

物体形状に対応する手の把持姿勢の生成手法

京田文人[†] 齋藤豪[†]

[†]東京工業大学 大学院 情報理工学系研究科

1 はじめに

人間らしい動作を自動生成することは、アニメーションの自動生成やヒューマノイドロボットの動作生成など、様々な応用分野において求められている。人間の手は非常に高い自由度を有しており、対象物を伴った様々な作業に用いられるため、特に動作の自動生成が困難な部位である。本稿では、物体を把持する手の姿勢を自動生成することを目的とする。

実際に取得した人間の把持姿勢データをまとめて低次元化して少数のパラメータで表し、その低次元化された空間内で最適化を行うことで把持姿勢を生成する手法 [1, 2] が提案されているが、人間の取り得る多様な把持姿勢を一括して低次元化すると、再現できない姿勢が生じてしまう。そこで、把持方法ごとにデータを取得し、物体形状に対して可能な把持方法による様々な姿勢を生成する手法を提案する。

2 把持分類

人間の把持には大きく分けて、握力把持と精密把持との2つに分けられる [3]。さらに、鎌倉 [4] は指の側面を用いる中間把持や、母指を用いない把持といったカテゴリも含め、日常的に用いられる把持のほとんどが含まれている把持分類を提案した。この分類法は4つのカテゴリで計14種類の把持方法から成っている。

物体を片手のみで安定して把持するためには、対象物を手の相対する2面以上で挟み込む必要がある。Iberall [5] は、相対する2面として使用する手の部位によって把持を分類した。精密把持は母指とその他の指の指先を用いる Pad Opposition、握力把持は手掌と指を用いる Palm Opposition、中間把持や内転把持は指の側面を用いるので Side Opposition となる。また、一つの面に対して複数の指を使用する場合もあるため、それらをまとめて仮想指 (Virtual Finger、以下 VF) として扱った。

著者ら [6] は、対象物の表面形状を図1のように分類し、対象形状と把持方法の対応付けを行った。例えば、握力把持標準型 (PoS) は図1(c)の形状に対して

表 1: 把持方法の分類

	VF1	VF2	VF3	Opp.	
PoS	P	2-5		Palm	Parallel
PoH	P	2-5		Palm	Parallel
PoI	P	3-5		Palm	Parallel
PoE	1	2-5		Pad	Parallel
Lat	1	2		Side	Pinch
Tpd	1	3	2	Side	Circular
Tpd V1	1	2-3	2	Side	Circular
Tpd V2	1	3-4	2	Side	Circular
Tpd V3	1	3	2	Side	Circular
PMF	1	2-5		Pad	Parallel
CMF	1	3-5	2-3	Pad	Circular
Tip	1	2		Pad	Pinch
PE	1	2-5		Pad	Parallel
Add	2	3		Side	Pinch

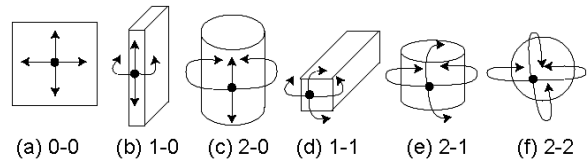


図 1: 表面形状の分類

は把持可能だが、図1(b)のように奥まで指が届かない形状に対しては不可能である。鎌倉の把持分類 [4] ではペンを持つ場合と印鑑を捺す場合の把持はどちらも三面把握 (Tpd) であるが、対象形状は前者が図1(c)であり、後者は図1(d)となる。そこで、後者の把持を異なる把持方法 (Tpd V3) として分離した。また、握力把持遠位型 (PoD) は対象物の凸包体を考えることで標準型 (PoS) として扱った。

本稿では新たに、この把持方法の分類と、Iberall の提案した仮想指の組み合わせを考える。各把持方法で仮想指として使用される指を表1に示す。ここで、手掌部を P、各指を母指から順に 1 から 5 の数字で表す。三面把持 (Tripod) や包囲軽屈曲把握 (CMF) では、2つの面に直交する第3の面も用いられる。

さらに、母指以外の指が平行に並ぶ Parallel 型、各指が外転位を取り物体を包み込む Circular 型、2本の指だけで挟む Pinch 型の3種の大分類も定義する。

3 把持姿勢データの取得

各把持方法における各指の姿勢は、対象物のサイズ、すなわち相対する面の間の距離によって決まる。そこで、様々なサイズの対象物に対する手の各関節角度をデータグローブを用いて取得する。対象物の形状としては、円柱、直方体、球体といったプリミティブを用い

Synthesis of Grasping Hand Postures Corresponding to the Object Shape

[†] Fumihito KYOTA

[†] Suguru SAITO

Graduate School of Information Science & Engineering, Tokyo Institute of Technology ([†])

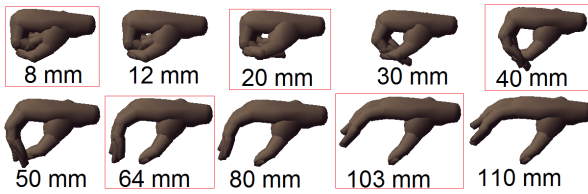


図 2: 様々なサイズに対応する把持姿勢 (PoS)。矩形内は計測された姿勢、それ以外は生成された姿勢。

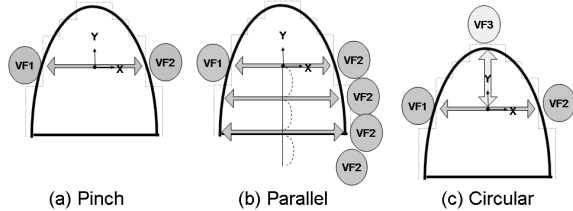


図 3: 指ごとの相対面間距離

た。得られた把持方法ごとのデータを各指ごとに PCA を用いて 1 次元に低次元化を行い、対象物のサイズと各指の姿勢とを対応させる。低次元化されたパラメータの補間によって生成した握力把握標準型 (PoS) の把持姿勢を図 2 に示す。

