

3次元医用画像セグメンテーションにおける

心臓モデルの局所変形法

Local Deformation of Heart Model for Three Dimensional Medical Image Segmentation

村下 純也† Junya Murashita
 金子 邦彦†† Kunihiko Kaneko
 牧之内 顕文††† Akifumi Makinouchi

1. はじめに

本稿では胸部 CT 画像から心臓の領域を抽出する試みについて述べる。我々は心臓の境界を三角形ポリゴンで表現した心臓モデルを利用して領域抽出を行う。領域抽出は 2 つのデータを重ね合わせて行う。1 つは領域抽出を行う CT 画像であり、1 つは三角形ポリゴンモデルである。

心臓の心室周りの心臓モデルを局所変形する前に、抽出を行う CT 画像の心筋の位置や大きさにモデルをそろえる必要がある。心臓モデルの頂点の法線方向に対象とする心筋の境界が来るように、心臓モデルをアフィン変換した。

心臓モデルを局所変形するために、モデルの各頂点の法線方向に対して画像の濃淡値の勾配をサンプリングして臓器の境界を検出する。頂点の中には濃淡値の勾配の分布に突出したところがあるものがある。また、濃淡値の勾配の分布に突出した部分が見られない頂点もあることが分かった。

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。このように 2 つのエネルギーを加えることで頂点が直接目標点に移動することを防ぐ。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。

2. 先行研究

可変形状モデルは形状の表現方法と変形法則により分類することができる。医用画像から臓器の領域を抽出する手法に用いる可変形状モデルとして様々なモデルが提案されている。

[1]の Level set 法では初期の輪郭を与え、輪郭上の各点の曲率と画像の濃淡値に応じて伝播させることで対象臓器の境界を得る手法である。曲面を一次元高い補助関数面の等値レベルの点の集合とみなし、この補助関数の偏微分方程式を解くことによって輪郭を伝播させる。

[2]では三角形ポリゴンの頂点に濃淡値などの特徴情報を持つモデルを利用している。心臓の各部位の境界を三角形

ポリゴンでモデル化し、そのモデルを 8 人の患者の異なる心臓周期の画像に適応させて 28 個のサンプルデータを作成し、それらの平均を取ることで使用する三角ポリゴンモデルを作成している。モデルの変形では、ポリゴンの各頂点が画像中の濃淡値の勾配が大きい場所を目指して移動するが、三角形ポリゴンの頂点に濃淡値などの特徴情報を持つモデルを用いて領域抽出を行うことで、心臓の境界と他の臓器の境界を見分け、領域抽出の精度を上げている [3]。

我々は、本研究で使用する心臓モデルとして[2]の三角形ポリゴンモデルを作成した。ただし、モデルの作成に使用したデータは日本人の 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 0.31 mm、スライス間隔が 0.63 mm である。濃淡値として CT 値を持つ。この画像の心筋の領域を手動で抽出して心筋の形状を表現した心臓モデルを作成した。作成した心臓モデルは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、頂点の濃淡値を持っている。領域抽出を行う画像は別の日本人の 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。

[2]では境界の検出手法の際にサンプリングした点の特徴値が feature optimization via simulated search[3]で定めた範囲にあるときのみ濃淡値の勾配を返し、それ以外は 0 を返すが、我々は三角形ポリゴンの頂点を持つ濃淡値の平均値と標準偏差を用いて設定した範囲にあるとき濃淡値の勾配を返す。

3. 心臓モデルのアフィン変換

心臓の心室周りの心臓モデルを局所変形する前に心臓モデルの位置や大きさや角度を、抽出を行う CT 画像の心筋にそろえる必要がある。心臓モデルを局所変形する際に、心臓モデルの各頂点の法線方向に心筋の境界を検出する。

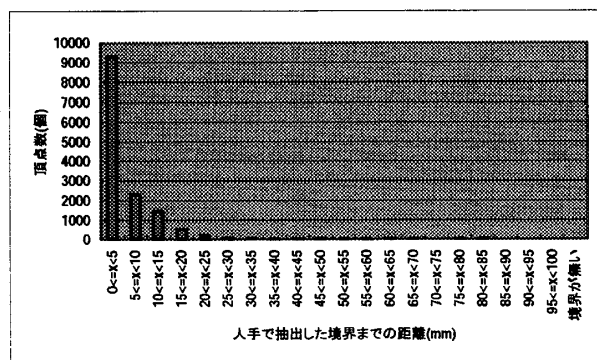
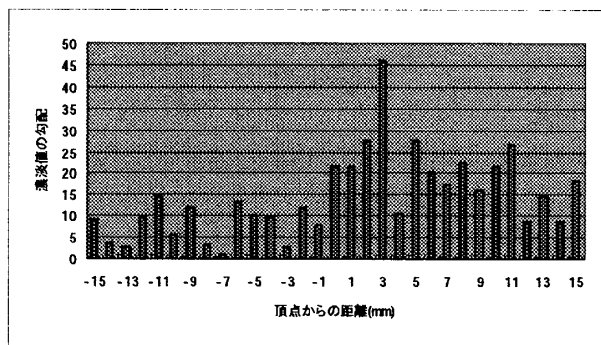
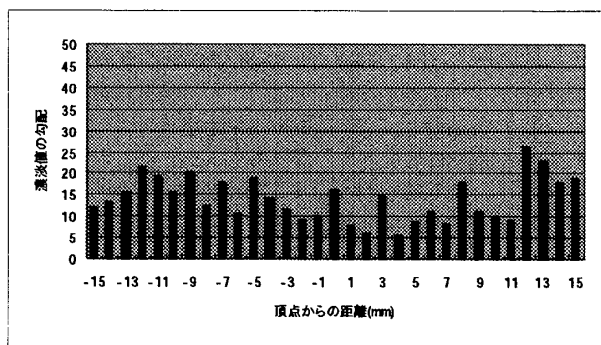


