

画像のスケールスペース解析にもとづく 線図形の抽出

本谷 秀堅 出口 光一郎
東京大学工学部

濃淡画像中の線状の構造を、適切なスケールにより抽出する手法を提案する。画像をぼかすことにより局所的な構造を消去し、大局的な構造を捉える。画像中の構造の大きさを反映したスケールを選択するために、先に提案した手法に置いては、ガウス関数のスケールを変化させ、画像の濃淡を表す曲面形状の曲がり具合が極大となるスケールを求めた。しかし曲線状の図形においては、対応する尾根点がスケールとともに移動する。そしてこの尾根点が通過するとき、その位置における濃淡を表す曲面の曲がり具合が極大となる。このため尾根線が通過する領域すべてが特徴点として抽出されてしまう。そこで本稿においては、尾根線の移動速度がスケールの増加とともに大きくなることに着目した。移動速度が極小となる点を抽出することにより、元図形の曲線構造を正しく反映した特徴点を抽出することができる。

Line Structure Extraction based on Multi-Scale Analysis

Hidekata Hontani and Koichiro Deguchi

Faculty of Engineering, University of Tokyo,
Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

We propose a method of line structure detection. In the method, local structures are suppressed by a Gaussian blurring, and global structures are detected. A method proposed by us before increases the scale parameter of the Gaussian function, and observes the change of the curvedness of the image gray-level profile. Then, the method selects scales at which the curvedness becomes extremum. Though it can extract the shape-types and the sizes of blobs and straight-lines, it fails to extract curved-line structures. The movement of ridge points with respect to the scale change disturbs the extraction of curve structures. The method proposed here shows that the velocity of the ridge points movement becomes faster as the scale increases. The positions and the scales where the movement velocity becomes minimum are selected as the characteristic ridge points.

1 はじめに

画像の濃淡特徴として、濃淡を表す曲面の頂点や尾根線などを抽出する手法が数多く提案されている [1][2][3]。これら手法の多くは濃淡を表す曲面の形状を、微分幾何を用いて記述する。微分幾何による手法を用いると、注目している点における、曲面の局所的な形状特徴を記述することになる。局所的な特徴だけではなく画像中の大域的な構造をも捉えるために、画像をガウス関数でぼかし、細かな構造を消去して特徴抽出を行う。このとき画像を構成する構造の大きさは未知であるため、特徴抽出に適したスケールを画像自身より求める必要がある。

特徴抽出に適したスケールを画像自身より求めるために、スケールの変化に対する画像の濃淡を表す曲面の形状変化に着目する手法を先に提案した [4]。そこでは 1) 各位置において濃淡を表す曲面形状が最もはっきりとするスケールと 2) 各スケールにおいて各位置の曲面構造を代表する尾根点、との二種類の点を抽出し 1)2) の交わりとして元画像の特徴点を抽出する。塊状の図形や直線状の線図形は、1)2) の交わりを求めることにより、適切なスケールとともに抽出することができる。

しかし例えば円弧などの曲線図形においては、対応する尾根点がスケールとともに移動する。この尾根点が通過するとき、その位置の濃淡を表す曲面の曲がり具合は極大となるため、前記提案手法は曲線上だけではなく尾根線の通過する領域すべてを特徴点として抽出してしまう。

そこで本稿では、各スケールにおいて抽出される尾根線がスケールの変化に対していかに移動するか、その速度に注目することで、画像中の線図形の位置を正しく求める手法を提案する。尾根線の移動速度は尾根線の曲率半径の逆数に比例する。このためスケールを 0 より増大させていくときの尾根線の位置変化は、尾根構造が現れたときが最も遅く、その後次第に早くなっていく。そこで尾根線の移動速度をその法線方向で比較し、最も移動速度の遅い尾根点を元図形中の線図形に最も近い点として抽出する。この結果曲線部についても適切なスケールにより線状構造を抽出できるようになった。

以下スケールスペースの説明と、濃淡を表す曲面の主曲率を用いた特徴点抽出手法について説明し、その手法の問題点を述べる。次にその解決手法としての尾根線の移動速度に着目した手法について説明する。最後に、実験結果と考察を述べる。

