輪郭線の階層表現による物体認識の一手法*

泉 正夫**・崔 玉軍**・敖 国利**・福永邦雄**

A Method of Object Recognition based on Hierarchical Representation of Outlines*

Masao IZUMI**, Yu-Jun Cui**, Gou-Li Ao** and Kunio FUKUNAGA**

1. はじめに

Witkin¹⁾は、波形の特徴を階層的に表現するための「尺度空間法」を提案した。これは、様々な尺度を持つ「尺度空間フィルタ」を通して、波形の大まかな特徴から微細な特徴まで階層的に表現できる一般化波形を生成し、波形の照合などに用いている。この階層構造の解析的な定義^{2),3)}や周期波形への適用⁴⁾、データベースとの照合⁵⁾などが研究されている。本研究では、尺度空間法を用いて、認識対象物体の輪郭図の2次ゼロ交差線を求め、あらかじめアスペクト法の考え方に基づいて生成されたデータベース⁶⁾のゼロ交差線と段階的に照合することにより、物体を認識することを試みる。

2. 輪郭線の特徴表現

尺度空間法における階層的な特徴表現を利用するため、本研究では輪郭線の曲率関数を特徴関数として利用する。まず輪郭線の任意の一点を始点($x=0$)とし、反時計方向に沿って x が増加するようにとっていく。周囲長が1になるように正規化し、輪郭線上の点 x の曲率 $f(x)$ を次式で定義する。

$$f(x) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\theta(x+\Delta) - \theta(x)}{\Delta} = \frac{d\theta}{dx} \quad (1)$$

ここで、 $\theta(x)$ は x における輪郭線の接線角である。

この曲率関数 $f(x)$ は、周期 $T=1$ の周期関数と捉えることができるので、次式のような周期的な尺度空間フィルタリングを施す。

$$\phi(x, \sigma) = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) h(x-t) dt \quad (2)$$

$$h(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

和田ら⁴⁾によると、周期関数に対する尺度空間フィルタとしては、第3種だ円 θ 関数が適しているが、今回の実験においては一般化波形の形状にほとんど差が無いため(2)式を用いた。これより2次ゼロ交差線を求め、形状を比較することにより物体認識を行う。

σ を大きくしていく時、 $f(x)$ 一周期内に2次ゼロ交差線が初めて2本となるときの σ を σ_0 とする(Fig.1)。この時、 σ_0 より大きな σ では2次ゼロ交差線数は変化しない⁴⁾ので、 σ_0 において輪郭線の形状の最も大まかな構造を表わしていると捉えることができる。

Fig. 1 Zero-crossing curves and first level of characteristics

3. 認識アルゴリズム

物体認識を行うための対象物体の知識の形態としては、アスペクト法の考え方⁶⁾に基づいて構築する。本研究では物体の輪郭線の特徴として用いるので、輪郭線形状の変化が直接アスペクトの変化を示すものではないため、一定角度ごとに視点を变化させたときの輪郭線をアスペ

* 原稿受付 1992. 6. 25

** 大阪府立大学 工学部 College of Engineering, University of Osaka Prefecture, Sakai-shi, Osaka 593, JAPAN

Key Words : object recognition, scale space, hierarchical representation, zero crossing, outlines.

クト画像の代用として利用する。

輪郭線の2次ゼロ交差線の対応関係を探索する際に、まず大まかに対応付けを行い、候補を絞り込んだのち、より詳細なレベルで比較する。このため、2次ゼロ交差線の階層的なリスト表現を用いる。知識としてのデータベースと入力画像との対応付けは、この階層リスト表現を基に類似度を定義し、大きな尺度 σ に対応するリストから類似度を調べていく。

3.1 データベースの構成

まず認識対象物体を一定俯角のもとで一定時間隔ごとに撮影した画像の輪郭図を求め、2次ゼロ交差線を求める。次に各視点の2次ゼロ交差線から「階層表現」を求め、知識データベースとして登録しておく。

この階層表現は、2次ゼロ交差線の σ_0 から $\sigma = 0$ までを $(n+1)$ 等分し、大きい尺度から順に $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ とした時の各 σ_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) における一周期の2次ゼロ交差線間の距離（その区間の波形の凹凸に従って正負とする）のリストで表わされる。すなわち、一つの σ_i を一つの層として捉え、 σ_0 を最上層、 σ_n を最下層とする階層構造のリストを物体の特徴の階層表現とする。

3.2 階層表現と類似度

入力画像の輪郭図から得られる階層表現と、画像データベース中の物体の階層表現との間の類似度を、以下のように定義する。

類似度は、全体類似度と層類似度の2種類で構成され、階層表現の各層ごとに定義される層類似度の荷重平均を全体類似度とする。層類似度は同一の σ_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) において、二つの階層表現 X, Y がどの程度類似しているかにより定義する。階層表現 X の σ_i におけるリストを X_i, Y の σ_i におけるリストを Y_i とすると、

$$X_i = \{d_{x_{ij}} | j = 0, 1, 2, \dots, m_{x_i} - 1\}$$

$$Y_i = \{d_{y_{ij}} | j = 0, 1, 2, \dots, m_{y_i} - 1\}$$

と表わせる。ここで、 m_{x_i}, m_{y_i} はそれぞれ X, Y の σ_i における2次ゼロ交差線による分割数、すなわちリストの要素数である。

X_i の Y_i に対する対応の度合い LS_i （これを層 i の層類似度と呼ぶことにする）を、リスト中で連続して要素の値が一致する時の幅（要素数）を用いて表わすものと捉え、孤立的に値が一致するものも考慮にいて、

$$LS_i = \frac{\log_2(2^{S_{ci}} + 2 \cdot S_{nci})}{m_{x_i}} \quad (4)$$

とする。ここで、 S_{ci} は連続して一致する要素の個数、 S_{nci} は孤立的に値の一致する要素の個数を表わす。 X_i と Y_i が完全に一致していた場合 $S_{ci} = m_{x_i}, S_{nci} = 0$ となり、 $LS_i = 1$ となる。(4)式は、孤立的に値の一致した要素の個数に対する重みが $\log S_{nci}$ 程度で妥当であると、予備的な実験から導いたものである。

