

## 領域分離と最小二乗法による濃淡画像からの線分抽出

LINE FINDING BY USING AREA CONSTRUCTION AND LEAST SQUARES FIT

坪内孝司 金山裕 油田信一

Takashi Tsubouchi, Yutaka Kanayama and Shin-ichi Yuta

筑波大学

(University of Tsukuba, Sakura, Ibaraki 305 Japan)

This paper describes how to find straight line segments from gray scale images. It should be paid attention to the fact that directions of gradient of brightness of pixels on a line segment are approximately equal. Pixels having the following properties are firstly connected together to construct an area: (1) Magnitude of the gradient of the pixel is greater than a threshold value. (2) Direction of the gradient of the pixel falls within a small range of directions. (3) All pixels are connected each other. Linearity of each area is evaluated by computing the long and short diameters of the inertially equivalent ellipse. The advantages of this method are (1) the algorithm is fast because it needs only one scan to obtain the moments, (2) the effect of local noise is greatly reduced, and (3) the "reliability" of the linearity can be quantitatively expressed by means of the moments.

## 1. 序

濃淡画像から境界線(線分)を抽出するための様々な方法が古くから提案されている[1]。境界線抽出における基本的な問題点は、必然的に雑音を含む画像から、いかにして信頼できる情報を取り出すかにある。

そこで、筆者らは境界線を構成する画素を集めて一つの小領域を生成し、その小領域全体について統計的な処理を施すことにより、信頼できる情報を取り出すことができないかと考えた。より具体的には、次の手順による線分抽出法を提案する。

(イ) 濃度勾配を有する画素をその方向によって分離して小領域を構成する。

(ロ) 各小領域について最小二乗法を適用することにより、境界線を取り出す。画素に關

する操作(線点追跡や細線化など)を最小に留めた点に本方式の特徴がある。

この方法の長所は、次の通りである。

(イ) 局所的な情報ではなく、多数の画素から得た情報を平均的に利用するので雑音に左右されにくい。

(ロ) 処理のための画像走査は一回でよい。

(ハ) 得られた線分や頂点の"信頼度"が定量的にあらわせる。

本方法は一般に任意の画像に対して適用することができる。例えば、屋内や屋外のシーンなどから主要な線分(ひいては主要な情報)を抽出すること等に用い得る。また多面体を含む画像から線図形を取り出すために適用することができる。この場合、本方式で得られた線分から、線図形を組立てる処理が本稿で

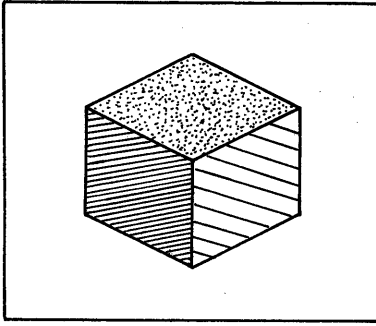


図1 原画像

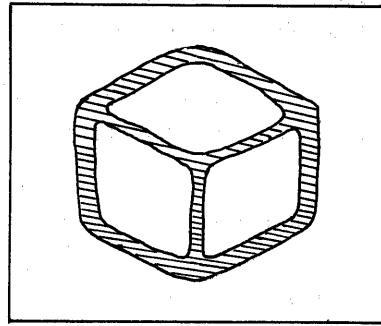


図2 濃度勾配をもつ領域

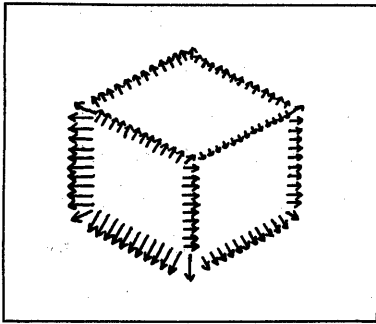


図3 濃度勾配の方向を考慮した領域

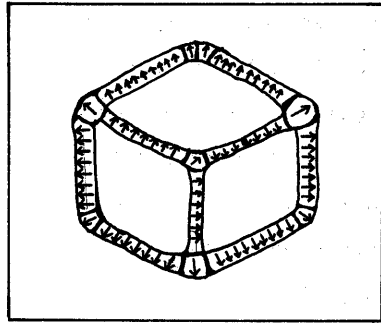


図4 分割された小領域

述べる処理のあとに続くことになるが、これらについては続報に譲ることとする。

## 2. 本方式の概略

図1に示すような濃淡画像 $I$ を考える。これから境界線を抽出するためには、通常、各画素の濃度勾配の絶対値 $g_a$ が用いられる。一般に、境界線付近の $g_a$ は、他の場所に比べて大きい。図1の画像で、 $g_a$ があるしきい値を超える領域は図2のようになる。まず、この領域を、各々の線分を代表するような小領域に分割する手段を見いだしたい。

