

把握面に基づく作業記述を用いたロボットハンドの物体把握操作

堀江 亮介 (東京都市大学), 白井 伸明 (東京都市大学), 羽鳥 裕樹 (東京都市大学),
佐藤 大祐 (東京都市大学), 金宮 好和 (東京都市大学)

Object Grasp With a Robot Hand Using Task Description Based on Grasping Surface

Ryosuke HORIE (TCU), Nobuaki SHIRAI (TCU), Yuki HATORI (TCU),
Daisuke SATO (TCU), and Yoshikazu KANAMIYA (TCU)

Abstract— We develop a dual-arm robot system to achieve generation of some task operation. The system consists of two subsystems: a dual-arm subsystem and a robot hand subsystem. Robot hands are necessary elements when robot performing dexterous tasks. A lot of studies about the human grasp have been performed. However, it is difficult to express a task for all the robot hands. Consequently, we attempt to solve this issue using the Grasping Surface based Description (GSD) method for describing works. In this paper, we analyze some tasks by using the GSD method and implement these tasks with the developed robot hand.

Key Words: Robot hand, Grasping surface based description, Grasping surface

1. 緒言

ロボット研究の今後の課題として, 人間のような複数作業の実行が求められている。我々は, 二本のアームおよびロボットハンドを有する双腕ロボットシステムの開発を行っており, これにより複数の作業動作の生成を行う。

作業の実現には, ロボットハンドによる物体の把握操作は必要不可欠である。これまで人間の把握操作について Napier¹⁾, Cutkosky²⁾, 鎌倉³⁾ らによって各作業の特徴に対して手がどのような把握形態を取るか分析が行われた。それらの分析結果から得られる物体の把握操作を実現する手法として, Shadow ハンド⁴⁾ や DLR ハンド⁵⁾ のように構造や自由度を人間に近づけるアプローチがある。また, 別のアプローチとして, 永田⁶⁾ らの GSD (Grasping Surface based Description) 法がある。GSD 法では, 人間の把握作業を把握面の組合わせに基づいて解析し, その結果から最適なロボットハンドを設計することでの把握作業の実現を提案している。

我々は, ロボットハンドが目的とする機能を達成できればその形態は重要ではない⁷⁾ という観点から, GSD 法が把握面に基づいて作業を記述する点に着目した。そして GSD 法を把握の記述に用いることで, 人間の把握形態に依存しない運動生成を狙う。また, 把握操作の実現には, ロボットハンドの持つ構造的制約が妨げとなる場合が考えられるが, 本研究では付け替え可能なアタッチメントを利用することでより多くの把握操作の実現を可能とする。

本稿では, 把握操作の作業記述とそれに基づく運動生成について述べ, 開発したロボットシステムによる単腕での物体把握操作実験の結果を示す。

2. GSD 法の概要

2.1 把握面機能の定義と記述法

GSD 法は対象の把握を, 摩擦のある有限な面による接触の集合である把握面の組み合わせとして捉える。把握面は

次のいずれかの機能を持つとする。

- 支え機能 (supporting function)
- 押え機能 (pressing function)
- 巻き付き機能 (wrapping function)

把握面を s とすると, 各機能を持つ把握面を支え機能 $S(s)$, 押え機能 $P(s)$, 巻き付き機能 $W(s)$ として表す。Fig. 1 に示したように人間の手の把握面を部位ごとに分類し, 各把握面が対象物体とどのように接触するか記述する。把握面の記述は, 接触している, もしくは接触が想定される 1 部位または複数部位を並記する。まず親指から小指の各指にそれぞれ T, I, M, R, L という文字を割り当てる。そして添字として, 各指のリンクに指先側から 1 から 3 の番号を割り振る。ここで, virtual finger⁸⁾ の概念を導入し, 複数の指の組合せを U, V, W, X, Y, Z で表す。複数指を一つの仮想的な把握面として利用することで, 発生可能な力の増加などが可能となる。

さらに個々の部分を四つの側面ごとに分割し, 添字で記述する。また, 全てのリンクを表す場合は a と置く。把握作業に必要な物体操作は, M に把握一定の場合 i , 静的な場合 s を添字として表し, 加えて, 物体の静的非操作状態を N_s と表す。

