

# 不明瞭な凸形状輪郭の抽出法

## Extraction of Unclear Convex-Shaped Contour

高橋 正信†  
Masanobu Takahashi

中野 雅行‡  
Masayuki Nakano

### 1. まえがき

組織をスライスした標本を顕微鏡で観察することにより癌などの疾病を診断する病理組織診断は、その診断が観察者の裁量に任されるため、良性・悪性境界病変での鑑別が重要な問題となっている。例えば、肝臓癌の診断においては肝細胞の核の形状やサイズなどが診断上の重要な情報になることが解っているが[1]、それらを定量的に抽出するにはトレースなどの手作業に頼る必要があり診断の現場で利用することが困難であった。我々の目的は、パターン認識により診断に有用な定量的情報を提供するシステムを実現することであり、その第一段階として、肝細胞の核の輪郭を高速かつ高精度で抽出する手法の実現を目指している。

肝細胞の核は輪郭の非常に曖昧なものが多く、Snakes など従来の輪郭抽出法[2]を用いたのでは特に不明瞭な輪郭(図1)の抽出が難しかった[3]。この問題を解決するため、我々は核が基本的に円形あるいは楕円形に近い凸形状をしていることを利用した手法を提案し、良好な初期結果を得た[4]。今回はさらに、実用上不可欠と思われる機能(中央点の更新機能)を加えると共に、輪郭欠損の影響を軽減するため画像エネルギーの計算法を改良し、従来のSnakesと比較を行った。その結果、従来のSnakesの53%に対し、90%という高い輪郭抽出成功率が得られたので報告する。

### 2. 輪郭抽出法 (Radial Snakes)

#### 2.1 原理

手法の概念図を図2に示す。核の内部の一点(中央点)より放射状の線を仮定すると、線と輪郭は形状が凸であれば1点のみで交わる。従って、各線上で輪郭の候補点を抽出すれば、それら候補点から線ごとに1点ずつ選択する組み合わせ最適化問題に帰着できる。そこで、エネルギー関数値が小さくなるように各放射線から輪郭点を1点ずつ選択することにより、(準)最適な輪郭が求まる。

#### 2.2 手順

##### (1) “中央点”の設定

核内部に中央点を初期設定する。初期位置は核の中心に近いほど良いが、後の実験結果(図4)で示すように、核の内部であれば輪郭抽出結果はあまり劣化しない。

##### (2) “放射線”の設定

中央点より放射状かつ等角度で  $N$  本の放射線を設定する。

##### (3) “候補点”の設定

放射線上で、(5)で説明する画像エネルギー ( $E_{img}$ ) の小さな点を候補点として設定する。具体的には、放射線上で  $E_{img}$  の小さな順に最大で  $N_c$  点を選択する。

##### (4) “輪郭点”の初期選択

各放射線ごとに、候補点の中からランダムに選択した1

点を初期の輪郭点とする。

##### (5) 輪郭点選択の改善

以下のエネルギー関数  $E_{total}$  を用い、最急降下法により輪郭点の選択を改善する。ここで、画像エネルギー  $E_{img}$  の大きさは画像強度  $I$  の放射線方向へのエッジ強度である。距離エネルギー  $E_{dist}$  は輪郭点間の距離  $d_k$  が  $[d_{min}, d_{max}]$  内に収まれば最小となり、角度エネルギー  $E_{ang}$  は輪郭点を結ぶ直線の成す角度  $\theta_k$  が均等(円形)に近いほど小さくなる。

