

## 圧力エネルギーを考慮した2D Active Netモデルとその適用

小原 俊 藤原 俊朗  
松田 浩一 土井 章男

本研究では、領域抽出手法である2D Active Netへ圧力エネルギーを付加したモデルを提案する。Active Netは雑音が含まれた画像に対しても適用可能で、領域抽出において有効な手法であるが、従来の2D Active Netでは領域の凹部の形状によってはネットが収束しにくい問題があった。そこで、Snakesへの圧力エネルギー付加モデルを2D Active Netに取り入れることにより、凹部へのネットの収束を容易にすることで領域抽出の精度を向上させた。このモデルを従来の2D Active Netと比較実験し、改善が見られたことを実証した。また実際に医用画像に適用し、その有用性を検証した。

### 2D Active Net Model with Pressure Energy

TAKASHI OBARA, SHUNRO FUJIWARA, KOICHI MATSUDA  
and AKIO DOI

In this paper, we apply pressure energy model to 2D ActiveNet which is a domain extraction technique. Active Net was strong to noise, and it is an effective technique in domain extraction, but there was a problem in the conventional 2D ActiveNet. The net seldom converges in concaved regions. Then, by extending the pressure energy addition model to Snakes, and taking in to 2D Active Net, convergence of the net to concave regions was made easy and the accuracy of domain extraction was raised. The comparison experiment of this model was conducted with the conventional 2D Active Net. It was proved that the improvement was found. Moreover, it actually applied to the medical picture and the usefulness was verified.

#### 1. はじめに

医療分野において、CTやMRIによって得られた2次元断面画像群を用いて作成した人体の3次元モデルが、患部の状態確認・手術シミュレーション・医療教育などに利用されるようになってきた。しかし、2次元断面画像群により作られたポリウムデータから自動的に任意の組織の3次元モデルを作成することは困難であり、画像処理システムを用いた手作業による領域抽出が行なわれている。しかしながら、精密なモデルを作成しようとすると医学的知識と経験を要し、膨大な時間をかけて作業を行なわなければならない。

従来、領域抽出の手法としては閾値処理を用いた手法が多く用いられてきたが、閾値の設定を試行錯誤しなければならず、また、雑音に弱いという欠点を持っていた。そのような閾値処理の欠点を解消する手法としてKassらの輪郭抽出モデルSnakes<sup>1)</sup>が提案された。Snakesは、初期形状として与えた閉曲線をエネルギー最小化原理を用いて画像の輪郭部にフィッティングさせる手法である。この、線モデルによるSnakesを、面モデルによる領域抽出手法に拡張したのが坂上

らによる2D Active Net<sup>2)</sup>である。2D Active Netは面モデルに拡張したことにより領域情報を活用することが可能になったが、凹部に収束しにくいという欠点を持っていた。

そこで本研究では、2次元断面画像から自動的に領域抽出を行なう手法として、Snakesにおける凹部へのフィッティング改良手法として提案されていた圧力エネルギーモデル<sup>3)</sup>を2D Active Netへ適用し、2D Active Netの凹部への収束を可能にした。圧力エネルギーモデルを適用することにより、従来の2D Active Netより精度の高い領域抽出が可能となった。

#### 2. 2D Active Netおよび圧力エネルギーモデル

本節では、本研究で用いた2D Active Netおよび圧力エネルギーモデルについて述べる。

##### 2.1 領域抽出のための2D Active Net

2D Active Netはエネルギー最小化原理に基づき、網状に用意された初期形状を縮退させ画像の領域部へと収束させる動的な網モデルであり、網の収縮エネルギーと画像エネルギーの和が最小となる領域を動的に

探索する。

2D Active Net モデルは格子点を  $v(p, q)$  とおくと、網全体のエネルギー  $E_{net}$  は、網を収縮させかつ滑らかに保とうとする内部エネルギー  $E_{int}$  と、領域特徴を表す外部エネルギー  $E_{image}$  を用いて

$$\int_0^1 \int_0^1 (E_{int}(v(p, q)) + E_{image}(v(p, q))) dpdq \quad (1)$$

と表すことができる。  
ここで、

$$v_p = \frac{\partial v}{\partial p}, v_q = \frac{\partial v}{\partial q}, v_{pp} = \frac{\partial^2 v}{\partial p^2}, v_{pq} = \frac{\partial^2 v}{\partial p \partial q}, v_{qq} = \frac{\partial^2 v}{\partial q^2}$$