2.2 ロボットハンドの開発とアタッチメントの導入

開発したロボットハンドは, 巻き付き, 押え, 支え機能を持つ三つの把握面を有し, 複数の virtual finger を形成する。また, ロボットハンドが実現できない把握操作を可能とするアタッチメントを導入する。これにより, ハンドの許容荷重を越える重量物の把持が可能となる。また, ハンドの指先の大きさ以下の隙間への把握面の挿入が可能となる。Fig. 2 は, 制作した 2 種類のアタッチメントである。

3. 把握面に基づいた作業の記述

今回想定する作業として, ペットボトルの把握を想定し, 作業にどのような把握や操作が伴うのかを GSD 法によって解析し, 記述する。

3.1 ペットボトルの把握の記述

ペットボトルの把握作業の具体的な例を Fig. 3 (a), (b) に示す。(a) は 4 指を virtual finger として対象に巻き付ける把握であり, (b) は 4 指による virtual finger と親指によって対象を掴む把握である。この二通りの把握作業について GSD 法による作業の解析を行い, (a) の把握作業を $\langle pet - grasp1 \rangle$, (b) の把握作業を $\langle pet - grasp2 \rangle$ として記述し, その記述式を以下に示す。

1. $\langle pet - grasp1 \rangle = N_s + M_{is1}(W(U_{12p}) \cdot P(T_{12p}))$
2. $\langle pet - grasp2 \rangle = N_s + M_{is2}(P(U_{12p}) \cdot P(T_{12p}))$

3.2 Virtual finger を考慮した把握操作の整理

ペットボトルの把握作業を GSD 法により解析し, その解析結果より, 各把握作業に必要な把握操作を整理, 列挙する。列挙する際, 複数の把握面の関係がわかりやすいように把握面を s_1, s_2, s_3 のように抽象化して表す。さらに virtual finger によって構成された把握面に添字 VF (Virtual Finger) を付け加える。ここで, 押さえ機能 $P(s)$ は支え機能 $S(s)$ と解釈することが可能なので, M_{is3} は, M_{is1} を, M_{is4} は, M_{is2} を異なる解釈で見た場合の把握操作として列挙する。

1. $M_{is1} = M_{is1}(W(s_{1VF}) \cdot P(s_2))$
2. $M_{is2} = M_{is2}(P(s_{1VF}) \cdot P(s_2))$
3. $M_{is3} = M_{is3}(W(s_{1VF}) \cdot S(s_2))$
4. $M_{is4} = M_{is4}(P(s_{1VF}) \cdot S(s_2))$

上記が, 今回ロボットハンドに行わせるペットボトルの把握作業に必要な把握操作である。これによって, 把握面の関係を示す把握操作のみで把握作業を表現できた。

4. 把握作業実現のための GSD 法の拡張

整理した把握操作の運動を生成することでペットボトルの把握作業を行う。しかし, GSD 法は把握を抽象化することで体系的に記述するものであり, 実機への記述式の適用については規定していない。このため, 実機が利用できる把握面や機能, 構造的制約を考慮し, 実際にロボットハンドの運動制御において使用できる内容へ拡張する必要がある。

4.1 ロボットハンド把握面の定義

開発したロボットハンドの把握面として, 指を F とし, 指の番号を添字で表す。また, 3.2 節で列挙した把握操作には, virtual finger による把握面機能の発現が含まれ, ハンドの指を能動的に利用してできる virtual finger を用いて把握操作を行う。これを HVF (Hand Virtual Finger) と定義し, Fig. 4 に各 HVF を示す。加えて HVF_1 から HVF_4 を形成する指の組合せを以下に示す。

1. HVF_1 Finger 1, Finger 2 によって形成
2. HVF_2 Finger 1, Finger 3 によって形成
3. HVF_3 Finger 2, Finger 3 によって形成
4. HVF_4 Finger 1, Finger 2, Finger 3 によって形成

