

FFT を用いた写真からの手書き風画像の自動作成

齋藤 豪 中嶋 正之

東京工業大学 情報理工学研究科

本論文はフォトレタッチの技法の一種として手書き風の画像を自動作成するアルゴリズムについて述べている。手書き風の画像を特徴付ける一番の要素はブラシやペンやストロークの集積によって画像が構成されている点である。そこで、本論文では、始めにストローク形状を決定する画像の局所的な情報を検出するアルゴリズムについて述べて、次に検出された情報を用いて手書き風画像を作成するアルゴリズムについて述べている。

Automatic Production of the Hand Writing Type Image from a Natural Image with FFT

Suguru SAITO Masayuki NAKAJIMA

Graduate School of Information Science & Engineering,
Tokyo Institute of Technology

In this paper, we describe algorithms for automatic procedure of producing hand drawing type images as a photo-retouch effect. We think the most feature of hand drawing type images is that those images are made of many strokes of brushes or pens. So first, we present the algorithm of detecting local area informations for the definition of stroke shapes, and present how to make images by using those informations.

1 はじめに

フォトリアスティックなレンダリングはコンピュータグラフィックスの主要な表現形態として既に多くの研究成果があり、映画での特撮や工業デザイン分野においてコンピュータグラフィックスはなくてはならないものとなっている。

一方で、フォトリアスティック以外の表現手法として手で描かれたような画像の生成法についての研究も少数派であるが存在する。

写真がこれほど手軽になった現在でも人手による挿絵が雑誌、解説書、広告等で使われていることからわかるように、少数派であるがこれらの研究は重要であると考えられる。

それらの研究をここでは大きく3種類に分類する。

一つ目は、レンダリングアルゴリズムを応用したもので、一般のレンダリングと同様に3Dのオブジェクトデータと光源、視点データが必要である。ただし、スクリーンに表示する際の影づけ (shading) アルゴリズムの部分が一般のレンダリングと異なり、手書き風の陰影描写アルゴリズムに変更されている。この種の手書き風画像作成に関する研究には、セルアニメーション風画像作成に関する研究や、テクニカルペンで描かれたような画像を作成する研究がある [3][4]。

二つ目は、デジタルペインティングと呼ばれるマウスやペンによってブラシのストロークを入力してその軌跡に実際の絵の具と筆で描かれたような跡を表すものである。これらには、計算機上の仮想画材のテクスチャに関する研究やテクニカルペンで描かれたようなイラスト作成のための研究がある。またすでに、多くの商用アプリケーションが存在し利用されている [2] [5]。

三つ目は、フォトレタッチと呼ばれる種類のものである。オリジナル画像に写真のような静止画像を用いてインタラクティブにもしくは自動的に手書き風の画像を生成する。これらには写真から自動的に点描画や印象画風の画像を作成する研究や、ユーザのインタラクティブ操作により油絵風やテクニカルペンで描かれたような画像を作成する研究がある [6] [1][5]。

本研究は三番目の分類に当てはまる [7][8]。

手書き風の画像を特徴付ける一番の要素はブラシやペンによるストロークの集積によって画像が構成される点である。ストロークの方向は、オリジナルの静止画像の局所的な流れ方向に依存すると考えられる。そこで、自動的に手書き風の画像を生成する為には局所的な流れ情報を計算によって求めなくてはならない。Haeberliはこの要求に対して、原画像の白黒画像に Low-pass フィルタを用いた画像に対して方向特性を持った帯域通過フィルタを用いて方向検出を行った。

方向特性を持った帯域通過フィルタを用いた流れ方向検出法 [9][10] は画像全域が木目のような特定

の縞模様で構成される場合に対しては有効である。しかし、一般的な風景や人物が対象となる写真では方向性を決定付ける周波数帯域は画像毎にまた画像の局所領域毎に様々である。よって仮に方向特性を持った帯域通過フィルタでの方向検出を行うのであれば適切な通過帯域を自動的に決定する方法が必要になる。

我々は、そこで、帯域通過フィルタを用いる方法を止め、様々な方向の周波数の波形を一度に調べる二次元の高速フーリエ級数展開 (FFT) を局所的に用いる方法で流れ方向検出を行なった。

