

超音波後方散乱波の複数特徴量を用いた  
心臓壁領域の自動同定法に関する研究  
高橋 広樹

指導教員：金井 浩, 研究指導教員：長谷川英之

A Study on Automated Identification of Heart Wall Using Multiple  
Features Extracted from Ultrasound Backscattered Signals

Hiroki TAKAHASHI

Supervisor: Hiroshi KANAI, Research Advisor: Hideyuki HASEGAWA

In most methods for evaluation of cardiac function based on echocardiography, the heart wall is currently identified manually by an operator. However, this task is time consuming and causes inter- and intraobserver variability. To overcome this problem, this study proposes a method which uses multiple features of ultrasonic echo signals for automated identification of the heart wall region throughout an entire cardiac cycle. In the proposed method, the multiple features were extracted to reduce influences of undesirable echo characteristics (a low echogenicity inside the heart wall and stationary components owing to echoes from mainly ribs) which would degrade the accuracy of identification of the heart wall. Furthermore, the optimal cardiac phase to accurately identify the heart wall region based on these features was determined. In the present study, the heart wall region at a frame of interest in the optimum cardiac phase was identified by the expectation-maximization (EM) algorithm, and heart wall regions in the following frames were identified by tracking each point classified in the initial frame as the heart wall region using the phased tracking method. The results for several subjects indicate the feasibility of the proposed method.

1. はじめに

心筋ひずみ計測に代表される超音波を用いた心機能評価法の多くにおいて、現在までのところ、評価対象となる心臓壁の同定は検査者によって手動で行われている。しかし、この作業は計測の所要時間の増大や、検者間または検者内誤差を発生させることが問題点として挙げられている。超音波エコーの振幅や位相など1つの特性を用いた心臓壁領域同定法が提案されているが、壁内部の低エコー振幅部位や肋骨からの位相の時間変化の小さいエコー成分などが存在するため、同定精度が大きく低下してしまう。そこで、本研究では、より高精度な壁領域の同定のために複数の特徴量を組み合わせる手法を提案する。さらに、提案する特徴量に関して、心周期中で最も分類精度が高い心時相を決定する。

2. 心臓壁領域の自動同定法

提案する手法では、図1に示されるように心臓に超音波を送信することで1心拍以上の間で計測した超音波 RF 信号データセットに関して、ある瞬時時刻(関心フレーム)の RF 信号から包絡線振幅、振幅二乗コヒーレンス関数(MSC)<sup>1)</sup>、および内腔内からのエコーに含まれる血球由来の成分を評価するために moving-target indicator (MTI) フィルタリ

ング<sup>2)</sup>を適用した後でフレーム間位相偏移を特徴量として抽出し、Expectation-Maximization (EM) アルゴリズム<sup>3)</sup>を適用することで関心フレームの心臓壁領域を自動的に同定する。関心フレームにおいて壁領域と同定された点の変位を計測することで、壁領域を1心拍間にわたって同定することが可能である。ここで、より精細な壁領域同定結果を取得するために、3つの特徴量は走査線の各点において1.44 mm (送信パルス長に相当)の関心領域内の RF 信号振幅を用いて算出する。

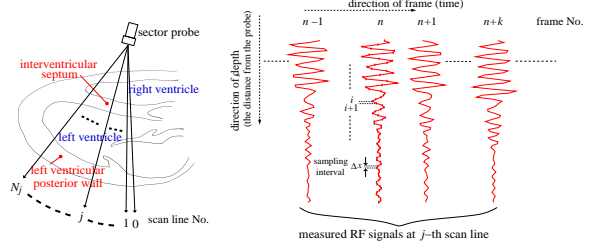


図1: 心臓超音波断層法において超音波ビームを走査することにより得られる断面の模式図と計測される RF 信号。

3. 関心フレーム選択における最適心時相の決定

関心フレームの壁領域同定の精度は、以降の各フ

レームの領域同定結果に大きく影響を与える点で重要である。そこで、健常者から計測した心臓の超音波 RF 信号データセットにおいて、各時刻で壁領域と心内腔領域を手動設定し、設定した領域内で抽出される特徴量から分類性能尺度  $J^4$  を算出する。算出される分類性能を用いて、生理学的な観点から本手法の関心フレーム選択における最適な心時相について考察する。

