

高さ関数レーブグラフによる物体認識

3P-1

平賀督基[†] 品川嘉久[†]東京大学[†]

1 概要

物体を認識する手法としては、曲率といった局所的特性の分布などによって物体を認識する方法があるが、そうした手法では測定誤差の影響を受けやすく、良い結果を得ることが困難となることがある。

本研究ではそうした手法とは異なり、物体の構造的特性を表し、また誤差の影響を受けにくい高さ関数のレーブグラフ [1]（以下、レーブグラフと略記）を用いての物体認識を目標としている。

本手法は主に2つの段階に分かれている。まず第一段階は、対象となる物体のレーブグラフをあらゆる角度から生成し、その角度に対応する球面上の点にレーブグラフをマッピングして、その物体の球面マップを作る段階である。物体の回転に関してレーブグラフは変化するため、この球面マップが必要となる。

第二段階は、生成された複数の球面マップ間の相似性を計算する段階であり、この段階を行なうことによって物体認識が行なわれる。このマップ間の相似性の判定のためには、レーブグラフ間の類似性を計算しなければならない。

本論文では、まずレーブグラフを紹介し、次にその類似性に関する定義を与える。最後に球面マッピングの手法を示して、どのように物体認識を行なうかを述べる。

2 レーブグラフ

レーブグラフの定義は次のように与えられる。 f をコンパクト多様体 M から実数への関数である時、関数 f のレーブグラフとは次の同値関係 \sim による $M \times R$ の商空間として与えられる。

$$(X_1, f(X_1)) \sim (X_2, f(X_2))$$

この関係は $f(X_1) = f(X_2)$ であり、 X_1 と X_2 が同じ連結成分であるときに成り立つ。

高さ関数レーブグラフは f として高さ関数をとるものである。

3 高さ関数レーブグラフの類似性

球面マップ間の相似性を判断するためには2つのレーブグラフ間の類似性を計算する必要がある。一般にグラフの類似性の判定はNP問題であり、計算するのは困難である。そこでこの問題を解決するために本手法では、グラフの類似性の問題を重みつきグラフのクリーク問題に置き換え [2]、そのクリーク問題を単純に重みの重いノードから採用していく方法を用いて解く。

なお、本手法ではレーブグラフに z 座標に関する情報を付加したレーブグラフを用いている。これを用いることで本研究におけるレーブグラフの類似性の定義が可能となっている。

レーブグラフの類似性から、重みつきグラフのクリーク問題への変換の概要は以下の通りである。まず、類似性を計算したいレーブグラフをそれぞれ

$$G_a = \{V_a, E_a\}, G_b = \{V_b, E_b\}$$

とし、それぞれの枝集合を、

$$E_a = \{a_1, a_2, \dots\}, E_b = \{b_1, b_2, \dots\}$$

とする。ここからクリーク問題を解くためのグラフ $G_C = \{V_C, E_C\}$ を生成するわけだが、ここで G_C の点集合 V_C は

$$V_C = \{n_{a_1 b_1}, n_{a_1 b_2}, \dots, n_{a_2 b_1}, n_{a_2 b_2}, \dots\}$$

となっており、 $n_{a_i b_x}$ は G_a の枝 a_i と、 G_b の枝 b_x がマッチすることを表している。

さらにグラフ G_a の枝 a_i とグラフ G_b の枝 b_x がマッチすることと、グラフ G_a の枝 a_j とグラフ G_b の枝 b_y がマッチすることが両立すれば G_C の点 $n_{a_i b_x}$ と点 $n_{a_j b_y}$ を枝で結び、そうでなければその点同士は結ばない。

このようにして生成されたグラフ G_C のクリークでノードの重みの和が最大であるものがグラフ G_a とグラフ G_b の類似性と定義することができる。つまり、 G_a と G_b の類似性 $S(G_a, G_b)$ は、 G_C の点の重みを $w(n_{a_i b_x})$ 、 G_C のクリークの集合を $Clique(G_C)$ とすれば以下のよう定義される。

$$S(G_a, G_b) = \max_{C \in Clique(G_C)} \sum_{n_{a_i b_x} \in C} w(n_{a_i b_x})$$

クリーク問題への変換で有意義なことは、複数の枝のマッチングの両立性が明示的になるということである。しかしクリーク問題に変換できたところでNP問題であることに変わりはないため、本手法では重みの重いノードから単純に選んでいく方法を用いる。ここで重要になるのが G_C の点の重み $w(n_{a_i, b_x})$ をどのようにとるかということであるが、それは次のように定義した。