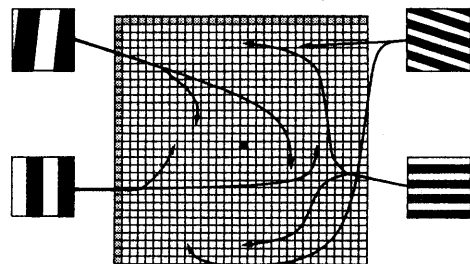
本論文では、この流れ方向検出アルゴリズムと、手書き風画像作成に役立つ他の2つの情報をやはり二次元FFTを用いて検出するアルゴリズムについて述べる。また、検出した局所情報と減法混色法を使った手書き風の画像を自動作成するアルゴリズムについても述べる。

2 2D-FFTを用いた流れ方向検出

手書き風画像を作成する際のストロークの方向を決定する情報となる画像中の局所的な流れ方向の検出方法について述べる。

前処理として、カラー画像の各ピクセルに対して輝度を求める。次に各ピクセルに対して以下の操作を行う。

1. 対象ピクセルを中心とする正方形の領域に対して2D-FFTを用いる。
2. 2D-FFTの結果から中心に直流成分がある形の振幅マトリックスを作成する。
3. 図1に示すように振幅マトリックス上で中心成分を通る様々な傾き D の直線を引く。
4. 傾き $d \in D$ の時の直線上の振幅成分の和を傾き成分と呼び、 l_d とする。 l_d の集合を L とする。
5. L の中で一番大きな値に対応する傾き d に直交する傾きを対象ピクセルの流れ方向とする。



- 画像の直流成分
- ▣ 標本化定理による最大周波数

図1: 振幅マトリックスの要素と波形の関係

一般にFFTを行なう場合には、領域を切り出す際に窓関数を掛けて切り出し部分の境界の不連続性に対応する。しかし、今回は画像中の局所的領域の情報が知りたい為にFFTを施す領域は 16×16 ピクセルと大変小さく設定しており、その領域に対応する狭い底の窓関数を掛けてしまうと窓関数の周波数特性が強くてでてしまつて画像の情報が得られない[13]。

そこで窓関数を掛ける代わりに、手順2のところで領域切り出しによる影響が強く出る振幅マトリックスの水平垂直周波数成分の値を値 w で割ることで他の成分に対する値の優位性を下げて切り出し境界の問題を解決する。

w の値は水平及び垂直成分に対応する振幅マトリックスの要素の平均値を a として、その他の要素の平均値を b とした場合、式(1)で表される。ここで、 A 、 B は定数であり、 0.6 、 10 とする。

$$w = \min\left(\frac{aA}{b}, B\right) \quad (1)$$

領域切り出し影響を押える以上に大きな値で割過ぎて、水平もしくは垂直方向の流れ方向の検出が困難になることを防ぐ必要があるため関数 \min を用いている。

次に流れ方向以外に手書き風画像作成に有効な2つの情報をFFTの振幅マトリックスから取り出す方法について述べる。

一つは、流れ方向信頼度と呼ぶものである。これは局所領域内において、検出された流れ方向に対応する傾き成分に対して他の傾き成分が相対的にどの程度の大きさであるかを表しており、手書き風画像作成時のストロークの長さを決定するために利用される情報である。

今、傾き $d \in D$ の取る値の範囲は $-\pi/2$ から $\pi/2$ である。そこで、方向が $2 \times d$ で大きさが l_d のベクトルを考えて、それらすべてのベクトルの和を求める。この求めたベクトル和は、直交する傾きの傾き成分 l_d が逆方向に打ち消されて出来ているという性質を持つ。よって、最後にベクトルの角度($-\pi \sim \pi$)を半分にすることで平均的な傾きと呼べる値 d_{ave} 及びその傾き成分 l_{ave} が求まる。

この d_{ave} と検出された流れ方向に対応する傾き d の直線の角度差 θ 及び l_{ave} と l_d を使って、式(2)で流れ方向信頼度 s を定義する。

$$s = \frac{l_{ave}}{l_d} \cos(\theta) \quad (2)$$

s は、一番強い流れ方向成分で正規化した平均流れ方向成分の一番強い流れ方向成分への射影であるといえる。この値が大きい場合は局所領域内に検出した流れ方向に近い方向成分が多く存在していることを表す。逆にこの値が小さい場合は格子状の画像のような局所領域内に検出した流れ方向以外の流れ方向成分が大きいことを表す。

もう一つは、波長期待値と呼ぶもので、振幅マトリックスの振幅値からその局所領域の波長の期待値を求めるものであり、画像作成時のストロークの幅を決定するために利用される情報である。

