

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 3月31日現在

機関番号：82626
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2011～2012
課題番号：23700242
研究課題名（和文） 系統的な接触状態制御による把持姿勢データベース構築と手姿勢生成
研究課題名（英文） Building a human grasp database by systematically controlling contact state
研究代表者 宮田 なつき（MIYATA NATSUKI） 産業技術総合研究所・デジタルヒューマン工学研究センター・主任研究員 研究者番号：90344225

研究成果の概要（和文）：

本研究では、未知の物体の把持姿勢を生成するため、網羅性が高く規模は小さい把持姿勢データベースの構築手法と、それを利用した姿勢生成手法を提案した。一般的な把持分類を参考に、物体と接触する手上的領域の使い方を整理し、関節可動域内で分布する姿勢を収集した。また、手のどの領域で物体のどこを把持するかを指定することで、関連する姿勢を抽出、接触する領域間距離で重みを求め、最適化により最終姿勢を求めた。

研究成果の概要（英文）：

This paper proposed a novel approach to build a human grasp database considering contact region for grasping posture synthesis. To cover all types of usage of the hand surface regions to contact an object when grasping, a grasp taxonomy by Feix et al. was extended. For each pattern of region usage, we collected several posture variations that differ in distance among the regions. In total, 801 postures were collected for 107 patterns of region usage. A posture to grasp a new object was generated by interpolation with optimization-based adjustment using the proposed database given a goal contact state of the hand with the object.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：デジタルヒューマンモデル

1. 研究開始当初の背景

人の手の計算機モデルによって、設計した製品を使う様子を推定し使い勝手を評価することができれば、いろいろな大きさの手の人が使いやすい製品を作る助けとなる。そのためにはまず、設計した新しい製品を把持する姿勢を生成して提示できることが重要である。しかし、人の手は自由度が高く、自然な姿勢を推定することは簡単ではない。

把持姿勢を、参照データをまったく用いずモデルベースに推定する手法も試みられているが、人らしさを反映しながら多様な物体に適用可能な手法は現在のところ確立されていない。これに対し、種々の物体（日用品など）を把持する人の姿勢をデータベースとして参照することで、比較的安定して人らしい姿勢を推定可能な手法が提案されている[1][2]。この場合、新たな物体に対して推

定される姿勢の妥当性は、データベースのカバーする範囲に入っているかどうかによって依存するため、データベースの単位である“物体”がうまく選択されている必要がある。しかし、各物体に対応する把持姿勢は、その形状や属性などに影響を受ける（いわゆる“アフォーダンス”の要素がある）ため、含まれる姿勢や接触状態を物体の種類で直接的に制御することは困難であり、実際、どのようにデータベースを構築すべきかについては何ら指針が示されていない。

ここで、把持状態が成立するには、手が動ける範囲内で手と物体との接触領域が適切に定めればよい。すなわち、人間の把持データベースとしては、ありうる種々の接触領域パターンに対応する姿勢が、手の動ける範囲内で適切な数だけ含まれていればよいと言える。

2. 研究の目的

そこで本研究では、手が物体と接する接触領域のパターンに着目して把持姿勢データベースを構築し、これを用いて新たな物体の把持姿勢を生成することを目指した。手上的接触領域のパターンは、対向する親指と他の指など、把持の成立しうる手の部位同士のあらゆる組み合わせで与えられるが、手表面を有限個の領域に分割して扱うことで、パターンも有限個となる。また、人間の手の関節は、他の関節と連動しながら一定の範囲しか動けないため、接触領域を決めれば、接触される物体側の面の位置と向きは制限される。そのため、(1) 関節同士の連動性を考慮した可動域モデル化、(2) 接触領域パターンの分析に基づく把持姿勢データベースの構築、(3) 把持姿勢データベースを用いた姿勢生成手法の構築、を行うこととする。以下それぞれについて、方法と成果の概要を示す。

