

CGにおける物体の把持後操作のための初期姿勢生成

浜田 和明[†] 齋藤 豪^{††}[†]東京工業大学 ^{††}お茶の水女子大学 / 東京工業大学

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。

Liuの研究[1]では把持の初期姿勢と物体の軌跡を入力として与えることで物体の軌跡に合わせた手の動きを生成することができるが、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。京田らの研究[2]では任意の物体形状に対して様々な把持姿勢を生成することができるが、その物体に操作を加えるということまでは考慮していない。

そこで本研究では把持後操作を行うための初期姿勢を生成する手法を提案する。本手法では片手による物体の把持とその操作のための初期姿勢を対象とする。

2 提案手法

本手法では指を物体の把持に關与する把持指と物体の操作に關与する操作指とに分けて姿勢の生成を行う。下記項目を入力とする。

- 対象物体
- 操作指
- 把持位置
- 操作対象の軌跡
- 把持分類

最終的な把持姿勢は目的関数を下記(式1)のように定義し、リアルタイムで把持姿勢の制御を行うZhaoら[3]の研究でも用いられている粒子群最適化(Particle Swarm Optimization, PSO)[4]を用いて最適化問題として解くことにより得る。粒子の位置ベクトルを各関節角度と手首の位置・方向とし、式1の目的関数へと用いる。粒子群最適化はサンプリングベースの最適化手法であり、目的関数が微分可能である必要性がない、処理の並列化が容易である、微分ベースの手法と違って複数の最終結果を出力できる等の利点がある。

Generation of initial grasping poses for single hand manipulation

[†] Kazuaki HAMADA

^{††} Suguru SAITO

Tokyo Institute of Technology ([†])

Ochanomizu University / Tokyo Institute of Technology (^{††})

$$\min w_h E_h(\mathbf{p}, \mathbf{f}_h, c) + w_c E_c(\mathbf{p}, \mathbf{f}_m) + w_d E_d(\mathbf{p}, \mathbf{f}_m) + w_k E_k(\mathbf{p}) \quad (1)$$

E_h , E_c , E_d , E_k は各々姿勢を制御するための制約項で、後に詳細に説明する。 $\mathbf{p} = P(\mathbf{r}, \mathbf{a})$ は把持姿勢、 \mathbf{r} は手首の位置と方向、 \mathbf{a} は関節角度ベクトルを表し、 \mathbf{f}_m は操作指集合、 \mathbf{f}_h は把持指集合、 c は把持分類、 w は各項の重みを示す。

把持指項

把持項は次の式で表される。

$$E_h = \frac{1}{N_h} \sum_{i \in \mathbf{f}_h} \| \mathbf{K}_i(c) - \mathbf{a}_i \| \quad (2)$$

N_h は把持指の数、 \mathbf{K}_i は手首位置 \mathbf{r} における把持分類 c での京田ら[2]の手法を用いた際の把持姿勢の指 i における関節角度、 \mathbf{a}_i は指 i における与えられた関節角度である。

接触項

接触項は次の式で表される。

$$E_d = \frac{1}{N_m} \sum_{i \in \mathbf{f}_m} \| \mathbf{F}_i(\mathbf{p}) - \mathbf{C}_i \| \quad (3)$$

N_m は操作指の数、 \mathbf{f}_m は操作指の集合、 \mathbf{F}_i は順運動学による指 i における先端位置、 \mathbf{C}_i は指 i の先端位置に最も近い物体表面上の点である。

衝突項

衝突項は次の式で表される。

$$E_k = \begin{cases} 0 & (\text{if no penetration}) \\ d & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (4)$$

