

3次元医用画像からのモデルベースによる心臓領域抽出

村下 純也[†] 金子 邦彦^{††} 牧之内 顕文^{†††}九州大学大学院システム情報科学府[†]九州大学大学院システム情報科学研究所^{††}久留米工業大学工学部^{†††}

1. はじめに

本稿は、CT や MRI などの3次元医用画像から心臓領域を抽出する手法として可変形状モデル[1]を利用するモデルベースの領域抽出法の研究である。可変形状モデルとはすでに抽出済みの臓器の形状モデルである。データとして頂点の座標、三角形ポリゴンを構成する頂点の番号、頂点の単位法線ベクトル、頂点座標における濃淡値の平均と標準偏差を持っている。これを変形させて未知の画像にマッチングさせる。マッチングは2つのエネルギーを用いて行う。各頂点の法線に沿って見つけた境界の特徴をもつ目標点から外部エネルギー式を立てる。また心臓モデルの初期形状における頂点の配置から内部エネルギー式を立てる。2つのエネルギー式を加えたものが最小になるような頂点の座標を計算する。心臓モデルの頂点をエネルギー最小化で求めた頂点の座標に更新して局所変形を行う。

近年の医用画像ではCTやMRIなどの高精細な画像が用いられており、以前に比べデータ量が増加している。これらの画像から対象の臓器の領域を1枚ずつ手動で抽出するには膨大な時間が掛かる。このような背景から、可変形状モデルを利用した医用画像領域抽出に注目が集まっている。領域抽出を行う際にコントラストの弱さによる臓器の境界の濃淡値の変化の小ささやノイズの影響による問題に対処するために、可変形状モデルを用いて臓器の形状や境界の濃淡値などの情報が利用されている[5]。

本稿ではまず、2段階からなる局所変形の第1段階である目標点を求めるアルゴリズムについて説明する。目標点を領域抽出を行う臓器の境界上に算出することは重要である。次に我々が作成した日本人男性心臓可変形状モデルについて説明する。最後に実際に目標点を求めた目標点を計算するための1次微分フィルタとしてSobel[2]、Prewitt[3]、Kirsch[4]を比較した。この中で最も良い結果が得られたPrewittを用いて日本人男性心臓可変形状モデルの目標点を算出し、局所変形を行った結果を報告する。

2. 目標点の算出法

領域抽出は可変形状モデルを局所変形させて行う。局所変形は、可変形状モデルを構成する各ポリゴンの頂点の法線方向に目標点を求める計算と変形後のモデルを滑らかにする計算の2段階からなる。

目標点の算出は1次微分、閾値処理を組み合わせで行う。可変形状モデルの各頂点の法線方向に対して、画像に1次微分フィルタを掛けて求めた濃淡値の勾配ベクトルと単位法線ベクトルとの内積の大きさをサンプリングして心臓の境界を検出して目標点とする。目標点の計算式は次の通りである[1]。

$$v_i^{\text{target}} = v_i + \delta n(v_i) \arg \max_{j=1, \dots, l} \{F(v_i + j\delta n(v_i)) - Dj^2\delta^2\}$$

ただし、 v_i は頂点、 v_i^{target} は頂点 v_i の目標点、 $n(v_i)$ は頂点 v_i の単位法線ベクトル、 l は法線の片側のサンプリング数、 δ はサンプリング間隔、 F はサンプリング点における濃淡値の勾配ベクトルと単位法線ベクトルの内積の大きさ、 D は頂点からサンプリング点までの距離に対する F の値の重みを調節するパラメータを表す。

3. 実験

3.1 日本人男性心臓可変形状モデル

我々は、本実験で使用する可変形状モデルとして日本人男性心臓可変形状モデルを作成した。モデルの作成に使用したデータは日本人男性のCT画像1つである。画像の大きさは縦512、横512、スライス数169であり、縦横の解像度が0.31mm、スライス間隔が0.63mmである。CT画像は濃淡値としてCT値を持つ。この画像から心臓の心室周りの心筋の領域を手動で抽出し、形状を三角ポリゴンで表現した。作成した日本人男性の心臓可変形状モデルは頂点数が14088、ポリゴン数が28296である。領域抽出を行う対象は、別の日本人のCT画像である。この画像の大きさは縦512、横512、スライス数201であり、縦横の解像度が0.31mm、スライス間隔が0.63mmである。濃淡値としてCT値を持つ。

