

AQ画像を用いた超音波心エコー画像の心内膜輪郭抽出法

Endocardial Contour Extraction of Echocardiogram Using Acoustic Quantification Images

吉村 成博[†] 汐崎 陽[†] 平野 豊[‡] 上原 久和[‡] 増山 理[§]
Naruhiro Yoshimura Akira Shiozaki Yutaka Hirano Hisakazu Uehara Tohru Masuyama

1. まえがき

近年の食生活の欧米化に伴い、心疾患者は増加傾向にある。現在、心疾患は癌に次いで日本人の死因第2位であり、心疾患の中でも虚血性心疾患の割合が高くなっている。虚血性心疾患とは、狭心症および心筋梗塞の総称であり、主に心臓の収縮拡張運動に問題がある病気である。画像による診断では、超音波を用いて心臓を撮影した超音波心エコー画像が広く用いられている。超音波心エコー画像とは、超音波の反射波強度を利用して作られた画像である。医師は、超音波心エコー画像から心臓の動きを予測して診断している。しかし、医師の経験や勘に頼るため、画像を用いた診断の際、医師間の差異が生じる可能性がある。また診断に用いる画像数が増加することによって、医師は診断に多くの労力と時間を費やさなければならない。そこで本研究では、医師の診断支援として画像を計算機で処理し、拡張末期から収縮末期における心臓の動きを心内膜の移動領域という指標を用いて定量的に解析することを目的とする。

本研究で用いる画像は、左心室単軸方向から撮影された超音波心エコー画像とAQ(acoustic quantification)画像の2種類である。AQ画像とは、超音波の反射波強度を閾値から自動認識して抽出された輪郭部を超音波心エコー画像に着色した画像である[1]。しかしAQ画像の輪郭線は、心壁と心内腔領域付近の境界に複数の輪郭線が存在し、医師が経験上判断する心内膜輪郭とは異なっている。そのため、AQ画像の輪郭線のみでは、正しい心内膜輪郭を抽出することが困難である。そこで本発表では、AQ画像の輪郭線を用いて輪郭モデルの初期輪郭を定め、それを基に動的輪郭モデルにより超音波心エコー画像から心内膜輪郭を抽出する手法を提案する。

2. 動的輪郭モデル

動的輪郭モデルは、複数の制御点で構成される輪郭モデルに対し、対象物の近傍で最小値をとるようなエネルギー関数を定義して、そのエネルギー関数を最小化することで最適な輪郭モデルを得ることができる手法である[2]。輪郭モデルを $v(s) = (x(s), y(s)) (0 \leq s \leq 1)$ とすると、エネルギー関数 E_{snakes} は次式で表される。但し s は輪郭の周囲長を正規化した値である。

$$E_{snake}(v(s)) = \int_0^1 (E_{int}(v(s)) + E_{image}(v(s))) ds + E_{con}(v(s)) \quad (1)$$

上式の各項 $E_{int}(v(s))$, $E_{image}(v(s))$, $E_{con}(v(s))$ について説明する。 $E_{int}(v(s))$ は、輪郭の滑らかさを表す内部

エネルギーであり、次式で表される。

$$E_{int}(v(s)) = \frac{\alpha |v_s(s)|^2 + \beta |v_{ss}(s)|^2}{2} \quad (2)$$

$v_s(s)$ はゴムのように伸縮する力を与え、 $v_{ss}(s)$ は曲げに対する反発力を与える。但し α, β は重み係数である。 $E_{image}(v(s))$ は画像エネルギーとよばれ、一般に輝度勾配が用いられ、次式で表される。但し $I(v(s))$ は輝度値、 γ は重み係数である。

$$E_{image}(v(s)) = -\gamma |I_s(v(s))|^2 \quad (3)$$

$$I_s(v(s)) = \frac{dI(v(s))}{ds}$$

$E_{con}(v(s))$ は、外部からの圧力を表す外部エネルギーである。本稿では外部エネルギーとして次式で表される面積エネルギー[3]を用いる。このエネルギーは輪郭の膨張、収縮に影響を及ぼす。但し δ は重み係数である。

$$E_{con}(v(s)) = \frac{1}{2} \delta \int_0^1 (x(s)y_s(s) - y(s)x_s(s)) ds \quad (4)$$

