

## ファン・オペレータの出力に基づく Minimal Surface の抽出

瀬川英吾 徐剛 辻三郎  
大阪大学 基礎工学部

1枚の濃淡画像から、ファン・オペレータによって検出されたジャンクションの位置情報を用いてminimal surface を抽出する方法について述べる。これは、ジャンクションやエッジによって囲まれた閉領域で、領域分割を行うための最小単位となる。非常に少ない点を初期位置とし、そこから膨張して行くsnakeにより、このような領域の抽出を行った。

## Minimal Surface Extraction Based on Output of the Fan Operator

Eigo segawa, Gang Xu, Saburo Tsuji  
Faculty of Engineering Science  
1-1, Machikaneyama, Toyonaka, Osaka 560 Japan

Segmenting images into objects is the first step towards object learning & recognition. We take a three-stage approach to this problem. First, junctions and corners are detected from the image by the Fan Operator, which is described in another paper. Second, the contour image is built by applying the "active snake" model to detect edge contours through junctions and corners, resulting in an image composed of closed regions. And third, we merge regions that are depth-continuous, and separate regions at the depth discontinuities, using constraints imposed by the junction types. In this paper we describe the second and third steps.

## 1. はじめに

コンピュータビジョンの研究においては、物体認識を行うためには、まず3次元形状を完全に復元することが重要であると考えられてきた。しかし、これは非常に困難な問題でありまだ解決されていない。そこで、厳密な3次元情報の復元を行わない別のアプローチが考えられる。それは、最初に画像をジャンクションのような特徴点によって分割し、その分割された2次元の画像により学習を行ったネットワークを用いて認識を行うものである[6],[7],[8]。

T型ジャンクションは深さの不連続を表すことはよく知られており、これを分割問題に用いようとする研究[5],[6]も行われている。しかし、伝統的に行われている方法は、このようなジャンクションをエッジ画像から求めようとするものであり、従来のエッジ検出器ではエッジの直線性の仮定のために、ジャンクションやその近傍であまり良い出力が得られない。

そこで、我々は別のアプローチをとる。まず、画像から直接ジャンクションを検出し、次にそれらを含む輪郭線を snake<sup>[1],[3]</sup> によって検出する。ジャンクションを検出するオペレータとしてファンオペレータ<sup>[4]</sup>が提案されているので、我々はこの出力すなわちジャンクションの位置およびその点における接線方向が得られた段階から始める。ここで用いる snake は非常に少ない点を初期位置とし、そこから外に向って領域を広げて行き、ジャンクションや輝度の変化の大きな点で止まるようになっていく。また、あらかじめジャンクションの位置が分かっているのでこれらの点で、大きな曲率をとることを許す設定にすることができる。

snakes によって抽出された領域を minimal surface と呼ぶことにし、画像の分割を行う際の最小単位として考える。これらはジャンクションを含んでいるので、その型によって互いの深さの関係を定めることができる[2]。

以下の章では、minimal surface を抽出するための snake について述べ、次にこれらを用いて領域分割を行うための1手法を示す。

## 2. Minimal Surface の抽出

従来の snake を用いた場合、求めたい輪郭線の近くに初期位置を設定しなければならない。しかし、

人間とのインタラクションなどが無い場合、これを決定することは困難である。

そこで、我々は輪郭線のそばに初期位置を設定しなくても良いように、 $2 \times 2$ ピクセルから膨張をして行き、望ましい境界線上に収束するモデルを用いる。このとき、初期位置はジャンクション、エッジを含まず、また既に抽出された minimal surface の外部に位置するように選ばれる。

モデルが最小化すべきエネルギー関数は次式で表される。

$$E_{\text{snake}} = \int_0^1 \alpha |v'|^2 + \beta |v''|^2 + E_{\text{ext}}(v) ds \quad \dots (1)$$

ここで  $v(s)$  は  $(x(s), y(s))$  を表す。 $E_{\text{ext}}$  は snake を画像の特徴へ近づけるためのエネルギーであり次の3つの項からなる。

$$E_{\text{ext}} = w_1 E_{\text{edge}} + w_2 E_{\text{press}} + w_3 E_{\text{junction}} \quad \dots (2)$$

