

特定の物品配列パターンに基づく把持戦略の分類

○千葉貴文(都市大) 永田和之(産総研) 多田充徳(産総研) 佐藤大祐(都市大) 金宮好和(都市大)

1. 諸言

物品の取り方は、物品の形状、扱い方、置かれた状態、ロボットハンドのハードウェアに依存する。我々はこれまで、物品の形状[1]や扱い方[2]に注目した物品把持の研究を実施してきた。本研究では、物品の置かれた状態に注目した把持の研究を実施する。特に、物流倉庫や家庭内に収納されている物品は、収納効率を上げるために特定の配列パターンで置かれていることが多く、物品把持も、配列パターンに対して定形的な把持が観察される。そこで、本研究は配列パターンに対する把持戦略の関係を明らかにする [3]。本稿は、物品配列パターンとして代表的な平積みと棚差しについて、ピッキングにおける手指の運動を計測し、解析を行ったので報告する。

2. 把持計測

2.1 物品配列

把持計測は、図1に示す3種類の物品（本、CD、皿）と2種類の配列パターン（平積み、棚差し）の5通りの組み合わせについて、物品を取り上げる時の手指の関節角データと映像を記録した。手指の関節角データは、CyberGlove Systems社のCyberGloveを用い20関節角を計測した。実験で使用した物品は、それぞれ同程度のサイズのものを5つ配列した。

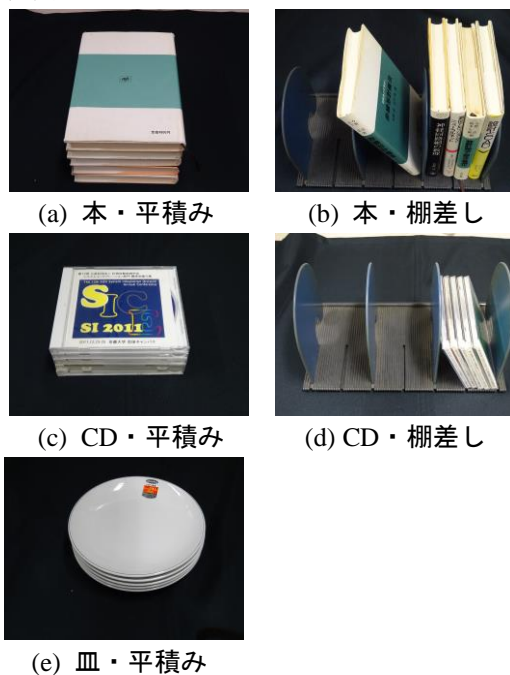


図1 物品配列パターン

2.2 計測方法

把持計測は、被験者の右手に CyberGlove を装着し、キャリブレーションを行った後、物品の置かれた机の前に立ち、右手が伸展位をとったときを初期状態として物品を取り上げてもらった。このときの手指の運動データを CyberGlove とカメラで計測した。一回の把持計測時間は 5 sec であり、それぞれの物品配列パターンについて 5 つの物品の把持を 5 回計測した。CyberGlove のサンプリング周期は 10 msec であり、被験者は成人 8 名である。図 2 に実験の様子を示す。尚、本把持計測実験は、産総研内にて設けられた人間工学実験委員会において実験内容を審議し、承認を得ている。

3. 計測データの解析

把持計測では、被験者一名につき、5 パターン×5 個×5 回=125 個のデータを取得した。得られたデータに対して、以下の解析を行った。

3.1 Dynamic Time Warping (DTW)による時間伸縮

取得したデータは、計測毎に手指の運動のタイミングが異なる。そこで、まず手指の運動タイミングを DTW[3]により時間軸を伸縮して補正する。この際、把持を完了したとみなした後のデータについては削除した。図 3 に、ある被験者の DTW を行う前後の関節データを示す。図 3 より、手指の運動タイミングが補正されていることが分かる。

