

計算機による手描き風画像の生成に関する研究

齋藤 豪 中嶋 正之

東京工業大学 情報理工学研究科

本稿は、ノンフォトリアリスティックレンダリングの一つである手描き風表現による画像生成のアルゴリズムに関する研究報告の第2報である。本アルゴリズムは自然画像を入力とし、画像解析の手法を用いて描画に必要な局所情報を検出し、その情報を基に手描き風画像の特徴を持つ画像を自動生成するものである。特に本稿では、計算機上での仮想絵の具モデルの混色表現についての計算法及び、その計算法を用いた描画法と、対象領域に応じて変化するフィルタを用いた畳み込みによる描画法について述べている。生成した画像結果は自動描画の手法によってもある種の範疇に含まれる手描き風の画像は生成可能であることを示している。

A Research for the Production of the Hand Painting Type Image by the Computer

Suguru SAITO Masayuki NAKAJIMA

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

This paper is the second report about the automatic image creating algorithm for hand painting type images which is included in nonphotorealistic rendering. In this method, a natural image is analyzed by image analysis technique and the image which has the feature of the hand painting type image is created. In this paper, we describe the paint color mixture calculation on a computer, the painting algorithm which uses that calculation and other painting algorithm based on a blur technique. The resulting images show that the images painted by some kind of expression can be created by a computer.

1 はじめに

フォトリアリスティックなレンダリングによるコンピュータグラフィクスは、既に広く利用されている。一方で、フォトリアリスティックレンダリング以外の表現方法に対する研究は従来少数派であった。しかし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からわかるように、これらの研究は重要であると言える。

本稿は、当研究会に於いて以前発表した“FFTを用いた写真からの手書き風画像の自動作成”の第2報であり、画像処理の技法を用いて手書き風画像の自動描画を行うアルゴリズムについて述べている。

2 手書き風表現とは

はじめに手書き風画像の定義を述べる為に、Lansdownら [4]、大野 [1] の定義および当研究会での討論を踏まえ (95-CG-76) [2] [3]、ノンフォトリアリスティックレンダリングとフォトリアリスティックレンダリングの関係、ノンフォトリアリスティックレンダリングにおける手書き風画像の位置付け、二つの視点から考える。二つの視点とは、描写対象物体に対してデフォルメを行うか否かといった対象物体の情報の省略強調についてであり、もう一つは、描画面への射影が幾何的射影であると言えるか否かといった射影の際の情報の省略強調についてである。それら観点から表現法を分類したものが図1である。

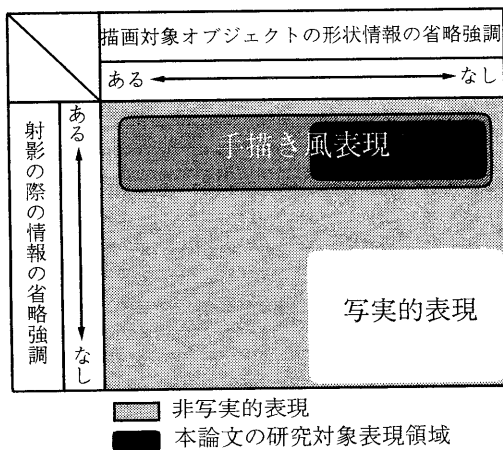


図 1: CG の表現法による分類

境界部分での区分は難しいが、精巧なモデルを使用して視点と物体線上のスクリーンに射影するフォトリアリスティックレンダリングとは、物体の省略強調及び、射影の際の情報の省略強調を行わない表現法と言える。ノンフォトリアリスティックレンダリングはその他の表現法を指し、その中の射影時に省略強調を

行う表現法の一つとして手書き風表現法はある。手書き風表現とは人手によって描かれた表現法全てを指すものでなく、ペンや筆といった道具によって描かれる事によって生じる画像的束縛条件を持つ物である。例えば、筆で描かれたような表現の場合、同系色で塗られたストローク (筆跡) の集合によって画像は構成され、ストロークよりも細かい部分は表現されない。