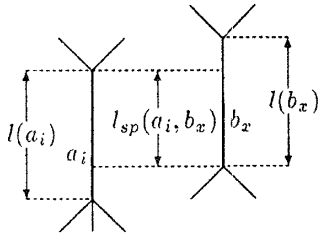


図 1

まず、図1のようにグラフ G_a の枝 a_i の長さを $l(a_i)$ 、同様に G_b の枝 b_x の長さを $l(b_x)$ とし、枝 a_i と枝 b_x が z 座標に関して重なっている部分の長さを $l_{sp}(a_i, b_x)$ とする。そして G_C の点の重み $w(n_{a_i, b_x})$ を次のように定義する。

$$w(n_{a_i, b_x}) = \frac{l_{sp}(a_i, b_x)}{2} \left\{ \frac{1}{\sum_{a_k \in E_a} l(a_k)} + \frac{1}{\sum_{b_m \in E_b} l(b_m)} \right\}$$

このように定義すると G_a と G_b が全く同じ時は $S(G_a, G_b) = 1$ となり G_a や G_b がどんなレーブグラフであっても、 $S(G_a, G_b)$ は0から1の間の値をとる。

4 球面マッピング

物体が回転すると生成されるレーブグラフもそれについて変化していく。このために一つの物体に対して一つのレーブグラフを割り当てていたのでは物体認識はできない。この問題を解決するために、あらゆる角度から物体のレーブグラフを生成し、それをその角度に対応する球面上の点にマップするという球面マッピングを行なう。

ある物体 α ともう一つの物体 β について、それぞれの球面マップ M_α 、 M_β を生成すれば、その比較を行なうことで物体認識ができる。一方のマップを固定し、もう一方のマップをあらゆる角度に回転させて各角度についてマップ間の相似性を計算し、一番相似性の高い角度についてその値を採用すればよいのである。

ここで2つのマップ間の相似性を計算する際に球面マップは半球で十分である。その理由を以下に述べる。

今、あるレーブグラフ G_a についてその z 座標が反対となっているレーブグラフを $-G_a$ と表記することにする。するとある球面マップ上の点にマップされたレーブグラフが G_a なら、その点と球を中心として対象となる

球面上の点にマップされたレーブグラフは $-G_a$ となる。さらにレーブグラフ間の類似性 $S(G_a, G_b)$ について以下のことが成立する。

$$S(G_a, G_b) = S(-G_a, -G_b)$$

このことから球面マップは半球面上にマップすれば十分であることが分かる。本手法では、球面マップの球を原点中心の単位球とし、マップするのは球面上の $z \geq 0$ である点のみとした。

しかし2つのマップ間の相似性を計算する際に、前述したように球面マップの回転が必要であり、この回転の際に $z < 0$ の点も出てくる。その際にはその点にマップされたレーブグラフが G_a であれば、その点と原点を対象にした球面上の点に、 $-G_a$ をマップしなおせばよい。

半球面マッピングを用いることによって、実装の面でメモリ容量的にも速度的にもその効率を向上させている。

5 まとめ

以上で述べたような手法を用いれば、レーブグラフによる物体認識が可能となる。レーブグラフに z 座標に関する情報を付加することでレーブグラフの類似性の定義が簡潔にでき、さらに球面マッピングを半球面のみで行なうことによって効率を上げることを目指している。

この手法の欠点は計算量が非常に膨大になるという点である。というのは、より正確な値を出すためには球面マッピングの際にマッピングされるレーブグラフの数を増やす必要があるからである。この問題を少しでも緩和するために半球面マッピングを導入した。

しかしそうした欠点に対してこの手法の利点は測定誤差に強い点である。レーブグラフは多少の誤差があってもその影響が増幅されず、さらにその影響を考慮してレーブグラフ生成時に誤差的な微小な枝を除去する処理をほどこすことができるので、この手法は誤差に対して強いものとして有効である。

今後の課題は様々な物体に対して本手法を用いて有効性を検証することである。

参考文献

- [1] Y. Shinagawa and T.L. Kunii, "Constructing a Reeb Graph Automatically from Cross Sections," IEEE CG & A, pp.44-51, Nov.1991
- [2] R. Horaud and T. Skordas, "Stereo Correspondence Through Feature Grouping and Maximal Cliques," IEEE Trans. PAMI, vol.11, no.11, pp.1168-1180, Nov.1989