4.2 アタッチメントによる把握面の定義

ペットボトル単体ではなく, 複数のペットボトルが並ぶ状況での把握では, アタッチメントを把握面として用いることで把握を実現する。アタッチメントによる把握面を AVF (Attachment Virtual Finger) と定義し, そのタイプを Fig. 2 (a) を添字 w , (b) を n によって表す。アタッチメントは

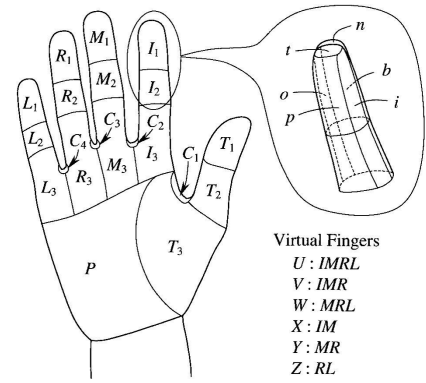


Fig.1 Division of grasp areas of a human hand⁶⁾.



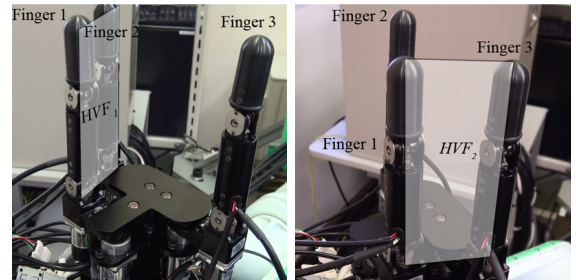
(a) (b)

Fig.2 Attachments of the robot hand: (a) wide, (b) narrow.

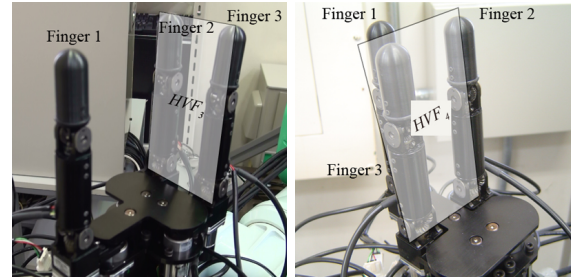


(a) (b)

Fig.3 Grasp task of a PET bottle: (a) $\langle pet - grasp1 \rangle$, (b) $\langle pet - grasp2 \rangle$.



(a) (b)



(c) (d)

Fig.4 Virtual fingers of the developed hand: (a) HVF_1 , (b) HVF_2 , (c) HVF_3 , (d) HVF_4 .



Fig.5 Formation of virtual finger, Fig.6 Preshaping before the grasp.



Fig.7 Grasp of a PET bottle by the pressing function. Fig.8 Grasp of a PET bottle by the wrapping function with the wide attachment.



受動的に力を発生させるため、その把握面機能は支え機能 $S(s)$ である。

4.3 ロボットハンドによるペットボトル把握の記述

3.2 節で列挙した記述式中の支え機能 $S(F_x)$ を $S(AVF_{w \text{ or } n})$ として置き換える。この際、Fig. 2 (a) のアタッチメントを用いた場合には、ハンドが形成できる virtual finger は HVF_4 のみとなる。定義したハンドの把握面と virtual finger を列挙した把握操作に代入する。ただし、 HVF_1 , HVF_2 は本質的には同じ把握面とみなすことができるので、どちらを用いても構わない。

このため、最終的なペットボトルの把握作業は以下のように記述でき、記述式中の x は、対象を把握する条件により選択的に決定される。

1. $\langle \text{pet} - \text{grasp } 1 \rangle = N_s + M_{is1}(W(HVF_x) \cdot P(F_x))$
2. $\langle \text{pet} - \text{grasp } 2 \rangle = N_s + M_{is2}(W(HVF_x) \cdot S(F_x))$
3. $\langle \text{pet} - \text{grasp } 3 \rangle = N_s + M_{is3}(P(HVF_x) \cdot P(F_x))$
4. $\langle \text{pet} - \text{grasp } 4 \rangle = N_s + M_{is4}(P(HVF_x) \cdot S(F_x))$
5. $\langle \text{pet} - \text{grasp } 5 \rangle = N_s + M_{is2}(W(HVF_x) \cdot S(AVF_{w \text{ or } n}))$
6. $\langle \text{pet} - \text{grasp } 6 \rangle = N_s + M_{is4}(P(HVF_x) \cdot S(AVF_{w \text{ or } n}))$