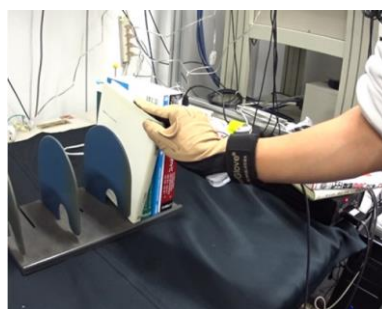


図2 把持計測の様子

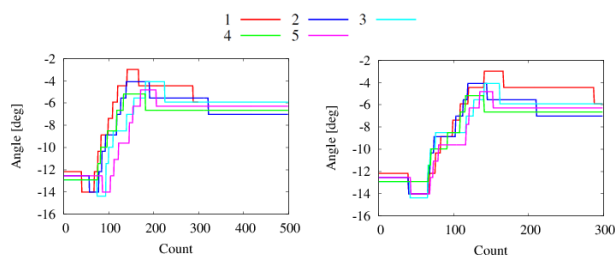


図3 DTW 前後の手指関節データ

3.2 主成分分析による解析

DTW により、手指の運動のタイミングが補正された後、主成分分析[5]による解析を行う。主成分分析では、第二主成分までを求めた。累積寄与率は約 75% である。図 4 に、それぞれの物品配列パターンにおける第 1 主成分と第 2 主成分を示す。灰色は物品配列パターンに対する全被験者のデータを表し、着色した線は、代表的なデータを抽出したものである。また、時系列の手指の形状を、産総研で開発した DhaibaWorks を用い描画した。

3.3 関数主成分分析による解析

主成分分析により 600 ($=2 \times 300$) 次元に縮約されたデータに対し、関数主成分分析[6][7]により更に次元圧縮を行う。主成分分析において得られたそれぞれの主成分データにつき、関数主成分分析では 2 主成分を求める。つまり、一つの把持計測データ 6,000 ($=20 \times 300$) 次元を 4 ($=2 \times 2$) 次元に圧縮する。関数主成分分析を行うため時系列データを 4 次の B-Spline 関数で近似した。尚、knots 数は 150 である。

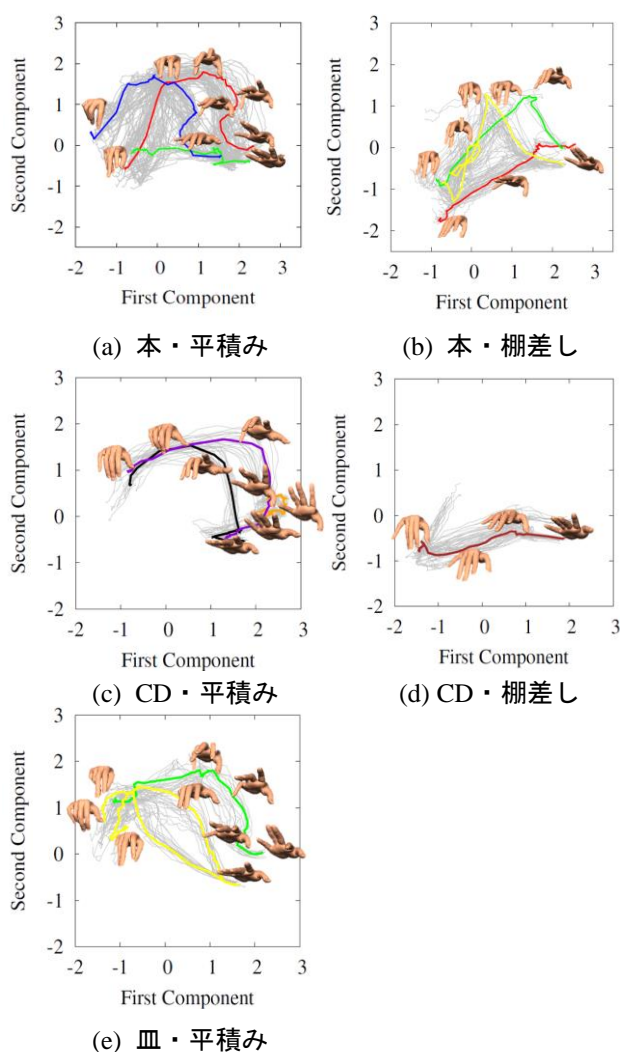


図 4 主成分分析の結果

図 5 に、それぞれの物品配列パターンに対する関数主成分分析の結果を示す。図 5 では、主成分分析で得た主成分ごとに関数主成分の結果を描画し、物品配列パターンごとに色分けした。赤は本・平積み、緑は本・棚差し、青は CD・平積み、黄は CD・棚差し、紫色は皿・平積みである。

