

3D 断層画像内挿の一手法

6P-05

陳 国躍[†]
秋田県立大学

繆 斌和[‡] 包 尚聯[‡]
北京大学

1. はじめに

一般的に行われる方法で撮影された CT や MRI の画像では、断層間画素の距離のほうが断層内の距離より大きい。しかし、実際に行われている 3D 画像の画像処理では等間隔に行われることもあることから、3D 断層画像の画像処理に用いられている従来の直接線形補間では輪郭にぼけなどの問題が生じている。ここでは、その問題を解決する一手法としてポイントマッチングに基づく 3D 断層画像内挿の手法を検討する。

2. 挿入方法

3D 画像において、 $v(x, y, z)$ は画素の座標 (x, y, z) の濃度値、 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ は x, y, z 方向上の画素間距離とする。以下、 $\Delta x = \Delta y = \Delta$ 、また $\Delta z > \Delta$ とする。

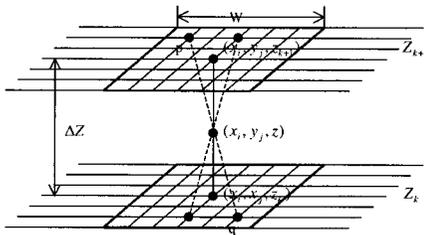


図 1 : ポイントマッチングに基づく挿入方法

ここで提案する手法では、図 1 に示すように、既知 3D 画像 $v(:, :, z_k)$ と $v(:, :, z_{k+1})$ の間に新たに内挿画像 $\hat{v}(:, :, z)$ を設ける。さらに、その内挿画像の画素の座標 (x_i, y_j, z) 毎に、上の画像と下の画像に各々 (x_i, y_j, z_k) と (x_i, y_j, z_{k+1}) を中心として、 $W \times W$ の窓を設ける。そのとき、両窓内から挿入画像の座標 (x_i, y_j, z) を通過する一組の直線により、一群の対応点ができる。対応点の間に、濃度値、濃度勾配の大きさと向き、及び位置から最適な対応点を選ぶことをポイントマッチングと言う。マッチングされたポイントから新しい一層画像の画素濃度値を算出する。具体的方法を以下に紹介する。

A method of interpolation for 3D images

[†]Guoyue Chen, chen@akita-pu.ac.jp

Akita Prefectural University

[‡]Binhe Miao, Shanglian Bao

Peking University

3. 最適な対応点の選択方法

3.1 窓幅 W

窓幅 W は、以下の二つの方法により定める。

(1) 適当な値を定める。対称性を考慮し奇数を選ぶ。例えば、 $5 \times 5, 7 \times 7$ 等。

(2) W は、 Δz と Δ の関係次式で求める。

$$W = 2 \cdot \text{int}\left(\frac{\Delta z}{\Delta}\right) + 1 \quad (1)$$

ここで、int は、整数をとる関数。

3.2 候補対応点

上下断層画像の対応点をすべて両画像の窓内に取りなめ、挿入される画素 $\hat{v}(:, :, z)$ で距離が遠いほうの窓内の候補点を断層 z_k とする。このとき、 $v(:, :, z_k)$ 上の候補対応点の位置は次式に示される。

$$x_m(k) = x_i + \left(\frac{2m-1-W}{2}\right)\Delta \quad (2)$$

$$m = 0, 1, 2, \dots, W-1$$

$$y_n(k) = y_j + \left(\frac{2n-1-W}{2}\right)\Delta \quad (3)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, W-1$$

一方、 z_{k+1} 層上の対応点の位置は、

$$x_m(k+1) = \frac{d_1 + d_2}{d_1} \cdot \left[\frac{(W-1)\Delta}{2} - x_m(k)\right] + x_m(k) \quad (4)$$

$$y_n(k+1) = \frac{d_1 + d_2}{d_1} \cdot \left[\frac{(W-1)\Delta}{2} - y_n(k)\right] + y_n(k)$$

ここで、 $d_1 = z - z_k$ は、 (x_i, y_j, z) から $v(:, :, z_k)$ までの距離、 $d_2 = z_{k+1} - z$ は、 (x_i, y_j, z) から $v(:, :, z_{k+1})$ までの距離である。

3.3 最適な対応点

下記の関数を用いて、対応点 (x, y, z) と (x', y', z') のマッチング度を定義する。

$$C(x, y, z, x', y', z') = \sqrt{u_1} [v(x, y, z) - v(x', y', z')]i + \sqrt{u_2} [D(x, y, z) - D(x', y', z')]j + \sqrt{u_3} [\theta(x, y, z) - \theta(x', y', z')]k \quad (5)$$

ここで、 $D(x, y, z)$ 、 $\theta(x, y, z)$ は、 (x, y, z) 点の濃度ベクトルの大きさと向き、 $D(x', y', z')$ 、 $\theta(x', y', z')$ は、 (x', y', z') 点の濃度ベクトルの大きさと向きである。 $\sqrt{u_1}$ 、 $\sqrt{u_2}$ 、 $\sqrt{u_3}$ は重みである。(5)式から、

$$\begin{aligned}
 & |R(x_m(k), y_n(k), z_k, x_m(k+1), y_n(k+1), z_{k+1})| \\
 &= \sqrt{u_1[v(x_m(k), y_n(k), z_k) - v(x_m(k+1), y_n(k+1), z_{k+1})]^2} \\
 & \quad + u_2[D(x_m(k), y_n(k), z_k) - D(x_m(k+1), y_n(k+1), z_{k+1})]^2 \\
 & \quad + u_3[\theta(x_m(k), y_n(k), z_k) - \theta(x_m(k+1), y_n(k+1), z_{k+1})]^2 \quad (6)
 \end{aligned}$$

