

物体を把持する上肢の姿勢生成手法

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

人間らしい姿勢を生成することは、キャラクタ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。とりわけ上肢は、把持をはじめとして様々な作業に用いられるため重要な部位である。しかし、上肢の持つ高い自由度を制御し、自然な把持姿勢を生成することは困難である。

そこで、対象物の形状およびその位置から、様々な把持方法により把持を行う上肢の姿勢を生成する手法を提案する。

2 把持候補の生成

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 [1]。筆者らは、これらの多様な把持方法による手の把持姿勢を生成する手法を提案した [2]。このシステムにおいて、ユーザは把持位置と把持方法を指定することができ、指定された把持位置における手の把持姿勢がリアルタイムに生成される。本稿では、このシステムによって生成された手の把持姿勢を、上肢の把持姿勢生成のための候補として用いる。

ユーザが指定した把持位置に対して、手の方向を変更して複数の把持姿勢を生成し、把持候補とする。手の方向はローカル座標系の設定によって規定され、Z軸の正の方向に手首が、X軸の両側にそれぞれの指が配置される。そこで、図1に示すように、Y軸もしくはZ軸回りに回転させたローカル座標系を設定し、それぞれについて手の把持姿勢を生成する。そして、それぞれの把持候補の手の位置に対して、その位置に到達する腕部の姿勢を生成する。

3 腕部の逆運動学

腕部の関節の合計自由度は7であるため、手の位置6次元に対して冗長な1自由度が存在する。これにより、肩と手首の関節の位置を固定した上で、肘の関節の位置が円を描くように回転することができる。すなわち、旋回角度 ϕ を与えることで、腕部の関節角度 $\mathbf{v} = (v_0, \dots, v_6)^T$ を解析的に求めることができる [3]。

4 姿勢の自然さの評価

関節角度を決定するためには余分の1自由度、旋回角度 ϕ を与える必要がある。そこで、関節角度から姿勢の自然さを評価する関数を導入し、最も自然な姿勢となるとき ϕ を求める。姿勢の自然さの評価関数として、Marlerら [4] による評価基準と、安田ら [5, 6] による関節可動域推定を併用する。

まず、基準となる安静時の関節角度 $v_i^{Neutral}$ をあらかじめ定め、その角度から離れるほどに大きくなる評

価関数を関節ごとの重み w_i 付きの和で定義する。

$$f_{displacement}(\mathbf{v}) = \sum_i w_i (v_i - v_i^{Neutral})^2 \quad (1)$$

次に、各リンクの位置ポテンシャルエネルギーの差による評価関数を定義する。位置ポテンシャルエネルギーは、腕を真下にぶら下げた姿勢に置ける各部位 l の高さの差 Δh_l を用いて計算する。

$$f_{potential}(\mathbf{v}) = \sum_l (P_l - P_l')^2 \quad (2)$$

$$= \sum_l (m_l \cdot g)^2 (\Delta h_l)^2 \quad (3)$$

ここで、 m_l はその部位の質量、 g は重力加速度である。さらに、可動域の上限および下限をそれぞれ v_i^{Upper}, v_i^{Lower} とし、各関節が可動域限界に近づいたときに急激に増加する評価関数を定義する。

$$f_{discomfort}(\mathbf{v}) = \sum_i \gamma_i (\Delta v_i^{norm}) + G \cdot QU_i + G \cdot QL_i \quad (4)$$

$$\Delta v_i^{norm} = \frac{v_i - v_i^{Neutral}}{v_i^{Upper} - v_i^{Lower}}$$

$$QU_i = \left[0.5 \cos \left(5 \frac{v_i^{Upper} - q_i}{v_i^{Upper} - v_i^{Lower}} \pi \right) + 1 \right]^n$$

$$QL_i = \left[0.5 \cos \left(5 \frac{v_i - q_i^{Lower}}{v_i^{Upper} - v_i^{Lower}} \pi \right) + 1 \right]^n$$

ここで、 $G = 0.01, n = 10$ とした。

関節可動域は、日本リハビリテーション医学会 [7] の参考値を用いたが、個人差が大きく、また、肩のように自由度の高い関節の場合、基準面に対するオイラー角のみでは関節可動域を十分に表現することが出来ない。そこで、実際に計測されたモーションデータから確率密度の分布を求めることで、関節可動域を推定する手法 [5, 6] が提案されている。本稿では、データから推定された各関節 j の確率密度分布 pdf_j の逆数を姿勢の自然さの評価に加える。

$$f_{pdf}(\mathbf{v}) = \sum_j \max \left(\frac{1}{pdf_j(\mathbf{v}) \cdot 100}, 100 \right) \quad (5)$$

これらの評価関数の和を総合的な評価結果とする。

5 把持の選択

評価結果を最小とする旋回角度 ϕ を黄金分割法によって決定することで、上肢の把持姿勢を生成する。すべての把持候補に対して上肢の姿勢生成を行い、評価結果が最も小さな候補を最適な把持姿勢とする。

