5G－7

時系列画像および連続断層画像における位相情報を用いた３次元構造の可視化

黒田 篤　　品川 嘉久
東京大学

1　はじめに

人体などの連続断層画像や時間と共に変化する２次元画像列の特徴を直観的にとらえる手段として、これらの画像列を３次元空間上で可視化する手法は非常に有効である。しかし２次元画像列から３次元構造を構成するためには隣接する２次元画像を補間する必要があるが、これまでは対応づけを行なわない単純な線形補間などによる手法が大部分であった。

そこで本稿では、２次元時系列画像および連続断層画像を３次元ボリュームデータとみなし、多重解像度におけるオプティカルフロー (例えば[1] 参照) を応用することによって得られる位相情報を用いて、２次元連続画像の補間を行なう手法を提案する。更にその３次元構造を可視化する手法について考察する。

2　２次元連続画像列の補間

本稿で提案する２次元連続画像列の補間手法は、まず２次元連続画像列を密度や輝度値などの３次元ボリュームデータとみなし、密度や輝度値の滑らかな変化を仮定する。そして画像列間に解像度を変化させながらオプティカルフローを応用して対応づけを行ない[2]、この対応づけに基づいて画像列の間を補間する手法である。

3　解像度を固定した画像列間の対応づけ

まず解像度を固定した場合について画像列間のオプティカルフローを用いた対応づけを考える。以下にオプティカルフローの概要を述べる。

２次元連続画像列をある解像度 k において (x,y) 平面上の密度データとして定義する。次に密度を３次元ボリュームデータとみなすために、連続画像列間の距離として s 軸を用意し、(x,y,s) 空間における関数 $d(x,y,s)$ として定義する。ある画像内の点と、次の画像中のその点に対応する点の密度は等しいと仮定する。対応する点が $(\Delta x, \Delta y, \Delta s)$ だけ移動したとすると、

$$d(x+\Delta x, y+\Delta y, s+\Delta s) = d(x,y,s)$$

が得られる。この式の左辺をテイラー展開し、$\Delta s \to 0$ の極限をとると、

$$\frac{\partial d}{\partial x}\frac{dx}{ds} + \frac{\partial d}{\partial y}\frac{dy}{ds} + \frac{\partial d}{\partial s} = 0 \qquad (1)$$

が成り立つ。

さらに、対応する２点の移動ベクトルを

$$(V_x, V_y) = \left(\frac{dx}{ds}, \frac{dy}{ds}\right)$$

とおくと、本手法で用いる２次元連続画像列は画像間の変化が少なく、対応する２点間の移動ベクトルが滑らかに変化するという仮定が可能であるから、移動ベクトルの勾配の大きさの２乗積分

$$E_2 = \int\!\!\int \left(\left(\left(\frac{\partial V_x}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_x}{\partial y}\right)^2 \right) + \left(\left(\frac{\partial V_y}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_y}{\partial y}\right)^2 \right) \right) dxdy \qquad (2)$$

を最小にするという拘束条件を得る。

以上より、移動ベクトル (V_x, V_y) の満たすべき条件は、式 (1) の左辺の大きさの２乗積分を

$$E_1 = \int\!\!\int \left(\frac{\partial d}{\partial x}\frac{dx}{ds} + \frac{\partial d}{\partial y}\frac{dy}{ds} + \frac{\partial d}{\partial s}\right)^2 dxdy$$

とおいて、

$$E_1 + \lambda E_2 \qquad (3)$$

を最小にすることである。

4　解像度を変化させた画像列間の対応づけ

3節の手法は解像度を固定して移動ベクトルを対応づけているが、移動ベクトルの間ににねじれなどが生じている可能性があるため、連続画像列の３次元構造が位相的に正しいという保証がない。そこで図１のように解像度を段階的に上げながら、繰り返し3節の手法を用いて点を対応づける。