と置くと、内部エネルギー  $E_{int}$  は、

$$\frac{\alpha(|v_p|^2 + |v_q|^2) + \beta(|v_{pp}|^2 + |v_{pq}|^2 + |v_{qq}|^2)}{2} \quad (2)$$

のように定義できる。式(2)における  $\alpha, \beta$  は、それぞれ格子間の収縮、格子形状を保つパラメータを表す。また、外部エネルギー  $E_{image}$  は、

$$w \cdot I(p, q) \quad (3)$$

のように定義できる。式(3)における  $w, I(p, q)$  は、それぞれ画像エネルギーの影響を制御する重みパラメータ、格子点における濃淡レベルを表す。

2D Active Net は柔軟に領域抽出を行なうことが可能であるが、大きな凹部へのフィッティングが困難であり、収束を繰り返しても凹部へは届かない場合がある(図1)。図1で利用したパラメータは表1に示す通りである。凹部への収束を強めようと  $\alpha = 10.0, \beta = 1.0, \gamma = 0.5, w1 = 40.0, w2 = -10.0$  のように設定を行なっても収束する様子は確認できなかった。

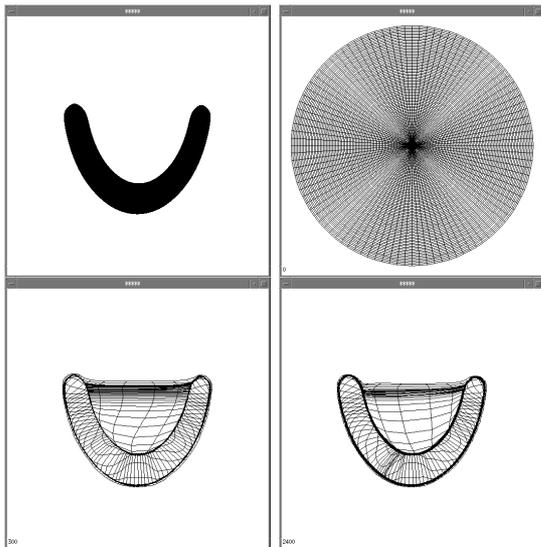


図1 凹形状への2D Active Netの適用例(左上:元画像, 右上:ネット初期状態, 左下:計算回数300回, 右下:計算回数2400回)

	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$w1$	$w2$
図1, 図4	1.0	1.0	0.5	40.0	-10.0
図6	1.0	1.0	0.5	20.0	-5.0

## 2.2 圧力エネルギーを付与した Snakes

Snakes では凹部へのフィッティングを目的として、圧力エネルギーを付与する改良手法<sup>3)</sup>が提案されている。水圧によって薄膜が物体の輪郭にぴったり押し付けられるようなエネルギーを付与することにより、凹部へのフィッティングを可能にする(図2)。

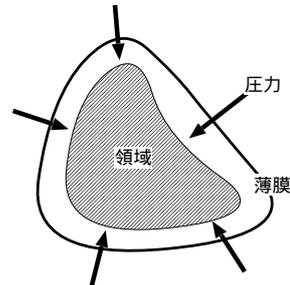


図2 圧力エネルギーモデルの概念図

## 3. 圧力エネルギーを用いた 2D Active Net

本研究では凹部の領域抽出を可能にするため、Snakes の圧力エネルギー付加モデルを拡張し、2D Active Net に適用した。

### 3.1 実装

各格子点が中心点に向かうような力を加えることにより圧力エネルギーモデルを実装した(図3)。

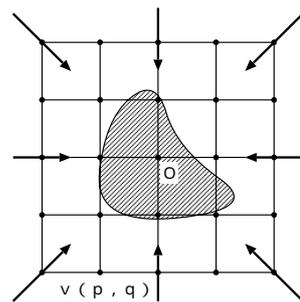


図3 圧力エネルギーモデルの付与

ある格子点の座標を  $v(p, q)$ 、中心点を  $O(O_x, O_y)$ 、重み係数を  $w_p$  とすると、点  $v$  における圧力エネルギー  $\vec{p} = (p_x, p_y)$  は、

$$\begin{cases} p_x = \frac{O_x - p}{\sqrt{(p - O_x)^2 + (q - O_y)^2}} \cdot w_p \\ p_y = \frac{O_y - q}{\sqrt{(p - O_x)^2 + (q - O_y)^2}} \cdot w_p \end{cases} \quad (4)$$