2 スケールスペース

画像 $f(x, y)$ をガウス関数でぼかすことを考える。スケールスペース $L(x, y; t)$ とは、ぼかしのスケール t を 0 から次第に大きくするときを得られる画像のスタックであり、次のように定義される。

$$L(x, y; t) = g(x, y; t) * f(x, y) \\ = \int g(x', y'; t) f(x - x', y - y') dx' dy' \quad (1)$$

ただし $g(x, y; t)$ は式 (2) に示すように分散 t のガウス関数で、この t をスケールパラメータとみなす。 t は [長さ]² の次元を持っていることに注意。

$$g(x, y; t) = \frac{1}{2\pi t} e^{-(x^2+y^2)/2t} \quad (2)$$

図 1 左にスケールパラメータ t の変化による画像の変化の例を、右に濃淡を表す曲面の変化を示す。スケールの値が小さいときには元画像中の各線分に対応する位置に尾根状の構造が見られるが、スケールを大きくすると線分の配置に沿って円環状の尾根構造が現れてくることが分かる。

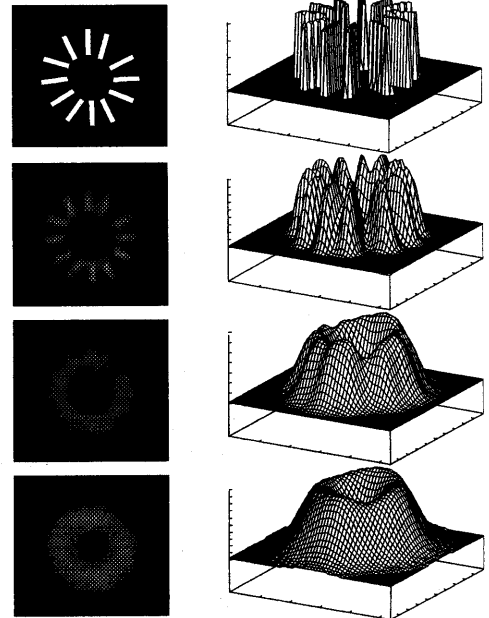


図 1: スケールの変化による画像の変化(左)と濃淡を表す曲面の変化(右)。画像の横幅 330 に対してスケール t は上から順に 0(元画像), 100, 300, 800。

3 尾根線の抽出

濃淡画像より線状の構造を抽出するために、画像の濃淡を表す曲面の尾根点を抽出する。尾根点抽出を行うために、画像の濃淡を表す曲面の主曲率を用いる。主曲率は各点における曲面の第二基本形式の固有値として求めることができる。

$\partial_x L(x, y; t)$ を L_x などと表すと、主曲率 κ_1, κ_2 、主曲率方向が x 軸となす角 θ_1, θ_2 は次の式で与えられる。

$$\begin{cases} \kappa_1 = \frac{-(L_{xx} + L_{yy}) + \sqrt{(L_{xx} - L_{yy})^2 + 4L_{xy}^2}}{2\sqrt{1 + L_x^2 + L_y^2}} \\ \kappa_2 = \frac{-(L_{xx} + L_{yy}) - \sqrt{(L_{xx} - L_{yy})^2 + 4L_{xy}^2}}{2\sqrt{1 + L_x^2 + L_y^2}} \\ \theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{(L_{yy} - L_{xx}) + \sqrt{(L_{xx} + L_{yy})^2 - 4L_{xy}^2}}{2L_{xy}} \right) \\ \theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{(L_{yy} - L_{xx}) - \sqrt{(L_{xx} + L_{yy})^2 - 4L_{xy}^2}}{2L_{xy}} \right) \end{cases} \quad (3)$$