$w_1, w_2, w_3$  は重みであり、ここでは正の値をとるものとする。

第1項は、明るさ  $I(x, y)$  の1次微分からなり、snake をエッジに近づける作用がある。

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

第2項は、snake の構成点を法線方向外向きに押し出す力を生じ、これによって snake は膨張することができる。

$$\frac{\partial E_{\text{press}}}{\partial v} = n_{\perp}(v) \quad \dots (4)$$

あらかじめ抽出されている全てのジャンクションに対して、その座標  $(x_i, y_i)$  において極小値をもつような関数(図1参照)をあたえる。そしてこのような関数の和を第3項とする。この項により snake はジャンクションに引きつける力を受ける。 $\sigma$  の値を変えることによって、ジャンクションが snake に及ぼす影響の範囲を決めることができる。

$$E_{\text{junc}} = \sum_i -\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}{2\sigma}\right\} \dots (5)$$

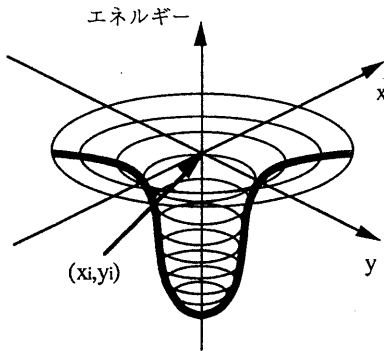


図1 ジャンクションによるエネルギー

一般的にジャンクションにおいては境界線の接線は不連続であるため、snake は図2のように収束してしまい良い結果が得られない。これを避けるために、これらの点の近傍では  $\beta$  の値を 0 にする。

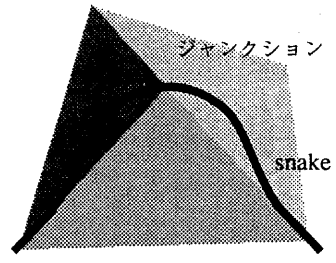


図2 ジャンクション近傍の snake

以上のようなモデルを用いて抽出された輪郭線によって囲まれる領域を minimal surface する。

### 3. 最小化問題

我々は (1) の最小化問題を解くために有限要素法<sup>[1]</sup>を用いる。節点を  $V_i$  とすると輪郭線  $v(s)$  は  $V_i, V'_i$  を用いて

$$v(s) = \sum_{i=1}^N V_i \phi_i + V'_i \psi_i$$

と表される。  
但し

$$\phi_i = \begin{cases} -\frac{2}{h_i^3}(s-s_{i-1})^2(s-s_i - \frac{h_i}{2}) & s_{i-1} \leq s < s_i \\ \frac{2}{h_{i+1}^3}(s-s_{i+1})^2(s-s_i - \frac{h_{i+1}}{2}) & s_i \leq s < s_{i+1} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$$\psi_i = \begin{cases} \frac{1}{h_i^2}(s-s_{i-1})^2(s-s_i) & s_{i-1} \leq s < s_i \\ \frac{1}{h_{i+1}^2}(s-s_{i+1})^2(s-s_i) & s_i \leq s < s_{i+1} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

とする。この  $v(s)$  を (1) に代入し、最小化の必要条件として

$$\frac{\partial E_{\text{snake}}}{\partial V_i} = 0$$

$$\frac{\partial E_{\text{snake}}}{\partial V'_i} = 0$$

$$i = 1 \dots N$$

とすると、 $2N$  個の方程式が得られる。したがってこれらの方程式を解くことによって  $V_i, V'_i$  が求められる。これらの方程式を行列で表現する。

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ V' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix}$$

但し、

$$V = [V_1 \dots V_N]^T$$

$$V' = [V'_1 \dots V'_N]^T$$

$$P = \left[ \int -\frac{\partial E_{\text{ext}}}{\partial V_1} ds, \dots, \int -\frac{\partial E_{\text{ext}}}{\partial V_N} ds \right]^T$$

$$Q = \left[ \int -\frac{\partial E_{\text{ext}}}{\partial V'_1} ds, \dots, \int -\frac{\partial E_{\text{ext}}}{\partial V'_N} ds \right]^T$$