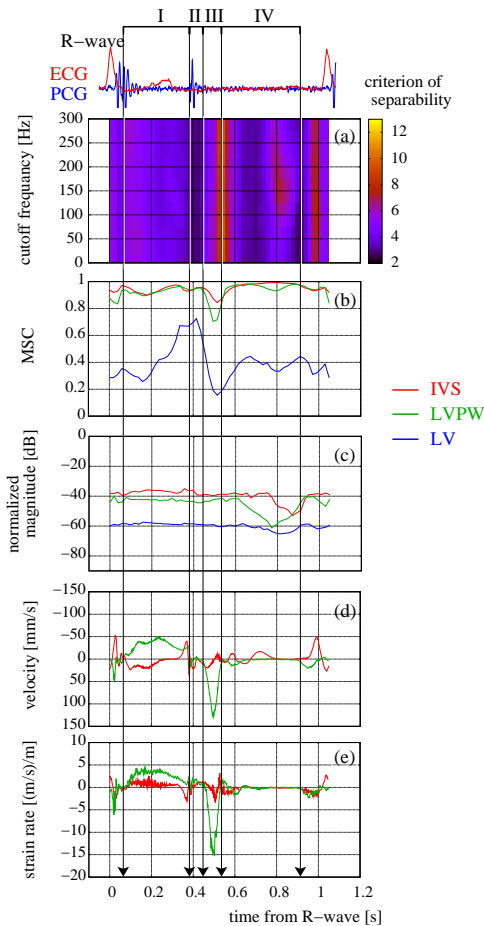


図 2: (a) 分類性能尺度  $J$ , (b) MSC および (c) 包絡線振幅の空間平均値, 心臓壁の (d) 平均速度および (e) 上端と下端のストレインレート (IVS: 心室中隔壁, LVPW: 左室後壁, LV: 左室内腔).

図 2(a), (b), (c), (d), (e) はそれぞれ各時刻の分類性能尺度, MSC および包絡線振幅の領域内平均値, および位相差トラッキング法によって計測されたある走査線における壁速度とストレインレートを示す。ここで、位相偏移の抽出のための MTI フィルタのカットオフ周波数を 25 Hz 間隔で変更し、各カットオフ周波数において分類性能尺度を算出した。図中の期間 I, II, III, および IV は、それぞれ駆出期, 等容性弛緩期, 急速流入期, および緩徐流入期を表わす。図 2(a) から、急速流入期から緩徐流入期の移行期間において分類性能が最大となることを確認で

きる。これは、急速流入期における左心室の体積の増加に伴う左室壁の急激な伸張が終了したことで壁変形 (ストレインレート) が小さくなり、一方で、血流速度が高い状態を保持しているため、心臓壁と心内腔の MSC の値に大きな差異が発生するためであると考えられる。

#### 4. 心臓壁領域の 1 心拍間にわたる同定

23 歳男性健常者の左室長軸像において 1 心拍間の心臓壁領域を同定した。図 3(a) は急速流入期から緩徐流入期の移行期間から選択した関心フレームにおける B モード像と領域同定結果であり、図 3(b) は関心フレームにおいて壁領域と同定された点を位相差トラッキング法<sup>5)</sup>により追跡することで得られた各心時相における領域同定結果, および領域同定結果を B モード像に重ねた結果を示す。ここで、EM アルゴリズムの繰り返し計算におけるパラメータの初期値として、各領域から手動で選択した点を中心とする周囲領域内から算出される値を用いた。

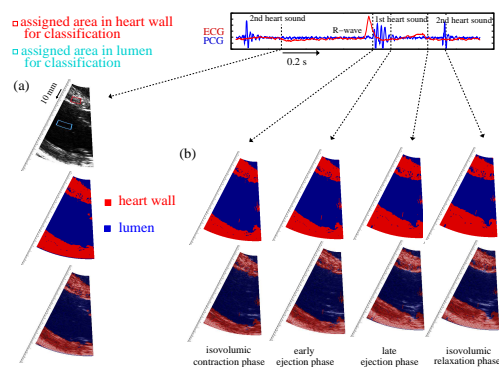


図 3: (a) 関心フレームの B モード像と領域同定結果. (b) 異なる心時相の領域同定結果.

#### 5. 結論

本手法によって同定された壁領域と B モード像を比較した結果から、本手法による心臓壁領域の 1 心拍間にわたる自動同定の可能性が示された。また、EM アルゴリズムのようなパラメトリックなクラス分類手法が壁領域の同定に有効であることを示した。

#### 参考文献

- 1) T. Kinugawa, H. Hasegawa and H. Kanai: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **47**, pp. 4155-4164 (2008).
- 2) B. R. Mahafza: *Introduction to Radar Analysis*, CRC Press, FL, 1998.
- 3) A. P. Dempster, N. M. Laird and D. B. Rubin: *J. R. Statist. Soc. Ser. B*, **39**, pp. 1-38 (1977).
- 4) K. Fukunaga: *Introduction to Statistical Pattern Recognition*, Academic Press, MA, 1990, 2nd ed.
- 5) H. Kanai, M. Sato, Y. Koiwa and N. Chubachi: *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr.*, **43**, pp. 791-810 (1996).