振幅マトリックスの各要素を m_{ij} 、各要素に対応するユークリッド波長を l_{ij} とすると波長期待値は式(3)で表される。

$$s = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M m_{ij} l_{ij}}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M m_{ij}} \quad (3)$$

波長期待値が大きい時はエッジ近傍のような画像上の意味のある領域であることを表し、逆に小さい時は相対的に意味がないことを表す。

3 手書き風画像の作成アルゴリズム

ここでは、油絵風画像とサインペン画風画像の作成アルゴリズムについて述べる。

基本的には、原画像と同じ大きさの白色領域を始めに用意し、次にランダムに選んだピクセルを起点とするストローク領域を塗ることを繰り返して次第に白色領域を塗り潰すというシンプルな考え方である。

3.1 油絵風画像作成アルゴリズム

ストローク領域確保は、ストロークの背骨となるカーブを決定するステップと背骨カーブを太くするステップの二つからなる。

背骨カーブは次のような手順で決定する。

1. 画像中のピクセルをランダムに選ぶ。
2. 選ばれたピクセルから、そのピクセルの流れ方向に沿った2方向に距離1ピクセル分ずつカーブを延ばす。この際、カーブの先端座標は実数値で現す。
3. カーブの先端に対応するピクセルの流れ方向に沿って更にカーブを延ばす。ただし、流れ方向が $\pi/2$ 以上の急激な変化をする場合もしくは、先端ピクセルの方向信頼度が低い場合はカーブを延ばさない。

このようにして決定されたカーブは実数値の座標列としては急激な方向変化はないが、ピクセル列に変換した場合はより丸め誤差により鋭角な変化が現れるので、スムーズ処理を行う。

細かいカーブを太くするアルゴリズム[11]はいくつか存在するが、今回は徐々に太線化していくため、最も簡単な対象カーブ上を中心の軌跡とする円盤を

求める方法により線を太くするアルゴリズムに改良を加えて、背骨カーブを太線化する。

カーブの片側を太くする手順を説明する。

1. 半径は1ピクセルとする。太さ決定変数の値を0とする。
2. カーブの進行方向に対して図2に示すように、 $\pi/4$ から $\pi/3/4$ の範囲の与えられた半径の円弧の軌跡を描く。背骨カーブはスムーズ処理により $\pi/2$ 以上の急激な変化はないので、円弧の軌跡でピクセルの虫食いになること無しに太線化が行なえる。
太さ決定変数に円弧の軌跡に対応する各ピクセルの波長期待値の平均値を加える。
3. 太さ決定変数がある閾値を越えない場合、もしくは半径がまだ最大半径に達していない場合は、半径を1増加させて項目2に戻りさらに太くする。

カーブの反対側に対しても同様な処理を行なって太くする。

円盤の軌跡ではなく、円弧の軌跡を使って太線化しているので、比較的太線の外側のピクセルのみの波長期待値の平均を手順2で求めることが出来る。

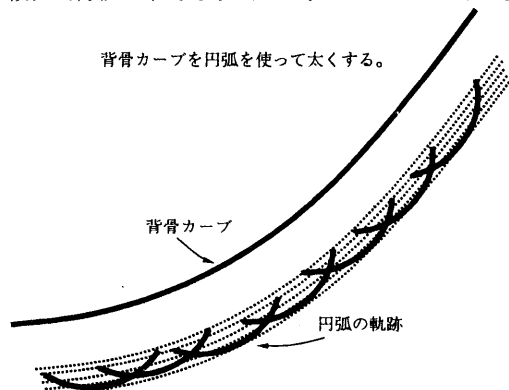


図2: 太線化アルゴリズム

局所的な領域の状況にストロークの形状を適応させるという意図から、以上のカーブの左右独立の太線化や起点ピクセルからの2方向への背骨カーブの延長を行なっている。

ストロークの代表色は、背骨カーブに対応する各ピクセルの色の rgb の各値の平均値をとる色とする。白色画像の各ピクセルが2回以上、ストロークによって塗り重ねられるように描き込んで終了する。この時の塗り重ねでは混色を行なわない。