ところで、図2で示した領域中の各画素における濃度勾配について、その方向 $g_d$ も考えると図3のように表示される。

そこで、 $g_d$ がほぼ等しくかつ隣接している画素を集めると図4のように分割され、ここで求められた独立した小領域は各々、一つの線分を代表している。こうして分離された各々の小領域についてその慣性主軸を求める

などのために最小二乗法を適用し、線分らしさを評価すると共に線分を表すパラメータ、すなわち以下で述べる線分特徴量を計算する。この考えにもとづく方式は次の手順に従う。

(イ) 各画素 $(x, y)$ の濃度勾配の大きさ $g_a(x, y)$ と、方向 $g_d(x, y)$ を求める(3節参照)。

(ロ)  $g_a(x, y) > t$ 、かつ $g_d(x, y)$ がほぼ等しい、かつ互いに隣接している画素 $(x, y)$ を連結して小領域を生成する(3節参照)。

(ハ) その際に各小領域毎に0, 1, 2次のモーメントを累積計算する(4節参照)。(上記(イ) - (ハ)は全画像について一回の通常の走査で行われる。)

(ニ) 各小領域について得られたモーメントから慣性等価楕円の長径、短径および慣性主軸を求めて、線分らしさを評価する。さらにこの小領域が線分に近いとき、その領域の(

-1		1
-1		1
-1		1

(a)  $\frac{\partial f}{\partial x}$

-1	-1	-1
1	1	1

$\frac{\partial f}{\partial y}$

-1		1
-2		2
-1		1

(b)  $\frac{\partial f}{\partial x}$

-1	-2	-1
1	2	1

$\frac{\partial f}{\partial y}$

-1	-1	
-1		1
	1	1

(c)

	-1	-1
1		-1
1	1	

図5 微分オペレータ例

$x, y$  座標の最大、最小値などから線分の端点近似位置を求める。(5節参照)。

### 3. 小領域の生成

濃度画像  $f$  の各画素  $(x, y)$  における濃度勾配の大きさ  $g_a(x, y)$  と、方向  $g_d(x, y)$  は次により与えられる。

$$\text{grad}f(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} U_x + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} U_y \quad (1)$$

$$g_a(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$

$$g_d(x, y) = \text{atan2}\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right) \quad (3)$$

ただし、 $U_x, U_y$  はそれぞれ  $x, y$  方向単位ベクトルである。

具体的な  $\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}$  としては Prewitt

のオペレータ (図5 (a) 参照 [2]), Sobel のオペレータ (図5 (b) 参照 [3]) などが提案されているがここでは図5 (c) のオペレータ [4] を用いた。

ある画素  $(x, y)$  について濃度勾配を求め、その大きさ  $g_a(x, y)$  が、予め定められたあるしきい値  $t$  をこえているとする。このとき、 $(x, y)$  に隣接し  $g_a(x, y)$  がしきい値  $t$  を超え、 $g_d(x, y)$  が  $g_d(x, y)$  にほぼ等しいような画素  $(x, y)$  を、同じ小領域に属するものとして連結してゆく。ただし、ひとつの領域に属している画素の  $g_d$  のばらつきの範囲は  $d_{max}$  を超えないものとする。この処理は 8-連結性に基ずいて行なう。

これは濃度勾配のばらつきに関する連結成分のラベル付けと数えあげになり、全面面に対する1回の走査により行うことができる [5]。

### 4. 領域特徴量

前節に述べた方法により各画素を小領域に併合する過程で以下の諸量を求めてゆく。これを領域特徴量と呼ぶ。

(イ) 小領域  $A_i$  の濃度勾配の絶対値  $g_a(x, y)$  の 0, 1, 2 次モーメント。

0 次モーメント

$$m_{00}^i = \sum_{A_i} g_a(x, y) \quad (4)$$

1 次モーメント

$$m_{10}^i = \sum_{A_i} x g_a(x, y) \quad (5)$$

$$m_{01}^i = \sum_{A_i} y g_a(x, y) \quad (6)$$

2次モーメント

$$m_{20}^i = \sum_{A_i} x^2 g_a(x, y) \quad (7)$$

$$m_{11}^i = \sum_{A_i} xy g_a(x, y) \quad (8)$$

$$m_{02}^i = \sum_{A_i} y^2 g_a(x, y) \quad (9)$$

(ロ) 小領域  $A_i$  の  $x, y$  座標の最大値、  
最小値  $(x_{\max}^i, y_{\max}^i), (x_{\min}^i, y_{\min}^i)$