3 手書き風表現法の生成手法の分類

手書き風画像の生成アルゴリズムはその入力データ形式から大きく3種類に分類出来る。

1. ポリゴン等三次元幾何情報を入力データとするもの [5]-[13]。
2. インタラクティブ操作によりポインティングデバイスからのタイムシーケンシャル情報を入力データとするもの [5],[14]-[18]。
3. 写真、映像など二次元画像情報を入力データとするもの [5],[19]-[22]。

一つ目は、レンダリングアルゴリズムを応用したものであり、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つけ (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。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。

三つ目は、フォト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フィルタ処理によって手書き風の画像を生成する。

本研究は三番目の分類に当てはまる [24][25]。

4 局所画像情報検出法

手書き風画像を自動的に生成する場合、描画対象物体が何であるかという認識は常に必要とされるわけではない。対象物体の認識は主観的な演出を加える場合にのみ必要とされると言える。本稿での自動描画法では主観的処理は行わず、表現法としては図1での黒い部分に含まれる。この場合、何処から何処までは塗りつぶすせば良いか、塗りつぶす際のストロークの方向はどの向きか、等を決定する情報のみが必要とされる。

以下で述べる描画法において使用する画像局所情報は、局所方向性、局所方向信頼度、局所波長期待値、輪郭近傍情報である。

局所方向性、局所方向信頼度、局所波長期待値は局所正方領域に対して2D-FFTを施しその振幅マトリックスから検出している。検出方法については第一報 [24] を参照して頂きたい。

輪郭近傍情報は、輪郭の近傍に近付くにつれて相対的に大きくなる値である。各ピクセル毎にガウスグラディエント演算を用いて値を決定している。具体的には 15×15 ガウスグラディエントフィルタ f_h, f_v を式 (2) に示す様に RGB 各画像平面に畳み込むことによって輪郭近傍情報を求めている。

$$f_v(i, j) = \frac{\delta}{\delta i} \exp\left(\frac{-(7-i)^2 - (7-j)^2}{2T^2}\right)$$

$$f_h(i, j) = \frac{\delta}{\delta j} \exp\left(\frac{-(7-i)^2 - (7-j)^2}{2T^2}\right) \quad (1)$$

$$T = 1.5616, \quad 0 \leq i, j < 15$$

$$O_x = \sqrt{f_v * I_x^2 + f_h * I_x^2} \quad x = r, g, b \quad (2)$$

$I_{(r,g,b)}$ は画像の RGB 各ピクセルデータであり、各々の O を加算した値を輪郭近傍情報としている。

5 仮想絵の具と混色計算

表現法のモデルとなる手描き描画方法によっては、絵の具の混色が重要な意味を持つ。そこで、第一報で報告した絵の具モデルをさらに改良したモデルについて述べる。

計算機の主要表示装置である CRT は発光型の表示装置であるため、加法混色計算は容易である。しかし、絵の具の発色は減法混色である [23]。そこで、次の3つの仮定を用いて絵の具の発色を考える。

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。

また、絵の具の層と入射光路の概念図を図2に示す。発色は図2の光路において光線のスペクトル毎に透過率が異なる事により生じる。

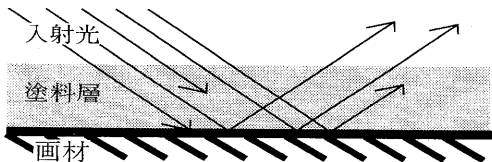


図2: 塗料モデルと光路の概念図

上の仮定と光路の概念図より、望んだ色の絵の具と発色を次のように考える。

計算機上の色座標 (r, g, b) で表される絵の具はスペクトル透過率 $(r/w, g/w, b/w)$ で定義が可能であり、最大輝度の白色光を入射光 (w, w, w) として照らすことにより (r, g, b) の発色をする。

