

データグローブによる自然な把持姿勢の学習及び摩擦を考慮した把持姿勢の評価

渡部 智之¹ 京田 文人² 齋藤 豪² 中嶋 正之^{2,3}

¹ 東京工業大学 工学部

² 東京工業大学 大学院 情報理工学研究科

³ 国立情報学研究所

1 はじめに

人型キャラクターのアニメーションの開発において、人間らしい動作を行わせることは非常に大きなテーマである。人型キャラクターが物体をつかむという動作を生成する際、人間の手の構造、柔軟性に基づくモデリングが必要となる。また、安定した把持姿勢を学習させる際、把持の安定性を評価する必要がある。

ロボットハンドにおける把持の手法 [1] があるが、人間の手は柔軟性に富み、過剰な力を発揮せず安定した把持が可能である。また把持力は物体の形状や把持姿勢によって異なる。そこで本稿では、人間の手を擬似的に表現した手のモデルを作成し、そのモデルを用い、把持の安定性を評価する手法について述べる。

2 手のモデリング

2.1 手の骨格モデル

手のモデルの骨格モデルを図 1 左に示す。各関節の自由度は図 1 左に示すように定め、黒色で表された点は自由度は 2 であり、白色で表された点は自由度 1 である。手全体の自由度を 23 と定める。関節間の長さは手を様々な角度からデジタルカメラから撮影し、その画像から推定する。撮影対象と同じ手をモデルとして文献 [2] に基づき関節可動域を決定した。

2.2 仮想球による柔軟性の表現

人間の手は骨のみで構成されているわけではないので剛体ではなく柔軟性を持ち、その柔軟性により安定した把持が可能となる。有限要素法を用いた皮膚の変形手法は検討を行なったが、シミュレーションに計算時間がかかるため本稿では採用しない。かわりに柔軟性を擬似的に表現するために、図 1 右に示すように、指の腹、手のひらに仮想バネを内部に持つ仮想球を 20 個設置し、球と物体の交わった深さにより垂直抗力に変化を与えることにする。ただし本研究では精密把持の評価のみを行なっているため、柔軟性についての手のモデル化については使用していない。

3 把持力の測定

人間の把持力には限界があり、その把持力は対象物の形状、また把持姿勢によっても異なっている。そこで、この章では数種類の物体、把持姿勢に対し、それぞれの最大把持力を実験により求める。実験は最大静止摩擦係数の計測、最大把持力の計測を行なう。

Learning Natural Grasping Posture and its Stability Evaluation

Tomoyuki WATABE¹, Fumihito KYOTA², Suguru SAITO², and Masayuki NAKAJIMA^{2,3}

¹School of Engineering, Tokyo Institute of Technology

²Graduate School of Information Science & Engineering, Tokyo Institute of Technology

³National Institute of Informatics

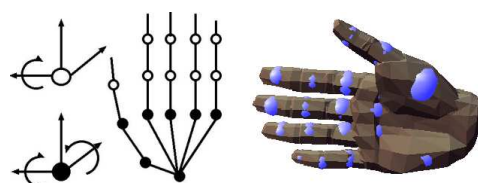


図 1: 左:手の骨格モデル 右:仮想球の設置

3.1 最大静止摩擦係数の計測

数種類の物体と手との最大静止摩擦係数の計測を行なう。図 2 左に示すように、手のひらに物体を載せ、手をゆっくり動かし、物体が滑り出した瞬間の値を手秤の置き針の位置から読み取る。

3.2 最大把持力の計測

直径が 20, 30, 40, 50, 60mm の円柱を用意し、各指の指先の把持力の計測を行なう。親指を除く 4 本の指の把持力の計測では、把持力を求める指と親指とで円柱を把持し計測する。親指の把持力の計測では、5 本の指で把持し計測する。最大把持力を計測するため、手は常に最大の力を発揮した状態を保つ。図 2 右に示すように、少しずつ円柱を上へ力を加えていき、円柱が滑り出す瞬間の値を、手秤の置き針の位置から読みとり、先に求めた最大静止摩擦係数から最大把持力を求める。円柱を対象に各指先の把持力を 20 回ずつ計測した結果を図 3 に示す。小指を除く 4 本の指の最大把持力は同様な分布となっており、直径 50mm の円柱での把持時に最も高いことが分かる。

