

ベクトル場概念による画像の統合処理

1C-5

宮村 勲
新潟大学村尾洋
芝浦工業大学榎本肇
芝浦工業大学

1 はじめに

カラー画像を処理する場合、従来は要素信号ごとに白黒画像の手法を適用するのが一般的である。しかし、カラー画像は3種類の信号が互いに強い相関を持つため、これを分離して取り扱うのは望ましくない。我々は既にベクトル場の概念を用いた画像処理の方法を提案している。この手法を適用することにより、画像分析、合成、動画処理まで、全ての分野を統一的に取り扱うことができる。

2 ベクトル場の概念とヘルムホルツの定理

ベクトル場とは空間上の各点がベクトル値すなわち複数の値を持つものを指す。画像の場合にはいくつかの信号がベクトル場として考えることができる。一つは静止画のカラー画像信号であり、もう一つは動画の動きベクトルである。

静止画のカラー画像の場合、各画素に対して輝度・色度という複数の値が対応づけられている。個々の要素信号が独立に変化する場合にはベクトル場の概念を使用する必要はないが、実際の画像では強い相関を持って変化する。そこでベクトル場としての扱いが必要になる。

動画の動きの場合も個々の画素で独立して動くわけではなく、互いに強い相関を持っている。これを取り扱うためにもベクトル場の概念が必要になる。

画像は2次元であるので上の二つは2次元のベクトル場ということになるが、2次元のままでは有効な解析の手段がないので3次元のベクトル場に拡張する。すなわち、画像をXY平面としたときにそれと直交する方向にZ軸を取る。

3次元のベクトル場に関してヘルムホルツの定理が存在する。それによると、任意の3次元ベクトル場はポテンシャル場と渦との和として表現できる。

$$V = \text{grad } \phi + \text{rot } \psi$$

ポテンシャル場と渦はその特徴が異っており、ベクトル場が二つの相異なる特徴を持つ場に分離できる。

$$\begin{aligned} \text{div } V &= \text{div} \cdot \text{grad } \phi \\ \text{rot } V &= \text{rot} \cdot \text{rot } \psi \end{aligned}$$

ベクトル場の発散を求めることによりポテンシャル場成分の特徴を、ベクトル場の回転を求めることにより渦の特徴を求めることができる。ベクトル場の変化の様子はその発散と回転により表現できる。

3 ベクトル場による統合処理の基本機能

スカラー関数の集まりとしてではなく、ベクトル場として画像を取り扱うときに必要な基本機能について述べる。

ベクトル場において、その発散あるいは回転が大きな値を取る点をエッジと呼ぶ。また、ポテンシャル場のピークや変曲点を構造拡張型エッジと呼ぶ。このような点はベクトル場の特徴を表している。

輪郭線を表すエッジ上の何点かでベクトル値が与えられたときにその領域内のベクトル場を決定する問題がある。これを実現するために、次の様な機能が必要になる。

- エッジ上のベクトル補間
- ベクトル場の近似
- ベクトル場の平滑化

エッジ上の補間とはエッジ上に何点かベクトル値が与えられたときに、それ以外のエッジにおけるベクトル値を補間する機能である。エッジに直交する方向ではベクトルの変化は大きい、エッジに沿った方向の変化は小さい。そこでエッジに沿った方向では補間が可能になり、これを効率よく実行する機能が必要である。

エッジ上の全てのベクトルが決定したときに、エッジに囲まれた領域内のベクトルの第一近似を計算する機能も必要である。領域内のベクトル値を決定する方法として、繰り返し法を用いる。繰り返しの初期値としてまず、第一近似を計算する。第一近似の計算は走査線毎に1次元で行う。領域の両端の情報から関数近似により計算する。

走査線方向には滑らかであるが、走査線に垂直な方向では不連続になる。両方向とも連続にするため、領域内でベクトルの発散と回転が0となるように平滑化する機能が必要になる。

4 静止画におけるベクトル処理

静止画の場合、ベクトル場の概念はカラー画像信号に適用される。カラー画像信号の発散と回転の値はほとんど0に近い値を取る。これらが大きな値を取る箇所はベクトルが急激に変化する箇所であり、画像のエッジ情報を表している。従来、輝度信号からのエッジ検出は存在するがカラー画像としてのエッジ検出は存在しない。ベクトル場の概念を利用することによりエッジ検出が、すなわちカラー画像の特徴抽出が可能になる。

画像のエッジ部でベクトルの発散と回転は大きな値を取るがそれ以外の点では発散も回転もほとんど0に近い値しか取らない。そこで、エッジ以外の点で発散も回転も0であると近似することにより、エッジにおける画像情報からエッジ内部の画像情報を計算することができる。この考えを用いると容易に画像生成システムが構築できる。

利用者にアッサンとして描画対象の輪郭とエッジを入力してもらい、その線に沿って何点かに色を付けてもらう。これらの値よ

り、エッジ上の色を全て補間する。次に、エッジ上の色から領域内部の色を近似する。最後にエッジ内部の色をヘルムホルツの定理を用いて平滑化する。

輪郭線入力 → エッジの色づけ → エッジ上の色補間
→ 内部色の推定 → 平滑化

図 1: 画像合成の流れ

この描画アルゴリズムを用いて、ユーザフレンドリなシステムの構築も行っている。輪郭線の入力、エッジへの色づけ、内部の採色をオブジェクト指向に基づき実現する。できあがった画像が満足できるものでない場合には輪郭線の修正、エッジ上の色修正を繰り返す。このオブジェクトネットワークを逆にたどることにより、画像の解析が行われる。つまり、画像の解析と合成は双対な関係にある。