次に、混色計算法を二段階に分けて述べる。始めは乾いた後に塗り重ねる場合の混色についてであり、図3で光路及び透過の概念図が表される。

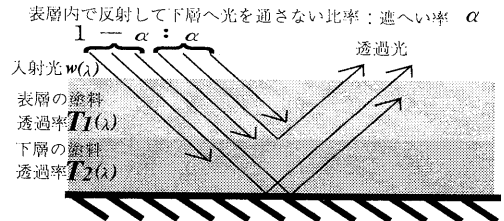


図3: 乾いた後の塗り重ね混色モデル

ここで、遮へい率 α は上層内での光の散乱によって下層に届かず反射して来る光路を考慮する為の値である。図3を数式化すると式 (3) となる。

$$R = (\alpha + (1 - \alpha)T_{2r})T_{1r} \times w$$

$$G = (\alpha + (1 - \alpha)T_{2g})T_{1g} \times w \quad (3)$$

$$B = (\alpha + (1 - \alpha)T_{2b})T_{1b} \times w$$

さらに乾く前に塗り重ねる場合の混色を考える。光路及び透過の概念図は図4のように表される。

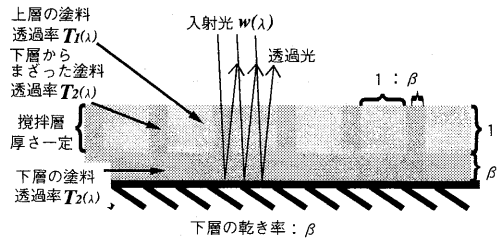


図4: 乾く前の塗り重ね混色モデル

乾かずに画材表面に乗っている塗料と新たに塗り重ねた塗料は混ざり層を形成しない。また筆により過剰な絵の具は吸い取られるので、濡れている層の厚さは一定とする。図4に加えて透過率 α も考慮した場合、最終的な混色計算式は次のようになる。ただし、先に塗られた層の乾き率を β とする。

$$R = (\alpha + (1 - \alpha)B_r^{1-\beta}) \left(\frac{T_r + \beta B_r}{1 + \beta} \right) \times w$$

$$G = (\alpha + (1 - \alpha)B_g^{1-\beta}) \left(\frac{T_g + \beta B_g}{1 + \beta} \right) \times w \quad (4)$$

$$B = (\alpha + (1 - \alpha)B_b^{1-\beta}) \left(\frac{T_b + \beta B_b}{1 + \beta} \right) \times w$$

6 手描き風画像生成アルゴリズム

エアブラシで描いた様な画像と水彩画風画像の作成アルゴリズムについて述べる。

6.1 エアブラシ風画像生成アルゴリズム

対象とするエアブラシによる絵は、輪郭部分は保存し細部は塗りつぶされるといった特徴があり全体的に平面的な印象を受ける種類の画像である。

自動生成においては、実際の描画方法である吹き付けを直接はモデル化せず、輪郭以外では滑らかな色変化をする点に着目してぼかし処理を基本としたアルゴリズムにより描画を行なう。

ぼかし処理はフィルタと画像との畳み込みで行う。この際、第4節で得られた輪郭近傍情報及び、局所方向性を基にして、局所領域毎にぼかしフィルタの形状を変化させる。具体的には次の通りである。

1. 画像の各画素を中心として式(5)で示す 3×3 のぼかしフィルタ B との畳み込みを行う。

$$B_{i,j} = Bt_{i,j} / \sum_{k=0}^2 \sum_{l=0}^2 Bt_{k,l}$$

$$Bt_{i,j} = \exp\left(-\frac{(j-1)\sin\theta + (i-1)\cos\theta)^2}{2\alpha^2}\right) W$$

ここで、 θ は中心画素の局所方向性であり、 $\alpha = 0.32$ とする。また、 W は畳み込みの際に $B_{i,j}$ に対応する画素の輪郭近傍情報値を e とした時、次式で与えられる。

$$W = \begin{cases} 1 - e/T & (e \leq T) \\ 0 & (T < e) \end{cases} \quad T = 15 \quad (6)$$