5. 記述式に基づく把握作業の実行

5.1 実行する記述式の決定

導いた 6 種類の記述式から、今回以下の 2 種類を例としてペットボトルを把握する。 $\langle \text{pet} - \text{grasp } 3 \rangle$ では、一方の押さえ把握面として HVF_3 を用いるため、もう一方の把握面は F_1 となる。また、 $\langle \text{pet} - \text{grasp } 5 \rangle$ では巻き付き把握面として HVF_4 、アタッチメントによる把握面として AVF_w を用いる。なお、これらの把握はロボットが自律的な判断を有していないため、最も安定したものを選択した。

1. $\langle \text{pet} - \text{grasp } 3 \rangle = N_s + M_{is3}(P(HVF_3) \cdot P(F_1))$
2. $\langle \text{pet} - \text{grasp } 5 \rangle = N_s + M_{is2}(W(HVF_4) \cdot S(AVF_w))$

5.2 把握作業の流れ

把握作業の実行のために定義してきた支え、押さえ、巻き付きの各機能をロボットハンドが実現可能な形で実装し、記述式から把握動作を生成する。

ロボットハンドへは対象物体の情報を与え、それらの情

報から使用する把握面を決定する。把握は、記述式からの virtual finger の形成、把握の前段階としての preshaping、そして、記述された把握面機能の発現による対象の把握という流れで行われる。Fig. 5 にロボットハンドによる virtual finger, HVF_3 の形成、Fig. 6 に preshaping 動作を示す。

5.3 実験結果

実験は双腕ロボットへハンドを取り付けた状態で行い、ペットボトルを把握した。Fig. 7 は記述式 $\langle \text{pet} - \text{grasp } 3 \rangle$ による把握結果であり、押さえ機能 $P(s)$ を持つ Finger 2 と Finger 3 による virtual finger である HVF_3 と、Finger 1 の把握面 F_1 によってペットボトルを把握できた。また、Fig. 8 は記述式 $\langle \text{pet} - \text{grasp } 5 \rangle$ による把握結果であり、巻き付き機能 $W(s)$ を持つ Finger 1, Finger 2, Finger 3 による virtual finger である HVF_4 と、支え機能 $S(s)$ を持つアタッチメントによる把握面 AVF_w によってペットボトルを把握できた。

6. 結言

GSD 法を拡張し、把握面に基づいた作業の記述式から開発したロボットハンドを用いて把握作業を行った。今後の課題は、記述式からロボット自身が自律的に把握方法を判断し、運動を生成することである。そして、最終的に双腕ロボットシステムに本手法を適用し、作業を実現する。

参考文献

- 1) J. R. Napier: "The prehensile movements of the human hand," J. of Bone and Joint Surgery, vol. 38B, no. 4, pp. 902-913, 1956.
- 2) M. R. Cutkosky: "On grasp choice on grasp models and the design of hands for manufacturing tasks," IEEE Trans. Robot. Autom., vol. 5, no. 3, pp. 269-279, June. 1989.
- 3) 鎌倉矩子, 中田真由美, 山崎せつ子: "手の運動の基本パターン", 神経進歩, vol. 42, no. 1, pp. 7-16. 1998.
- 4) (2010, August. 24) Shadow robot company: the hand overview [Online]. Available: <http://www.shadowrobot.com/hand/>
- 5) H. Liu, J. Butterfass, S. Knoch, P. Meusel and G. Hizinger: "A new control strategy for DLR's multisensory articulated hand," IEEE Control. Syst. Mag., vol. 19, pp. 47-54, 1999.
- 6) 斎藤史倫, 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.
- 7) 横小路泰義: "テレオペレーションと VR から探るマニピュレーションの知", 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 105, no. 358, pp. 63-68, 2005.
- 8) T. Iberall: "The nature of human prehension: three dextrous hands in one," Proc. 1987 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 396-401, 1987.