3. 研究の方法

(1) 関節同士の連動性を考慮した可動域モデル化

把持姿勢を系統的に制御するために必要な、手指関節の動きうる範囲（関節可動領域）のモデル化を行う。従来は、関節ごとに独立に、最大伸展角度や最大屈曲角度といった限界姿勢角度を計測し、二つの値に挟まれた領域を関節可動領域としていた。しかし実際には、隣り合う関節は連動しており、すべての関節の姿勢を独立に制御することはできないため、真に動きうる領域を知りたいければ、このような連動関係を含めた関節可動領域の表現方法が必要となる。手がとりうるあらゆる姿勢を計測することができるかと仮定すると、そのあらゆる姿勢データの集合が関節可動領域を形成する。各手姿勢データは30個近い姿勢変数で表現されることから、すべ

ての関節の連動性を一度にまとめて表現することは難しい。そこで、図1に示すように、あらゆる二つの姿勢変数の組み合わせの集合体として表現することにした。各組み合わせでは、計測された姿勢データは二つの姿勢変数のなす2次元平面内の点として表現され、互いの連動関係が強ければ、平面内の限られた場所のみ点データが存在し、連動関係が弱ければ、各軸の最大値と最小値で囲まれた矩形領域内全域に点データが散在することになる。そこで、姿勢データの存在する領域をアルファ Hull を用いて表現し、連動を考慮した関節可動領域の表現とすることを提案した（図2）。

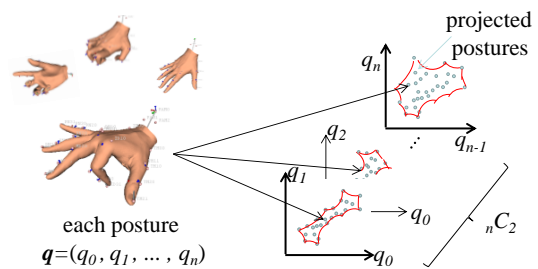


図1 連動を考慮した可動領域モデル化の概念

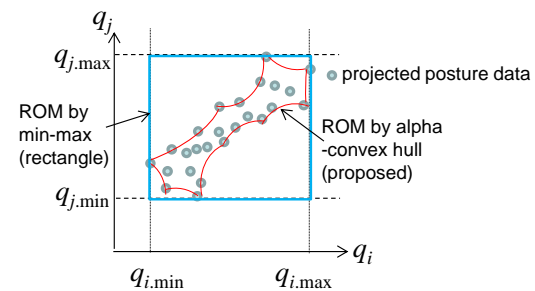


図2 連動を考慮した可動領域モデル（提案モデル）と従来の最大最小関節角度モデルの比較

(2) 接触領域パターンの分析に基づく把持姿勢データベースの構築

手表面を図3のように比較的細かく分割し、接触のパターンを調べた。一般的な把持における接触領域の使い方を調べたところ、ほぼ同時に使われる領域や、そもそも把持には使われない領域などがあつた。使われない領域を除外したり、いくつかをグルーピングすることで、接触領域パターンとして考慮すべき数を減らすことができる。

また、関節可動域の中で分散した姿勢をとる必要があるが、物体との関係でおおまかに分散させるため、図4に示すような領域間距離を定義し、その大小により関節可動域内の分布を制御することにした。

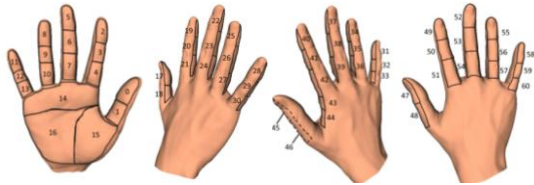


図3 接触領域の使い方の分析のための詳細な領域分割

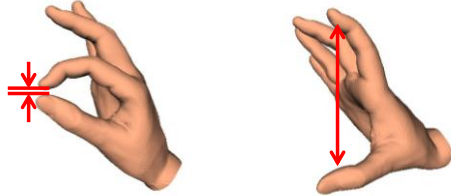


図4 対向する要素間で定義される領域間距離

(3) 把持姿勢データベースを用いた姿勢生成手法の構築

手のどの領域で、物体のどこを把持するかという情報を与えられた時に、新しい物体を把持する姿勢を生成する手法を提案する。できるだけデータ数が少ないことを念頭に構築したデータベースを利用するため、データベースに含まれる姿勢が、最終的に求めたい姿勢とは大きく異なる可能性も高い。そこで基本方針としては、把持姿勢データベースから抽出した複数の姿勢の補間により初期姿勢を計算し、最適化により最終的な把持姿勢を導出することとする。