2. 上の畳み込み処理を n 回繰り返す。今回は $n = 30$ とする。

6.2 水彩画風画像生成アルゴリズム

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手法である。

対象となる水彩画は輪郭部分でないところはいくつものストロークによって一気に描かれ、輪郭部分では丁寧に描かれるものとする。そこで、輪郭近傍情報をもとに輪郭から遠い領域では攪拌混色を行い、輪郭近傍では攪拌処理を行わないこととして、ランダムな描き込みに疑似的な順位付けを行う。

具体的な描画手順は次の通り。

1. 対象画像と等面積の白色領域を用意する。

2. ランダムに選んだ位置を起点として、ストローク領域を決定する。この際、ストロークの形状決定には、局所方向性、局所方向信頼度、局所波長期待値が、それぞれストロークの曲線形状、長さ、太さの決定に利用される。

3. ストロークの色を決定する。ストロークの色は、ストロークの背骨カーブに対応する各ピクセルの色のrgbの各値の平均値とする。

4. ストロークを描き込む。この時、以前描いたストロークとの混色処理を前節の式4を用いて各ピクセル毎に計算する。

着目ピクセルの輪郭近傍情報を e としたとき、そのピクセルの遮へい率 α は式(7)で決定される。

$$\alpha = 0.5 + 0.5h(e) \quad (7)$$

$$h(x) = \begin{cases} 0 & T < x \\ 1.0 - x/T & 0 \leq x < T \end{cases}$$

ここでは $T = 30$ としている。また、遮へい率 α の取る値の範囲を0.5から1.0として極端な色の濁りを避けている。

遮へい率と同様、着目ピクセルの輪郭近傍情報を e としたとき、そのピクセルの乾き率は β は式(8)で決定される。

$$\beta = d(e) \quad (8)$$

$$d(x) = \begin{cases} x & 0 \leq x < T \\ 1.0 & T < x \end{cases}$$

ここでは $T = 30$ としている。

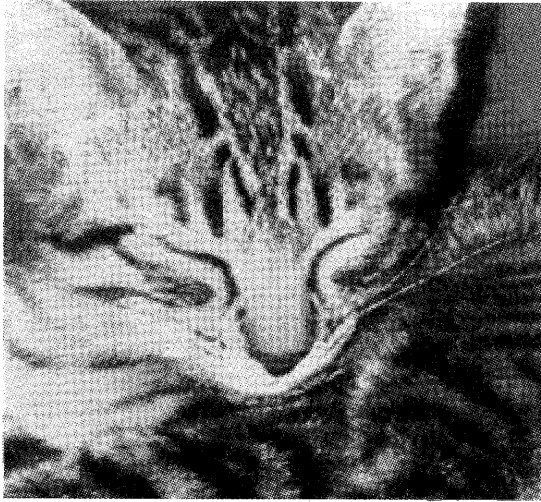
5. 全ピクセルが数回塗りつぶされるまで、2に戻り繰り返す。

7 実験結果

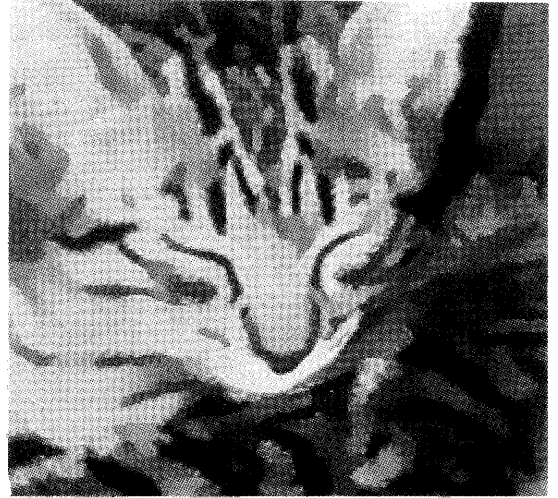
実験結果として、入力に用いた対象画像例とそれから二つの描画アルゴリズムによって生成された画像例の拡大図を図5と図6に示す。