曲面の各点における主曲率 $\kappa_{1, \text{norm}}$ に対応する主曲率方向を p 、 $\kappa_{2, \text{norm}}$ に対応する方向を q で表し、 $\partial_p L$ を L_p などと表す。ただし

$$|\kappa_{1, \text{norm}}| \geq |\kappa_{2, \text{norm}}|.$$

となるように $\kappa_{1, \text{norm}}, \kappa_{2, \text{norm}}$ を選ぶ。このとき次の条件を満たす点を尾根点として抽出する [2]。ここでは、図は地より濃淡値が小さいと仮定している。

$$\begin{cases} L_p = 0, \\ \kappa_{1, \text{norm}} > 0. \end{cases} \quad (4)$$

上記条件により抽出される点は、主曲率方向の一方が濃淡の勾配方向と一致し、その方向でみたとき曲面 $L(x, y; t)$ の法曲率をもっとも 0 に近くなる点である。画像中の線図形に対応する尾根点や、単峰状の構造の頂点が抽出される。

図 1 に示した例において、各スケールの画像より条件 (4) を用いて抽出された尾根点の例を図 2 に示す。スケールの変化にともない抽出される尾根線が複雑に変化することが分かる。

図 2 に示した例では、画像中の各線分に対応した尾根線が小さなスケールにおいて、線分の配置に沿った大きな円環に対応した尾根線が大きなスケールにおいて抽出されている。しかしスケールが変化して大局的な構造が現れてくる過程においては、元画像の特徴を反映していない尾根線も複数抽出されている。そこで次節において、各スケールにおいて抽出された尾根点のうち、適切なスケールにより抽出されたものを選択する手法について説明する。

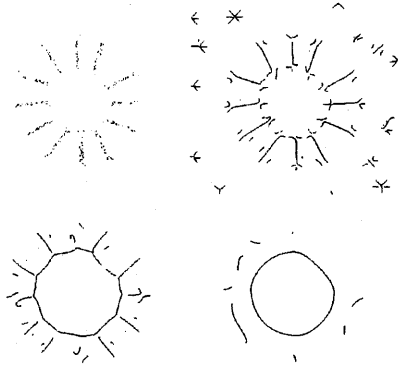


図 2: スケールの変化にともなう尾根線の変化。左上より右下へ $t = 0, 100, 300, 800$ 。

4 適切なスケールの選択手法

スケールの変化に対する濃淡を表す曲面形状の変化の仕方は、その位置における構造の大きさに依存する [2][4]。前節により求められた各スケールにおける尾根点のうち、各位置における構造の大きさを反映したスケールで抽出された点を選択することを考える。そのために、濃淡を表す曲面の主曲率の変化に着目する。

4.1 主曲率平面

濃淡を表す曲面の形状を、各点における主曲率により記述する。この記述のために x 軸、 y 軸それぞれが主曲率 κ_1, κ_2 の値を表す平面を考える。この平面をここでは主曲率平面と呼ぶ。

主曲率平面内の位置を極座標 (R, α) で表すとき動径成分 $R = \sqrt{\kappa_1^2 + \kappa_2^2}$ は曲面の曲がり具合を表

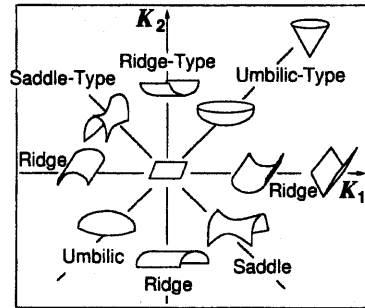


図 3: 主曲率平面

し、角度成分 $\alpha = \tan^{-1} \frac{\kappa_2}{\kappa_1}$ は曲面形状の種類を表している [5]。例えば直線 $\alpha = \frac{\pi}{4}$ 上の各点は $\kappa_1 = \kappa_2$ であり、へそ点に対応している。原点は平面に対応し、原点から遠ざかり R の値が大きくなるに従い曲面形状が鋭くなっていく。図 3 に主曲率平面と、それぞれの位置に対応する曲面形状を示す。

4.2 変数の無次元化と主曲率の変化

濃淡を表す曲面の形状は、一般にスケールを大きくするに従い滑らかとなり、主曲率は小さくなっていく傾向がある。この影響を補正し主曲率の変化から構造の大きさを正しく捉えるために、画像内の位置を表す変数 x, y をスケールパラメータ t によって無次元化した変数 ξ, ζ を導入する。

$$\xi = \frac{x}{\sqrt{t}}, \quad \zeta = \frac{y}{\sqrt{t}}$$

このとき ξ, ζ よる偏微分は次のようになる。

$$\partial_\xi = \sqrt{t} \partial_x, \quad \partial_\zeta = \sqrt{t} \partial_y$$