本手法における解像度は 2^k とし、ある解像度 2^k から次の解像度 2^{k+1} への移動ベクトルの変化の大きさの和の２乗

$$E_3 = \sum_l \left(v_{il}^{k+1} - v_i^k\right)^2 \qquad (4)$$

を最小にすることで、位相的に正しくない移動ベクトルのねじれなどを減少させることができ、より位相的に正しい対応づけを得ることができる。

以上より本手法では式 (3) と式 (4) を合わせて、

$$E_1 + \lambda_1 E_2 + \lambda_2 E_3 \qquad (5)$$

Visualization of three-dimensional structures, a series of time variant or cross-sectional images

Atsushi KURODA, Yoshihisa SHINAGAWA
The university of Tokyo

に変分法を用い、反復法による数値計算によって解を求める。

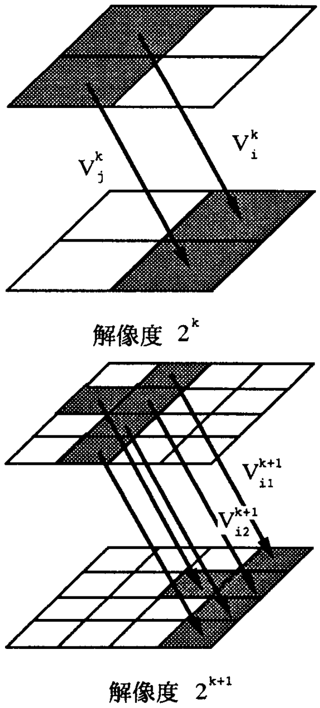

図1 解像度の変化

5 三角形分割によるサーフェス構成と3次元構造の可視化

対応する点の隣合う移動ベクトルは同一平面上には存在しない可能性があるため、そのまま四角形によってサーフェスを構成することはできない。そこで図2のように隣合う移動ベクトルの一方の始点ともう一方の終点を結ぶ線を用意し、サーフェスを三角形に分割することによってサーフェスを構成し、レンダリングを行なう。

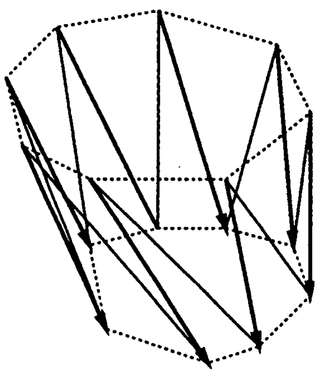

図2 三角形分割の例

6 実験手順

節3、3の手法をシミュレーションするためにオプティカルフローの数値処理法 [3] を参考にして、式 (5) から Euler-Lagrange の方程式を求め、これを離散化した連立方程式に対して Gauss-Seidel 法を用いて逐次的に移動ベクトル (V_x, V_y) を求めた。

7 おわりに

本稿では2次元時系列画像および連続断層画像を3次元ボリュームデータとみなし、密度や輝度値の滑らかな変化を仮定のもとで、ボクセルの解像度を変化させながらオプティカルフローを応用することによって位相情報を抽出して2次元画像間の対応づけと補間を行なう手法を提案した。

本手法は2次元画像列の変化が回転や平行移動の組合せなどの単純な場合は比較的容易に点の対応づけと補間が可能であるが、画像列中に分岐や出現などの複雑な変化が存在する場合には対応づけがうまくいかないことがある。

今後は分岐や出現などにも対応づけが可能なアルゴリズムの開発と、本手法においては解像度の変化は画像平面上のみに限っているため、画像に垂直な方向の解像度も変化させて、対応づけるボクセルの大きさを変化させるアルゴリズムの開発を考えている。

参考文献

[1] Berthold K. P. Horn, NTT ヒューマンインタフェース研訳 “ロボットビジョン”, 朝倉書店 (1993)

[2] Masahiko Yachida “Determining Velocity Maps by Spatio-Temporal Neighborhoods from Image Sequences”, Comp. Graphics & Image Proc., Vol. 21, pp.262-276(1983).

[3] 宮島耕治, 武川直樹 “正則化を用いたオプティカルフロー推定における信頼度解析”, 信学技法,IE94-153, pp.59-66(1995)