図5(b)はエアブラシ風の画像生成例である。アルゴリズム上、 61×61 ピクセルのフィルタでぼかしている事に相当するが、フィルタ形状を各局所領域の状況に合わせて決定している為、耳や目、鼻などの輪郭部分は保存され、その他の毛並の部分は滑らかな色変化をする画像を得ることが出来ている。

図6(b)は水彩画風の画像生成例である。各ストロークはランダム順に描かれるのであるが、攪拌によって生じる混色処理を行う事により疑似的な描画の順位付けが行われ、輪郭部分やりんごの表面、ヘタの描き方から塗りつぶされる箇所と描き分けが行われる箇所との違いが表現されている事が分かる。

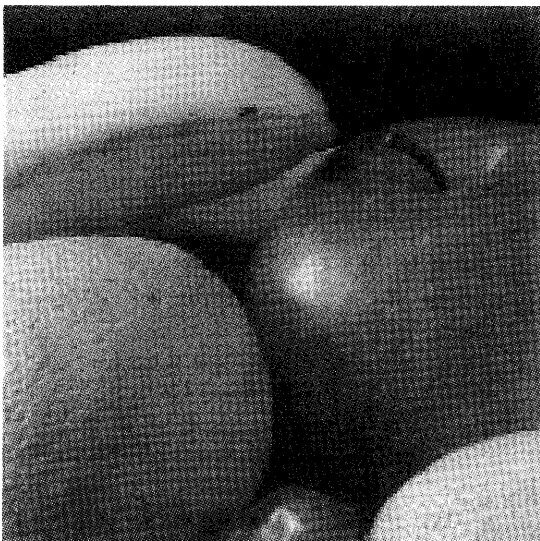


(a) 対象画像“ねこ”



(b) エアブラシ風画像生成結果

図 5: サンプル対象画像と処理結果 1 (部分拡大)



(a) 対象画像“フルーツバスケット”



(b) 水彩画風画像生成結果

図 6: サンプル対象画像と処理結果 2 (部分拡大)

8 結論と今後の課題

本稿では、手描き風表現の位置付けを行い、二つの自動画像生成アルゴリズムについて述べた。また、画像生成アルゴリズムに関連して、輪郭近傍情報の検出法、絵の具の混色計算法についても述べた。

生成画像結果は、はじめに述べたような表現範囲に収まる手描き風描画法では自動描画により効果的な手描き風画像の生成が可能であることを示している。

今回は画像の局所情報を有効に用いることにより、ほかしによる手法からも手描き風画像を生成出来た。また、混色計算法と局所情報を利用することにより第一報による手法よりもさらに場所毎に描き方を変化させる事も達成できた。

今後の課題および応用を以下にあげる。

- 他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。
- ユーザインターフェースの検討。本稿のアルゴリズムは完全自動での描画であるが、ユーザの意図する画像を生成する為のインターフェースを構築し、意図的に画像に変化を与える事を可能とする。
- 対象画像の拡大に関する応用。今回は対象画像と等解像度の出力画像を作成したが画像を各ストローク形状等に分解した後で拡大処理を行えば、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。

