

## CGにおける物体の把持後操作の自動生成に関する研究

浜田 和明<sup>†</sup> 京田 文人<sup>††</sup> 齋藤 豪<sup>†</sup><sup>†</sup>東京工業大学 大学院 情報理工学研究科 <sup>††</sup>シリコンスタジオ株式会社

## 1 はじめに

把持は物体を操作する上で最も基本となる動作であり、人間の動作を計算機上で再現する上で非常に重要である。しかし人間の手は20を超える高い自由度を有しているため把持姿勢に関する研究は多くあるが把持した後に対象物体に対して操作を行う把持後操作まで踏み入っている研究は少ない。

先行研究としてLiu[1]による初期姿勢と物体の軌跡を入力として与え内部トルクに基づき操作列を自動生成するというものがあるが、動作の生成には初期姿勢が必要となり、また動作自体も初期姿勢に依存している部分が多い。

そこで本研究では物体の操作方向と操作に用いる指および把持分類を入力として京田ら[2]の用いた把持分類に従って把持後操作を行うための初期把持姿勢を生成する。

## 2 手法の提案

人間の行う把持には、様々な種類があり、対象物の形状と作業目的によって使い分けている[3]。本研究では、各指を実際に物体に操作を行う操作指と操作に直接的には関わらないが物体の把持を行う把持指とに分離した上で姿勢の生成を行う。手首および把持指に対しては、京田ら[2]の用いた把持分類を元に把持姿勢を生成し、その後逆運動学を用いて操作指の姿勢決定を行う。

把持対象物体は、実際に操作が行われる部分である操作物体と非操作物体とに分けられる。

下記の情報をユーザからの入力として扱う。

- ・操作指      ・操作物体
- ・把持分類    ・操作方向 ( $\mathbf{v}_m$ )

操作指は母指・示指・中指・薬指・小指の5本のうち任意の本数の指を選択、把持分類は14種類[2]から1つを選択する。

## 2.1 把持指による把持姿勢の生成

京田らの手法[2]では把持分類と物体表面の1点を入力とし、各指毎に独立に関節角度データベースから関節角度を求めることにより高速な計算が可能である。

そこで、Turkの手法[4]を用いて物体表面(操作対象・非操作対象問わず物体全面)にランダム生成した点群のうち、式1の条件を満たすものを入力とし可能な把持姿勢を総当りで求める。

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 + (z - z_c)^2 < (L_o + L_h)^2 \quad (1)$$

ここで  $x, y, z$  はワールド座標における点の位置、 $x_c, y_c, z_c$  は操作物体のワールド座標における重心位置、 $L_o$  は操作物体内で重心位置から一番遠い点までの距離、 $L_h$  は手の手首から中指の先までの距離である。これは操作物体の重心を中心とした際に、手の届く最大の範囲を超えた位置にある点は考慮しないということである。

## 2.2 操作指の姿勢生成

前項で把持指の姿勢を生成したのち、操作指の姿勢を生成する。各操作指の根本の関節(母指の場合はCM関節、それ以外の指ではMP関節)の位置は把持姿勢が決定した段階ですでに固定される。そこで、その固定位置より到達可能な指先の範囲を順運動学によって求め、その範囲内の物体表面の点群を接触点候補とする。その後、その接触点に対する操作指の姿勢を逆運動学を用いて生成した上で、式2を適用し、得られたスコアの最も高かった点を接触点とし、関節角度を決定する。

$$score_i = k_1 * k_2 * k_3 \quad (2)$$

$$k_1 = 1 - \frac{1}{2}(\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{v}_m + 1)$$

$$k_2 = 1 - \frac{|a_1 - a_2|}{\max(|a_{1ax} - a_{2in}|, |a_{1in} - a_{2ax}|)}$$

$$k_3 = 1 - \frac{\mathbf{p}_i \cdot \mathbf{v}_m - l_{min}}{l_{max} - l_{min}}$$

ここで添字  $i$  は各接触点候補の番号、 $\mathbf{n}_i$  は接触点候補の法線ベクトル、 $\mathbf{v}_m$  は入力として与えられた操作物体の移動方向ベクトル、 $\mathbf{p}_i$  は接触点候補の位置ベクトル、 $a_1, a_2$  はそれぞれ指のDIP関節、PIP関節(母指の場合はIP関節とMP関節)の関節角度、 $l_{min}, l_{max}$  はそれぞれ接触点候補の位置ベクトルにおける  $\mathbf{v}_m$  方向成分の最小のものと最大のものである。各  $k$  は値が  $[0, 1]$  の範囲に収まるように正規化しており、 $k_1$  は物体表面に対する操作方向への操作のしやすさで操作方向と逆の法線を持つものがスコアが高くなるようになっている、 $k_2$  は指の関節角にバラつきがないほうがスコアが高くなるようになっており、 $k_3$  は接触点候補のう

Research on Generating of Hand Motion of Object Manipulation after Grasping in Computer Graphics

<sup>†</sup> Kazuaki HAMADA

<sup>††</sup> Fumihito KYOTA

<sup>†</sup> Suguru SAITO

Graduate School of Information Science & Engineering, Tokyo Institute of Technology (<sup>†</sup>)  
Silicon Studio Corporation (<sup>††</sup>)

