2J−3

CGにおける等高線描画法

斎藤 隆文　　高橋 時市郎

NTT ヒューマンインタフェース研究所

1．はじめに

等高線は，地形などの複雑な3次元形状や，2次元あるいは3次元の種々のスカラー場をわかりやすく可視化するためには，きわめて有効な手法である．等高線の描画法としては，まず始点を見つけ，同じ値の点を追跡していく方法[1,2]が一般的である．しかしこの場合，始点をもれなく見つけることや，追跡を安定に行うことは，一般に困難である．また，3次元曲面上に等高線を描画する場合，隠線消去も必要となり，処理が複雑になる．

本報告では，等高線を局所的かつ均質な2次元画像処理で描く方法について述べる．この手法は，上記の欠点をすべて解消するほか，アンチエリアシングが容易である，どのような複雑な等高線でも一定時間で安定に描画できる，などの数多くの長所をもつ．

2．一つの値に対する等高線の描画

まず準備として，等高線の対象となるスカラー場を，2次元画像として求めておく．すなわち，すべての画素におけるスカラー値を，補間などの適当な方法で求めることが，本手法では必要である．

このスカラー場において，ある値pに対応する太さd画素の等高線を描くことを考える．ある画素のスカラー値をs，勾配の大きさをgとしたとき，この画素の輝度cを次式を用いて求めることにより，等高線画像が得られる：

$$c = c_b + f_1\left(\frac{|s-p|}{g}\right)(c_c - c_b), \tag{1}$$

$$f_1(t) = \begin{cases} 1 & (0 \leq t < d/2) \\ 0 & (d/2 \leq t). \end{cases} \tag{2}$$

ここで，c_c，c_bは，等高線画像における線および背景の輝度である．関数$f_1(t)$を，式(2)ような2値変化（図1(a)）ではなく，図1(b)，(c)のように連続的に変化させると，ジャギーのない滑らかな等高線を描くことができる．なお，式(1)では $g=0$ において例外処理が必要である．これについては次節で述べる．

勾配gを求めるには，Sobelなどの各種オペレータが知られているが，ここでは特に，次式のオペレータ：

$$g = (|A-X|+2|B-X|+|C-X|+2|D-X| +2|E-X|+|F-X|+2|G-X|+|H-X|)/8 \tag{3}$$

を推奨する．ここで，A〜H，Xは，図2に示す近傍画素である．

3．等間隔の値に対する等高線の描画

本手法を用いて，地形図などに見られるように，等間隔のスカラー値に対して等高線を描くことも容易にできる．この場合，急勾配部では等高線が重なり合い，個々の線の判別ができなくなる．しかしながら，このときの等高線の輝度を可変にすると，種々の効果が得られる．

以下，等間隔qのスカラー値 $p_n = p_0 + nq$ に対して等高線を描く一方法を導出する．方針として，以下の3条件を考える．

1) 通常のgに対しては，式(1)に従う．
2) gがある限界値g_sより小さい場合は，輝度変化を小さくし，$g=0$において一定値c_{sp}に収束させる．
3) gがある限界値g_dより大きい場合も，輝度変化を小さくし，$g=\infty$において一定値c_{dn}に収束させる．

条件3)は，等高線の間隔が太さより小さいときに適用するとよい．この場合，ぼけ部分を含んだ等高線幅を$2\tilde{d}$（図1）とおくと， $g_d = q/\tilde{d}$ となる．これらの条件を満たす式の一例を，以下に示す．

$$c = c_b + f_g\left(f_1\left(\frac{|s-p_k|}{g}\right), g\right)(c_c - c_b) \tag{4}$$

$$f_g(c, g) = \begin{cases} \dfrac{g}{g_s}c + \left(1-\dfrac{g}{g_s}\right)c_{sp} & (0 \leq g < g_s) \\ c & (g_s \leq g < \dfrac{q}{\tilde{d}}) \\ \dfrac{q}{\tilde{d}g}c + \left(1-\dfrac{q}{\tilde{d}g}\right)c_{dn} & (\dfrac{q}{\tilde{d}} \leq g) \end{cases} \tag{5}$$

$$k = \left\lfloor \frac{s-p_0}{q} + \frac{1}{2} \right\rfloor \tag{6}$$

ここで，f_gは，平坦部あるいは急勾配部において，等高線の輝度を変換するための関数である．

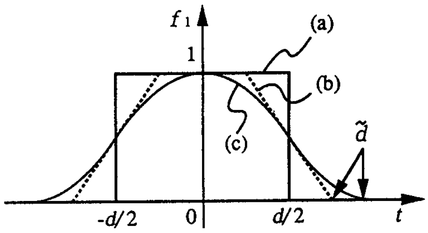


図1．等高線の輝度変化

A	B	C
D	X	E
F	G	H

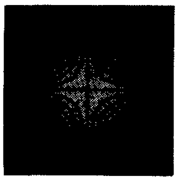
図2．近傍画素

Contour Line Generation in Computer Graphics
Takafumi SAITO, Tokiichiro TAKAHASHI
NTT