参考文献

- [1] 大野義夫：“フォトリアルでないCG画像表現の手法について”，情報処理学会研究報告95-CG-76,pp.1-7 (1995)
- [2] 石原 亘：“まんがにおける具象物の半記号化された表示 - 非写真的写実レンダリングを論じるために -”，情報処理学会研究報告95-CG-76,pp.9-16 (1995)
- [3] 石原 亘：“SIGGRAPH '94におけるノンフォトリアルの研究の動向”，情報処理学会研究報告95-CG-76,pp.9-16 (1995)
- [4] Jhon Lansdown, Simon Schofield：“Expressive Rendering: A Review of Nonphotorealistic Techniques”，IEEE CG and Appli, Vol.15, No.03,pp.29-37 (1995)
- [5] P. Hacherli：“Paint By Numbers: Abstract Image Representations”，Computer Graphics, Vol.24, No.4,pp.207-214 (1990)
- [6] Takafumi Saito, Tokiichiro Takahashi：“Comprehensible Rendering of 3-D Shapes”，Computer Graphics, Vol.24, No.4, pp.197-206 (1990)
- [7] 齋藤 隆文：“Comprehensible Rendering - これからの課題” 情報処理学会研究報告95-CG-76,pp.89-94 (1995)
- [8] 金子 満, 中嶋 正之：“次世代アニメーションシステムに関する研究 第1報 - 3次元CG画像の2次元化アルゴリズム -”，情報処理学会研究報告95-CG-69,pp.57-64 (1994)
- [9] 金子 満, 中嶋 正之：“次世代アニメーションシステムに関する研究 - ノンフォトリアリスティックアニメーションの生成 -”，情報処理学会研究報告95-CG-76,pp.23-30 (1995)
- [10] Georges Winkenbach, David H. Salesin：“Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration”，SIGGRAPH94 proceedings, pp.91-100 (1994)
- [11] 関谷 英明, 島田 繁広, 近藤 邦雄, 佐藤 尚, 島田 静雄：“モノクロレンダリングのためのテクスチャ描画手法”，情報処理学会研究報告95-CG-76,pp.81-87 (1995)
- [12] 望月 義典, 近藤 邦雄, 佐藤 尚, 島田 静雄：“形状理解を容易にする特徴強調画像の生成”，情報処理学会研究報告95-CG-76,pp.73-80 (1995)
- [13] 張 青, 高橋 淳也, 村岡 一信, 千葉 則茂：“樹木の水墨画調レンダリング”，情報処理学会研究報告95-CG-76,pp.45-50 (1995)
- [14] T.Cockshott et al.：“Modeling the Texture of Paint”，Computer Graphics Forum, Eurographics 92 Proc, Vol.11, No.3, pp.C217-C226 (1992)
- [15] Steve Strassmann：“Hairy Brushes”，Computer Graphics, Vol.20, No.4, pp.225-232 (1986)
- [16] Qinglian Guo：“毛筆フォントとCG描画技術の統合”，情報処理学会研究報告95-CG-76,pp.51-58 (1995)
- [17] Michael P.Salisbury, Sean E.Anderson, Ronen Barzel, David H.Salesin：“Interactive Pen-and-Ink Illustration”，SIGGRAPH94 proceedings, pp.101-108 (1994)
- [18] Siu Chi Hsu, Irene H.H.Lee：“Drawing and Animation Using Skeletal Strokes”，SIGGRAPH '94 proceedings, pp.109-118 (1994)
- [19] M.F.Barnsley：“Fractals Everywhere”，Academic Press (1988)
- [20] 安居院 猛, 都 鉉淑, 長橋 宏：“写真からの点描画の自動生成”，1993年信学論春季大会 D-619 (1993)
- [21] T.Agui, H. Do, H. Nagahashi, M. Kaji：“Painting-like Image Generation”，日本印刷学会誌, Vol. 31, No. 1, pp.40-48 (1994)
- [22] 染谷信彦, 宮原誠：“Wavelet変換を用いた画像modification:手書き風表現”，電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集, p.423 (1995)
- [23] 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, 第20章 pp.683-743 (1980)
- [24] 齋藤 豪, 中嶋 正之：“FFTを用いた写真からの手書き風画像の自動生成”，情報処理学会 研究報告会95-CG-74 pp.11-16 (1995)
- [25] 齋藤 豪, 中嶋 正之：“手書き風画像の自動生成に関する研究 第3報”，電子情報通信学会 96年春季大会 D-563 (1996)