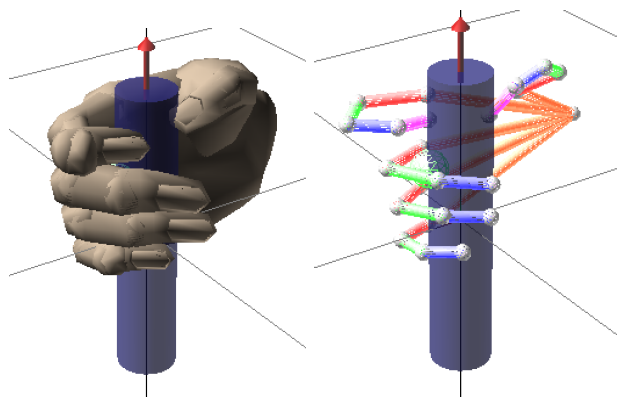


図 1: 示指と母指の 2 本を操作指としたときの初期姿勢、操作方向は上方向

ち操作方向に対して逆方向にある点、すなわち操作方向へ指が動く余裕があるほうがスコアが高くなる。

### 3 結果

操作指を示指と母指の 2 本に設定し、操作方向を上方向とした際の把持後操作姿勢の様子を図 1 に示す。図 2 は操作物体を円柱上部、操作指を母指のみとし操作物体を赤い矢印の方向に操作しようとした際の生成される手の初期姿勢の様子である。操作方向に合わせて操作指が配置されているのが見てわかる。ただし、操作が現実的に可能であるかを自動的に判定することは行っていない。

### 4 今後の課題

本稿では、物体の把持姿勢を自動的に生成した後、操作を行う指の姿勢を操作方向に合わせて生成する手法を提案した。今後の課題としては、操作の実現性を自動的に判定し、操作を行う動作列の生成することが挙げられる。

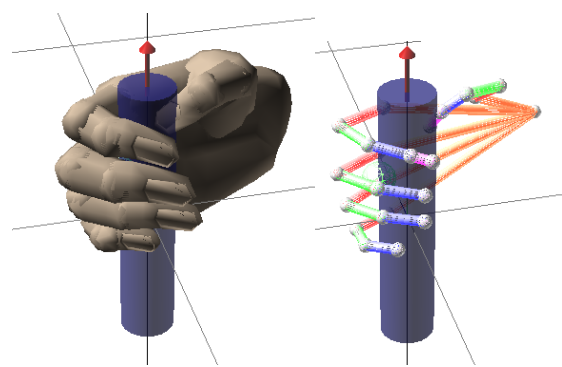
### 参考文献

[1] C.K. Liu. Dexterous manipulation from a grasping pose. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 28, No. 3, p. 59, 2009.

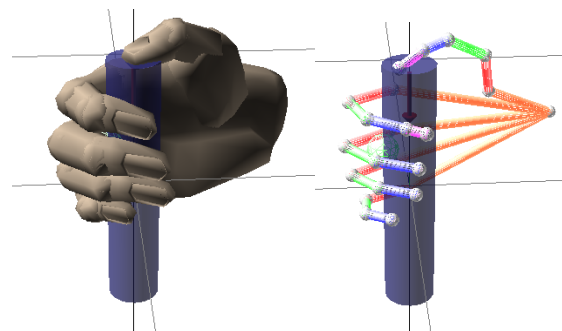
[2] Fumihito Kyota and Suguru Saito. Fast grasp synthesis for various shaped object. *Computer Graphics Forum (EUROGRAPHICS 2012)*, Vol. 31, No. 2, pp. 765–774, 2012.

[3] 鎌倉矩子. 手のかたち手のうごき. 医歯薬出版, 1989.

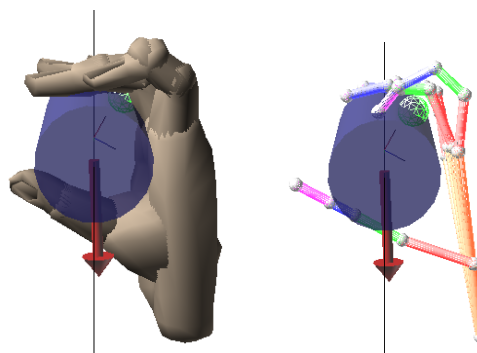
[4] G. Turk. Generating random points in triangles. In *Graphics gems*, pp. 24–28. Academic Press Professional, Inc., 1990.



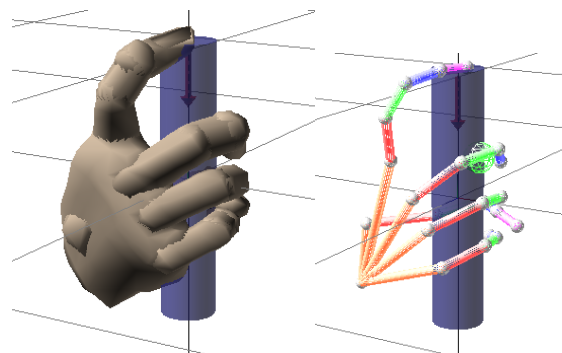
(a) 上方向



(b) 下方向



(c) より大きな円柱



(d) 異なる把持分類

図 2: 物体先端を操作しようとした際の生成される手の初期姿勢、操作指はいずれも母指、赤い矢印が操作方向