

Chan-Vese Algorithm と Particle Filter を組み合わせた輪郭抽出法

齋藤 太一† 中田 雅也‡
† 横浜国立大学 大学院工学府

濱津 文哉‡ 濱上 知樹‡
‡ 横浜国立大学 大学院工学研究院

1 はじめに

近年、医療機器での病変治療時や監視カメラの物体認識などで物体を自動かつリアルタイムで抽出する需要が増えている。

しかし、外的要因による制約や、機器の特性から解像特性が低い画像を使用せざる負えない状況がある。解像特性が低い画像は物体の輪郭が不明瞭な画像であるため、輪郭抽出を困難なものにする。

医療機器では機器の特性上混入が避けられないノイズがあり、監視カメラの場合、夜間時に感度を上げたために混入するノイズや荒天時の雨粒など、ノイズの混入が避けられない状況がある。低解像度にノイズが混入すると物体の輪郭が不明瞭な画像となり、輪郭抽出を困難なものにする。

従って、物体の輪郭が不明瞭な画像に対する輪郭抽出法が求められている。従来手法として動的輪郭モデル [1] や Particle Filter (PF) [2][3] が用いられているが、前者はリアルタイム処理が可能であるがモデルと沿わない部分が存在すると誤った輪郭が抽出されてしまうという問題が存在し、後者は高精度に推定することが可能であるが、複雑な尤度関数の設計と多くの処理時間が必要となる。そこで、動的輪郭モデルの一種である Chan-Vese Algorithm (CV) [4][5] で輪郭を抽出した後、輪郭抽出が正しく行っていない領域に対して PF で輪郭推定を行う CV と PF を組み合わせた輪郭抽出法を提案し、超音波画像を例にその効果を確認した。

2 従来手法

超音波画像は解像特性が低いこととスペckルノイズの混入により輪郭が不明瞭な画像となる。そのため病巣の検出が難しくなるという問題が存在する。

CV は画像の輝度勾配を直接利用せずに輪郭抽出を行うことができる動的輪郭モデルの一種であるため、CV を用いることにより輪郭が不明瞭であるによる影響を軽減し、輪郭抽出を行うことができる。

PF は非線形状態空間モデルに対して状態変数の推定を行うアルゴリズムであり、動体追尾等に用いられる。また、PF を超音波画像の輪郭抽出に応用している例がある [2]。

3 従来手法の問題点

図 1 に本稿で使用した画像の一覧を示す。図 1a (256 × 256 pixel) の画像から作成した疑似超音波画像 (図 1b) に対して従来手法での輪郭抽出を行った [6]。図 1b のうち、病巣が存在する範囲を制約範囲として手動で設定し、制約範囲内において CV および PF を用いた輪郭抽出を行った。実験環境を表 1 に示す。

表 1: 実験環境

CPU	AMD	FX-8350
メモリ	Kingston	DDR3-2133 4GB*2
ストレージ	Plextor	PX-256M6V

CV を用いた輪郭抽出の結果を図 1c に、PF を用いた輪郭抽出の結果を図 1d にそれぞれ示す。処理時間の計測を 10 回行った平均処理時間の結果は CV が 335.5 ms であり、PF が 3160.1 ms であった。

図 1c および図 1d より、CV を用いた輪郭抽出では輪郭の誤抽出 (図 1c 中の 1 および 2) が確認できる。これは当該部分に存在する病巣の輪郭がモデルと沿わないために発生したものであると考えられる。PF を用いた輪郭抽出では病巣近辺のみに輪郭が抽出されていることが確認できる。また、PF は CV より処理時間が長いことが確認できる。これらのことから、2 つの従来手法は処理時間と輪郭抽出の正確性の両立が困難である。

4 提案手法

図 1c より、CV を用いた輪郭抽出では上記の問題が発生するが、抽出された輪郭の大部分において病巣の輪郭が抽出されていることが確認できる。従って、CV で抽出された輪郭のうち、病巣の輪郭のみを保持し、CV を用いた輪郭抽出が正しく行えない箇所に対して PF を用いた輪郭抽出を行うことで病巣全体を抽出できるアルゴリズムとなることが期待される。また、CV を用いた輪郭抽出は PF を用いた輪郭抽出よりも処理時間が短くなる。これらのことから、2 つのアルゴリズムを組み合わせた輪郭抽出手法を提案する。提案手法を用いることで病巣の輪郭に沿った輪郭線が現れ、かつ PF 単体で用いた場合よりも短い時間で処理が完了すると予想される。提案手法の概念図を図 2 に示す。

4.1 制約範囲の決定方法

PF を用いて輪郭抽出を行う場合はあらかじめ制約範囲を指定する必要がある。しかし、提案手法では PF を用いる前に CV で輪郭抽出を行うため、CV で抽出した輪郭を含まない制約範囲の決定が必要となる。

図 3 に提案手法における制約範囲決定方法の概要を示し、その手順を以下に示す。

1. 暫定的な制約範囲を設定し、CV を用いた輪郭抽出を行う。
2. 角度 k を 0 に設定。
3. 病巣の中心から角度 β_k ($0 \leq k < N$) を持つ伸びる直線 l_{β_k} を設定。
4. CV で抽出された輪郭が l_{β_k} 上には存在せず、 $l_{\beta_{k-1}}$ 上には存在する場合、 $l_{\beta_{k-1}}$ 上の輪郭に隣接する l_{β_k} 上の画素値を制約範囲の候補点とする (図 3)。

