⁸⁾によって提案されている。本手法では、接触している物体上の領域と指の領域に応じて、把持形態を分類する。指の接触領域で把持形態を大まかに分類することができるが、物体との相対位置などの情報が含まれていない。そこで、物体上の接触領域によっても、把持形態を分類する。

例えば円柱体の場合、Fig.5 に示すように、非接触、円柱の側面との接触、円柱の底面との接触の 3 つの状態によって Contact state を記述する。Contact state において、各リンクごとに、0 の場合、物体と接触しないことを示し、1 は円柱の側面と接触、2 は円柱の底面と接触していることを示す。

2.6 把持形態の保存

安定性評価値が正の把持形態をファイルに保存する。保存内容は以下の 4 つの部分から構成される。

- ID: 把持形態の id である。
- Contact state: ハンドと物体の接触状態を示す。
- Force closure index: Force closure により計算した把持形態の安定性評価値である。
- Grasp posture: 物体を把持する際に、物体の位置・姿勢、腕の位置・姿勢とハンドの各関節角度のデータである。

把持データの例を Fig.6 に示す。把持形態をこの形式でファイルに保存し、使用する際、ファイルから読み込み、把







把持姿勢			
安定性 評価値	0.106077	0.0778359	0.0122473
把持姿勢			
安定性 評価値	0.0158464	0.161435	0.287635

Fig.7 探索した把持形態の例

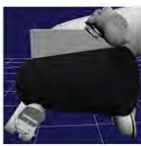

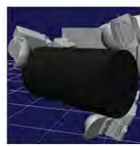
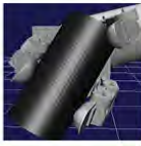

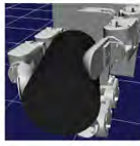
接触状態	0210010010		
把持姿勢			
接触状態	0110010010		
把持姿勢			

Fig.8 分類した把持形態の例

持形態を再現できる。

3. 実験

本節では、提案手法によるシミュレーションについて述べる。まず、シミュレーションの環境を説明する。シミュレータとして、産業総合技術研究所が開発した Choreonoid と我々が開発している graspPlugin を使用する。Choreonoid は、人間型ロボットの動作を簡単に作成できる統合ソフトウェアである。graspPlugin はハンドによる把持計画やアームの軌道計画、物体操作計画などの機能を提供し、Choreonoid のプラグインとして開発している。ハンドモデルとして、三本指三自由度の多指ハンドを使用する。

3.1 把持形態の探索

提案手法を用いて、把持形態の探索のシミュレーションを行う。人の生成した把持形態よりも多数の複雑な把持姿勢を生成できることが確認できた。Fig.7 に、探索した多様な把持形態の中から 6 つのシミュレーションの結果を示す。上の行は探索した把持形態であり、下の行はそれぞれの把持形態の把持安定性の評価値である。

3.2 把持形態の分類

対応した安定性評価値が正の把持形態をファイルに保存し、ハンドと物体の接触状態 contact state より分類する。

Fig.8 に示すように、上と下の各 3 つの把持形態が同じ接触状態を持つため、同じ種類の把持形態に分類される。

4. おわりに

本論文では、多指ハンドで物体の把持形態を探索し、多様な把持形態を生成し、それぞれの把持形態に対する安定性評価値を計算した。また、探索した多数の把持形態を保存し、分類する手法を開発した。そのシミュレーション結果を示した。

今後、ロボットが物体を掴む際に、状況に応じてデータベースから適切な把持形態を選択する手法を開発する。

文献

- [1] T. Tsuji, K. Harada, K. Kaneko, F. Kanehiro and K. Maruyama, "Grasp Planning for a Multifingered Hand with a Humanoid Robot", Journal of Robotics and Mecha-tronics, Vol.22 No.2, pp.230-238, 2010
- [2] A. T. Miller, S. Knoop, H. I. Christensen and P. K. Allen, "Automatic Grasp Planning using Shape Primitives", IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation, Vol.2, pp. 1824-1829, 2003
- [3] F. Kyota and S. Saito, "Fast Grasp Synthesis for Various Shaped Object", Computer Graphics Forum, Vol.31 No.2, pp.765-774,2012
- [4] 辻, 原田, 金子, "摩擦円すいの楕円体近似を用いた把持安定性の高速評価, 日本ロボット学会誌", Vol.29,no.3,pp.278-287,2011
- [5] KYOTAF, SAITOS, NAKAJIMAM, "An automatic synthesis of hand postures based on the grasp taxonomy", InPa-cific Graphics 2009 Poster Sessions(2009)
- [6] N. Yamanobe, and K. Nagata, "Grasp Planning for Everyday Objects Based on Primitive Shape Repre-sentation for Parallel Jaw Grippers", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp.1565-1570, 2010.
- [7] C.Ferrari, and J.Canny, "Planning Optimal Grasps", IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, pp.2290-2295, 1992.
- [8] 齋藤, 永田 和之, "把握操作の記述とロボットハンドの設計手法", 日本ロボット学会誌, Vol. 19, No. 3, pp.333-344, 2001.