また、A の要素は次のようになる。

$$a_{ij} = \int_0^1 \alpha \phi_i' \phi_j' + \beta \phi_i'' \phi_j'' ds$$

これより

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & \dots & \dots & 0 & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & \dots & & 0 \\ 0 & & & \ddots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & \ddots & & 0 \\ 0 & \dots & & 0 & a_{N-1,N-2} & a_{N-1,N-1} & a_{N-1,N} \\ a_{N1} & 0 & \dots & 0 & a_{NN-1} & a_{NN} & \end{bmatrix}$$

という形になる。B,C,DもAと同様な形で、その要素は次のようになる。

$$b_{ij} = 2 \int_0^1 \alpha \phi_i' \psi_j' + \beta \phi_i'' \psi_j'' ds$$

$$c_{ij} = 2 \int_0^1 \alpha \psi_i' \phi_j' + \beta \psi_i'' \phi_j'' ds$$

$$d_{ij} = \int_0^1 \alpha \psi_i' \psi_j' + \beta \psi_i'' \psi_j'' ds$$

より良い結果を得るために、snakeが膨張する過程で、その長さがしきい値を越えると新たに節点を加える。

#### 4. ドーナツ型の対象への対策

以上に述べた方法では、ドーナツのように内部に穴の空いた対象に対して問題が起こる。snakeは初め位置から膨張を始めるが、図4のように矢印の方向にはどこまで行ってもエッジが存在しないため、いつまでも止まることができない。

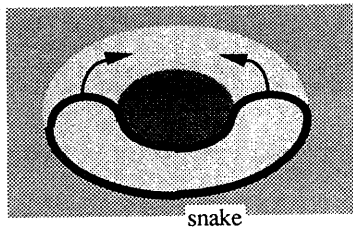


図3 内部に穴がある場合  
この問題を解決するために画像と同じ大きさのマ

ップを用意し、既に抽出されている領域及び、膨張時の各ステップにおいてsnakeによって囲まれる領域を記録する。この記録を参照することによって、snakeを構成する点がいこれらの領域に入ればそこで膨張を停止させることができる。

#### 5. ジャンクションによる分割

Guzmanは多角形からなる線画に対して、ジャンクションに関するヒューリスティックを用いて分割を行った。この手法を基にして、画像からminimal surfaceが抽出された場合、領域分割は以下の手順で行うことができる。

- (1) 図4のように、ジャンクションの型によってminimal surfaceの間にリンクを作る。
- (2) minimal surfaceをノード、リンクをアークとして、グラフを描く。
- (3) 2つ以上のリンクのあるノードを統合して新たなノードとする。
- (4) 統合するノードが無くなるまで(3)を繰り返す。

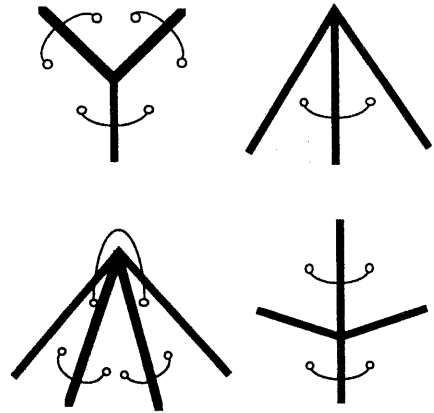


図4 領域間のリンク

この方法により、深さの連続した領域、深さの不連続な領域が求められる。またリンクが1つしかない領域間の関係は不明のままである。

#### 5. 実験結果

実画像に対してsnakeによるminimal surfaceの抽出を行った。

図5にジャンクションの位置を示す。

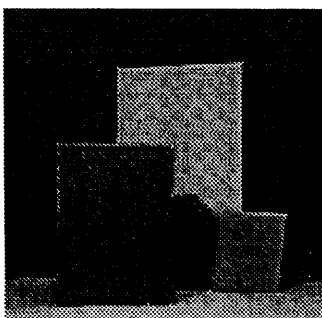


図5 ジャンクション (白い点)