と表すことができる。この圧力エネルギーをすべての格子点について求めて加える。

### 3.2 結果

図4に、初期のネット形状を円として領域抽出を行なった結果を示す。左列が従来手法による領域抽出結果、右列が圧力エネルギー付与による領域抽出結果を表す。上段から、20回、300回、1500回、2400回の繰り返し計算を行なった結果であり、パラメータは表1に示すものを共通に利用している。提案手法に用いた圧力のパラメータは経験的に得られた結果から  $w_p = 0.1$  とした。

繰り返し回数が少ない状態では差が見られないが、繰り返し回数が増えるに従って領域抽出の差が明らかである。従来手法においては、繰り返し回数をさらに増やしても凹部にフィッティングしないことも確認された。

以上の結果から、圧力エネルギーを導入することにより従来の2D Active Netより凹部へのフィッティングの精度が向上することが確認された。

表2 反復回数と実行時間(図4)

反復回数(回)	20	300	1500	2400
実行時間(秒)	1.09	13.04	63.97	101.99

## 4. 医用画像への適用例

提案手法を腎臓のVHD画像に適用した例を以下に示す。本稿では、画像全体に2D Active Netを適用すると腎臓の周辺部位も領域として抽出してしまうため、手作業により腎臓を抽出して利用している(図5)。図5の画像解像度は  $256 \times 256$ 、使用したネットの格子点は  $90 \times 100$  個である。

図6では、従来手法による領域抽出および提案手法による領域抽出の比較を行なっている。使用したパラメータは表1に示す通りで、 $\alpha, \beta, \gamma, w_1, w_2$  は共通に使用し、提案手法では、経験的に得られた  $w_p = 0.1$  の重みで圧力エネルギーを加えている。各画像の左下に書かれている数値は繰り返し計算の回数を示し、20回、40回、200回、800回、2000回における状態を表している。この結果から分かるように、従来手法では凹部に収束しないが提案手法では凹部へ収束する様子が見える。

また、実行に要した時間を表3に示す。実行環境

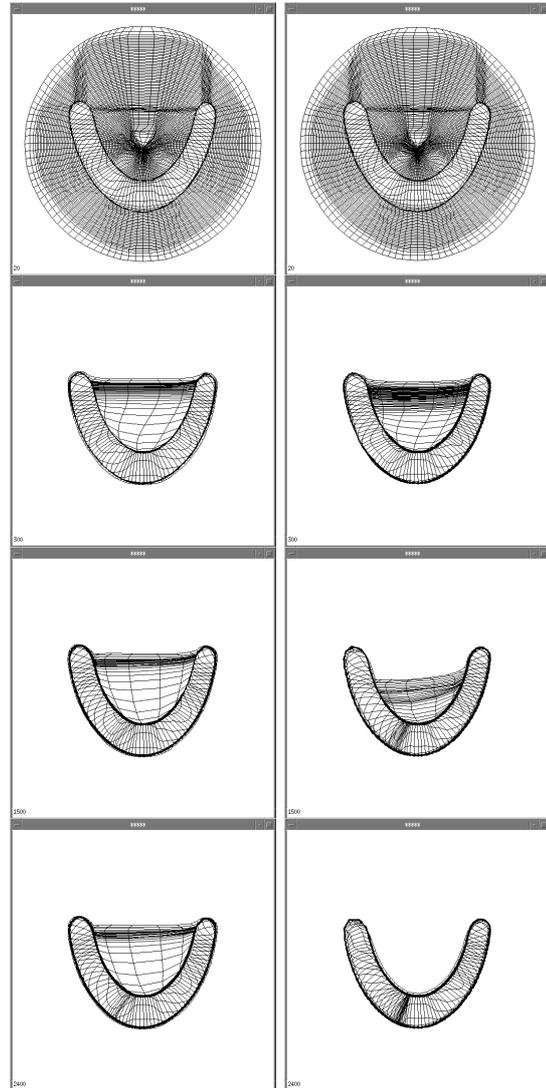


図4 圧力エネルギー導入の比較実験  
左列：従来手法、右列：提案手法

は、ワークステーション:SUN SparcStation Ultra5 (UltraSPARC-III 333MHz), OS:Soralis 7 を使用している。

表3 反復回数と実行時間(図6)