上記二つの式の右辺を $\partial_{\cdot, \text{norm}}$ で表す。

$$\partial_{x, \text{norm}} = \sqrt{t} \partial_x, \quad \partial_{y, \text{norm}} = \sqrt{t} \partial_y$$

以降位置に関する偏微分にはこの $\partial_{\cdot, \text{norm}}$ を使い、式 (3) 中の L_{xx} など全て $\partial_{xx, \text{norm}} L(x, y; t) = L_{xx, \text{norm}}$ で置き換える。このときに求まる主曲率を $\kappa_{1, \text{norm}}, \kappa_{2, \text{norm}}$ と表し、主曲率平面の x 軸, y 軸も $\kappa_{1, \text{norm}}, \kappa_{2, \text{norm}}$ とする。

このとき主曲率平面における原点からの距離 $R_{\text{norm}} = \sqrt{\kappa_{1, \text{norm}}^2 + \kappa_{2, \text{norm}}^2}$ がスケールの変化に対して極大値をとるスケールは、その位置における構造の大きさを反映している。簡単な例を用いてこのことを説明する。

与えられた画像 $f(x, y)$ がスケール t_0 のガウス関数である場合を考える。

$$f(x, y) = g(x, y; t_0) = \frac{1}{2\pi t_0} e^{-(x^2+y^2)/2t_0}$$

この画像をスケール t のガウス関数でぼかしたものは、スケール $t + t_0$ のガウス関数になる。

$$\begin{aligned} L(x, y; t) &= g(x, y; t) * g(x, y; t_0) \\ &= g(x, y; t + t_0) = \frac{1}{2\pi(t+t_0)} e^{-\frac{x^2+y^2}{2(t+t_0)}} \end{aligned}$$

原点 $(x, y) = (0, 0)$ はぼかしのスケール t に関わらず $\kappa_{1, \text{norm}} = \kappa_{2, \text{norm}}$ が成立する。スケール t を 0 から次第に増加させるときの $\kappa_{1, \text{norm}}, \kappa_{2, \text{norm}}$ の変化を考えると、次の式が成立する。

$$\partial_t R_{\text{norm}}(0, 0; t) = \frac{t_0 - t}{\sqrt{2\pi(t_0 + t)^3}}$$

元画像 $f(x, y)$ における濃淡構造の大きさ $t_{\text{max}} = t_0$ において R_{norm} が極大となることが分かる。本手法では、 R_{norm} がスケールの変化に対して極大値をとるスケールを、画像内の各位置ごとに求める。

4.3 画像からの特徴点抽出手法

前節までの内容をふまえ、画像からの特徴点抽出を次のようにして行う。

1. 画像をぼかすスケールを $t = 0$ から次第に大きくしていく。
2. 各スケールにおける画像より、条件 (4) を満たす点を抽出する。また画像内の各点における正規化された主曲率 $\kappa_{1, \text{norm}}, \kappa_{2, \text{norm}}$ を求め、主曲率平面に対応する点をプロットする。主曲率平面内での位置の極座標表現を $(R_{\text{norm}}, \alpha_{\text{norm}})$ とする。このとき α_{norm} は曲面形状の種類を、 R_{norm} は曲面の曲がり具合を表す。
3. あるスケールにおいて抽出される尾根点のうち、その位置における R_{norm} の値がスケールの変化に対して極大となる点を求める。その点を画像の特徴点として抽出し、選択されたスケールをその位置における構造の大きさ、また α_{norm} をその構造の形状の種類とみなす。

スケールの変化に対する主曲率の変化は、主曲率平面内の軌跡として表現できる。図 4 にそのような軌跡の例を示す。この例においては極大点が二点存在するため、二つのスケールが選択される。選択される二つのスケールのうち、より小さなスケールが局所的な線分の構造に対応し、大きなスケールが円環状の尾根状の構造に対応している。軌跡がすべて $\kappa_{2, \text{norm}}$ 軸の近くに位置していることから、この位置