次に各層の層類似度により、全体の類似度 WS （全体類似度と呼ぶ）を以下のように定義する。

$$WS = \sum_{i=0}^n w_i \cdot LS_i \quad (5)$$

ここで、 w_i は各層の重みであり、 $\sum w_i = 1, w_i \geq w_{i+1}$ ($i = 0, 1, \dots, n-1$) とする。

3.3 認識手順

入力画像の階層表現とデータベースの階層表現とで、まず $i = 0$ より層類似度を比較していく。 i を徐々に大きくしていき、その i までの全体類似度を用いて、画像データベース中の物体を類似度が大きい順に並び変える。 i を大きくしていく度に候補を絞っていき、 $i = n$ まで絞り込んでいく。この時最も全体類似度の大きいデータベースの物体が、入力画像中の物体であると認識する。

Fig. 2 A structure of image database

4. 実験

実験対象としては、6種類の動物の模型を用いた。それぞれの模型を一定俯角のもとで一定角度ずつ視点を回転して撮像した画像から輪郭図を求め、尺度空間フィルタリングを行い階層表現を求め、これをデータベースとした。視点角度は 11.25° ごとに連続して6枚撮影したものをを用いた。データベースの構造を Fig. 2 に示す。

Fig. 3 Input images for experiments

Table 1 Degree of similarity between input images and database

candidates		degree of similarity
object 1	aspect 1	0.967
object 1	aspect 3	0.865
object 1	aspect 2	0.864
object 1	aspect 4	0.693
object 6	aspect 1	0.574

入力画像としては、Fig. 3 (a), (b) のようなデータベース中には無い視点からの画像を用いて輪郭図を求め、階層表現を作成し、認識を行った。Table 1 に Fig. 3 (a) の全体類似度計算結果を示す。Fig. 3 (a), (b) のほか、すべての対象物体に対して正しく認識された。

次に物体の一部に隠れがあったり、一部変形している場合の実験を行った。入力画像の輪郭図の例を Fig. 3 (c), (d) に示す。全体類似度が少し低下したものの、

ほかの物体も含め6種の隠れ、変形を含む物体すべてが正しく認識された。

実験においては階層表現の階層数 $n = 12$ 、層類似度を求める際のしきい値 $Th = 0.1$ 、全体類似度の重み w_i は i に関わらず $w_i = 1/(n+1)$ とした。まず、 σ_0 から σ_5 までの層類似度より全体類似度を求め候補を五つに絞り、その候補のみについてすべての層の層類似度および全体類似度を求めることにより、最終的な認識結果とした。

5. おわりに

輪郭線形状を尺度空間法を用いて階層的に表現することにより物体認識する一手法について提案し、実験によりその有効性を確かめた。認識対象物体の巨視的、微視的な特徴を階層的に表現する階層表現を用いて、物体の輪郭図の波形の特徴を各レベルで調べ、大まかな特徴から順次候補を絞り込んでいくことにより、高速で認識率の高い処理が行えた。また、物体に一部隠れが生じていたり変形している場合でも、ある程度の変形であれば認識することができた。

本手法は、輪郭線情報のみを用いて認識するため、対象物体の範囲は限定されるが、エッジ抽出に較べて輪郭のみの抽出は背景色の工夫などにより比較的容易であるため、簡易な物体認識システムや他のシステムの前処理などに有効であると思われる。残された問題点としては、アスペクト作成時の初期位置や回転間隔の決定が唯一に行えないこと、実験では俯角一定のアスペクトを用いており、他の角度からの入力画像に対してこのままでは対応できないこと、ゼロ交差の位置が大きく異なるような隠れが生じている場合や複数の箇所で隠れや変形が生じている場合に認識率が低下することなどが挙げられる。

参考文献

- 1) A. P. Witkin : Scale Space Filtering ; Proc. of 8th IJCAI, pp. 1019~1022 (1983)
- 2) 佐藤, 和田 : 構造線による一般化波形の階層的表現 ; 信学論, Vol. J 70-D, No. 11, pp. 2154~2159 (1987)
- 3) 伊藤, 和田, 佐藤 : 構造解析による波形の構造照合について ; 信学技報, PRU 89-106, pp. 41~48 (1990)
- 4) 和田, 順, 佐藤 : 周期波形の尺度空間フィルタリングマッチング ; 信学論, Vol. J 73-D-II, No. 4, pp. 544~552 (1990)
- 5) 守田, 川島, 青木 : 輪郭線形状の階層的記述によるマッチング ; 信学論, Vol. J 73-D-II, No. 5, pp. 717~727 (1990)
- 6) 福永, 西村, 浅野, 村田 : 特徴線分構造を用いた画像の対応 ; 信学論, Vol. J 73-D-II, No. 2, pp. 175~182 (1990)