(ハ) 小領域  $A_i$  に属する画素の数  $c^i$

これらの 0, 1, 2 次モーメントは、各画素毎に累積計算を行えばよく、また他のパラメータも簡単な比較又は、累積で計算される。従ってこの計算は、3. で述べた小領域の生成と同時に行うことができる。すなわち、1 画像に対する走査がおわれば、得られた各小領域  $A_i$  についての領域特徴量が求まったことになる。

### 5. 線分特徴量

4 節で求められた領域特徴量から次の線分特徴量を求めることができる。

(イ) 小領域  $A_i$  の重心  $(x_g^i, y_g^i)$

$$x_g^i = \frac{m_{10}^i}{m_{00}^i} \quad (10)$$

$$y_g^i = \frac{m_{01}^i}{m_{00}^i} \quad (11)$$

(ロ) 小領域  $A_i$  の慣性主軸 (慣性等価楕円の長軸) の傾き  $\alpha^i$

$$\alpha^i = \frac{1}{2M_{11}^i} \left\{ M_{02}^i - M_{20}^i + \sqrt{(M_{02}^i - M_{20}^i)^2 + 4M_{11}^{i2}} \right\} \quad (12)$$

ただし  $M_{11}^i = 0$  のとき、

$$M_{20}^i > M_{02}^i \text{ ならば } \alpha^i = 0$$

$$M_{02}^i > M_{20}^i \text{ ならば } \alpha^i = \infty$$

(ハ) 慣性主軸と  $x$  軸との角度  $\text{ang}^i$

$$\text{ang}^i = \text{atan}(\alpha^i) \quad (13)$$

(ニ) 小領域  $A_i$  の慣性等価楕円の長径  $l^i$   
短径  $s^i$

$$l^i = \sqrt{\frac{M_{\min}^i}{m_{00}^i}} \quad (14)$$

$$s^i = \sqrt{\frac{M_{\max}^i}{m_{00}^i}} \quad (15)$$

(ホ) 比  $rt^i$

$$rt^i = \frac{s^i}{l^i} \quad (16)$$

ただし慣性主軸のまわりのモーメント

$$M_{\max}^i = \frac{1}{2}(M_{20}^i + M_{02}^i) + \sqrt{\frac{1}{4}(M_{20}^i - M_{02}^i)^2 + M_{11}^{i2}} \quad (17)$$

慣性等価楕円短軸のまわりのモーメント

$$M_{\min}^i = \frac{1}{2}(M_{20}^i + M_{02}^i) - \sqrt{\frac{1}{4}(M_{20}^i - M_{02}^i)^2 + M_{11}^{i2}} \quad (18)$$

また上記 (ロ) (ニ) において、

$$M_{20}^i = m_{20}^i - \frac{m_{10}^{i2}}{m_{00}^i} \quad (19)$$

$$M_{11}^i = m_{11}^i - \frac{m_{10}^i m_{01}^i}{m_{00}^i} \quad (20)$$

$$M_{02}^i = m_{02}^i - \frac{m_{01}^{i2}}{m_{00}^i} \quad (21)$$

である。

(へ) 線分の端点の近似位置

$(x_0^i, y_0^i), (x_1^i, y_1^i)$

(ト) 1次モーメント  $m_{00}^i$

ただし (ト) は領域特徴量のうちのひとつとしてすでに求められている。

慣性主軸は、領域の重心  $(x_g, y_g)$  を通る直線のまわりの慣性モーメント (2次モーメントの次元をもつ) が最小になるようにえらばれたものであり、その領域に "最も適合する" 直線である ([6] [7])。

(ロ) よりその傾きがわかるので、重心位置から慣性主軸の直線の方程式を求めることができる。また小領域  $A_i$  があらわしている線分の近似位置は図6に示すように慣性主軸、 $x, y$  座標の最大、最小値から求められる。