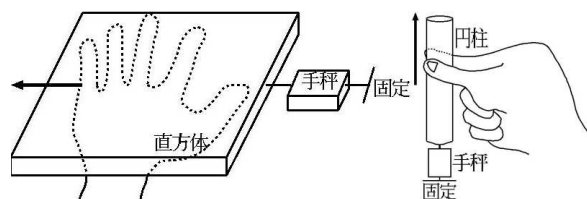


図 2: 実験装置

4 把持安定性の評価

本節では各指先の最大把持力を計測した手のモデルを用い、二つの安定性の評価基準を用いて、把持の評価を行なう手法を述べる。

4.1 摩擦錐による接触の解析

仮想球と物体の接触点における垂直抗力ベクトルを $f^\perp$ とする。最大静止摩擦係数によって静止が保障される接触力の集合は、図 4 左のように、これを軸とする軸と稜線のなす角が $\tan^{-1}\mu_s$ の円錐になる。 μ_s は最大静止摩擦係数である。

ここで、全接触点での接触によって物体に作用する力とモーメントの空間 (GraspWrenchSpace) を構築

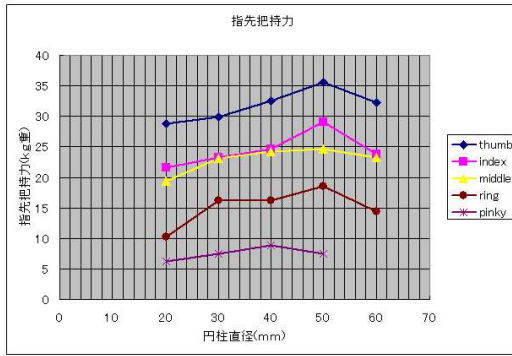


図 3: 把持力の計測結果

するために、図 4 右のように、摩擦錐を凸多角錐に近似する。凸多角錐を用いて、物体から受ける力 $\mathbf{f}$ は式 (1) で与えられる。ここで x はその接触点における最大把持力である。

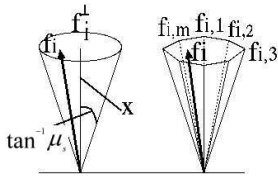


図 4: 左：摩擦錐 右：凸多角錐

$$\mathbf{f}_i = \sum_{j=1}^m \alpha_{i,j} \mathbf{f}_{i,j}, \alpha_{i,j} \geq 0, \sum_{j=1}^m \alpha_{i,j} = x \quad (1)$$

4.2 GraspWrenchSpace の構築

各接触点 i での摩擦錐を凸多角錐に近似した後、その接触点において物体に作用する力とモーメントの空間を構築する。

$$\mathbf{w}_{i,j} = \begin{pmatrix} \mathbf{f}_{i,j} \\ \lambda(\mathbf{d}_i \times \mathbf{f}_{i,j}) \end{pmatrix}, \lambda = \frac{1}{r} \quad (2)$$

$\mathbf{f}_{i,j}$ は接触点 i における凸多角錐の稜線であり、 $\mathbf{d}_i$ はモーメントの中心から接触点 i までのベクトルである。また r は $\mathbf{d}_i$ の最大値であり、このような λ をとることにより、把持の評価が物体の大きさに依存しないことが保証される。文献 [3] では、各接触点において物体に作用する力とモーメントの空間から *GraspWrenchSpace* を構成する二つの手法について提案している。一つは全ての接触点での垂直効力の大きさに制限を設け、もう一つは各接触点での垂直効力の大きさに制限を設ける。本研究では、指先毎に垂直効力の大きさに制限を設けているため二つの手法を採用する。いずれの手法も *GraspWrenchSpace* W を *ConvexHull* の *Minkowski sum* を用いて構成する。

$$W = \text{ConvexHull}(\bigoplus_{i=1}^n \mathbf{w}_{i,1}, \dots, \mathbf{w}_{i,m}) \quad (3)$$