3.4 KKZ 法によるクラスタリング

関数主成分分析により得た 4 次元データに対し、クラスタリングによる分類を行う。これにより、配列パターンに対する把持戦略の分類を試みる。クラスタリングには KKZ 法[8]を使用し、分割クラスタ数は 5 とした。クラスタ数は、把持計測をビデオで確認した際、主に見られた把持戦略の個数とした。

図 6 に、関数主成分分析で得た主成分を KKZ 法により分類し、クラスタごとに着色した結果を示す。図 6 において、黒色の三角形はそれぞれのクラスタの重心を表す。以下に、図 6 のクラスタごとに得られた特徴についてまとめる。

・赤色クラスタ

赤色クラスタは、CD・平積みにおいて、手を CD ケースの上からアプローチし、直接 CD の側面を把持したものである。

・青色クラスタ

青色クラスタには、皿・平積みの把持データが多く含まれる。皿・平積みの把持では皿の上下面が把持面となる。手指の動作は、皿上面を親指で押えて横にずらし (drag) て下の把持面を表出した後、親指とその他の指で皿の上下面を把持するものである。

・黄色クラスタ

黄色クラスタは、本・平積みと CD・平積みのデータが多く含まれる。この場合、本や CD の上下面が把持面となる。把持は、親指もしくは人差し指で物品の側面を押して下の把持面を表出した後、親指とその他の指で物品の上下面を把持するものである。

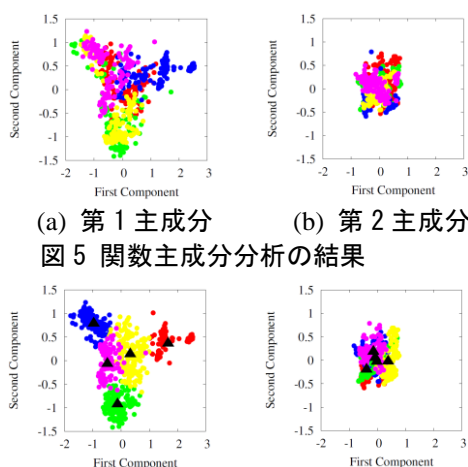


図 5 関数主成分分析の結果

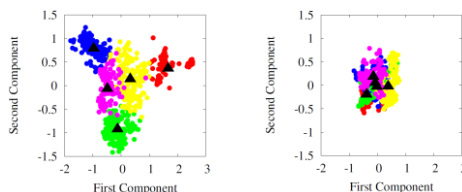


図 6 KKZ 法によるクラスタリング

・緑色クラスタ

緑色クラスタは、本・棚差しと CD・棚差しのデータが多く含まれる。この場合、本や CD の両側面が把持面となる。把持は、両側面を直接親指とその他の指で把持するタイプと、親指や人指し指で物品の上面を押えて手前に回転させ左右の把持面を表出した後、物品の両側面を把持するタイプが含まれる。

・紫色クラスタ

紫色クラスタは本・平積み、CD・平積みと皿・平積み of データが多く含まれる。この場合、物品の把持面を表出するために、物品側面を押すという動作が多くみられる。

緑色クラスタ、黄色クラスタの結果より、同一の物品配列パターン of 把持は同クラスタに分類されており、同一の把持戦略が適用されている。また、緑色クラスタに多く分類された、棚差しの物品把持において、物品上面に対して回転操作を加えて把持した場合と、直接両側面を直接把持した場合のデータが同クラスタに所属することから、物品上面を押えて手前に回転させて把持する動作と、物品の両側面を直接把持する動作は一つの運動パターンで実現されているものと解釈される。

3.5 クラスタ重心の再現

KKZ 法により 5 つに分類されたクラスタにおいて、クラスタ重心のデータを手指の運動データに復元する。これにより、クラスタ重心が示す代表的な把持戦略について調べる。