まずは接触領域パターンの条件に合う姿勢データをすべて抽出する。各姿勢は領域間距離のパラメータと紐づけられているため、それらのパラメータが、目標となる状態にできるだけ近くなる組み合わせと補間の重みを求めて関節角度を求め、目標状態の物体モデルの近くにアラインする。

これを初期姿勢として、目標状態を適切に満たす姿勢となるよう最適化により修正を加える。評価指標としては、接触位置が目標に近いこと、接触箇所での指表面の法線向きと物体法線の向きとを合わせること、関節可動域を満たしていること、各指付け根の関節角度の連動性が満たされていること、自己干渉を回避することの5点を考慮する。

4. 研究成果

(1) 関節同士の連動性を考慮した可動域モデル化

4人の被験者について、20種程度の運動中の姿勢を計測し、提案手法により可動領域を求めた。提案した可動領域モデルの占める体積を直接正確に求めることは難しいが、概算したところ、提案モデルは従来モデルの少なくとも 4.6×10^{-7} と小さくなっていることが

分かった。

ここで、連動の強さと領域形状の関係を調べるため、以下に定義する指標を用いてランク付けを行った。

$$\text{Coord} = \text{Dim} + \text{Flat} + \text{R}.$$

ここで、

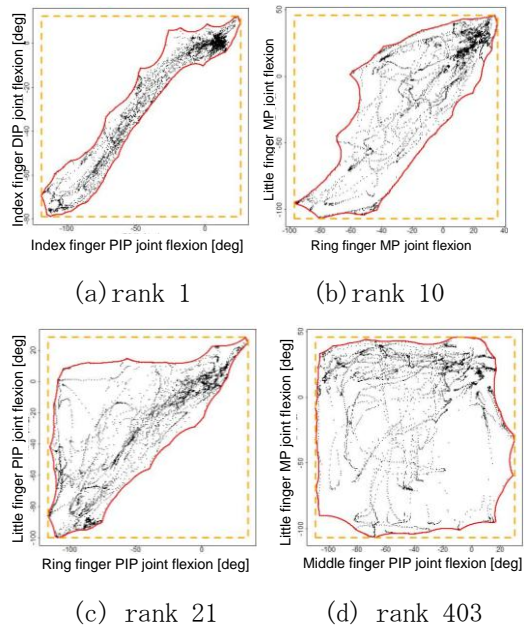
$\text{Dim} = 1 - S_1/S_2$ (ただし S_1 はアルファハルの面積、 S_2 は各姿勢変数の最大最小値で囲まれる矩形の面積)。

$\text{Flat} = 1 - b/a$ (ただし a, b はそれぞれ95%確率楕円の長軸および短軸の長さ)。

R は二つの姿勢変数間の相関係数。

図5に、典型的な領域形状を、連動性の強い方からの順位とともに示す。解剖学的に連動関係が強いことが既知である近位および遠位指節間関節同士では、計測された姿勢データの成す領域は、図5(a)のように、最大値および最小値のなす矩形に比べ非常に限られた領域となった。連動の指標が少し小さい10番程度では、図5(b)のように領域に広がりが出はじめ、403番目(図5(c))では、矩形領域のほぼ全域に計測点が分布している。10番目と403番目の途中に位置付けられたものの中には、図5(c)のように、方向性のある連動性がみられた関節もあった。これらの結果から、100番目程度までの関係については比較的連動性が高く、提案モデルによる表現が有効であり、それよりも後ろに(連動性が低いと)位置づけられた関節間関係については、従来モデルを採用しても問題がなさそうであるということが分かった。

提案した表現内におさまる点をランダムに求め、関節可動領域を形成する際の被験者に同じ姿勢をとってもらおうと、図6に示すようにほぼ実現可能であったことから、提案する表現手法は妥当といえる。



