能動的制御による三次元パターン認識の一方法*

福 田 敏 男^{*1}, 八重樫 直 穂^{*2}A 3-D Pattern Recognition Method by the Active Attitude Control
of Objects

Toshio FUKUDA and Nao YAEGASHI

The 3-D vision system is important for robot control and other machine control. Previous research has generally been based on passive methods, by making assumptions that the edges and other image features can easily be obtained by employing these image operators. However, such is generally not the case, so the aim of this paper is to propose a method of 3D recognition by the active information acquisition of objects. The image information necessary to the pattern recognition and understanding of objects is obtained by a TV camera actively controlling the attitude of objects. Keeping in mind that images are fuzzy themselves. Then, based on these results, the image interpretation processing is carried out more easily by the expert system than by the conventional passive method.

Key Words: Application of Control, Expert System, Pattern Recognition, 3-D Vision, Fuzzy Image, Active Attitude Controller.

1. は じ め に

知能ロボットの研究が各方面で進められているがロボットが対象物を認識する方法として、(1) 対象物にスリット光や超音波を当ててその反射や透過率を調べる方法⁽¹⁾、(2) 対象物に直接触れて、位置、形状を調べる方法、(3) 対象物を TV カメラなどで取り込み、その画像を処理する方法など⁽²⁾⁻⁽⁶⁾がある。しかし、これらの方法では対象物に関する情報が二次元的であったり、三次元情報であっても、センサーからは見たり触れたりできない部分の情報は得られず、一面である。また、従来のコンピュータビジョンの研究では、取り込んだ画像を一定の手続きのみを施すことによって、対象物を認識していた。特に、すべてラベリングできる場合は、積木程度の立体の認識はほぼ成功している。しかし、画像のエッジ等が不明確で、ラベリングができない場合には認識は難しい。さらに、エキスパートシステムの研究では、推論結果を導くために不足している情報、あるいは新たに追加した情報を判

断し、それらをシステムに能動的にフィードバックして推論を行うものは数少ない。

そこで、本研究のシステムは、対象物を認識するために画像情報を取り込み、データベースと照合した結果、対象物を同定できず、候補が一つに定まらない場合に、認識するために不足している情報を判断し、その新しい追加情報を得るため、以前の画像情報を考慮しながら対象物の姿勢を能動的に制御する。そして、本研究は、これらの能動的制御によって得られた二次元情報から三次元情報を計算し、その結果を用いて立体の形状を認識するエキスパートシステム⁽⁷⁾を提案し、試作することを目的としている。対象とする立体の形状に対してはあいまい性を持たせ、直線でない部分も認識できるようにする。本研究での、実験の対象としては、簡単な積木レベルの立体を取扱っているが、以上の考えは、より複雑な認識システムにも応用することができると考えられる。

2. シ ス テ ム 概 要

本研究のシステム構成図を図1に示す。画像入力装置として CCD カメラを使用し、対象物の原画像を取り込む。取り込んだ原画像はイメージプロセッサに送られ、そこで処理される。イメージプロセッサの画像

* 昭和62年1月30日 第16回技術講演会において講演、原稿受付 昭和62年11月6日。

^{*1} 正員、東京理科大学工学部(〒162 東京都新宿区神楽坂1-3)。

^{*2} 正員、日本電気㈱(〒108 東京都港区芝4-14-2)。

メモリーは縦512×横512画素から成り立っており、各画素の濃淡値は1バイトで表される。さらに、イメージプロセッサで処理された画像データはホストコンピュータに送られる。ホストコンピュータ上で走っているLISP⁽⁸⁾のインタプリタ上でイメージプロセッサからのデータを処理したりDI/Oを介して対象物の姿勢を制御するテーブルを駆動させたりする。対象物の姿勢制御は図2に示すテーブルによって行う。テーブルは2個のステッピングモータにより二自由度を持っている。対象物を直径約15cmの円形の台の上に置き、2個のモータを駆動させることにより、その姿勢を制御する。また、テーブルとカメラ、基準座標系との関係を図3に示す。テーブルの中心に原点をとり、水平方向に x 軸、鉛直方向に y 軸、奥行きに z 軸をとっている。

3. エキスパートシステムについて

3.1 エキスパートシステムの概要 本研究でのエキスパートシステムの流れ図を図4に示す。イメージプロセッサより送られてきた二次元の画像データより、対象物の三次元データを計算し、データベースに登録する。登録されたデータとルールベースを照合することにより、立体の候補を選び出す。立体の候補が複数であったり、認識が不可能であった場合は、対象

物の姿勢を制御し、新しい画像情報を取り入れる。これらの処理を立体の候補が一つに絞られるまで行う。

3.2 特徴点抽出について 原画像から対象物を取り出す一連の流れを図5に示す。まず、テーブルに対象物を乗せていない状態の画像を取り込む。次に、対象物をテーブルの上に乗せ画像を取り込み、その差をとることにより、対象物のみを取り出す。取り出した対象物の画像に対し、空間フィルタとしてラプラスアンをかけエッジを強調し、さらに2値化し、対象物の線画を得る。得られた線画は不完全な場合もあるので、太線化処理を施すことにより完全な線画にする。最後に、線画を反転させた画像と、内部領域を埋めた画像との差をとることにより、対象物の各面を抽出する。