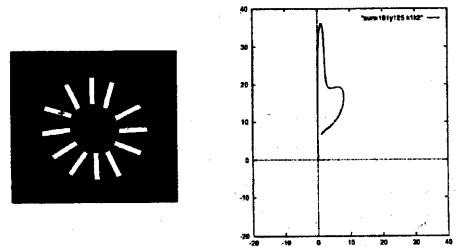


図 4: スケールの変化に対する、正規化された主曲率の変化。左図中の + 印における主曲率の変化を右に示す。

の構造が各スケールに対して線状の構造を示していることが分かる。

5 曲線抽出の際の問題点

前節で述べた手法に従い図1より抽出された特徴点を図5に示す。図5左はスケールを変化させる過程で一度でも尾根点として抽出された点を示したものであり、同図右が前節で述べた手法により求められた特徴点である。左に示した全ての尾根点より元図形の特徴を反映した尾根点のみが選択できていることが分かる。

得られた特徴点はその形状を表すパラメータ α_{norm} とスケール t_{max} を値として持つ。図5に示した例では、抽出された全ての点の α_{norm} の値はほぼ $\frac{\pi}{2}$ であり線状の構造であると判断された。選択されたスケールを図6に示す。図中選択されたスケールが円の半径として示されている。それぞれの線分上では線幅程度の小さなスケールが、大局的な円環の上ではより大きなスケールが選択されている。

しかしこの手法を例えば円周状の図形に対して適用すると次のような結果が得られる。まず図7にスケールによる画像の変化と尾根点の変化を示す。スケールの増加に伴い尾根線の輪が縮んでいく。

図8に、各スケールにおいて抽出される尾根点と、各位置において R_{norm} となるスケールとをスケール



図5: 左: 各スケールで抽出された尾根点。右: 左に示した尾根点より選択された特徴点。



図6: 各特徴点で選択されたスケール。右下に示したスケールを閾値として表示した。

スペースにプロットしたものを示す。図8の下二つの図は図8上に直線で示した位置による、スケールスペースの断面である。それぞれを重ねたものを図9に示す。図9を見ても分かる通り、抽出される尾根点と R_{norm} が極大となる点とがスケールスペースにおいて一致してしまっている。このため得られる特徴点は期待されるような元画像上の円周上のみではなく、その内側に面状に抽出されてしまう。特徴点の抽出結果を図10に示す。

このことは図11に示すような濃淡の断面を考えると理解しやすい。スケールを大きくするに伴い、互いの尾根点どうしが影響しあい、近づいていく。互いに近づいていく尾根の「波」がある点を通過するスケールにおいて、その点における濃淡を表す曲面の曲がり具合は極大となる。

円周に限らず曲線状の図形において、スケールスペース内における尾根点の移動と R_{norm} を与える点の移動とが一致することが起りうる。他の図形より孤立した曲線から、このように面状の特徴点を得られてしまうことは、画像の記述をする際に不都合である。

