

## 興味部位の形状を考慮した動的輪郭モデル

3M-1

北島宏之 帰山芳行 小林広明 中村維男

東北大学大学院情報科学研究科

## 1. はじめに

輪郭情報が一部欠落している興味部位(以下, ROI: Region of Interest)の抽出や, 雑音を含む画像からの部位抽出に有効な手法として, 動的輪郭モデル Snakes が提案されている[1]. しかし, Snakes は, 初期輪郭設定における制限や, 動的輪郭が持つ複数のポテンシャルエネルギーの定義, あるいはその重み付けに対する複雑さ, ポテンシャルエネルギーの最小化における極小値問題などの問題を持つため, その使用を困難にしている.

本報告では, Snakes における動的輪郭に働く力の決定に対し, 抽出目標である ROI に対応する見本形状から得る形状情報を利用する手法を提案する. 形状情報の利用により, 雑音に対する強さや ROI 凹部への収束性, ポテンシャルエネルギーの重み付けおよび初期輪郭設定に柔軟性が得られる. また, ROI 輪郭近傍における動的輪郭ポテンシャルエネルギーの安定性から, エネルギー分散による収束判定も可能になり, 極小値問題に対する1つの解が得られる.

## 2. Snakes の基本原理

Snakes[1]において, 各時間における動的輪郭は位置変数  $s$  ( $s \in \Omega$ :  $\Omega$  空間指標)の媒介変数表現  $v(s)$  として表され, そのポテンシャルエネルギーは次式により定義される.

$$E_{snake} = \frac{1}{2} \int_{\Omega} [E_{int}(v(s)) + E_{ext}(v(s)) + E_{field}(v(s))] ds \quad (1)$$

$E_{int}$  は, 輪郭を小さく滑らかにするように部分輪郭に作用する内部力  $\vec{f}_{int}$  によるポテンシャルエネルギーであり,  $\omega_1$  と  $\omega_2$  を重みとして次式で与えられる.

$$E_{int}(v(s)) = \omega_1 \left| \frac{\partial v(s)}{\partial s} \right|^2 + \omega_2 \left| \frac{\partial^2 v(s)}{\partial s^2} \right|^2 \quad (2)$$

$E_{field}$  は, ROI 抽出を行う画像(以下, 原画像)上

の各位置における, 画素値勾配より求められる画像力  $\vec{f}_{field}$  に基づくポテンシャルエネルギーである. 一般に, 画素値勾配を  $\nabla I$  として次式が使用される.

$$E_{field}(v(s)) = -|\nabla I(v(s))|^2 \quad (3)$$

$E_{ext}$  は, 動的輪郭に作用する外部力  $\vec{f}_{ext}$  に基づくポテンシャルエネルギーである. 外部力は, 輪郭に対して重心などの基準点からのバネや斥力が仮定される場合[1]や, 弾性モデルとして離散化された輪郭における輪郭点間の距離および角度から受ける力として定義される場合[2], あるいは一般的な力として輪郭垂直方向の力として使用される場合[3]がある. 大域的基準点の使用や外部力の一般化は, 各エネルギーとの関連における重み付けを困難にする傾向がある. また, 輪郭点間距離の考慮は, 見本輪郭形状と ROI 形状の差に過度に敏感であると考えられる. 従って, 本報告では  $\vec{f}_{ext}$  を他の力と同様に局所的に決定し, その際, 輪郭点間距離は直接考慮せず, 相互の隣接方向のみを考慮する.

## 3. ROI 形状を考慮した Snake

本報告では,  $E_{int}$  および  $E_{field}$  に対しては動的輪郭の一般的特性として式(1)および(2)を使用し, ROI 形状の考慮に対して, 局所的に ROI 形状を考慮するように  $E_{ext}$  を新たに定義した Snake を提案する. ここでは, 見本形状の輪郭を初期輪郭として使用し, その形状情報を利用することにより ROI 形状を考慮する. 具体的には, 初期輪郭の部分輪郭間の隣接関係から得られる, 局所形状と輪郭が移動すべき方向を用いる. 以下, 説明に使用する変数において, 動的輪郭および初期輪郭を区別する必要がある場合, 添え字  $a$  は動的輪郭,  $i$  は初期輪郭を表す.

形状を考慮した動的輪郭の  $E_{ext}$  を次に示す.

## An Active Contour Model with Consideration to the Shape of a Region-of-Interest

Hiroyuki Kitajima, Yoshiyuki Kaeriyama, Hiroaki Kobayashi, and Tadao Nakamura

Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

01 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579, JAPAN

$$E_{ext}(v(s)) = \alpha(v(s)) |d_s(v(s))|^2 + \beta(v(s)) |d_v(s)|^2 \quad (4)$$