図 7 に、それぞれの物品配列パターンにおいて再現したクラスタ重心のデータを示す。線の色は図 6 における各クラスタの色と対応している。

結言

本稿は、物品配列パターンに対する把持戦略の関係を調べるために、代表的な配列パターンである平積みと棚差しについて、オブジェクトピッキング時の手指の運動計測を行い、その解析結果を示した。本実験の結果から、物品の把持戦略は、物品配列パターンに依存することが示された。

今後の課題として、被験者をさらに増やし、物品の配列パターンと把持戦略の関係について、詳細に検討を加えてゆく予定である。

最後に、本研究は JSPS 科研費 JP17H01805 の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- [1] N. Yamanobe, and K. Nagata, “Grasp planning for everyday objects based on primitive shape representation for parallel jaw grippers,” Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp. 1565-1570, 2010.
- [2] 永田和之, 新良貴陽平, 原田研介, 山野辺夏樹, 中村晃, 佐藤大祐, 金宮好和, “知識モデルを用いた日用品のセマンティック把持”, 日本機械学会論文集, Vol.

81, No 829, 2015.

- [3] 永田和之, 原田研介, 辻徳生, 山野辺夏樹, 中村晃, “オブジェクトピッキングのための物体配置モデル”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 講演論文集, 1A1-I01, 2011.
- [4] E. Keogh, C. A. Ratanamahatana, “Exact indexing of dynamic time warping,” Knowledge and Information Systems, Vol. 7 (3), pp.358-386, 2005.
- [5] 木村加奈子, 有木由香, 多田充徳, 梅田和昇, “把握データベースの構築と把握解析への応用”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, 2P1-N08, 2012
- [6] Wei Dai, Yu Sun, and Xiaoning Qian, “Functional Data Analysis in Grasping Motion,” Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 3507-3513, 2013.
- [7] Ramsay, J. O., Giles Hooker and Spencer Graves, “Functional Data Analysis with R and MATLAB,” Springer, 2009.
- [8] 小野寺崇, 坂井美帆, 山田誠二, “k-means 法 of 様々な初期設定によるクラスタリング結果 of 実験的比較”, 2011 年度人工知能学会全国大会, 1J1-OS9-1, 2011

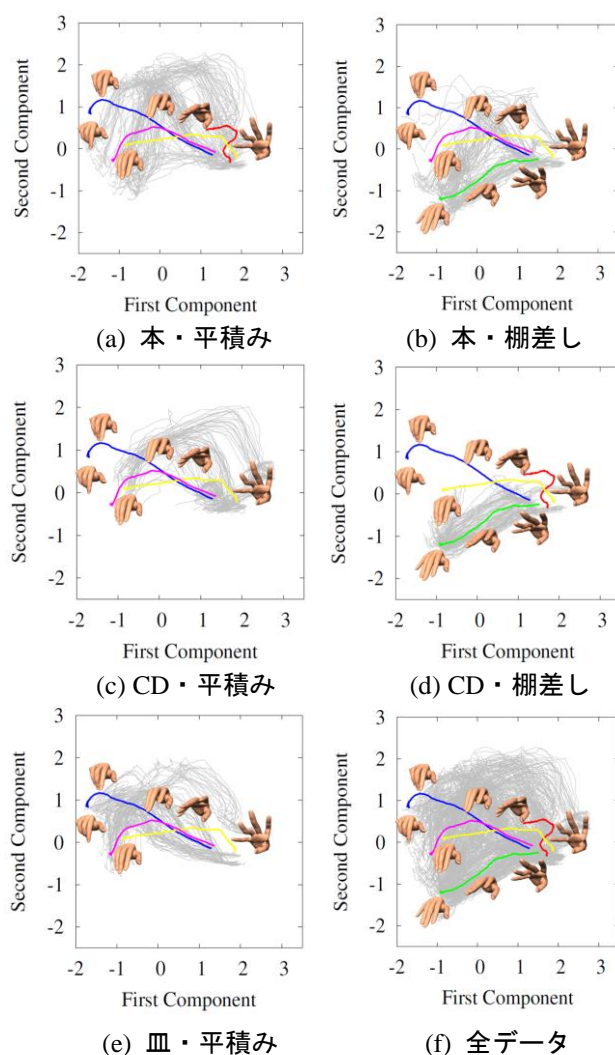


図 7 クラスタ重心から再現したデータ