貫通していなければ0、していれば大きい値を与える。

操作可能性項

把持姿勢が与えられた物体操作を実行可能か判断する項である。

把持後操作のための初期姿勢を作るにあたって、生成した姿勢が与えられた操作を完了出来るかどうかの判断が必要となる。図1は操作不可能な場合の例であ

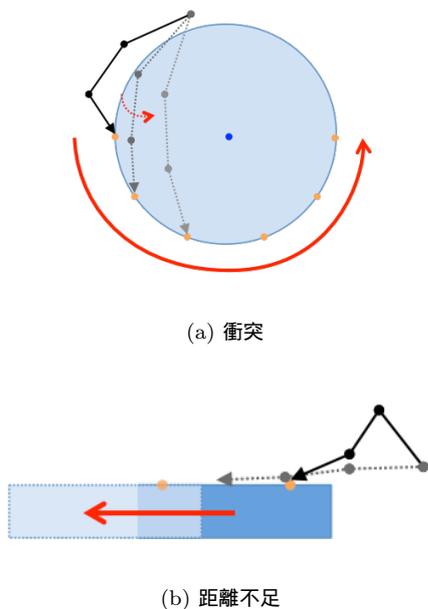


図 1: 操作不可能パターン

る。青い線が回転軸、赤い線が操作方向、オレンジ色の点が接触点の推移、黒矢印が操作指となっている。操作が不可能になるのはこの2パターンと定義する。

衝突を考慮した到達可能領域

操作可能性を判定するために衝突を考慮した到達可能領域をボクセルを用いて作成する。

まずはじめに、順運動学を用いて指先の到達可能領域を計算する。この際ボクセルデータとして指先の場所だけでなく、指全体が占めていた空間も指先位置の情報と関連付けて保存する。

次に対象物体と先に計算した指の占める領域が衝突するような指先位置情報を到達可能領域から削除する。最終的に残った指先位置情報の集合が衝突を考慮した到達可能領域となる。

上記を利用し接触点の軌跡が全て到達可能領域に含まれていれば操作可能と判断する。これを用いて操作可能性項を下記のように定義する。

$$E_c = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i(\mathbf{p}, \mathbf{f}_m, R_{i-1}) \quad (5)$$

$$R_i(\mathbf{p}, \mathbf{f}, r) = \begin{cases} 0 & (r = 0) \\ b_i(\mathbf{p}, \mathbf{f}) & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (6)$$

N は操作部位の軌跡のキーフレーム数、 b はキーフレーム i における接触点が到達可能領域に入っていれば1、そうでなければ0を返す関数である。到達可能なキーフレームが増えるほど値が低くなるような式となっている。

図2に生成結果の1例を示す。

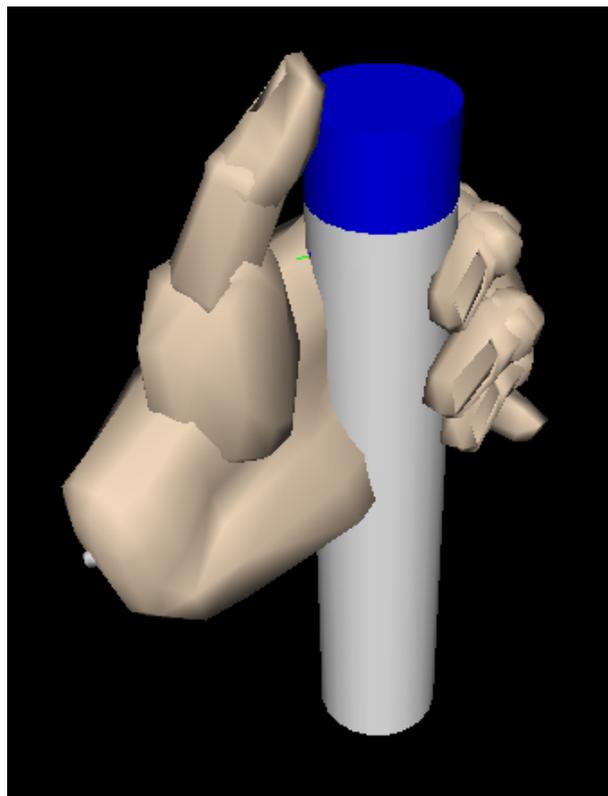


図 2: シリンダー上部 (青色部分) の押下把持姿勢

3 今後の課題

今後の課題としては今回の初期姿勢を基にした操作アニメーションの作成や、両手を用いた把持姿勢の生成などが挙げられる。

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] Zhao Wenping, Zhang Jianjie, Min Jianyuan, and Jinxiang Chai. Robust realtime physics-based motion control for human grasping. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 32, , 2013.
- [4] Maurice Clerc and James Kennedy. The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, Vol. 6, No. 1, pp. 58–73, 2002.