$$E_{total} = \sum_{k=1}^N (\alpha E_{img} + \beta E_{dist} + \gamma E_{ang})$$

$$E_{img} = -\nabla_k I$$

$$E_{dist} = \max(d_k - d_{max}, d_{min} - d_k, 0)$$

$$E_{ang} = -\cos(\theta_k - 2\pi/N)$$

輪郭点の更新は、1回の更新で同じ放射線上の任意の候補点への移動を許し、状態のジャンプを可能とする。

##### (6) 中央点の更新

輪郭点の改善が収束後、抽出された輪郭の重心位置を求め、中央点の位置を更新する。今回は計算を簡略化するため、輪郭点の位置の平均値を用いた。

中央点の位置を更新後、(2)放射線の設定に戻り輪郭抽出処理を繰り返す。  $N_{rep}$  回繰り返し、その中でエネルギー値が最小の結果を最終結果とする。

### 3. 実験

#### 3.1 画像とパラメータ

様々な種類の肝組織(非癌部、高分化癌、進行癌など)のH.E.染色標本を用い、デジタルカメラ(OLYMPUS C-3040)を用いて顕微鏡画像を撮像した。対物レンズの倍率は40倍、画像サイズは1280x960で、分解能は  $0.24 \mu\text{m}/$ 画素である。画像より、輪郭の曖昧なものを中心に、核を含む領域(64x64画素)を30ヶ所切出し、実験に用いた。実験時のパラメータは、  $N=14$ ,  $N_c=7$ ,  $d_{min}=5$ ,  $d_{max}=7$ ,  $N_{rep}=10$ ,  $\alpha=2.0$ ,  $\beta=1.0$ ,  $\gamma=5.0$ ,  $I$ =赤成分とした。

#### 3.2 中央点更新の効果

中央点の初期位置を核の中心から右に11画素(平均核半径の70%)ずらした場合の結果の一例を図3に示す。

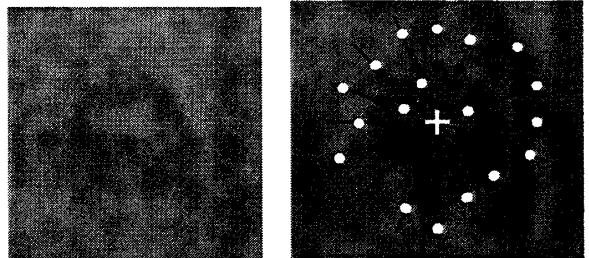


図1 輪郭の不明瞭な核の例 図2 手法の概念図  
(十字:中央点,○:候補点,●:輪郭点)

† 芝浦工業大学, Shibaura Institute of Technology

‡ 国立千葉病院, National Chiba Hospital

中央点の初期位置は当初は核の外縁近くにあり (図3(a)), その場合は輪郭抽出も失敗しているが, 処理を繰り返すことにより中央点は核の中心に近づき, 最終的には正しい輪郭が抽出できていることが解る (図3(d)).

中央点の初期位置を核の中心からずらした場合の輪郭抽出の精度を求めた結果を図4に示す. 従来の中央点を更新しない場合, 中央点の初期位置が平均核半径の半分程度ずれただけで4割近い輪郭点が正しく抽出できないが, 中央点の更新機能を加えると間違割合は9%から15%程度であまり変わらず, 初期位置の誤差の影響を受けにくくなることが解る. これにより, 中央点の初期設定に要求される精度を大幅に緩和できる.

### 3.3 画像エネルギーの改善

画像エネルギーを算出するため, 今回新たに図5に示す横方向に長いフィルタを用いてエッジ強度を算出した. 輪郭線は放射線に直角に近い角度で交わると考えられるため, 輪郭が一部欠けていても, 本フィルタにより近くの輪郭が欠損を補間する効果が期待できる. 比較実験の結果, 表1に示すように, 従来の単純な微分を用いた場合 (73%) と比較して, 輪郭抽出にほぼ成功する率は90%に改善された.

### 3.4 従来のSnakesとの比較

同じ表1に, 従来のSnakes (同じエネルギー関数を利用) との比較結果を示す. 不明瞭な輪郭が多い今回の場合, 従来のSnakesの成功率は53%であったが, 本手法では図1の不明瞭な輪郭も含め90%の輪郭抽出に成功した. なお, 計算時間は, 輪郭点が1回収束するのに約2ms (輪郭点更新は平均18回) で,  $N_{rep}=10$  としたため1画像当たり約20msであった (PentiumIII 933MHz 利用時).

## 4. まとめ

本手法は, 従来のSnakesに比べて探索空間を大幅に減らし, かつ状態のジャンプを可能としたことにより以下のような利点を持つ. (1)ローカルミニマの影響が軽減されると共に輪郭の補間効果により不明瞭な輪郭の抽出成功率が大幅に向上する. (2)収束までの輪郭点更新回数及び計算時間が減る. (3)最終結果が輪郭点の初期位置に余り依存しないため, 従来からある輪郭点初期設定の問題を軽減できる.