比  $rt^i$  は小領域  $A_i$  の慣性主軸からの分布が小さいほど小さくなる。したがって

$rt^i$  は線分の確からしさを表す尺度である。また、ある小領域  $A_i$  の  $m_{00}^i$  が大きい場合これは線分が長い、境界線が明確であることを意味する。したがって  $m_{00}^i$  はその小領域  $m_{00}^i$  に関する情報の重みの尺度となる。

## 7. インプリメンテーション

図7に本研究で用いている処理系を示す。小型の CCD カメラで画像を取り込み、画像のデジタル化は NEXUS6200 で行なう。NEXUS6200 は 512 \* 480 画素、256 階調 / 1 画素の画像をとりあつかうことができる。

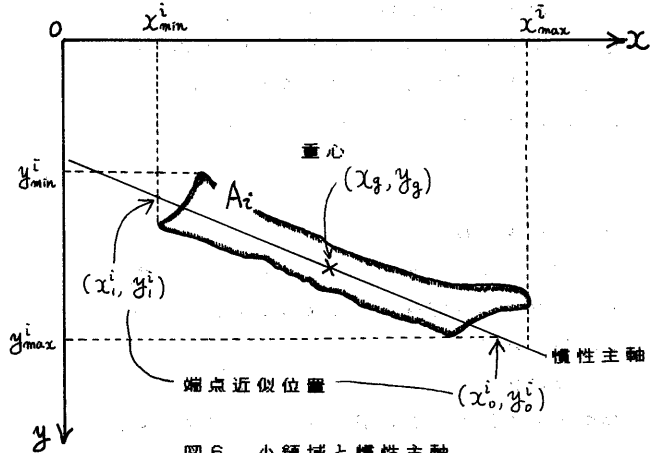


図6 小領域と慣性主軸

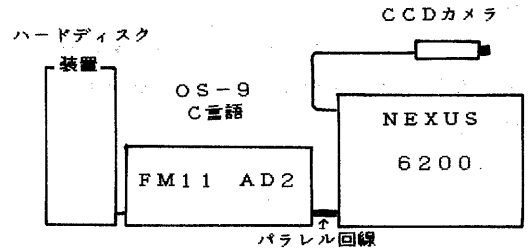


図7 画像処理システムの構成

この処理は OS-9 上の C 言語で約 500 行のプログラムで実現された。処理プログラムはオブジェクトコードにして 20kbytes 程度である。

本処理プログラムにおいて特記すべき事項は下記の通りである。

(イ) 各小領域に属する濃度勾配の方向のばらつきの範囲はあらかじめ定められてはいない。ばらつきの幅のみを与えている。

(ロ) 画像上を走査する際、はじめは異なる 2 つの小領域であったものが、走査が進むにつれて、1 つの小領域につながることもある。このときは、一方の小領域のそれまで累積した領域特徴量を他方のそれに加えこむ。

(ハ) この処理を行うと各操作において 1 画素だけの小領域が多数作られる。これらすべての小領域について領域特徴量を記録すると、

莫大な記憶容量が必要となるため、一行の走査が終るごとに既に閉じた小領域で  $M_{00}$  が ある値以下のものについては捨てることとし、この時点でガベージコレクションを行う。

## 8. 処理結果

上記のアルゴリズムにより、カメラから取り込んだ立体模型像などに対して線分抽出処理を施す実験を行っている。

この結果、このアルゴリズムは基本的には期待どおり動くことが確認された。実際の画像に対する処理結果例については、研究会席上で発表する。

## 謝辞

本研究をするにあたり理々の御助言をいただいた電子技術総合研究所 白井良明博士に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 長尾 真, 金出武雄, "パターン認識における線, 線の抽出", 電子通信学会誌, Vol.55, No.12, pp.1618-1627, 1972.
- [2] J.M.S.Prewitt, " Object enhancement and extraction" in Picture Processing and Psychopictorios B.S.Lipkin, A.Rosenfeld Eds., Academic Press, pp.75-149, 1970.
- [3] K.K.Pingle, "Visual perception by a computer " in Automatic Interpretation and Classification of Images A.Grasselli Eds., Academic Press p277 , 1969.
- [4] 白井良明 私信
- [5] A.Rosenfeld, A.C.Kak, " デジタル画像処理 ", 長尾 真 監訳, 近代科学社, pp.360-361, 1978.
- [6] 同上 pp.428-429
- [7] 白井良明, " コンピュータビジョン ", 昭晃堂, 1980.