4 把持姿勢の生成

部分形状を図 1 の 6 種に分類するため、物体表面にランダムな点群を発生させ、各点における曲率の主方向に沿って指の長さだけ表面を辿っていく。図 1(a) 以外の形状に対して、物体形状の条件 [6] から各把持方法が可能であるかを判別する。

ここで検出された把持可能な位置に対して座標系を設定する。ここで、把持位置の周辺の点の重心を求めて座標原点とし、相反する 2 面の法線を X 軸、もう一つの主方向を Y 軸とする。この座標系に沿って物体をボクセル集合で表し、法線が $-X$, $+X$, $+Y$ 方向の 3 面にそれぞれ仮想指 VF1, VF2, VF3 を割り当て、各指ごとに相対面間距離を求める。

まず、Y 軸が 0 の位置における $-X$ 面と $+X$ 面の間の幅を求める。Pinch 型の場合は、2 本の指のみを用いるので、その幅を相対面間距離として用いる (図 3(a))。Parallel 型の場合は、その幅を母指および示指における相対面間距離とし、それ以外の指については $-Y$ 方向に指の太さの分ずつ移動させた箇所幅を用いる (図 3(b))。Circular 型の場合は、その幅を VF1 および VF2 における相対面間距離とし、VF3 については、原点から $+Y$ 方向の面までの Y 軸方向の長さを用いる (図 3(c))。この相対面間距離から、3 節で述べた手法を用いて各指の姿勢を生成する。

手の位置は、あらかじめ各把持方法において物体と接触する仮想指の代表点の位置を手の運動学モデル上に設定しておき、それらの位置を物体上の各方向の面

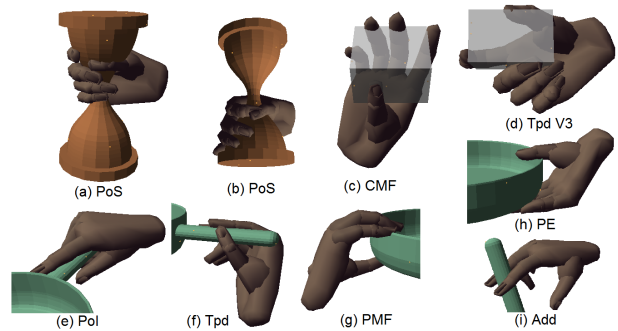


図 4: 把持姿勢の生成結果

の位置と合わせることで決定する。その後、物体上の点群と手の表面上の点群を用いて ICP アルゴリズム [7] を用いて位置の調整を行う。さらに、なるべく多くの点で接触するように各指の屈曲・伸展角度について再調整を行う。

5 結果

生成された把持姿勢を図 4 に示す。図 4(i) は Pinch 型、(c), (d) は Circular 型、それ以外は Parallel 型であり、把持位置の形状に応じて様々な把持姿勢を生成することができる。図 4(a), (b) のように各指の接触位置の幅が異なるような形状に対しても把持姿勢の生成が可能である。

6 まとめ

提案手法は、把持方法ごと、指ごとにデータを分割して低次元化することで、各把持方法の特性を維持しつつ、物体形状に対応した把持姿勢の生成が可能である。鎌倉の把持分類に無い特殊な把持、複数の把持方法が組み合わせられた把持や別の把持方法への持ち替えなどへの対応が今後の課題として挙げられる。また、最適な把持位置、把持方法を自動的に選択することができればさらに有用であろうと考えられる。

参考文献

- [1] H. B. Amor, G. Heumer, B. Jung and A. Vitzthum: "Grasp synthesis from low-dimensional probabilistic grasp models," Computer Animation and Virtual Worlds (CASA 2008 Special Issue), Vol. 19, No. 3-4, September 2008.
- [2] M. T. Ciocarlie and P. K. Allen: "Hand Posture Subspaces for Dexterous Robotic Grasping," The International Journal of Robotics Research, Vol. 28, No. 7, pp. 851-867, July 2009.
- [3] J. R. Napier: "The prehensile movements of the human hand", J. Bone and Joint Surgery, 38B(4), pp.902-913, 1956.
- [4] 鎌倉矩子: "手のかたち手のうごき", 医歯薬出版, 1989.
- [5] T. Iberall: "The Nature of Human Prehension: Three Dexterous Hands in One", IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation, pp.396-401, 1987.
- [6] F. Kyota, S. Saito, M. Nakajima: "An Automatic Synthesis of Hand Postures Based on the Grasp Taxonomy", Pacific Graphics 2009 Poster Sessions, 2009.
- [7] S. Rusinkiewicz, M. Levoy: "Efficient Variants of the ICP Algorithm", 3rd Int'l Conf. on 3D Digital Imaging and Modeling, pp.145-152, 2001.