そこで尾根線のスケールの変化に対する移動速度の変化に着目し、前節で述べた手法により面状に得られた特徴点より、より元図形の曲線に近いものを選択する手法を述べる。

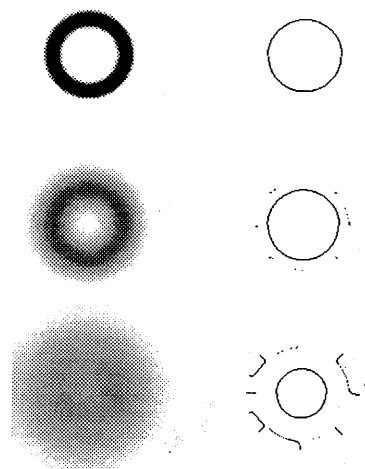


図7: スケールの変化による画像の変化(左)と尾根点の変化(右)。画像の横幅170に対してスケール t は上から順に0(元画像), 100, 500。

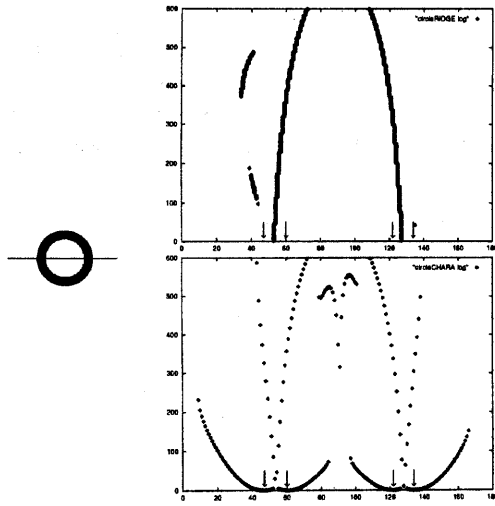


図 8: 左: 元画像とスケール空間の断面の位置。右上: 各スケールにおける尾根点の位置。右下: 各位置において R_{norm} が極大となるスケール。矢印の位置は元画像中のエッジの位置に対応。

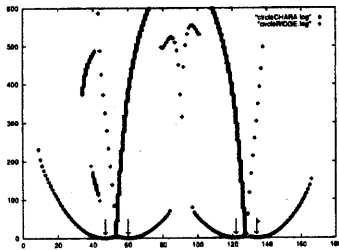


図 9: 左: 尾根点および R_{norm} 極大点



図 10: 円周状の図形からの特徴点。左: 各スケールにおける尾根点の集合。右: 特徴点抽出結果。

6 尾根線の移動速度

6.1 陰関数定理による移動速度の導出

スケールの変化に対する、曲線より抽出される尾根点の移動速度を求める。曲線として半径 r_0 の円周上を尾根線とし、分散 t_0 のガウス状に広がる曲面 $S_{r_0 t_0}$ を考える。

$$S_{r_0 t_0}(x, y) = \exp\left\{-\frac{(\tau_0 - \sqrt{x^2 + y^2})^2}{2t_0}\right\}.$$

スケール t を変化させたときに、条件 (4) 式を満たす曲線の法線方向の移動速度は、陰関数定理により求めることができる。各点における主曲率方向を p, q で表し、関数表示に p - q 座標系を用いる。 p, q それぞれの方向への偏微分を L_p, L_q 、スケールパラメータ t による偏微分を L_t などと表すと、尾根線上の各点における単位法線 \mathbf{n} は

$$\mathbf{n} = \frac{1}{\sqrt{L_{pp}^2 + L_{pq}^2}} \begin{pmatrix} L_{pp} \\ L_{pq} \end{pmatrix} \quad (5)$$

となり、スケール t の変化による法線方向への移動速度 u は

$$u = -\frac{L_{tp}}{\sqrt{L_{pp}^2 + L_{pq}^2}} = -\frac{L_{ppp} + L_{pqq}}{2\sqrt{L_{pp}^2 + L_{pq}^2}} \quad (6)$$

となる。ただし上式の変形の際に $L(x, y; t)$ が拡散方程式 $L_t = \frac{1}{2}(L_{xx} + L_{yy})$ を満たすことを用いた。 $L_{pq} = 0$ を代入し、式 (5), (6) より移動速度ベクトル \mathbf{v} は次のようになる。

$$\mathbf{v} = -\frac{L_{ppp} + L_{pqq}}{2L_{pp}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

曲面 $S_{r_0 t_0}(x, y)$ の尾根上の点の代表として $S_{r_0 t_0}(r_0, 0)$ を考える。この点では主曲率方向 p - q が x - y と一致する。式 (7) 中の $L_{ppp} = L_{xxx}$ などは式 (8) となり、式 (7) に代入すると式 (9) が得られる。

$$L_{ppp} = 0, L_{pqq} = -\frac{1}{r_0 t_0}, L_{pp} = -\frac{1}{t_0} \quad (8)$$

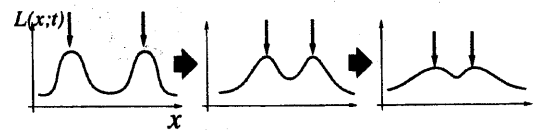


図 11: 二つの尾根点の移動

$$v = -\frac{1}{2r_0} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

得られた式(9)によると、条件(4)により求められる尾根線のスケール変化による法線方向への移動速度は、尾根線の「幅」 t_0 には依存せず曲率半径 r_0 にのみ依存し、その速度の大きさは $\frac{1}{2r_0}$ であり、円弧の内側へと向かっている。