反復回数(回)	20	40	200	800	2000
実行時間(秒)	1.16	2.06	9.51	37.20	92.30

## 5. まとめ

本稿では、2次元断面画像から自動的に領域抽出を行なう手法について提案を行なった。Snakesにおける凹部へのフィッティング改良手法として提案されてい

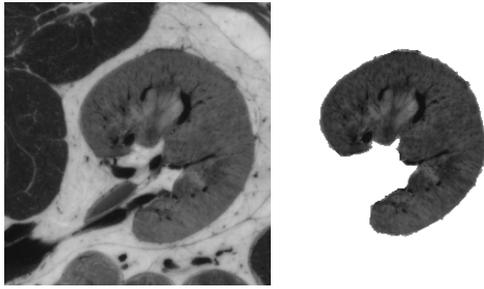


図 5 腎臓 VHD 画像および腎臓抽出画像

た圧力モデルを 2D Active Net へ適用し、2D Active Net の凹部への収束を可能にした。圧力モデルを適用することにより、従来の 2D Active Net より精度の高い領域抽出が可能となった。

しかし、本稿では腎臓部以外の部分を手作業にて消去しており、画像から腎臓部を自動的に抽出することが今後の課題として挙げられる。VHD 画像はカラー画像であるため、色空間による画像処理を行なうことにより腎臓部とその他の部位の判別が可能になると思われる。

#### 参 考 文 献

- 1) Michael Kass, Andrew Witkin, and Demetri Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models", International Journal of Computer Vision, pp. 321-331(1988).
- 2) 坂上, 山本, "動的な網のモデル Active Net とその領域抽出への応用", テレビジョン学会誌 Vol. 45, No. 10, pp. 1153-1163(1991).
- 3) 坂上, 美濃, 池田, "Snake パラメータの設定についての検討", 信学技報, PRU90-21, pp. 43-49(1990)

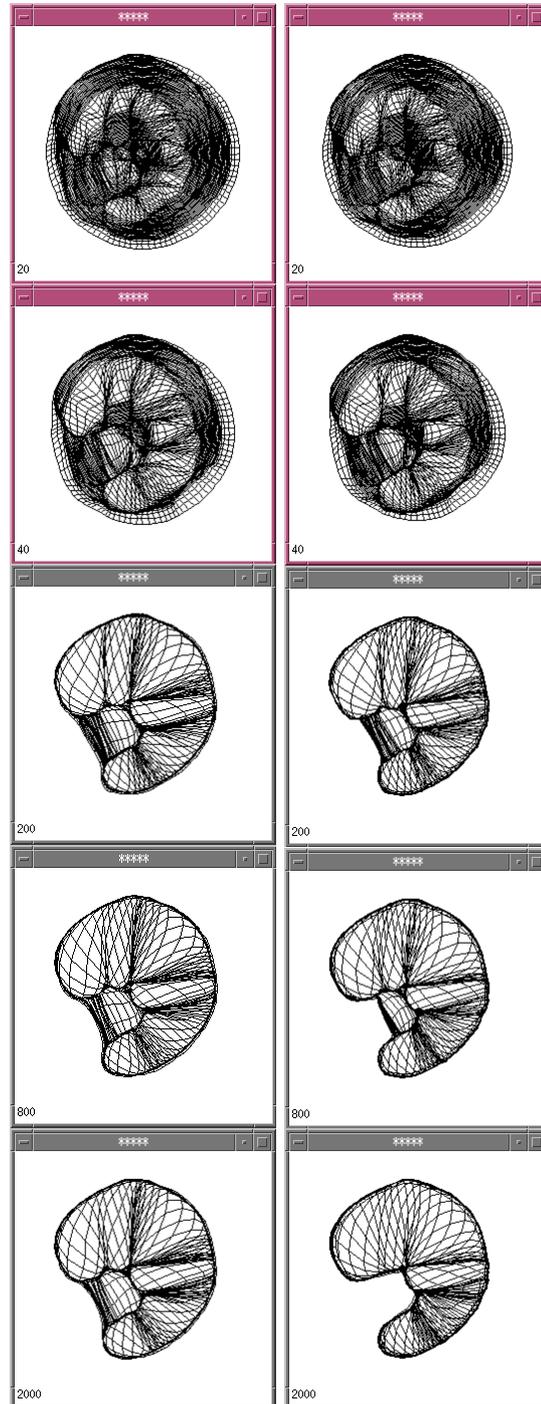


図 6 腎臓画像への適用例  
左列：従来手法, 右列：提案手法