また, 構造的な特徴を利用し, 輪郭線に沿う横長のフィルタを用いてエッジ強度を算出するようにした結果, 輪郭抽出にほぼ成功する率は90%に改善され, 実用レベルに近づいた. さらに, 中央点の更新機能により, 中央点の初期設定の要求精度を緩和できることが明らかとなった. これにより, 中央点の初期設定を, 核の大きかな位置を求める手法[3]などを用いて自動化できる目途がたった. 今後は, 多数の核を含む画像で中央点の初期設定を含めた全自動の輪郭抽出を実現し, 性能を評価したい.

なお, 本手法はタイトルに示すように他の凸形状の輪郭抽出にも適用できる手法であり, 今後応用していきたい.

#### [参考文献]

- [1] 奥平, 他: "肝臓", 文光堂, pp.82-89 (1995).
- [2] 橋本, 他: "Sampled Active Contour Model による輪郭抽出法", 信学論, D-II, J77-D-II, pp.2171-2178 (1994).
- [3] 牧田, 高橋: "肝細胞画像を用いた細胞核の位置と形状の抽出", H11 後期情報処理学会, 4W-4 (1999).
- [4] 高橋, 中野: "肝組織画像における核の輪郭抽出", H14 信学会総合大会, D-16-21 (2002).

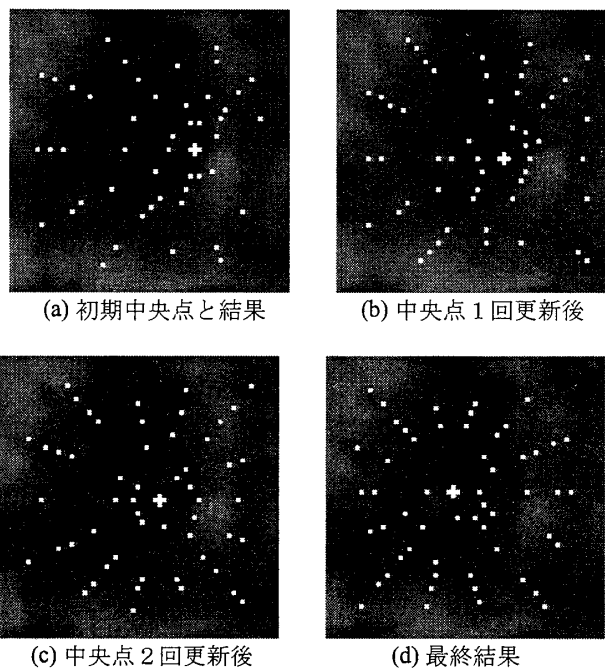


図3 輪郭抽出例 (中央点の初期位置が輪郭付近の例)

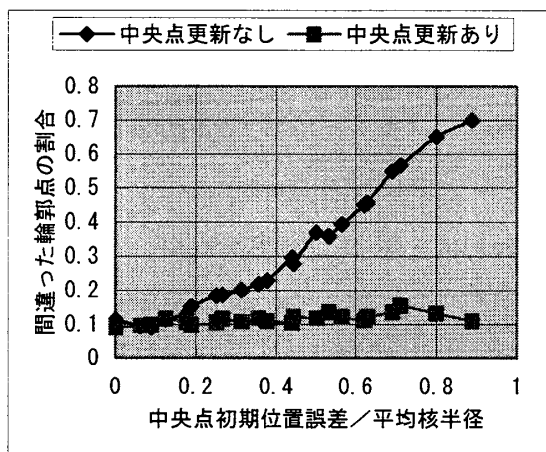


図4 中央点更新の効果 (間違った輪郭点=誤差2.5画素 (核半径の15%) 以上)

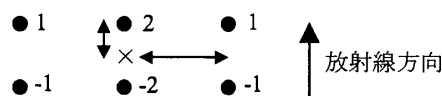


図5 エッジ強度計算用フィルタ (数字は重み)

表1 輪郭抽出成功率の比較

	Radial Snakes	微分利用時	従来Snakes
輪郭抽出成功	23 (77%)	11 (37%)	5 (17%)
ほぼ成功	4 (13%)	11 (37%)	11 (37%)
約半分成功	3 (10%)	8 (27%)	7 (23%)
失敗	0 (0%)	0 (0%)	7 (23%)
間違った輪郭点の割合	1.3 (9%)	2.7 (20%)	4.5 (32%)