6 結果

図2に腕部の姿勢の最適化結果を示す。(a)Marlerら [4] による3つの評価関数のみを用いた場合、(b)確

Synthesis of Grasping Postures of Human Upper Limb

† Fumihito KYOTA

† Suguru SAITO

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



図 1: ローカル座標系の回転

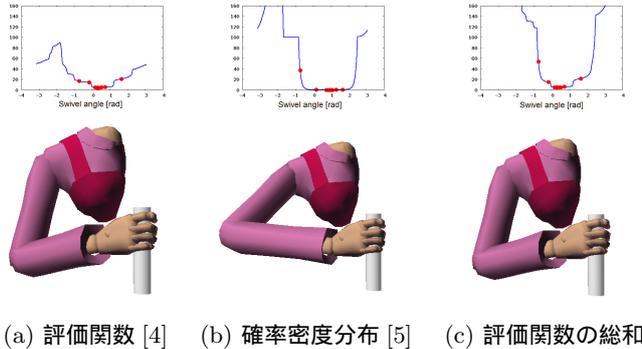


図 2: 腕部の姿勢の最適化結果の比較

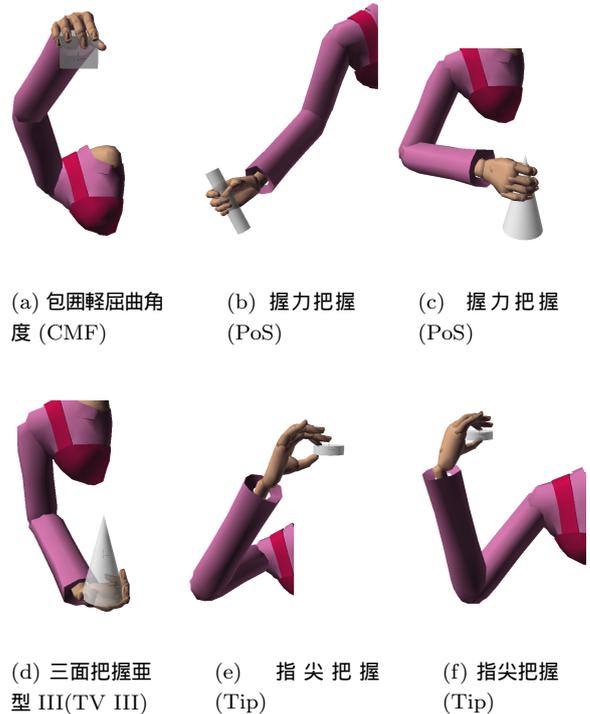


図 4: 上肢の把持姿勢の生成結果

率密度分布 [5] による評価関数のみを用いた場合、(c)4つの評価関数をすべて用いた場合の評価関数の値と旋回角度の関係を図上段のグラフに示し、最適化結果の把持姿勢を示す。グラフには、黄金分割法の反復過程を赤の点プロットしている。(a)の場合、単峰性が保証されていないため、黄金分割法では最適解を求められない場合がある。(b)の場合、あらゆる姿勢を含むように入念に運動を行ったデータを基に関節可動域推定を行っているため、確率密度の高い姿勢が必ずしも自然な姿勢とは限らない。(c)では、4つの評価関数の和をとることで、自然な姿勢を少ない反復回数で計算することが可能となっている。

図 3 に Y 軸回りに回転させた把持候補に対する上肢の把持姿勢の生成結果を示す。把持方向の回転に伴い、腕の姿勢が自然に変化していることが分かる。

図 4 に上肢の把持姿勢の生成結果を示す。胴体と対象物体との位置関係に応じて、様々な把持方法 [2] による自然な上肢の把持姿勢が生成できていることが分かる。

7 まとめ

本稿では、腕部の姿勢の最適化を行うことで、上肢の把持姿勢を生成する手法を提案した。姿勢の自然さの評価として、オイラー角により定義された関節可動域を用いた評価関数に加えて、データの確率密度から推定された関節可動域を用いた評価関数を用いた。



図 3: 把持位置の回転に対する姿勢生成結果

ユーザが指定した把持位置に対して複数の把持候補を生成し、それぞれに対する腕部の姿勢を評価することで、胴体と対象物体との位置関係に応じた自然な上肢の姿勢が容易に生成することを可能とした。

今後の課題として、評価関数の組み合わせ方のさらなる検討や実際の把持姿勢との比較などが挙げられる。

参考文献

- [1] 鎌倉矩子. 手のかたち 手のうごき. 医歯薬出版, Tokyo, Japan, 1989.
- [2] 京田文人 and 齋藤豪. 対象物の形状に対応した多様な把持姿勢の自動生成. In *VC/GCAD 合同シンポジウム 2011*, 2011.
- [3] Marcelo Kallmann. Analytical inverse kinematics with body posture control. *Computer Animation and Virtual Worlds (CAVW)*, 19(2):79–91, 2008.
- [4] R. Timothy Marler, Jasbir S. Arora, Jingzhou Yang, Hyung-Joo Kim, and Karim Abdel-Malek. Use of multi-objective optimization for digital human posture prediction. *Engineering Optimization*, 41(10):925–943, 2009.
- [5] Hiroshi Yasuda, Suguru Saito, and Masayuki Nakajima. Range of motion estimation from mocap data. In *Proceedings of the 2005 International Conference on Cyberworlds*, pages 483–489, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society.
- [6] 安田浩志, 齋藤豪, and 中嶋正之. モーションキャプチャによる球関節人体モデルの関節可動域決定. *電子情報通信学会論文誌 D*, J92-D(2):255–261, 2009.
- [7] 日本リハビリテーション医学会評価基準委員会 and 日本整形外科学会身体障害委員会. 関節可動域表示ならびに測定法 (平成 7 年 4 月改訂). *The Japanese journal of rehabilitation medicine*, 32(4):p207–217, 1995-04.