これらのエネルギー項の総和からなる E_{snakes} が最小となるように輪郭モデルを変形し、対象物の輪郭を得る。

3. 心内膜の輪郭抽出処理

虚血性心疾患は、心臓の拡張収縮運動に異常を引き起こすため、本研究では心内膜の移動領域を心臓の動きの特徴量として用いる。そのため、拡張末期および収縮末期の心内膜輪郭を正確に抽出する必要がある。そこで本節では、まず2節で述べた動的輪郭モデルを用いてAQ画像から超音波心エコー画像の輪郭モデルの初期輪郭を求める。次に、この初期輪郭と3.2節で新たに定義する動的輪郭モデルを用いて超音波心エコー画像から心内膜輪郭を抽出する。

3.1 AQ画像の輪郭線を用いた輪郭モデルの初期輪郭設定

本節では、AQ画像の輪郭線を用いて、超音波心エコー画像の輪郭モデルの初期輪郭を設定する方法について説明する。AQ画像の輪郭線は、超音波の反射波強度から抽出されるため、心壁と心内腔領域の境界付近には超音波の乱反射により作られた複数の輪郭線が存在する。また右心壁と考えられる輪郭線も存在している。そのため、AQ画像から、輪郭線で囲まれた左心室の心内腔領域と考えられる最も大きな領域を取り出し、その領域の輪郭を動的輪郭モデルを用いて求める。但し、動的輪郭モデルの制御点の初期配置は、取り出した領域が内接する四角形の外接円周上に配置する。そして、求めた輪郭を3.2節で用いる輪郭モデルの初期輪郭とする。

[†] 大阪府立大学大学院工学研究科

[‡] 近畿大学医学部循環器内科

[§] 兵庫医科大学循環器内科

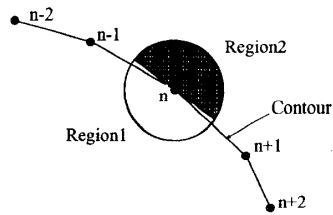


図1 分離度を算出する2領域

3.2 超音波心エコー画像からの心内膜輪郭抽出

3.1節で求めた輪郭モデルの初期輪郭を用いて超音波心エコー画像から心内膜輪郭抽出を行う。超音波心エコー画像から心内膜輪郭を抽出する際、心壁と心腔領域の境界付近の超音波反射波には乱反射波が多く含まれている。乱反射波は、画像上にスペックル状のテクスチャを有したノイズとして表れるため、心壁と心腔領域の境界が不明瞭になりやすい。そこで、2節で用いた動的輪郭モデルの画像エネルギーに、輝度勾配ではなく、次式で与えられる2領域間の分離度を用いる[4]。但し δ は重み係数である。

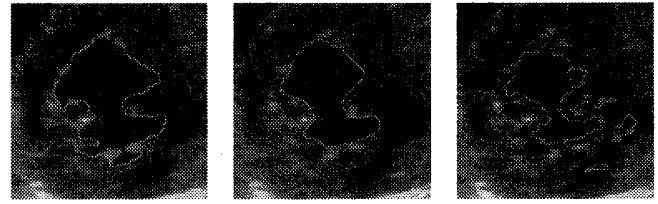
$$E_{image}(v(s)) = \gamma \int_0^1 Sp(v(s)) ds \quad (5)$$