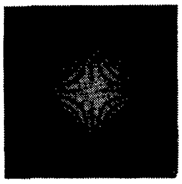
描画例として，スカラー場 $g(x, y)=xy$ に対する等高線の例を，図3に示す．この例では，中央部（原点）で $g=0$ となり，外周では g はきわめて大きくなる．(a)，(b)は，それぞれ c_{dn} を黒(c_c)，灰色に設定したものである．また，(b)では g_s を(a)よりも大きくしている．c_{sp} はともに白（c_b）に設定している．(b)では，$g \fallingdotseq 0$ において等高線がぼけている．しかし，追跡法で問題となるように，線の接続関係を誤って処理全体が破綻することはない．

4．応用例

地形図への応用例を図4に示す．(a)は，ＮＴＴ横須賀Ｒ＆Ｄセンター周辺の標高データである．(b)は，(a)の等高線を求めたものである．この例では，２種類の等高線（20m間隔の太線(c)と，5m間隔の細線(d)）を合成している．急勾配領域では，5m線を白に収束させ，20m線だけで描画している．さらに急勾配の部分は，20m線を黒に収束させている．(e)は，鳥かん図に対して同様の描画を行ったものである．



(a)



(b)

図３．等高線の描画例

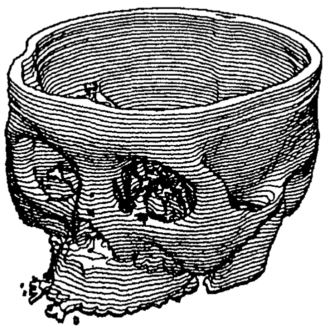


図５．医用画像への応用例

医用画像への応用例を図５に示す．この例は，50枚のＣＴ像から得た頭蓋骨表面の z 座標値（上下方向）に対して，等高線表示を行ったものである．等高線を用いることにより，表面形状をわかりやすく表示できる．

5．おわりに

等高線を，均質かつ局所的な２次元画像処理によって描画する手法を，提案した．本手法により，画素ごとのスカラー値さえ得られれば，どのようなスカラー場に対しても，その等高線を安定に描画することができる．また，本手法をＧバッファ法[3,4]と共に用いることによって，種々の３次元形状をわかりやすく描画することが可能となる．

謝辞： 研究の機会を与えていただいた，高野 陸男 知能ロボット研究部長， 滝川 啓 元主幹研究員（現 画像電信事業部），奥平 雅士 主幹研究員，御討論いただいた知能ロボット部諸氏に感謝する．また，ＣＴデータを御提供いただいた，日本医科大学放射線科 玉井 仁 氏に感謝の意を表する．

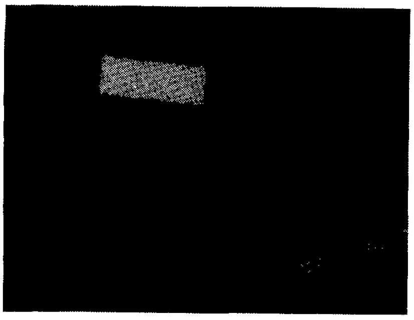
参考文献

[1] Satterfield, S. G., Rogers, D. F.: "A Procedure for Generating Contour Lines from a B-spline Surface", IEEE CG&A, Vol.5, No.4, pp.71-75 (1985).

[2] Dickinson, R. R., Bartels, R. H., Vermeulen. A. H.: The Interactive Editing and Contouring of Empirical Fields", IEEE CG&A, Vol.9, No.3, pp.34-43 (1989).

[3] 斎藤隆文，高橋時市郎：「続．コンピュータに『絵』を描かせるには…」，第31回プログラミングシンポジウム報告集，pp.167-178，(1990).

[4] Saito, T., Takahashi, T.: "Comprehensible Rendering of 3-D Shapes", Proc. SIGGRAPH'90 (to appear).



(a) 標高データ

(b) 等高線

(c) 20m等高線

(d) 5m等高線

(e) 鳥かん図の等高線

図４．地形図への応用例
(c)，(d)は，(b)の右下部分に対応する．