ここで、第一項は動的輪郭が初期輪郭形状に近づく力  $\bar{f}_{ext-s}(v(s))$  に基づくエネルギーであり、第二項は輪郭に対して内向き垂直に働く一定力  $\bar{f}_{ext-v}(v(s))$  によるエネルギーを意味する。また、 $d_s(v(s))$  および  $d_v(s)$  は、それぞれ  $d_s(v(s)) = \partial^2 v_a(s) / \partial s^2 - \partial^2 v_i(s) / \partial s^2$ 、および  $p$  と  $n$  を隣接部分輪郭への指標として  $d_v(s) = d_{ip}(s) + d_{in}(s) = C(s)$  である。重み  $\alpha$  と  $\beta$  は、動的輪郭に対して ROI 近傍では形状を考慮するように  $\bar{f}_{ext-s}(v(s))$  を強く作用させ、逆にそれ以外の場所では ROI 輪郭、特に凹部への収束を促進するために  $\bar{f}_{ext-v}(v(s))$  を強く作用させるように、画素値勾配  $I_{ad}(v(s)) = |\nabla I(v(s))|$  の関数として定義する(図1)。

$\bar{f}_{ext-s}$  および  $\bar{f}_{ext-v}$  より ROI 形状を考慮した輪郭移動が可能であり、また、これらは  $\bar{f}_{int}$  や  $\bar{f}_{field}$  と同様に局所的に求めることが可能であるため、適切な重み付けにより柔軟な ROI 輪郭抽出が可能であると考えられる。

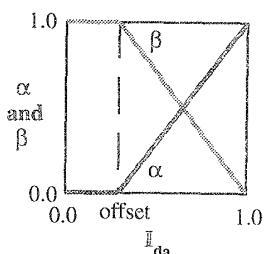


図1.  $\alpha$  および  $\beta$

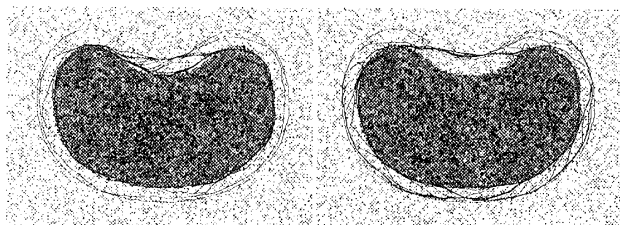
#### 4. 実験

提案する Snake における ROI 形状情報利用の有効性を確認するため、凹部のある ROI の抽出を目的に、雑音を含む画像に対して実験を行った。実験条件として、初期輪郭には ROI 輪郭から比較的離れた位置に、ROI 輪郭からの距離がほぼ等しいような輪郭を与えた。また、実験では、 $\bar{f}_{int}$ 、 $\bar{f}_{field}$  および  $\bar{f}_{ext}$  ( $\bar{f}_{ext-s} + \bar{f}_{ext-v}$ ) に対する重みとその結果を比較するため、各力が  $0.0 \sim 1.0$  になるように正規化を行い、各力に対する重みを  $0.0 \sim 1.0$  の範囲で変化させた。

図2に ROI 輪郭の抽出結果の例を示す。(a)は、提案する Snake により ROI 輪郭が抽出された結果である。雑音の影響を効果的に除き、動的輪郭の ROI 凹部への収束も可能であることがわかる。(b)は、提案

する外部力  $\bar{f}_{ext-s}$  および  $\bar{f}_{ext-v}$  を用いない Snake による結果であり、ROI 輪郭凹部への動的輪郭収束に失敗した例である。今回の実験では、 $\bar{f}_{ext-s}$  および  $\bar{f}_{ext-v}$  を用いない場合、いずれの重み付けであっても ROI 輪郭の抽出は不可能であった。

本手法においても、 $E_{snake}$  の極小値問題は存在する。しかし、ROI 輪郭近傍における動的輪郭の安定性から、動的輪郭の収束は一定時間におけるエネルギーの分散により求めることが可能である。実際に、今回の実験では、 $E_{snake}$  は約  $16 \sim 1.5$  まで変化した。収束判定の分散閾値を  $0.01$  として、 $1000$  時間ステップの  $E_{snake}$  の分散より判定を行った。



(a)  $\bar{f}_{ext-s}$  および  $\bar{f}_{ext-v}$  を考慮した場合  
(b)  $\bar{f}_{ext-s}$  および  $\bar{f}_{ext-v}$  を考慮しない場合

図2. ROI 輪郭抽出結果

#### 5. おわりに

本報告では、ROI 輪郭形状を考慮した  $\bar{f}_{ext-s}$  および  $\bar{f}_{ext-v}$  を用いた Snake を提案した。実験結果から、提案する Snake は、雑音に強く、凹輪郭の抽出が可能であることが示された。また、初期輪郭の設定位置および各力に対する重み付けに関して比較的寛容であり、 $E_{snake}$  の分散による動的輪郭収束判定が可能であることが示された。

今後の課題として、本手法の実画像や動画像における ROI 抽出への応用が挙げられる。

#### 参考文献

- [1] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models," Int. J. of Computer Vision, pp.321-331, 1988.
- [2] 上田修功, 間瀬健二, 末永康仁, "弾性輪郭モデルとエネルギー最小化原理による輪郭追跡手法", 信学論(D-II), J75-D-II, 1, pp. 111-120, 1992.
- [3] 橋本昌寛, 木下宏揚, 酒井善則, "Sampled Active Contour Model による輪郭抽出法", 信学論(D-II), J77-D-II, 11, pp. 2171-2178, 1994.