図3 テーブル、カメラ、基準座標系の位置関係

図1 システム構成

図2 対象物姿勢制御装置

図4 エキスパートシステムの流れ図

次に、得られた各面の特徴点(頂点)を抽出する方法について述べる。対象物の面の一つとして図6に示すような三角形が得られたとする。特徴点の抽出はこのような2値画像に対し、図6の下側に示す縦3画素×横3画素を持つウィンドウを走らせることにより調べる。3×3のウィンドウが作り出すパターンは $2^9=512$ 個あるが、対象物の端にあるときのパターンはこれよりも少ない。本研究ではこのような対象物の端にあるパターンとして68種類を想定している。さらに、各々のパターンに図6の右上に示すように八つの方向を与

えており、その方向に従ってウィンドウを移動させる。対象物の特徴点は、このウィンドウの移動方向が以前と著しく変化したときの位置を調べることにより得られる。

3.3 直線度について 平面内の特徴点が検出されても、特徴点だけでは図7に示すような図形の区別はできない。そこで、本研究では図形の辺の状態を数値化する方法として直線度というものを与えた。その具体的な計算方法を以下に示す。各頂点間を最小二乗法によって一次式で近似し、得られた方程式を $ax+by+c=0$ とする。このとき、点 (X_i, Y_i) と直線との距離DISTは

$$|ax_i+by_i+c|/\sqrt{a^2+b^2} \dots\dots\dots (1)$$

で表される。絶対値をはずすため、点が直線の上側にある場合の距離をDIST1その平均値をDISTAVE1とし、下側にある場合の距離を同様にしてDIST2, DISTAVE2とする。ここで

$$T_1 = \sum_{i=1}^m (\text{DISTAVE1} - \text{DIST1})^2 / m \dots\dots\dots (2)$$

$$T_2 = \sum_{i=m+1}^n (\text{DISTAVE2} - \text{DIST2})^2 / (n-m) \dots\dots\dots (3)$$

とし、 $X = T_1 + T_2$ とおくことにより、直線度 F を

$$F = 1/(1+X) \dots\dots\dots (4)$$

で定義する。これにより、辺の状態にあいまい性を持たせ辺の状態を零~1の数値で表すことができる。直線度 F が1に近いほどその辺は直線に近いものとなり、零に近づくほど直線とは離れたものとなる。本研究では、対象物の各辺の直線度の平均をとることによ

図5 対象物抽出の流れ

図6 平面内特徴点抽出例

図7 直線度の例

り、立体の形状をあいまい性を持たせて判断している。直線度の具体的な例を図7に示す。

3・4 三次元座標の計算方法 テーブルの y 軸回り、 x 軸回りの回転角を θ_1 , θ_2 とし、 $\theta_1 = \theta_2 = 0$ のときの対象物の頂点の三次元座標を (x_0, y_0, z_0) とする。ここでテーブルを y 軸回りに θ_1 , x 軸回りに θ_2 回転させたときの座標を (x_1, y_1, z_1) , さらに、 x 軸回りに $d\theta_2$ だけ回転させたときの座標を (x_2, y_2, z_2) とすると、以下の関係式が成り立つ。

$$\text{Rot}(y, \theta_1) \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{pmatrix} = \text{Rot}(x, -\theta_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \cdots \cdots (5)$$

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ 1 \end{pmatrix} = \text{Rot}(x, d\theta_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \cdots \cdots (6)$$

ここで、 $\text{Rot}(x, \theta)$ は、 x 軸回りに角度 θ 回転させることを示す。式(5), (6)を整理することにより、次式を得る。

$$x_0 = x_1 \cos \theta_1 + \frac{\sin \theta_1}{\sin d\theta_1} \{-y_1 \cos(\theta_2 + d\theta_2) + y_2 \cos \theta_2\} \quad \cdots \cdots (7)$$

$$y_0 = \{y_1 \sin(\theta_2 + d\theta_2) - y_2 \sin \theta_2\} / \sin d\theta_2 \quad \cdots \cdots (8)$$

$$z_0 = x_1 \sin \theta_1 + \frac{\cos \theta_1}{\sin d\theta_2} \{y_1 \cos(\theta_2 + d\theta_2) - y_2 \cos \theta_2\} \quad \cdots \cdots (9)$$

ここで、 x_1, y_1, x_2, y_2 は、画面より直接入手でき、 $\theta_1, \theta_2, d\theta_2$ はテーブルを制御するときの入力値で既知である。例えば、図8に示すような三角形がテーブルを x 軸回りに θ_2 回転した状態で得られたとする。ここで、さらに x 軸回りに $d\theta_2$ だけ回転させたとき、三角形の頂点 $A(x_1, y_1)$ が $A(x_2, y_2)$ に移動したとすると、 x_0, y_0, z_0 は、次のように与えられる。

$$\begin{aligned} x_0 &= x_1 = x_2 \\ y_0 &= \{y_1 \sin(\theta_2 + d\theta_2) - y_2 \sin \theta_2\} / \sin d\theta_2 \\ z_0 &= \{y_1 \cos(\theta_2 + d\theta_2) - y_2 \cos \theta_2\} / \sin d\theta_2 \end{aligned} \quad \cdots \cdots (10)$$

