

改良型 Geometric Hashing 法による 3次元物体認識

3F-3

— 透視投影を考慮した指向性投票 —

柴田昌宏 金子俊一 本多庸悟

東京農工大学工学部

1. まえがき

我々は、距離情報を用いずに2次元単眼画像から3次元物体を認識することを目的として、Geometric Hashing 法（以下、GH法）に「指向性投票」を導入した改良型GH法のアルゴリズムを提案した[4][5]。本稿では、透視投影の場合における Hash Table（以下、HT）上でのずれを解析し、提案した手法が透視投影の場合でも有効であることを実データに基づく実験結果とともに示す。

2. 改良型 GH 法

GH法は、アフィン変換などの図形変換に対して不変な物体認識の手法として知られている[1]。3次元物体を対象としたGH法では、基底として4点を選ぶことによりアフィン不変量を得られるが、この場合、点の対応がとれた複数の画像が必要となる[3]。我々は単眼画像だけから認識を行うために、2次元アフィン変換に不変となる3点を基底とする GH法を利用した。3点を基底とする我々の方法では、4点を基底とする方法と比べ次のような利点がある。

- [I] 複数の画像で特徴点の対応をとる必要がない。
- [II] HTのサイズが小さくなる。
- [III] 観測画像の特徴点から基底とする点を選ぶときに、誤った点を選ぶ確率が低くなる。

しかし3点を基底とした場合、3次元の姿勢変換に対するアフィン不変量を得ることはできない。そこで我々は、正投影近似という条件で、3次元物体の姿勢変換に対する変換座標値 (α, β) の挙動解析を行った[4]。その結果、変換座標値はHT上でモデル基底ごとに平行にずれることが分かった。そこで、従来の3点を基底とした GH法[2]に、「指向性投票」と呼ぶ新たな手続きを導入した改良型GH法を提案した[5]。本稿では、我々の提案した認識アルゴリズムが透視投影の場合でも有効であることを確認する。

3. 透視投影による 3次元投影変換

3次元物体の姿勢変換に対する変換座標値の挙動解析を、透視投影の場合で行う。

基底の3点および変換される特徴点の3次元空間における座標値を、

$$P_i = (X_i, Y_i, Z_i)^T \quad i = a, b, c \quad (1-a)$$

$$P = (X, Y, Z)^T \quad (1-b)$$

とする。カメラ視点から座標原点までの距離をDとして、3次元空間における姿勢変換を、各軸方向の

並進および回転として個別に扱う。画像面に対して、水平・垂直・前向きをそれぞれx, y, z座標軸とする。

[I] z軸まわりの回転 2次元アフィン変換で記述できるので変換座標値は変換の前後で変化しない。

[II] xおよびy軸方向の並進 座標系の設定の仕方、xあるいはy軸の単軸方向の並進に帰着できる。そこで、x軸方向に任意に並進させるとHT上でのずれの傾きは、

$$\frac{\beta' - \beta}{\alpha' - \alpha} = \frac{(D - Z_c) \left\{ (D - Z_a) Y_b - (D - Z_b) Y_a \right\}}{(D - Z_b) \left\{ (D - Z_c) Y_a - (D - Z_a) Y_c \right\}} \quad (2)$$

となる。これから、HT上でのずれはモデル基底ごとに一定方向、すなわち平行になる。

[III] z軸方向の並進 $(X_a, Y_a, Z_a)^T = (0, 0, 0)^T$ とする。z軸方向に t_z 並進させると、HT上でのずれの大きさrは式(3)で表せられる。

$$r = \frac{t_z \sqrt{(Z - Z_b)^2 \left| \begin{matrix} X & X_c \\ Y & Y_c \end{matrix} \right|^2 + (Z - Z_c)^2 \left| \begin{matrix} X_b & X \\ Y_b & Y \end{matrix} \right|^2}}{(D - Z) \left\{ (D - Z - t_z) (X_b Y_c - X_c Y_b) \right\}} \quad (3)$$

ここで、ずれの向きは一定にならないが、rの値は非常に小さくなると予想できる。

[IV] xおよびy軸まわりの回転 $(X_a, Y_a, Z_a)^T = (0, 0, 0)^T$ とする。[II]と同様に単軸まわりの回転に帰着できるので、ここではy軸まわりに θ_y 回転させる。

HT上でのずれは式(4)となる。ここで、図1に示す変数rとhから、透視投影による影響が解析できると考えられる。rは変換座標値のずれの大きさ、hは正投影近似における一定な傾きm[5]をもった直線からの距離である。

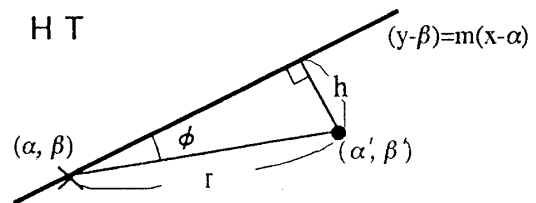


図1 HT上におけるずれ

4. 実験結果

透視投影におけるHT上でのずれを定量化するために、一辺が100mmの立方体の端点を基底及び変換点として選び、z軸方向の並進に対するrの変化を調べた。このとき、撮像距離900mmから±300mmの変化に対して±1bin以下のずれであることがわかった(binはHTの量子化の単位で、実験では1bin=0.02とした)。図2は多面体による実験結果である。図2(a)は300mm近づけたときの観測画像で、図2(b)は観測画像と認識されたモデル画像の1次微分を重ねた表示である。この結果、z軸方向の並進で生じるHT上でのずれは、±300mm程度までであれば、量子化誤差相当として扱うことができるといえる。