(a) rank 1

(b) rank 10

(c) rank 21

(d) rank 403

図5 典型的な二姿勢変数間関係の領域形状

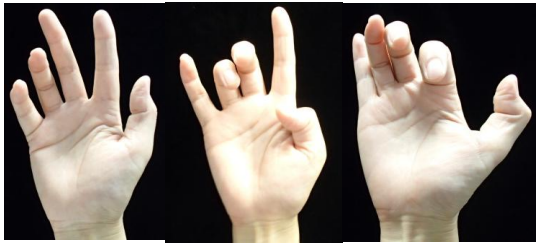
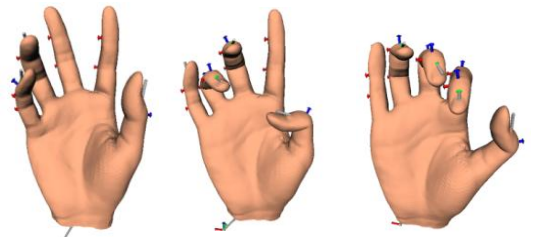


図6 モデル化された可動領域内でランダムに生成された姿勢(上段)を人が再現した様子(下段)

(2) 接触領域パターンの分析に基づく把持姿勢データベースの構築

3章(2)で示した分析に基づき、図7に示す領域分割に基づいて、接触領域パターンを網羅することとした。同一の接触領域を用いるが関節角度は異なる姿勢のバリエーションについては、各指および掌をそれぞれ独立要素とし、親指(または掌)と指部など対向関係となる要素同士で、領域間距離を変化させるといった観点で決定した(図8)。これは、同じ指に属する領域同士の位置関係は、姿勢が変化しても大きくは変わらないことによる。Feixらによる把持分類に含まれていなかったパターンや、接触領域を細分化による追加を含め、170通りの接触領域パターンを含めることとしてそれぞれの姿勢バリエーションを定めた。最終的には801種類の把持姿勢をデータベースに採用することを決め(図9)、それぞれの把持姿勢計測時に必要な物体を準備した。把持姿勢はモーションキャプチャ装置を用いて計測した。

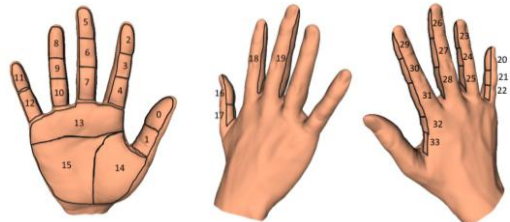


図7 把持姿勢データベース構築時に考慮した手上的領域

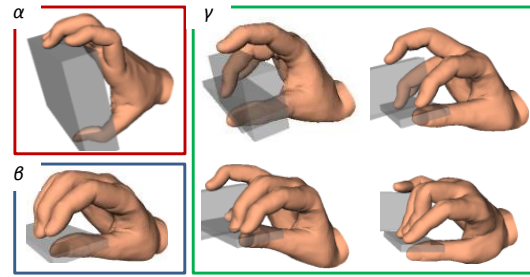


図8 領域間距離の制御による、同じ接触領域パターンに属する把持姿勢のバリエーション

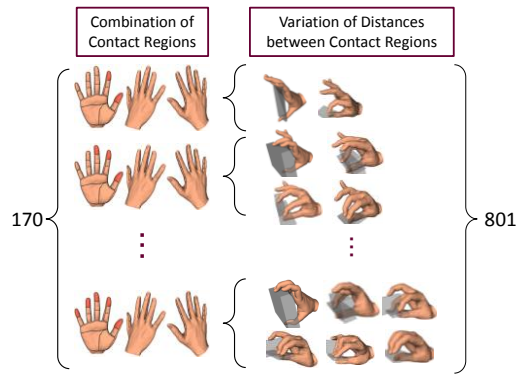


図9 把持姿勢データベース

(3) 把持姿勢データベースを用いた姿勢生成手法の構築

図10~12に、提案した手法によって生成された姿勢の例を示す。図10および図11より、同じ領域と位置の指示により、異なる物体であっても把持する姿勢を生成可能であることが示されている。また、図11および図12より、同一の物体でも、指定する接触状態が異なれば異なる把持姿勢が生成可能であることが示されている。