以上のようにして得られた二次元情報より、三次元座標を計算する。

3・5 立体の表現方法 本研究では立体を面のつながりによって表現した。すなわち、図9に示すような四角すいは図10に示すように表現する。

これは、各面をその面を構成する頂点を要素とするリストで表し、その面のリストの集まりとして一つの

立体を表現するものである。面1はA, B, Cの三点から成る図形、すなわち三角形であることを示し、面1と面2は辺ACを共有している。すなわち辺ACで接していることを示している。また、各面のリストの要素は、図形の頂点を反時計回りに並べたものであり、この順を守っていれば要素を並べ替えても良い。すなわち、面1は、(ABC), (BCA), (CAB)のどの形でも良い。

本研究では、現在のところつながりを示すデータを以下に示す5種類持っている。

四面体	三角すいなど
五面体1	三角柱など
五面体2	四角すいなど
六面体1	直方体など
六面体2	五角すいなど

本エキスパートシステムは、仮説(立体候補)を立てて、その真偽(立体認識)を推論する、後向き推論であるので、効率良く推論するためプロダクションシステムに基づき、Lisp言語で書かれている。つながりを示す前述のリストは、各多面体の「面、点の接続」

図8 画像上での点の移動の例

図9 立体の例(四角すい)

(A B C)	——	面1
(A C D)	——	面2
(A D E)	——	面3
(A E B)	——	面4
(B E D C)	——	面5

図10 面のつながりの例

```

TETRAHEDRON (NUMBER-OF-FACE 4
              KIND-OF-FACE (3 3 3 3)
              FACE-POINT-CONNECT
                (('P1 'P2 'P3)
                 ('P1 'P3 'P4)
                 ('P1 'P4 'P2)
                 ('P2 'P4 'P3)))

```

図 11 データベースの例

```

((and (eq (get 'OBJECT 'NUMBER-OF-FACE) 1)
      (exist 4 (get 'OBJECT 'KIND-OF-FACE)))
  ((putprop '5polygon 'no 'NEW DATA) (action)))

```

図 12 ルールベースの例

(FACE-POINT-CONNECT) という属性名の属性値として与えられている。各多面体データにはほかに、面の種類(KIND-OF-FACE)、面の数(NUMBER-OF-FACE)、頂点の数(NUMBER-OF-POINT)、ルールベースの番号(ORDER)という属性を持っている。本エキスパートシステムのデータベースおよびルールベースの例を図 11, 12 に各々示す。図 11 は、面を四つ有しその各々が三角形であるものは三角すいであることを示し、図 12 は、対象物に対して認識された面の数が 1 個で、かつその種類が四角形ならば、五面体 1 に、「新しい情報が入っていない」という情報を与え、さらに、新しい情報を得るために、姿勢を制御することを示している。

4. 実験結果

対象物として簡単な多面体(三角すい、四角すい、直方体)を用い、認識させる。テーブルを回転させながら対象物の面の抽出を行った例を以下に示す。図 13 は三次元情報を得るためテーブルを x 軸回りに 30° 回転させたもの、さらにべつの角度から見るため y 軸回りに 30° 回転させたものが図 14 である、これにより、それまで見えなかった面も見えるようになっている。

以上より、三角すいと四角すいでは 4 種類、直方体では 2 種類、三角柱では 1 種類の立体を候補として選択し、認識できた。

5. ま と め

- (1) 二次元座標より図形の特徴点の抽出を行っ

(a) 原画像

(b) 抽出した対象物

図 13 対象物の抽出 (x 軸回りに回転させた例)

(a) 原画像

(b) 抽出した対象物

図 14 対象物の抽出 (y 軸回りに回転させた例)

た。

(2) 対象物の姿勢を制御することにより、三次元立体情報を作り出した。

(3) 以上を基にして簡単な立体を認識するエキスパートシステムを試作し、立体を認識する実験を行った。

文 献

- (1) Oshima, M., and Shirai, Y., *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence*, PAMI-5, -4(1983), 353.
- (2) Shariat, H., *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. comput. vision pattern recognit.*, (1985), 178.
- (3) Eric, W., Grimson, L., *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence*, PAMI-7, -1 (1985), 17.
- (4) Horn, B. K. P., *Artificial Intelligence*, 8 (1977), 201.
- (5) Binford, T. O., *Int. J. Robot. Res.*, 1-1 (1982), 18.
- (6) 柿倉, 坂根, シーンの特徴抽出と環境の理解, 日本ロボット学会誌, 1-4, (昭58), 6.
- (7) 上野, システムと制御, 27-7, (昭58), 432.
- (8) 黒川, Lisp 入門, (昭57), 21, 培風館.