Contour extraction method combining Chan-Vese Algorithm and Particle Filter

†Taichi SAITOH ‡Masaya NAKATA ‡Fumiya HAMATSU ‡Tomoki HAMAGAMI

‡Graduate School of Engineering, Yokohama National University

§Faculty of Engineering, Yokohama National University

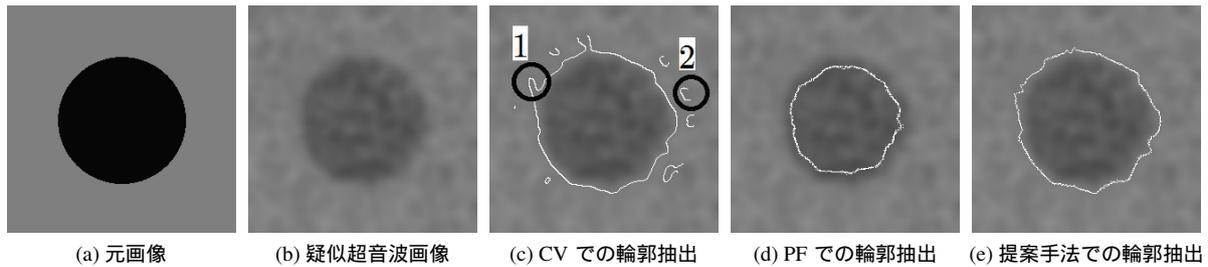


図 1: 円形の画像に対する輪郭抽出

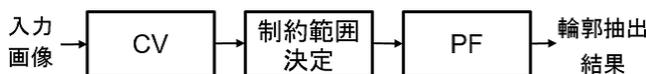


図 2: 提案手法の概念図

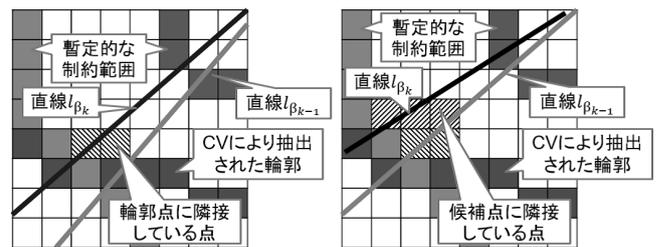


図 3: 制約範囲の決定方法

5. CV で抽出された輪郭が l_{β_k} 上には存在せず, 制約範囲の候補点が $l_{\beta_{k-1}}$ 上に存在する場合, $l_{\beta_{k-1}}$ 上の候補点に隣接する l_{β_k} 上の画素値を制約範囲の候補点とする (図 3).
6. k が $N - 1$ になるまで Step.3 ~ 5 を行う.
7. 角度 k を $N - 1$ に設定し, k が 0 になるまで Step.3 ~ 5 を行う.
8. $k = 0$ で処理を開始した場合と $k = N - 1$ で処理を開始した場合の両方で候補点となった画素値を制約範囲とする.

4.2 計算コストの削減

Step.4, 5 において直線 l_{β_k} 上に CV で抽出された輪郭点が存在した場合, 角度 β_k において PF を実行する必要がなくなる. 提案手法の処理時間を T_t , CV の処理時間を T_c , 全角度において PF を行った場合の処理時間を T_p , 4.1 節で示したアルゴリズムの処理時間を T_a , Step.8 で制約範囲となった画素値が存在する l_{β_k} の本数を n とすると, 提案手法の処理時間は式 (1) で求められる.

$$T_t = T_c + T_a + T_p * \frac{N - n}{N} \quad (1)$$

5 実験

提案手法の効果を確認するために図 1b を用いて輪郭抽出実験を行った. 結果を図 1e に示す. 図 1e より, CV の問題点であった輪郭の誤抽出が生じてしまう問題を解決できていることが確認できた. また, 処理時間は 10 回平均で 710.2 ms であった. 従って, 提案手法は PF より処理時間を 77.5% 削減できることが確認できた.

今回の実験では $N = 360$ を用いており, T_a は 9.0 ms, n は 329 本であった. このことから予想される提案手法の処理時間は $335.5 + 9.0 + 3160.1 * \frac{360 - 329}{360} = 616.6$ ms であり, PF より処理時間を 80.4% 削減できる見込みであった. しかし, 実際の処理時間は 710.2 ms であり, 理論値との剥離は 93.6 ms だった. この剥離はプログラムの I/O 処理などが原因と考えられる.

6 おわりに

本稿では, CV と PF を組み合わせて正確性と計算量の削減を図った超音波画像に対する輪郭抽出アルゴリズムの提案を行った. 実験により CV を用いた輪郭抽出で問題となった輪郭の誤抽出が見られなくなり, PF を用いた輪郭抽出より処理時間が 77.5% 削減できた. 今後の課題として動画への対応が挙げられる.

参考文献

- [1] 大城 政邦, 西村 敏博, “動的輪郭モデルを用いた超音波画像の輪郭抽出法”, 信学技報 MBE2007-94 pp.59-62, 2008
- [2] Donka Angelova, Lyudmila Mihaylova, “Contour segmentation in 2D ultrasound medical images with particle filter”, Machine Vision and Applications Vol.22 Issue 3 pp551-561, 2011
- [3] 樋口 知之, “粒子フィルタ”, 電気情報通信学会誌 88 (12) pp.989-994, 2005
- [4] Robert Crandall, “Image Segmentation Using the Chan-Vese Algorithm”, ECE 532 Project, 2009
- [5] Devraj Mandal, Amitava Chatterjee, Madhubanti Maitra, “Robust medical image segmentation using particle swarm optimization aided level set based global fitting energy active contour approach”, Engineering Applications of Artificial Intelligence 35, 2014
- [6] Charles Perreault, Marie-Flavie Auclair-Fortier, “Speckle Simulation Based on B-Mode Echographic Image Acquisition Model”, Computer and Robot Vision 2007 Fourth Canadian Conference on, 2007