3.2 サインペン風画像作成アルゴリズム

ストローク領域の決定は上の油絵風画像作成アルゴリズムと同様である。ただし、ストローク領域を

決定する起点ピクセルは一度も描き込まれていないピクセルに限る。これは、このアルゴリズムが重ね塗による混色を考慮しているため、何度も重ね塗ると色が濁るからである。

ストロークの代表色の決定も油絵風画像作成アルゴリズムと同様である。

塗り重ねには次の3つの仮定を用いた塗料モデルを計算機上で作成し使用する。混色に用いるモデルの概念図を図3に示す。

1. 入射光をディスプレイ上の最大輝度の白色 (Max, Max, Max) であるとする。
2. ディスプレイの R、G、B は各々異なった周波数帯域のスペクトル成分で構成されている。
3. 計算機上の RGB の各値とそれぞれに対応するすべてのスペクトルのエネルギーとは比例関係にある。

表層内で反射して下層へ光を通さない比率：遮へい率 a

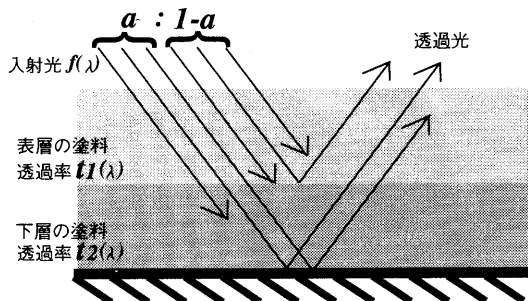


図3: 塗料モデルの概念図

表層の塗料層内での光の遮へい率を a とすると結果として表される透過率 $T(\lambda)$ は、式(4)のようになる。ただし、 $t1(\lambda)$ は表層の塗料の透過率、 $t2(\lambda)$ は下の塗料の透過率とする。

$$T(\lambda) = t1(\lambda) \times (t2(\lambda) \times a + (1.0 - a)) \quad (4)$$

仮定から rgb は独立に計算出来るので、表層の塗料の色 (r_1, g_1, b_1) と表層より下の塗料の色 (r_2, g_2, b_2) が与えられた時、混色 C は式(4)より式(5)で表される。

$$C = \left(\frac{r_1}{Max} \left(\frac{r_2}{Max} (1.0 - a) + a \right) Max, \right. \\ \left. \frac{g_1}{Max} \left(\frac{g_2}{Max} (1.0 - a) + a \right) Max, \right. \\ \left. \frac{b_1}{Max} \left(\frac{b_2}{Max} (1.0 - a) + a \right) Max \right) \quad (5)$$

このようにして混色処理を行なったストロークで、白色画像を埋めつくす。

4 実験結果

ここでは、流れ方向検出結果とその結果を用いた手書き風画像の作成結果を示す。

図4の自然画像378×300ピクセルに対して流れ方向解析を行った結果を棒で現したものが図5である。背景、自転車、人物に対して方向検出が行なわれていることがわかる。

図6は検出した流れ方向をもとに前節で説明した油絵風描画アルゴリズムを用いて画像作成を行っている途中経過である。このようにランダムに描き込まれていく。図7が完成した画像である。ランダムに描いているが、結果として手書き風の画像が作成されていることがわかる。仮に流れ方向情報を全く使わずに図7の各ストロークとはほぼ同じ面積の正方形で画像を作成すると図8の画像が出来上がる。ストローク形状を局所領域毎に適応させているため、図8からわかるように広い範囲を単色で塗りつぶしているにも関わらず、図7は原画像の持つ意味を再現していることがわかる。

図9は480×564ピクセルの人物画像に対して油絵風描画アルゴリズムを用いて作成した画像である。最大ストロークは長さ37ピクセル、幅10ピクセルと大きいのであるが、目等の細部は細かく描かれていることがわかる。

図10は風景画に対してサインペン風描画アルゴリズムを用いて作成した画像である。混色モデルが現実の色モデルと矛盾しないことがわかる。



図4: 対象画像1

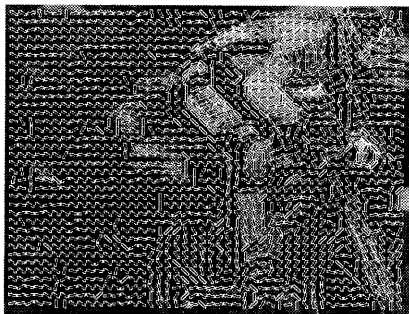


図5: 検出方向



図6: 画像作成途中経過



図7: 作成結果1



図8: ストロークと等面積の正方形で描いた画像



図9: 生成結果2



図:10 ペン画風生成結果

5 結論と今後の課題

本論文では、流れ方向検出法の説明と、その方法により求めた流れ情報を使った二つの手書き風画像の作成アルゴリズムの説明を行なった。

本論文で説明した手書き風画像作成アルゴリズムでは、ランダムにストロークを描き込むという実際の描き方とは全く異なる手法を用いている。しかし、局所的な流れ方向情報や流れ方向信頼度や波長期待値情報を利用して個々のストロークの形状を決定することにより、個々のストロークが局所領域にフィットしている結果、画像全体としては手書き風の画像に仕上がっている。これは検出された流れ方向が、様々な波長の縞で現される方向性に対しての良好な検出結果であり、また人間の感じる流れ方向と近い事を示していると言える。

