

把握データベースの構築と把握解析への応用

Grasp Posture Database and Its Application to Grasp Posture/Motion Analysis

木村 加奈子 (中大) 有木 由香 (産総研) ○正 多田 充徳 (産総研) 正 梅田 和昇 (中大)

Kanako KIMURA (Chuo University, kimura@sensor.mech.chuo-u.ac.jp),
Yuka ARIKI (Digital Human Research Center, AIST, y-ariki@aist.go.jp),
Mitsunori TADA (Digital Human Research Center, AIST, m.tada@aist.go.jp),
Kazunori UMEDA, (Chuo University, umeda@mech.chuo-u.ac.jp)

This paper proposes statistical approach for creating grasp taxonomy and analyzing process of grasping motion. We constructed a grasp posture database by conducting principal component analysis for joint angles of hand measured by optical motion capturing system. We can obtain grasp taxonomy by conducting clustering analysis for the distribution of principal component scores for the first and second principal component. We can also analyze the process of grasping motion by plotting corresponding grasp posture of each time step on the same two-dimensional space.

Key Words: Grasp posture database, principal componet analysis, grasp taxonomy, process of grasping motion

1 はじめに

従来、把握姿勢の分類は直接的な観察に基づいて行われてきた [1]。一方で、主成分分析のような統計的手法を用いて把握姿勢の次元圧縮を試みた研究もある [2]。しかし、次元圧縮結果の把握分類への応用については明確な記述がない。また、最終的な把握姿勢に至る時々刻々の把握姿勢 (把握運動) を解析した研究もあるが、円錐や円筒のような単純なオブジェクトに対する計測しか行われていない [3, 4]。本研究では、様々な日用品の把握姿勢や把握運動をモーションキャプチャで計測し、そこから計算した関節角度に対して主成分分析を行うことで把握データベースを構築する。さらに、データベースから算出した上位 2 主成分得点を用いて、把握姿勢の分類や把握運動の解析を行う。

2 把握姿勢の分類

2.1 手法

様々な日用品を把握した際の把握姿勢に対して主成分分析を行い、把握姿勢データベースを構築する。ただし、 $\#subj$ を被験者の数、 $\#obj$ を対象となる日用品の数、 $\#ang$ を関節角の数とすると、把握姿勢データは $\#subj \times \#obj$ が行数で、 $\#ang$ が列数である行列となる。さらに、各把握姿勢を上位 2 主成分で表すことで得られた主成分得点の分布に対して、kmeans++ 法によるクラスタリングを行い把握姿勢を分類する。

2.2 実験

はじめに、成人女性 2 人と成人男性 2 人を対象に ($\#subj = 4$)、身の回りに存在する 44 品目の日用品 ($\#obj = 44$) を用いて把握姿勢データベースを構築した。光学式モーションキャプチャシステム (Vicon MX40: Vicon) を用いて各関節上に接着した直径 4mm のマーカの位置を計測し、得られた関節位置から親指については CM 関節 3 方向, MP 関節 1 方向, IP 関節 1 方向, それ以外の 4 本の指については MP 関節 3 方向, PIP 関節 1 方向, DIP

関節 1 方向の計 25 の関節角を算出した ($\#ang = 25$)。こうして得られた把握姿勢データに対して主成分分析を行った。

次に、データベースから算出した上位 2 主成分得点空間における把握姿勢の分布に対して kmeans++ 法を用いて 3 クラスタに分類した。

2.3 結果

主成分分析の結果得られた各主成分を可視化したところ、第 1 主成分がオブジェクトを手掌全体で包み込む際に発生する“握り”の様な姿勢に、第 2 主成分がオブジェクトを指先で摘む際に発生する“摘み”の様な姿勢に対応する事がわかった。得られた第 1 主成分と第 2 主成分を用いて把握姿勢の再構成を行い、実際の関節角度と再構成された関節角度との平均二乗誤差を計算したところ約 0.05rad であった。

Fig.1 に、上位 2 主成分得点空間における把握姿勢の分布と、この分布に対する kmeans++ 法を用いたクラスタリングの結果を示す。クラスタ 1 には瓶やカップラーメン容器といった手全体で包み込むように把握する日用品、クラスタ 2 には鉛筆や箸といった指先で摘むように把握する日用品が、クラスタ 3 には刷毛や鍋の柄といったクラスタ 1 に類似するが親指を立てた状態で把握する日用品が分類された。これは従来研究において観察により分類されてきた Power grasp, Precision grasp, そして Intermediate grasp [1] と同様の結果である。

3 把握運動の分析

3.1 手法

2 節で行った把握姿勢の分類で得られた各クラスタから代表的な日用品を選定し、それらに対する把握運動、すなわち全ての日用品に対して共通な初期姿勢から最終的な把握姿勢に至るまでの関節角度の時系列変化を計測する。得られた時系列関節角度をフレーム数で正規化し、日用品毎に全被験者の平均を計算した後に主成分分析を行い、把握運動データベースを構築する。ただし、