6.2 尾根線の停留点

対象が円弧状である場合、スケールの増加に伴い曲率半径 r_0 は小さくなり、しかも移動速度は線幅に依存しないため尾根線の法線方向への移動速度は次第に大きくなるのがわかる。

前節で述べた手法により抽出される各特徴点においては、濃淡を表す曲面の主曲率方向も求まっている。そこで主曲率方向 p すなわち尾根線の法線方向に尾根点の移動速度を比較し、スケールの変化に対する尾根線の移動速度が極小となる位置を、その尾根線に対応する曲線構造をもっともよく表す位置とみなす。

実際には離散画像を扱うため、尾根線の移動速度を実際に求めるのではなく、スケール t を増加させていく過程において各尾根点と同じピクセル上にどれだけの間留まっていたかを移動速度の「遅さ」の指標として求める。

すなわちスケールを0から増加させていき、あるスケール t_{\min} であるピクセルが初めて尾根点になり、スケール t_{\max} においてそのピクセルが尾根点ではなくなったとする。このとき停留時間 $t_{\text{lifc}} = t_{\max} - t_{\min}$ の値が大きいほど尾根線の移動速度が小さいとする。

ただし停留時間は $t_{\text{lifc}} = t_{\max} - t_{\min}$ により直接見積もるのではなく、より大きなスケールにおける停留時間を過大評価せぬようスケール t の対数により求める[6]。すなわち $\tau_{\text{lifc}} = \log t_{\max} - \log t_{\min}$ 。

7 アルゴリズム

第4.3節で述べた手法では適切なスケール選択することのできない円弧状の構造も正しく捉えるために、前節で述べた尾根線の各位置における停留時間 τ_{lifc} を利用する。アルゴリズムを次に示す。

1. 画像をばかすスケールを $t = 0$ から次第に大きくしていく。

2. 各スケールにおいて尾根点抽出を行う。また各ピクセル上に尾根線がとどまった時間 $\tau_{\text{lifc}} = \log t_{\max} - \log t_{\min}$ を求めておく。

3. 各スケールにおいて求まる尾根線のうち、そのスケールにおいて R_{norm} が極大となる点を特徴点として抽出する。各特徴点は位置の他に形状を表すパラメータ α_{norm} 、構造の大きさを表すスケールパラメータ t_{\max} 、主曲率方向 p, q 、および各位置での尾根点の停留時間 τ_{lifc} を特徴として記述する。

4. 各特徴点において主曲率方向 p の近傍に他の特徴点の有無を調べる。特徴点が存在するならば、その方向で τ_{lifc} の値が極大となる点を特徴点として採用する。

8 実験結果

図10において面状に抽出された各特徴点の、停留時間を図12に示す。図中濃い部分ほど停留時間の長かった尾根点である。尾根線の停留時間の極大点を抽出した結果を図12に示す。元図形の円周上の点が抽出できている。抽出された点におけるスケールは元図形の弧の太さ程度であった。

図13に他の例を示す。図13上が元画像、図13下左が第4.3節にて述べた手法により求めた画像の特徴点である。場所により特徴点が面状に抽出されている。このうち τ_{lifc} の極大点を求めたものを図13下右に示す。文字部などにおいて、特徴点が元図形の

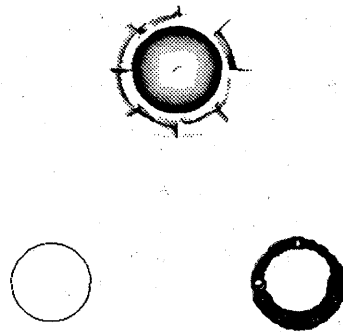


図12: 上: 尾根線の停留時間。下左: 線図形抽出結果。下右: 半径 \sqrt{t} の円を重ねて表示。

線構造に沿った形で選択されていることが分かる。

それぞれの特徴点はスケールパラメータ t_{max} と形状パラメータ α_{norm} を持つ。各特徴点の形状を α_{norm} に従いへそ点・尾根点・鞍点に分類する [4]。