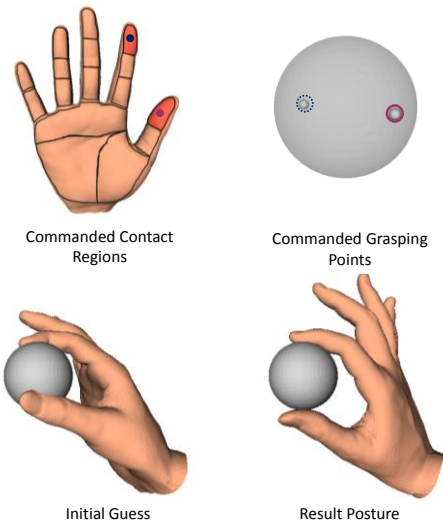


図10 ボールの把持(2領域使用)

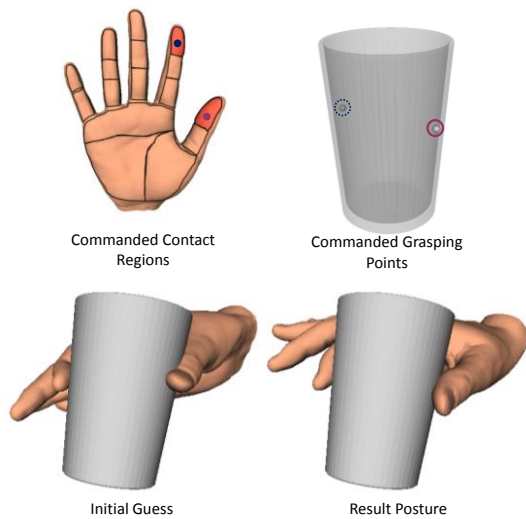


図 11 コップの把持（2領域使用）

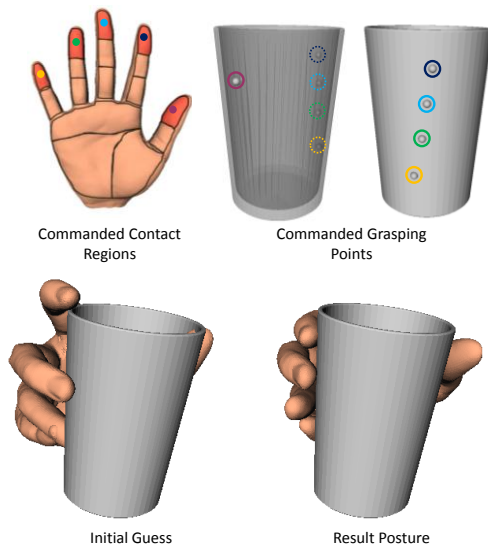


図 12 コップの把持（5領域使用）

参考文献

- [1] Y. Li, J. L. Fu, N. S. Pollard, "Data Driven Grasp Synthesis using Shape Matching and Task-Based Pruning", IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, Vol.13, No.4, 732-747, 2007.
- [2] 京田, 渡部, 齋藤, 中嶋, "仮想エージェントのための把持位置の検出とその評価", Visual Computing グラフィクスと CAD 合同シンポジウム'05-1, 1-6, 2005
- [3] T. Feix, R. Pawlik, H. B. Schmiiedmayer, J. Romeo, D. Kragic: "A comprehensive grasp taxonomy", Robotics, Science and Systems Conference, Workshop on Understand the Human Hand for Advanced Robotic Manipulation, 2009.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

①広野孝祐, 宮田なつき, 前田雄介, 手表面接触領域情報にもとづく把持データベースの構築, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 (Robomec 2013), 2013/05/23, つくば.

②清水裕貴, 宮田なつき, 前田雄介, 計測に基づく手指の可動領域のモデリング, 2012年度精密工学会春季大会学術講演会, 2012/03/14, 東京.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮田 なつき (MIYATA NATSUKI)

産業技術総合研究所・デジタルヒューマン

工学研究センター・主任研究員

研究者番号：90344225