4.3 GraspWrenchSpace の中心からの最小距離による評価

把持安定性の評価の一つの基準として、*GraspWrenchSpace* の中心 $(0,0,0,0,0,0)$ から *ConvexHull* の境界面までの最小距離 ϵ を用いる。これは任意の方向からくる外力に対する安定性を評価する。*GraspWrenchSpace* の中心が *ConvexHull* に含まれない場合、その把持はある方向の外力に全く抗することができないため、不安定な把持とみなす。

4.4 ConvexHull の体積による評価

ϵ はモーメントの中心の選び方により不変な評価基準でなくなってしまうという欠点がある。そこで、もう一つの評価の基準として *ConvexHull* の体積 v を用いる。これはモーメントの中心の選び方によらず不変な評価基準となる。

4.5 結果

v と ϵ を用いて評価を行なった結果を示す。図中で接触点では凸多角錐の稜線を表示している。

図 5 では円柱の側面に互いに反対方向に垂直効力がかかる様に指を配置し、図 6 では垂直効力が偏る様に指を配置した。その結果 ϵ の値より、図 5 では任意の方向の外力にある程度抗することができるが、図 6 ではある方向の外力に抗することができず不安定な把持であることが示された。

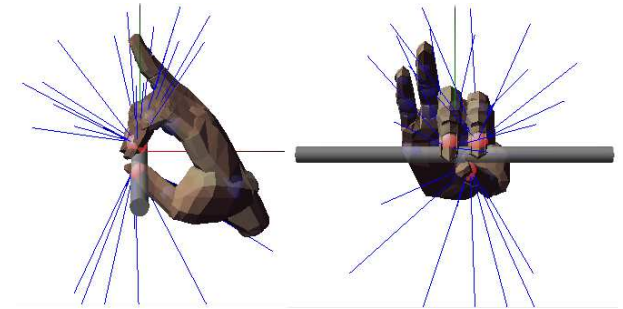


図 5: 親指, 人差指, 中指での把持 (20mm 円柱)

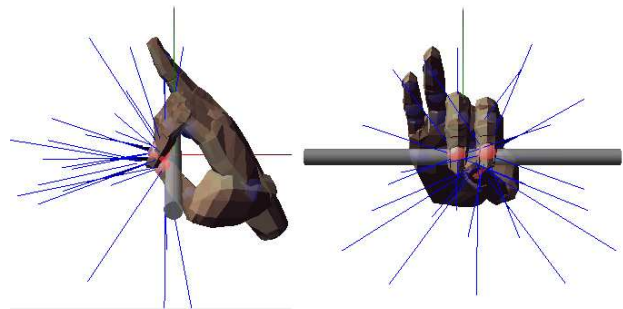


図 6: 親指, 人差指, 中指での把持 (20mm 円柱)

把持安定性の評価の結果例		
	<i>totalvolume</i> $v(N^3)$	<i>minimumdistance</i> $\epsilon(N)$
図 5	9985.1069	0.37708679
図 6	9059.0725	不安定な把持

5 おわりに

本稿では、手の柔軟性を擬似的に表現した手のモデルを作成し、また手の把持力を測定し、二つの評価基準により把持安定性を評価する手法を述べた。

今後は、握力把持についての安定性の評価を行なうことを目標にする。最後に本研究を進めるにあたり、把持力の計測について貴重なご意見を頂きました精密工学研究所の小池康晴助教授に深く感謝致します。

参考文献

- [1] Andrew T. Miller: "GraspIt!: A Versatile Simulator for Robotics Grasping", *Ph.D. Thesis, Department of Computer Science, Columbia University, June 2001*
- [2] Cynthia C. Norkin, D. Joyce White/著 木村哲彦/訳: "関節可動域測定法 改定第二版", 協同医書出版社 2002
- [3] C. Ferrari and J.Canny: "Planning optimal grasps", *In Proc. of the 1992 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pages 2290-2295, 1992*