画像の符号化とは画像再生に必要な情報を原画像から取り出し、符号化することである。上で述べた画像合成に必要なエッジの形状と、エッジ上の色信号を原画像から抽出し、符号化することにより効率の良い符号化システムが構築できる。

5 動画におけるベクトル処理

動画における動き検出も重要な分野である。動きは剛体運動と軟質体運動に分けることができる。剛体運動として並進運動、拡大縮小、画像平面に直交する軸を中心とする回転運動、画像平面内の軸を中心とした回転運動が考えられる。

軟質体運動とは局所的な動きを表し、各部の動きから剛体運動を差し引いた値が軟質体運動になる。そこでまず、剛体運動を検出することから始める。

剛体運動の検出はエッジの動きに基づいて行う。エッジの動きはエッジ間の対応を取る方法も考えられるが、任意の形状の対応を取ることは難しい。そこでベクトル処理でこの問題を解決する。

エッジの動きはエッジに直交する方向の動きと、エッジに沿った動きに分割される。エッジに直交する方向の動きは決定できるが、エッジに沿った動きはその点だけでは決定できない。そこで、エッジに直交する方向のエッジの移動量が各画素で与えられ、それらの値から4種類の動きを求めるという逆問題になる。

物体が並進運動する場合、物体内の各点の動きベクトルはその座標によらず一定になる。そのベクトルを V_p で表す。

拡大縮小の場合、拡大縮小の中心が問題になるが、これは原点を中心とした拡大縮小と並進運動に分離できる。そこで全て原点中心の拡大縮小とみなす。考えている地点の位置ベクトルを r とし、拡大率を s とすれば、その点の移動量 V_s は $s \cdot r$ になる。

面に直交する軸を中心とした回転の場合にも、回転の中心が問題になるが、この場合にも原点を中心とした回転と並進運動に分離できる。そこで、全て原点中心の回転運動とみなす。回転の角速度を ω とし、位置ベクトルと直交し長さが等しいベクトルを R とする。すると、その点の移動量 V_R は $\omega \cdot R$ となる。

以上の3種類の動きは物体の3次元形状とは無関係に決定できる。また、エッジの動きだけで物体全体の動きを決定することができる。これら3種類の動きが同時に起きた場合の動きを V とすれば

$$V = V_p + s \cdot r + \omega \cdot R$$

となる。

実際にエッジに直交する方向の動きを a 、エッジに平行な動きを b 、移動前後の二つのエッジがなす角度を θ とすれば、実際に観測される垂直方向のエッジの移動量 D は

$$D = a + b \tan \theta$$

で表される。ただし、このような関係が成り立つのはその近傍でエッジの直線性が仮定できるときである。また、直線性が仮定できず、尖った先端などはエッジの対応が容易にとれるので、エッジの移動量が求められる。

複数の地点でのエッジの移動に関する条件より、その剛体の動きを3種類の動きに分割することができる。

画像平面内の軸を中心回転する場合には物体の3次元形状の情報が必要になる。XY平面内の軸を中心回転する場合を考える。この場合、点 (x, y) における動きベクトルをXY平面に射影した動きベクトルは回転軸と直交し、その大きさは ΩZ となる。つまり、その点のZ座標の値に比例した値になる。その点のZ座標の値が分からなければ、動きベクトル V_t は決定できない。ところがこの式を逆に見ると、各点での動きからその点の3次元形状が判定できることになる。つまり、面内軸を中心回転させた場合の各点での動き量が測定できれば、その物体の形状が決定できることになる。

回転軸と直交する単位ベクトルを $(\cos \theta, \sin \theta)$ とすれば

$$\begin{aligned} \text{div} V_t &= Zx \cos \theta + Zy \sin \theta \\ &= (Zx, Zy) \cdot (\cos \theta, \sin \theta) \\ \text{rot} V_t &= Zy \cos \theta - Zx \sin \theta \\ &= (Zx, Zy) \cdot (-\sin \theta, \cos \theta) \end{aligned}$$

が成り立つ。すなわち、 $\text{div} V_t = 0$ の点は曲面の最大傾斜方向が回転軸と直交する点である。また、 $\text{rot} V_t = 0$ の点は曲面の最大傾斜方向が回転軸と平行な点である。そして、発散も回転も0である点は曲面の極値を与える点である。

発散または回転が0である点を追跡することにより、曲面の極値を求めることができる。この考えを用いると、物体をXY平面内の軸の回りに回転させ、各点での動きベクトルを求め、その発散と回転を計算することにより物体の3次元計測が可能になる。

6 まとめ

従来画像処理のそれぞれの分野では別々の手法が提案され、適用されてきた。しかし、ベクトル場の概念をカラー画像に適用することにより、画像の合成、符号化、動きベクトルの検出、3次元形状解析等を統一的に扱うことが可能になることを示した。その際必要になる基本機能を効率よく実行するハードウェアが開発されれば、カラー画像処理がより身近なものになり、真の意味のマルチメディアの時代がくるものと思われる。

参考文献

- [1] . miyamura and H. Enomoto, *Vector Field Coding Method of Color Picture*, PCS90
- [2]、長谷部、宮村、榎本：要素ネットワークによる画像描画と処理の統合、46回情報処理全国大会、1993
- [3] 野、守屋、宮本、村尾、榎本：動画像表現における構造ネットワーク、46回情報処理全国大会、1993