$$Sp(v(s)) = \frac{n_1(m_1 - m_t)^2 + n_2(m_2 - m_t)^2}{(n_1 + n_2)\sigma_t^2}$$

ここで2領域とは、図1に示すように輪郭上の n 番目の点について考えると、 n 番目の点を中心とする半径 R の領域を n 番目の点を通る輪郭の接線で分割された2つの領域のことである。但し n 番目の点の接線は、 $n-1$ 番目と $n+1$ 番目の輪郭上の点を結んだ直線と平行な直線とする。 n_1, n_2 は、それぞれの領域内の画素数、 m_1, m_2 はそれぞれの領域1, 2における輝度の平均値、 m_t, σ_t^2 は領域1と領域2を合わせた領域における平均輝度値及び分散値である。分離度は領域間の輝度値の分布の違いを表すため、隣接画素間の輝度勾配に比べ、スペックル状のテクスチャやノイズの影響を受けにくいという特長がある。そして画像エネルギーに分離度を用いた動的輪郭モデルを用いて、超音波心エコー画像から心内膜輪郭を抽出する。抽出した輪郭は制御点列なので、3次スプライン関数で滑らかに補間する。

4. 実験

本実験では、PHILIPS社SONOS-5500で撮影された左心室短軸断面のAQ画像および超音波心エコー画像(健常者10名)を用いた。抽出した心内膜輪郭の評価基準として、熟練した医師のマニュアルトレースを用いた。また比較対象として、AQ画像の輪郭(AQ輪郭)を用いた。動的輪郭モデルで用いるパラメータ及び制御点間距離は予備実験により以下の値に定めた。3.1節で用いるパラメータは $\alpha = 0.9, \beta = 0.1, \gamma = 1.0, \delta = 1.0$ 、3.2節で用いるパラメータは $\alpha = 0.7, \beta = 0.1, \gamma = -20, \delta = -0.15, R = 5$ とした。制御点間距離はいずれのモデルにおいても3~6の範囲とした。図2に、医師によるマニュアルトレース結果、提案手法による輪郭抽出結果およびAQ輪郭の一例を示す。



医師のマニュアルトレース 提案手法による輪郭 AQ輪郭

図2 輪郭抽出結果の一例

提案手法による輪郭抽出結果と、評価基準であるマニュアルトレースとのずれを定量的に評価する指標として、輪郭形状誤差を用いる[5]。医師のマニュアルトレースによる輪郭の面積を A 、計算機で抽出した輪郭の面積を B 、これら2つの輪郭を重ね合わせたときのずれの面積を C とした時、輪郭形状誤差は $C/(A+B) \times 100(\%)$ で与えられる。表1に提案手法と比較対象であるAQ輪郭における輪郭形状誤差の平均値 M と標準偏差 $S.D.$ を示す。

表1 輪郭形状誤差

	収縮末期		拡張末期	
	提案手法	AQ法	提案手法	AQ法
M	16.5%	17.2%	11.9%	12.1%
$S.D.$	27.9%	24.2%	5.49%	6.72%

5. むすび

本稿ではAQ画像を用いた超音波心エコー画像からの心内膜輪郭抽出手法について提案し、医師のマニュアルトレースおよび、AQ輪郭と比較した。結果として、図2に示すように医師の診断に近い輪郭を抽出できることを示した。また表1における輪郭形状誤差においても、提案手法を用いることで、抽出した心内膜輪郭はAQ画像の輪郭線に比べ、より医師のマニュアルトレースに近づくことを定量的に示し、その有効性を確認した。今後は心疾患を含め、多くの健常者及び心疾患の例で評価を行い、さらなる抽出精度の向上を行う。

参考文献

- [1] 日本超音波検査学会, “心臓超音波テキスト,” 医師薬出版株式会社, 2001.
- [2] M. Kass, A. D. Terzopoulos, “Snakes : Active Contour Models,” int.J.Computer Vision, pp.321-331, 1988.
- [3] 坂口 俊文, 大山 公一, “面積項を持つスネーク,” 信学春季全大, D-555, 1991.
- [4] 福井 和広, “領域間の分離度を用いたエッジ抽出,” 情処研資 CV-87, 1-8, 1994.
- [5] 大森 竜矢, 汐崎 陽, 平野 豊, 上原 久和, 増山 理, “動的輪郭モデルを用いた Color Kinesis 画像からの心内膜輪郭抽出,” 信学論, D-II, vol.J-D-II, No.7, pp.1543-1546, 2004.