これに基づいて得られた minimal surface を図6に示す。

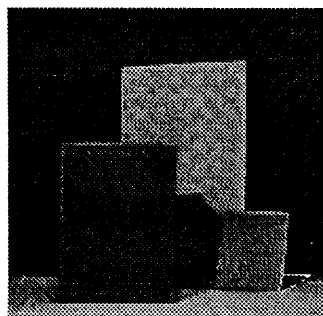
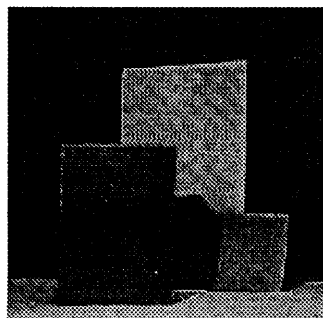
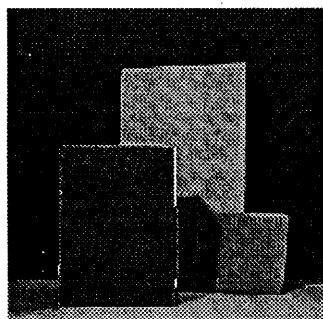
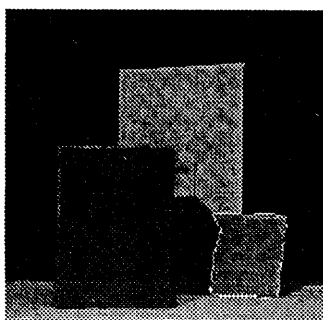
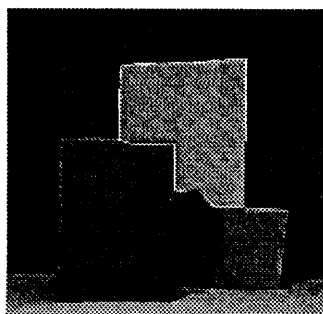
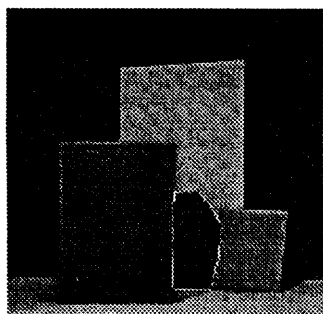


図6 抽出された minimal surface

図6を見ると、ほぼ正しく minimal surface が抽出されている。

エネルギー関数の重みは試行錯誤的に決めたが、このときジャンクションの影響を決める重みを他に比べて大きくすると良い結果が得られた。

## 6. おわりに

あらかじめジャンクションの位置を知識として持っている状態で、領域分割のための手がかりを与える minimal surface の抽出を行った。

## 参考文献

- [1] Cohen, L. D. and Cohen, I. "A finite element method applied to new active contour models and 3D reconstruction from cross sections", Proc. of Third International Conference on Computer Vision, pp.587 - 591, 1990.
- [2] Guzman, A. "Decomposition of a visual scene into three-dimensional bodies", AFIPS Proc. Fall Joint Computer Conference, Vol.33, 1968.
- [3] Kass, Witkin, A. and Terzopoulos, "snakes :active contour models", Proc. of First International Conference on Computer Vision, pp.259-269, 1987.
- [4] Nakamura, T., Xu, G. and Tsuji, G. "The Fan Operator for Detection of Junctions and Corners", Proc. First Korea-Japan Joint Conference on Computer Vision., pp.480-486, 1991.
- [5] Nitzberg, M. and Mumford, D. "The 2.1D sketch", Proc. of Third International Conference on Computer Vision, pp.138-144, 1990.
- [6] Poggio, T. and the staff, "MIT progress in image understanding", Proc. of DARPA Workshop in Image Understanding, pp.56-74, 1989.
- [7] Xu, G. and Tsuji, S. "Object learning and recognition:Two-dimensional or three-dimensional?", Technical Report 91-01, Department of Control Engineering, Osaka Univ. 1991.
- [8] Xu, G. and Tsuji, S. "A revision of Marr's vision paradigm", Proc. First Korea-Japan Joint Conference on Computer Vision., pp.290-297, 1991.