同様にしてy軸まわりの回転に対するrとhの変化を調べた。図3にこのときの結果を示す。この結果に基づき、指向性投票の探索幅を±1bin、探索距離を±20binとして実対象物による実験を行った。図4にその結果を示す。モデルの姿勢を基準として2°ずつ姿勢変化させたところ、16°の姿勢まで正しく認識できた。図4(a)は指向性投票の結果である。図4(b)は、16°の姿勢における観測画像である。図4(c)は観測画像と認識されたモデル画像の1次微分を重ねた表示である。

5. むすび

3次元物体認識のために提案した指向性投票型GH法について、透視投影における変換座標値の挙動解析を行いその有効性を示した。今後の課題は、プログラムを改善して処理時間の高速化をはかることである。

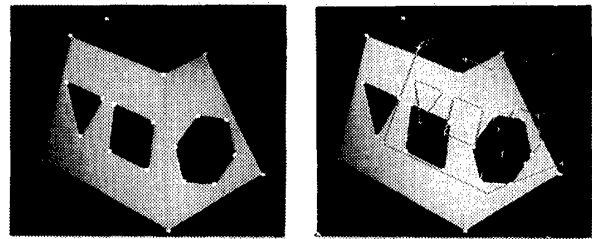
参考文献

- [1]Y.Lamdan and H.J.Wolfson : Proc. of the 2nd ICCV, pp.238-249 (1988).
- [2]Y.Lamdan, et al. : IEEE Trans., Vol.RA-6, No.5, pp.578-589 (1990).
- [3]S.Vinther and R.Cipolla : ECCV, Vol.801, pp.15-24 (1994).
- [4]柴田昌宏, 金子俊一, 本多庸悟 : 第48回情報処理全国大会, Vol.2, pp.79-80 (1994).
- [5]柴田昌宏, 金子俊一, 本多庸悟 : 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'94), Vol.2, pp.81-87 (1994).

$$\alpha' - \alpha = \frac{(D + X_b \sin \theta_y - Z_b \cos \theta_y) \left(\begin{matrix} X & X_c \\ Y & Y_c \end{matrix} \cos \theta_y - \begin{matrix} Y & Y_c \\ Z & Z_c \end{matrix} \sin \theta_y \right) (D - Z_b) \begin{matrix} X & X_c \\ Y & Y_c \end{matrix}}{(D + X \sin \theta_y - Z \cos \theta_y) \left(\begin{matrix} X_b & X_c \\ Y_b & Y_c \end{matrix} \cos \theta_y - \begin{matrix} Y_b & Y_c \\ Z_b & Z_c \end{matrix} \sin \theta_y \right) (D - Z) \begin{matrix} X_b & X_c \\ Y_b & Y_c \end{matrix}}$$

$$\beta' - \beta = \frac{(D + X_c \sin \theta_y - Z_c \cos \theta_y) \left(\begin{matrix} X_b & X \\ Y_b & Y \end{matrix} \cos \theta_y - \begin{matrix} Y_b & Y \\ Z_b & Z \end{matrix} \sin \theta_y \right) (D - Z_c) \begin{matrix} X_b & X \\ Y_b & Y \end{matrix}}{(D + X \sin \theta_y - Z \cos \theta_y) \left(\begin{matrix} X_b & X_c \\ Y_b & Y_c \end{matrix} \cos \theta_y - \begin{matrix} Y_b & Y_c \\ Z_b & Z_c \end{matrix} \sin \theta_y \right) (D - Z) \begin{matrix} X_b & X_c \\ Y_b & Y_c \end{matrix}}$$

(4)



(a)観測画像例 (b)認識結果

図2 z軸並進の認識実験(撮像距離:600mm)

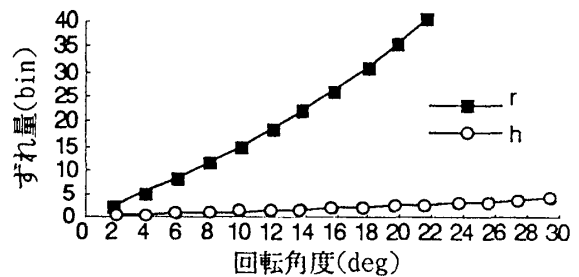
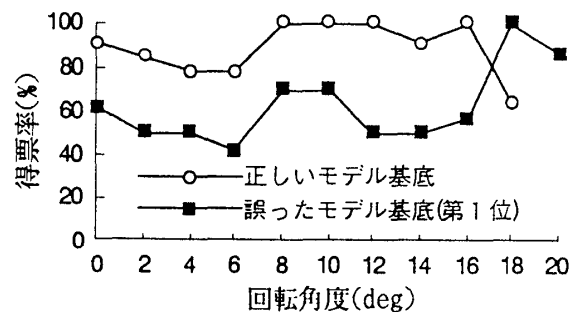
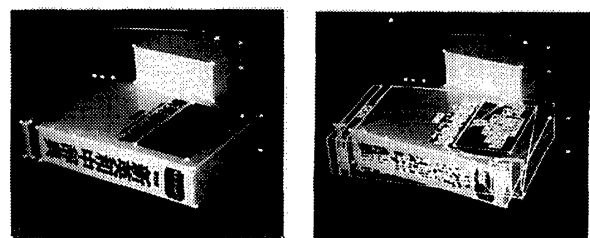


図3 y軸まわりの回転におけるHT上でのずれ量



(a)指向性投票による認識結果



(b)観測画像例(16°) (c)認識結果

図4 y軸まわりの回転の認識実験

$$r = \sqrt{(\alpha' - \alpha)^2 + (\beta' - \beta)^2} \tag{5}$$

$$h = \frac{\left| m(\alpha' - \alpha) - (\beta' - \beta) \right|}{\sqrt{m^2 + 1}} \tag{6}$$

$$m = -\frac{Y_b}{Y_c} \tag{7}$$