またこのような手法で手書き風画像が作成出来ることは、高度な物体認識などを行う必要無しにある程度の手書き風画像を自動作成出来ることを示しているといえる。

今後の課題および応用を以下にあげる。

- 外の局所的情報を利用した新たな画風の作成アルゴリズムの検討。例えば筆の筆圧を決定するために必要な画像の局所情報を検出する手法を検討し、その情報を利用した新たな画風作成アルゴリズムを考案する。
- 最少限のユーザの操作を認めた場合には、どのような情報を入力してもらうことがより高度な手書き風の画像を作成するために有効か検討する。完全自動の手書き風画像作成の手法には限界があることは確かである。ユーザの高度な判断を手書き風の画像の作成の為に利用するにはどのようにすれば良いか検討する。
- 対象画像の拡大に関する応用。今回は対象画像とはほぼ等しいピクセル数の出力画像を作成したが各ストローク形状を決定した後に拡大処理を行えば、対象画像よりも遥かに大きな出力画像を作成することが可能であると考えられる。原画像と異なった雰囲気拡大図になるが、デジタル画像であるために生じ

る画像の拡大時にタイル状に画像がなってしまう点を解決する一つの回答であると考えられる。

● 動画像への本手法の使用。本手法は完全自動な画像作成法であるので動画像に対する使用でも作成に人手を取らない。よって、簡単に手書き風の画像による動画像が作成可能である。

参考文献

- [1] P. Haeberli : "Paint By Numbers : Abstract Image Representations", Computer Graphics , Vol.24,No.4,pp.207 214 (1990)
- [2] John-Peter Lewis : "Texture Synthesis for Digital", Computer Graphics , Vol.18,No.3,pp.245 252 (1984)
- [3] M.Kaneko ,M.Nakajima : "A Study On Next Generation Animation Systems PART1 Two Dimensionalization Algorithms of 3D CG Images",Information Processing Society of Japan Tech. Report Graphics and CAD ,Vol.69,No.9 pp.57-64 (1994)
- [4] Georges Winkenbach,David H.Salesin: " Computer -Generated Pen-and-Ink Illustration", SIGGRAPH94 proceedings ,pp.91 100 (1994)
- [5] Michael P.Salisbury ,Sean E.Anderson ,Ronon Barzel ,David H.Salesin : "Interactive Pen-and-Ink Illustration", SIGGRAPH94 proceedings ,pp.101 108 (1994)
- [6] T.AGUI, H. DO, H. NAGAHASHI , M. KAJI : "Painting-like Image Generation", The Japanese Society of Printing Science and Technology, Vol 31 No 1,pp.40 48 (1994)
- [7] M.Nakajima,S.Saito : "Detection of Flow Direction from a Still Image and the Application for Generating the Oil Painting Image",Multimedia and Image Processing Symposium'94,The Institute of Television Engineering of Japan,(1994)
- [8] S.Saito,N.Nakajima : "Automatic Production of the Painting Image from a Natural Image",Proceedings of the 1994 IEICE Fall Conference,pp.371,(1994)
- [9] M.kass ,A.Witkin : "Analyzing Oriented Patterns",Computer Vision,Graphics, and Image Processing, Vol 37,pp .362 385,(1987)
- [10] A.Ravishankar Rao ,Brain G.Schunck : "Computing Oriented Texture Fields",CVGIP: Graphical models and image processing,Vol 53 ,No2, March,pp.157-185 (1991)
- [11] C.Yao ,J.Rokne : "Fat curves",The Computer Forum, Vol 10 ,pp.237 248 (1991)
- [12] 日本色彩学会 編 :新編 色彩科学ハンドブック,東京大学出版会, 20章 (1980)
- [13] チャールズ K. チュウイ著 , "数理解科学セミナー ウェブレット入門",東京電気大学出版局, pp.59 72 (1993)