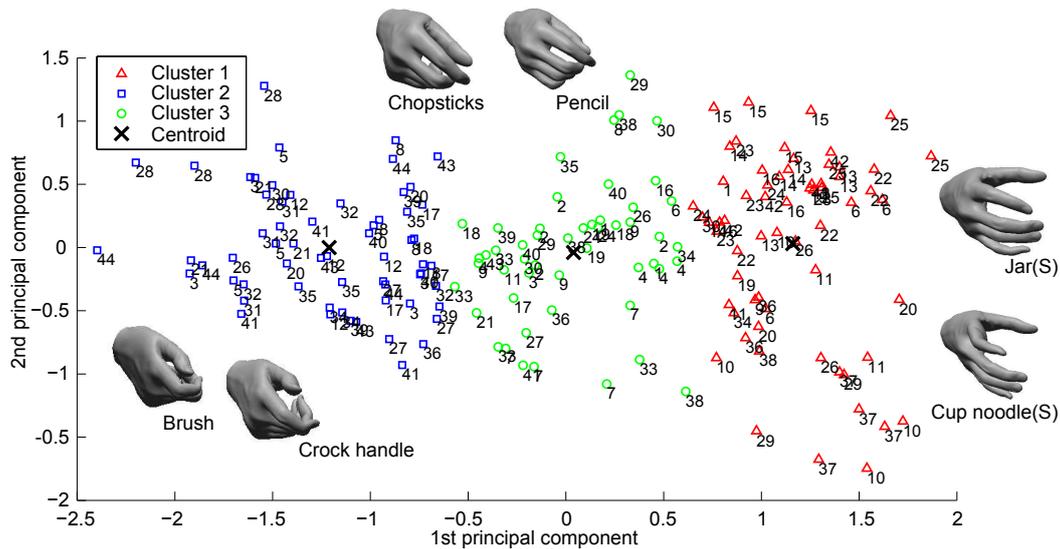


Fig. 1 Three grasp clusters obtained from principal component analysis and clustering analysis.

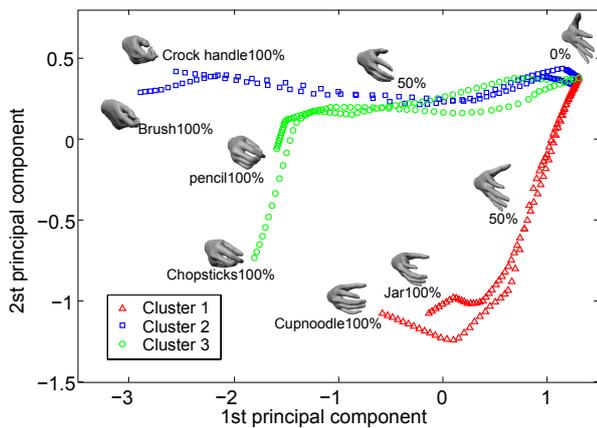


Fig. 2 Grasp trajectory for six representative daily necessities obtained from statistical grasp taxonomy.

#frame を正規化後のフレーム数とすると、把握運動データは #frame × #obj が行数で、#ang が列数である行列となる。さらに、上位 2 主成分得点空間に時々刻々の把握姿勢をプロットすることで、6 品目の日用品を把握する際の平均的な把握運動を可視化する。

3.2 実験

クラスタ 1 からはカップラーメンの容器と小瓶を、クラスタ 2 からは鉛筆と箸を、クラスタ 3 からは鍋の柄と刷毛を選定し、共通した初期姿勢から最終的な把握姿勢に至るまでの把握姿勢の変化を 2.2 と同じモーションキャプチャシステムを用いて計測した。実験には 2.2 と同じ被験者が参加した。ただし、初期姿勢としては日用品から約 200mm 離れた場所での伸展位を指示した。

得られた時系列の把握姿勢に対してフレーム数による正規化を行い全てのデータを 50 フレーム (#frame = 50) とした後に、それぞれの日用品に対して全被験者の平均を算出した。こうして得られた把握運動データに対して主成分分析を行った。さらに、上位 2 主成分得点空間に時々刻々の把握姿勢をプロットすることで、6 品目の日用品を把握する際の平均的な把握運動を可視化した。

3.3 結果

把握運動データにおける時々刻々の把握姿勢を上位 2 主成分得点空間にプロットした結果を Fig.2 に示す。Fig.1 で同じクラスタに属する日用品に対しては姿勢の変化も類似すること、そして初期姿勢から約 80% 時刻が進んだ時点でそれぞれの日用品に分岐することが分かる。各クラスタの姿勢変化をより詳細に考察すると、約 10% でクラスタ 1 が親指を大きく回転させるためクラスタ 2 と 3 から分岐し、残ったクラスタ 2 とクラスタ 3 も約 50% で分岐したことが分かる。さらに時刻が進むとクラスタ 2 ではやや親指を回転させる把握姿勢が、クラスタ 3 では親指をそのままに、それ以外の 4 本の指を屈伸させる把握姿勢が見られた。

4 おわりに

主成分分析を用いて把握姿勢や把握運動のデータベースを構築した。この結果、多自由度の関節運動であるため一見すると複雑に見える把握を、ただだか 2 次元の空間における分布や軌跡として解析できるようになった。

この上位 2 主成分得点空間を用いて把握分類を行った結果、手で包み込むような把握、指先で掴むような把握、親指を立ててそれ以外の手で包み込むような把握に対応するクラスタが得られた。さらにそれぞれのクラスタに属する代表的な日用品の把握運動を同様に解析した結果、同じクラスタに属する日用品に対しては類似した把握姿勢でアプローチすることがわかった。

参考文献

- [1] T. Feix, R. Pawlik, H. B. Schmiebmayer, J. Romero, and D. Kragic, "The Generation of a Comprehensive Grasp Taxonomy", In *Robotics, Science and Systems Conference: Workshop on Understanding the Human Hand for Advancing Robotic Manipulation*, 2009.
- [2] M. Santello, M. Flanders, and J. F. Soechting, "Postural Hand Synergies for Tool Use", *The Journal of Neuroscience*, Vol. 18, No. 23, pp. 10105-10115, 1998.
- [3] M. Santello, J. F. Soechting, "Gradual Molding of the Hand to Object Contours", *Journal of Neurophysiology*, Vol. 79, pp.1307-1320, 1998.
- [4] C. R. Mason, J. E. Gomez and T. J. Ebner, "Hand Synergies During Reach-to-Grasp", *Journal of Neurophysiology*, Vol. 86, pp. 2896-2910, 2001.