となり、また、最適な対応点は、(7)式に示すように最小になる画素 $(x_p(k), y_q(k))$ と $(x_p(k+1), y_q(k+1))$ となる。

$$\begin{aligned}
 & |R(x_p(k), y_q(k), z_k, x_p(k-1), y_q(k-1), z_{k+1})| \\
 &= \min_{\substack{m=0.12 \dots 1 \\ n=0.12 \dots 1 \\ w=1}} |R(x_m(k), y_n(k), z_k, x_m(k-1), y_n(k-1), z_{k+1})| \quad (7)
 \end{aligned}$$

特に、 $x = x_i, y = y_j$ の場合、選択された最適な対応点は (x_i, y_j, z_k) と (x_i, y_j, z_{k+1}) となり、これは、従来の直接線形挿入する方法と同一になる。求められた最適な対応点から、挿入される画像の画素濃度値 $v(x_i, y_j, z)$ は下式によって算出される。

$$\begin{aligned}
 & v(x_i, y_j, z) \\
 &= \frac{1}{\Delta z} [v(x_p(k), y_q(k), z_k)(z_{k+1} - z) + v(x_p(k+1), y_q(k+1), z_{k+1})(z - z_k)] \quad (8)
 \end{aligned}$$

4. シミュレーション結果

検討した挿入方法の有効性を確認するため、任意の連続した3枚の画像について、1, 3番目の断層画像から2枚目の断層画像を作成し、実際に撮影された2枚目の断層画像と比較する。シミュレーションの結果、窓幅Wを大きくとっても挿入される画像がそれ程よくならないことから、計算上の都合も考慮して、5×5の窓幅とした。ここでは試行錯誤の結果、(5)式で用いる重みを $u_1=2.0, u_2=0.1, u_3=2.5$ として計算を行った。

図5と図6は、本文挿入法と直接線形法で得られた画像であり、図7と図8は、本文挿入法と直接線形法での誤差画像である。また、評価方法の一つとして、(9)式で示す差の結果を下表に示す。

$$FOM(S) = \frac{1}{N \times N} \sum_{i,j} [v(x_i, y_j, z_2) - \hat{v}(x_i, y_j, z_2)]^2 \quad (9)$$

	本文挿入方法	直接挿入方法
FOM	8.020×10^3	8.944×10^3

図5-8の結果から、本文提案された挿入方法を用いて挿入された画像の画質が直接線形挿入法よりよくなること示された。特に、輪郭のぼやけが改善されていることがわかる。

5. 終わりに

本文では、より高画質の挿入断層画像を求める計算方法として、ポイントマッチングに基づく挿入法を検討した。その結果、直接線形挿入法に比べて画質が向上し、特に、輪郭のぼやけの問題が改善された。今後、評価方法などについて検討を行う予定である。

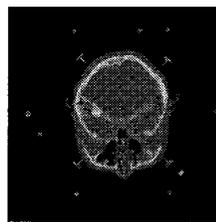


図2: 原始Z₁画像

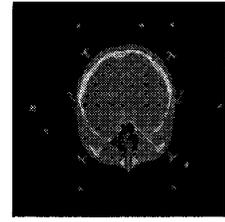


図3: 原始Z₃画像

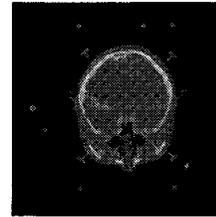


図4: 原始Z₂画像

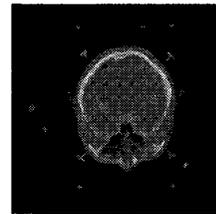


図5: 本文挿入結果

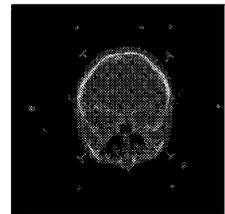


図6: 線形挿入結果

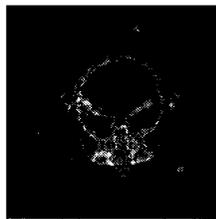


図7: 本文挿入誤差画像

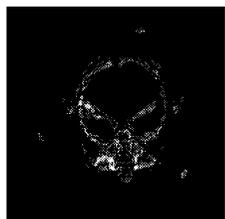


図8: 線形挿入誤差画像

参考文献

[1] Z. Goshtasby, D. A. Turner, and L. V. Ackerman. Matching of tomographic slices for interpolation. IEEE Trans. Med. Imag., 1992, 11(4): 507-516.
 [2] W. E. Higgins, C. J. Orlick, and B. E. Ledell. Nonlinear Filtering Approach to 3-D Gray-scale Image Interpolation. IEEE Trans. Med. Imag., 1996, 15(4): 580-587.