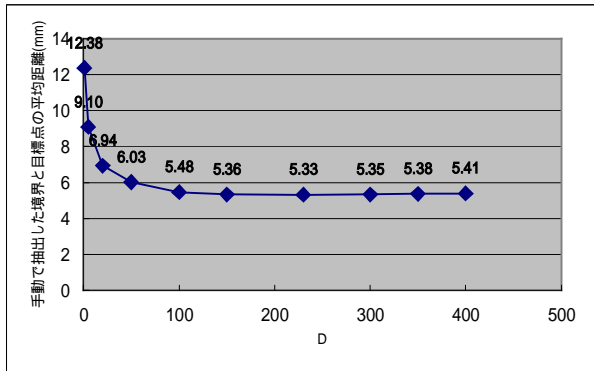
3.2 1次微分フィルタ比較

Sobel, Prewitt, Kirschの3種類の1次微分フィルタによって算出される目標点の違いを比較した。比較を行うため、領域抽出を行う対象のCT画像から心筋領域を手動で抽出し、日本人男性心臓可変形状モデルの各頂点の単位法線ベクトル上で最も近い心筋領域の境界を手動で抽出した境界とする。

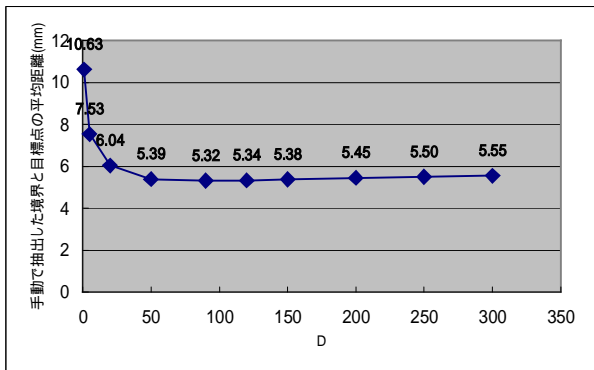
それぞれの1次微分フィルタを用いて、パラメータ D を変えながら日本人男性心臓可変形状モデルの各頂点の単位法線上で目標点を算出し、手動で抽出した境界までの距離を計算した。心臓モデルの全頂点の平均距離を図1に示す。最も良い結果が出たのはPrewittを用いて $D=90$ としたときであり、そのときの平均距離は5.32mmである。

Model-based heart segmentation of 3D medical image

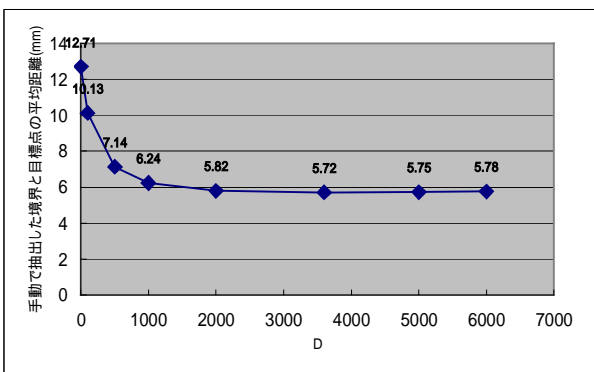
[†] Junya MURASHITA, Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University^{††} Kunihiko KANEKO, Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University^{†††} Akifumi MAKINOCHI, Faculty of Technology, Kurume Institute of Technology



(a) Sobel



(b) Prewitt



(c) Kirsch

図 1. パラメータ D による手動で抽出した境界と目標点の平均距離(mm)の変化

3.3 局所変形実験

3.2 で得られた結果から, 1 次微分フィルタに Prewitt を用い, パラメータ D を 90 に設定して局所変形を行った. 図 2 は局所変形の前後における日本人男性心臓可変形状モデルのポリゴンとスライス画像の交線を表示したものである. 心臓モデルの各ポリゴン毎に 3 つの頂点から手動で抽出した境界までの距離の平均値を求め, ポリゴンとスライス画像の交線を平均値に応じてグレースケールで表現している. (a)の局所変形前では左心室の内側に位置するポリゴンは全体的に心筋の境界から離れているが, (b)の局所変形後では左心室の内側の右上部分のポリゴンが心筋の境界に正しく移動できている.