図 14 に α_{norm} の値により線状の構造であると判断された点を、スケールごとに示す。ディスプレイ内の文字やケーブル、キーとキーの間の線など細い線状構造に対して小さなスケールの尾根点が抽出された。またディスプレイの縁や計算機の筐体の側面など、大きな線状の構造がそれぞれの幅を反映したスケールにおいて抽出された。ただし各尾根線の連続性は元画像の特徴を反映してはず、とぎれとぎれである。この点については、さらに考察を必要とする。一方臍点は、周囲から孤立した文字図形などを覆う形で抽出された (図 14)。

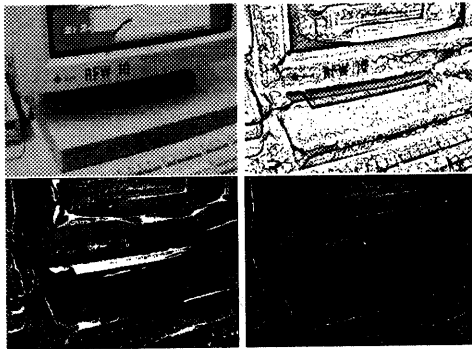


図 13: 実験結果。上左: 元画像。上右: 尾根点の停留時間。下左: 尾根点の停留時間を考慮せず求めた特徴点。下右: 停留時間により選択。

9 おわりに

濃淡画像中の様々な大きさの線状構造を抽出するためにスケールの変化に対する主曲率の変化、ならびに尾根線の移動速度に着目する手法を提案した。スケールを変化させるとき、尾根線は曲率半径の逆数に比例する速度で法線方向に移動する。そこで各スケールにおける尾根線の法線方向に沿って移動速度を比較し、移動速度の極小位置を特徴点として求める。実際に移動速度そのものを求めることは困難であるため、各ピクセルにおける尾根点の停留時間の極大点を求めた。

本手法によると、画像中の各位置における特徴的な形状およびスケールを抽出することができる。いくつかの画像に対して実験を行い、本手法の有効性を示した。

本手法においては、尾根線の連続性を考慮せずに尾根点検出、特徴点検出を行っている。このため画像における線状構造の連続性を反映しない結果が得られることが多い。各スケールにおいて抽出される尾根線は、連続して連なった線構造を保っている。このことを活かした特徴抽出手法であることが望ましい。今後の課題である。

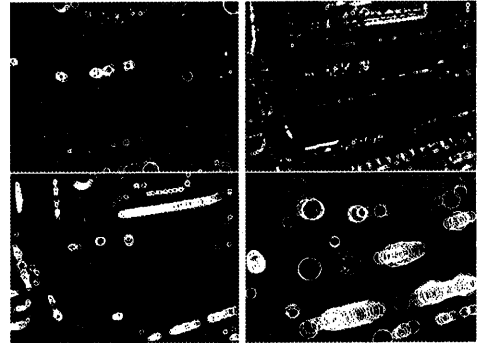


図 14: 上段および下左: 線状構造とそのスケール。下右: 塊状構造とスケール。

参考文献

- [1] R. M Haralick, L. T. Watson, and T. J. Laffey. The Topographic Primal Sketch. *Int. J. of Robotics Research*, 2(1):50-72, 1983.
- [2] Tony Lindeberg. Edge Detection and Ridge Detection with Automatic Scale Selection. In *Computer Vision and Pattern Recognition(San Francisco)*, pages 465-470, 1996.
- [3] Luc M. J. Florack, Bart M. ter Haar Romeny, and Jan J. Koenderink. Scale and the differential structure of images. *Image and Vision Computing*, 10(6):376-388, july/august 1992.
- [4] 本谷秀堅 出口光一郎. 画像濃淡を表す曲面の主曲率に着目したマルチスケール形状記述手法. 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 96-CVIM-102(115):17-24, 11 1996.
- [5] Jan J.Koenderink. *Solid Shape*. The MIT Press, 1990.
- [6] Tony Lindeberg. *Scale-Space Theory in Computer Vision*. Kluwer Academic Publishers, 1994.