図1. 心筋の境界までの距離と頂点数

†九州大学大学院システム情報科学府
 Graduate School of Information Science and Electrical
 Engineering, Kyushu University
 ††九州大学大学院システム情報科学研究院
 Faculty of Information Science and Electrical Engineering,
 Kyushu University
 †††久留米工業大学
 Faculty of Technology, Kurume Institute of Technology



(a)



(b)

図2. 頂点の法線方向の濃淡値の勾配：(a)境界付近の頂点 (b)境界から離れたところにある頂点

我々は心臓モデルに手でアフィン変換を行い、画像と心臓モデルの位置合わせを行った。使用した心臓のモデルは頂点数が14088、ポリゴン数が28296である。

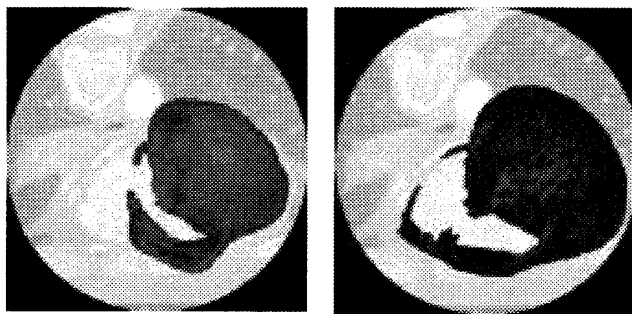
アフィン変換が正しく行われたことを確認するために、手で領域抽出済みの心筋の正解データを利用した。アフィン変換後の心臓モデルの頂点から正しい境界までの距離を法線方向に沿って測定した。測定結果を図1に示す。頂点から境界までの距離が5mm以内である頂点の数は9297であり、全体の約66%に当たる。頂点から境界までの距離が15mm以内である頂点の数は13047であり約93%を占める。また、法線方向に境界が無い頂点は1つも無い。

4. 濃淡値の勾配の分布

心臓モデルを局所変形するために、心臓モデルの各頂点の法線方向に対して画像の濃淡値の勾配をサンプリングして心臓の境界を検出する。我々は3.で各頂点の法線方向に心臓の境界があるようにアフィン変換を施した心臓モデルを用い、頂点付近の濃淡値の勾配の分布を調べた。頂点と頂点から法線に沿って1mmごとの勾配を頂点から15mmの範囲でサンプリングした。

心臓の境界付近に存在する頂点1点の濃淡値の勾配の分布を調査した結果を図2-aに示す。勾配の平均値は14.4HU、標準偏差は9.56HUである。全体的に勾配の値にばらつきがある。特に頂点から法線に沿って+3mmの地点では勾配の値が突出している。

次に心臓の境界から離れたところにある頂点1点の濃淡値の勾配の分布を調査した結果を図2-bに示す。勾配の平均値は14.0HU、標準偏差は5.24HUである。この頂点では法線方向に沿って濃淡値の勾配が突出した点が無い。



(a)

(b)

図3. 心臓モデルの局所変形：(a)局所変形後 (b)手で抽出した正しい境界

5. 局所変形によるセグメンテーション

頂点ごとに求めた目標点から外部エネルギー式を立て、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。この2つを加えたエネルギー式の最小化を共役勾配法を用いて行い、心臓モデルの局所変形によるセグメンテーションを行った。結果を図3に示す。アフィン変換後の頂点が境界付近にあるものでは境界に移動するものも見られたが、境界から離れた頂点では移動が見られなかった。

6. まとめ

我々が用いた心臓モデルを局所変形させる手法では頂点の法線方向に沿って臓器の境界を見つけるため、画像と心臓モデルの位置合わせは心臓モデルの各頂点の法線方向に対象とする境界が存在するようにすることが重要である。今回の実験では心臓モデルの頂点と手で画像から抽出した境界までの距離を調べることで、位置合わせ済みの心臓モデルを得ることができた。またこの心臓モデルの頂点の濃淡値の分布を調べ比較することで、画像の境界付近の頂点と境界から離れた頂点の分布の違いを確認することができた。

以上

謝辞

本研究の一部は、日本科学技術振興会科学研究費補助金課題番号HBB6200005、研究種目基盤研究(A)、萌芽研究1760031による。

文献

- [1] Malladi, R., Sethian, J.A., and Vemuri, B., Shape Modeling with Front Propagation: A Level Set Approach, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 17, No. 2, February 1995.
- [2] 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.
- [3] J. Peters, O. Ecabert, J. Weese, "Feature optimization via simulated search for model-based heart segmentation", In Proc. CARS. 2005, pp.33-38, 2005.