

立方型の物体を用いた同時変換行列の導出と 物体モデルとの位置合わせによる物体判別

横山和哉・谷合由章・浪花智英（福井大学知識社会基礎工学専攻）

1 はじめに

ロボットによる物体の形状認識の技術は、産業や医療など様々な分野で使われている。多指ロボットハンドに関する研究では、物体の位置の把握や、物体に応じた把持点の決定と軌道計画により、物体の安定的な把持と操作を実現している。ロボットハンドが既存の様々な形状の物体を扱う際、距離画像センサで物体の位置や形状を認識できれば、ロボットハンドの把持や操作の自動化が可能になる。

そこで本研究では、世界座標系に設置した立方型の物体をもとにカメラ座標系からの同時変換行列を効率的に求め、複数の物体モデルとの位置合わせをもとに物体の判別ができるかどうかを調べた。

2 同時変換行列の導出

世界座標系に設置した立方型の物体を用いて、カメラ座標系から世界座標系への変換を行い、同時変換行列を構成する回転変換行列と並進ベクトルを求める。

回転変換行列 R は次式で表せる。

$$R = \begin{bmatrix} s & t & u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 \end{bmatrix}^{-1}$$

ここで、図 1 に示す単位法線ベクトル s, t, u とそれぞれに対応する単位法線ベクトル N_1, N_2, N_3 を用いた。

並進ベクトル L は次式で表せる。

$$L = \begin{bmatrix} s^T \\ t^T \\ u^T \end{bmatrix}^{-1} \left(\begin{bmatrix} p_{01} \\ p_{02} \\ p_{03} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} N_1^T \\ N_2^T \\ N_3^T \end{bmatrix} R^T R \begin{bmatrix} N_1^T \\ N_2^T \\ N_3^T \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} \right)$$

ここで、 p_{01}, p_{02}, p_{03} は、それぞれ平面 S_1, S_2, S_3 と s, t, u のそれぞれの内積、 p_1, p_2, p_3 は、それぞれ平面 S'_1, S'_2, S'_3 と N_1, N_2, N_3 のそれぞれの内積である。ただし、センサの計測精度により、 $R^T R \neq 1$ である。

3 実験方法

3.1 物体のデータの取得

3 台の距離画像センサで円柱状の物体を計測し、センサごとに求めた同時変換行列を用いて座標変換を行い、ひとつに統合することで、物体全体のデータを取得した。このデータには、床や背景も含まれているため、差分検出にて削除した。物体の底面は、床や背景を削除する前のデータと、床や背景のみのデータを用いた差分検出にて推定した。

本実験は、表 1 に示す 9 種類の円柱状の物体を対象とし、距離画像センサには ASUS 社の Xtion PRO LIVE、データの処理には Point Cloud Library [1] を用いた。立方型の物体には一辺が 100 mm のアルミ製のものを使用し、ロバスト推定法 RANSAC [2] により平面 $S'_1, S'_2, S'_3, N_1, N_2, N_3$ を求めた。

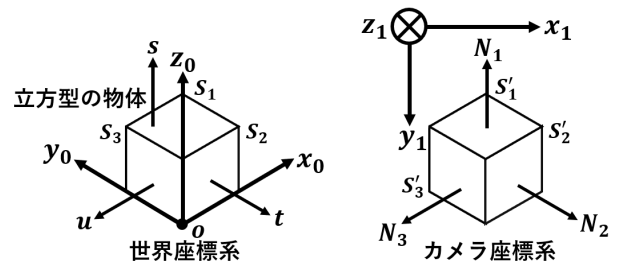


図 1: 世界座標系とカメラ座標系の単位法線ベクトル

表 1: 実験に用いる円柱状の物体とその半径 r と高さ h

物体	1	2	3	4	5	6	7	8	9
r [cm]	3	3.8	4.5	3	3.8	4.5	3	3.8	4.5
h [cm]	10	10	10	12	12	12	14	14	14

3.2 物体判別

物体に対し、物体を模して等間隔の点群で作成した数種類のモデルと位置合わせを行い、最も点群が一致するモデルを選ぶことで物体の判別を行った。位置合わせには、2つの点群データの対応点間の距離を最小にするような座標変換を繰り返すことで、位置合わせの精度を向上させる ICP (Iterative Closest Point) [3] を用いた。また、点群の一致の度合いを調べるために、ある点群の各点に対し、他方の点群から最も距離の近い点を探し、点群間の平均距離を求めた。

4 実験結果とまとめ

物体 1 と、それぞれの物体を模したモデルとの位置合わせを行い、点群間の平均距離を求めた結果を表 2 に示す。表 2 より、物体 1 と物体 1 のモデルを位置合わせしたときに、最も点群間の平均距離が短くなった。その他の物体も、対応する物体のモデルと位置合わせしたときに、最も点群間の平均距離が短くなり、物体の判別ができた。

表 2: 物体 1 とモデルの一致の度合い

モデル	平均距離 [m]	モデル	平均距離 [m]
物体 1	7.55391E-06	物体 2	5.44177E-05
物体 3	1.47842E-04	物体 4	4.92680E-05
物体 5	1.05269E-04	物体 6	2.10179E-04
物体 7	1.56160E-04	物体 8	2.28488E-04
物体 9	3.50266E-04		

参考文献

- [1] R. B. Rusu, S. Cousins, 3D is here: Point Cloud Library (PCL), IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2011
- [2] Martin A. Fisher, Robert C. Bolles, Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, Communications of the ACM, Vol. 24, pp. 381–395, 1981
- [3] P. J. Basl, N. D. Mckay, A method for Registration of 3-D shapes, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 14, No. 2, pp. 239–256, 1992