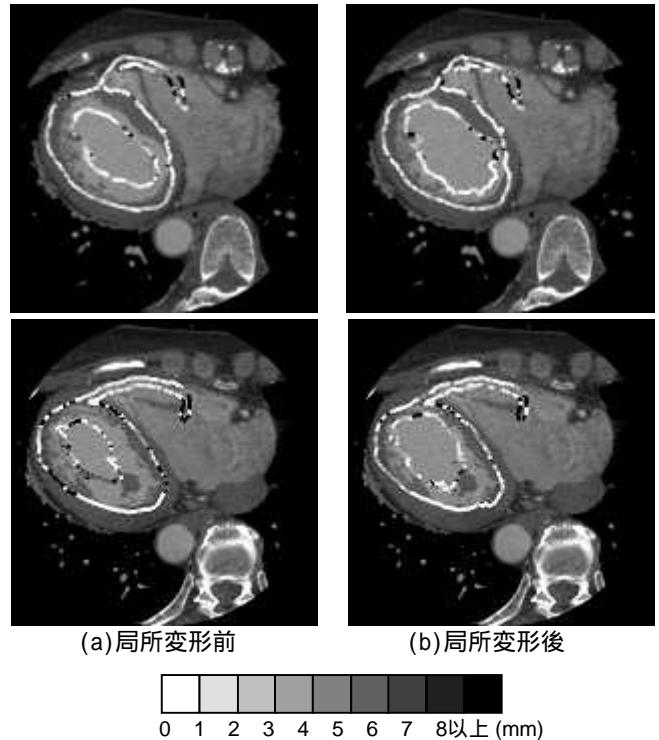


図 2. 局所変形前後における日本人男性心臓可変形状モデルとスライス画像の交線を表示. 日本人男性心臓可変形状モデルの各ポリゴンと手動で抽出した境界までの距離をグレースケールで表現している.

4. まとめ

Prewitt フィルタを用いて日本人男性心臓可変形状モデルの目標点の算出を行った. その後内部エネルギーを用いて形状を滑らかにして局所変形を行った. 心室内部のポリゴンに関してよい結果が得られた. 今後は勾配ベクトルの向きを考慮した目標点の算出や, 前処理として画像のスミージングなどを取り入れて目標点を正しい境界上で求められるように取り組む.

謝辞

本研究の一部は, 日本学術振興会研究費補助金課題番号 基盤研究 (A) 16200005 「病を知るデジタルヒューマン」研究開発 医学応用のためのコンテンツ作りによる.

文献

- [1] O. Ecabert, J. Peters, C. Lorenz, J. von Berg, M. Vembar, K. Subramanyan, G. Lavi, J. Weese, "Towards Automatic Full Heart Segmentation in Computed-Tomography Images", Computers in Cardiology 2005, IEEE Computer Society, 2005.
- [2] Orachat Sukmarg, K.R.Rao, "Fast object detection and segmentation in mpeg compressed domain", in TENCON 2000, Kuala Lumpur, Malaysia, Sept.2000, vol.3364-368.
- [3] D. Wang, D.M. Doddrell and G. Cowin, "A novel phantom and method for comprehensive 3-dimensional measurement and correction of geometric distortion in magnetic resonance imaging", Magn. Reson. Imaging 22, 2004, pp. 529-542.
- [4] Lisheng Wang, Tien-Tsin Wong, Pheng Ann Heng, Cheng, J.C.Y "Template-Matching Approach to Edge Detection of Volume Data", Proceedings of International Workshop on Medical Imaging and Augmented Reality (MIAR 2001), Hong Kong, June 2001, pp. 286-291.
- [5] Shigeru Muraki, Yasuyo Kita, "A survey of medical applications of 3D image analysis and computer graphics", Systems and Computers in Japan 37(1):13, 2006.