JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	手描き風グラフィックス生成におけるアウトライン筆モデルの構成
Author(s)	福島,範幸; 小谷,一孔
Citation	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, 98(5): 125-132
Issue Date	1998-01
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/3300
Rights	社団法人 情報処理学会, 福島範幸／小谷一孔, 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, 1998(5), 1998, 125-132. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は（社）情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

コンピュータビジョンと
イメージメディア 109－17
（1998．1．23）

手描き風グラフィックス生成における アウトライン筆モデルの構成

福島 範幸　　小谷 一孔
北陸先端科学技術大学院大学　情報科学研究科

〒 923-12 石川県能美郡辰口町旭台 1-1
0761-51-1699（内線 1384）
noriyuki@jaist.ac.jp　　ikko@jaist.ac.jp

あらまし　自然画像を入力としてコンピュータグラフィックスにより手描き風の画像を生成するための、アウトライン筆モデルを構成する。アウトライン筆モデルの特徴は、筆の動き、筆の種類（形状、太さ、毛の長さ）、筆圧をパラメータとして柔軟なストロークを生成出来る事にある。本研究はディジタイズした自然画像を Wavelet 変換により多重解像度解析してアウトライン筆モデルのパラメータを決定する事によって、手描き風画像の「塗り」の質感をよりリアルに表現する手法を提案する。

キーワード　手描き風画像、アウトライン筆モデル、Wavelet 変換、輪郭の方向検出、多重解像度解析

Construction of Outline Brush Model for Generating Graphics which Seems Like Hand-Painted

Noriyuki FUKUSHIMA　　Kazunori KOTANI
Graduate School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

1-1 Asahidai, Tatsunokuchi-machi, Nomi-gun, Ishikawa, 923-12, Japan
0761-51-1699 (ext.1384)
noriyuki@jaist.ac.jp　　ikko@jaist.ac.jp

abstract　This paper describes outline brush model for generating graphics which seems like hand-painted by computer graphics from nature image. Characteristic of outline brush model can generate flexibile stroke by brush movement, kind of brush(form, thickness and length)and pressure of brush. This research express real quality of 'paint' of graphics which seems like hand-painted.

key words　graphics which seems like hand-painted, outline brush model, wavelet transform, detection of contour direction, multiresolution analysis

1 はじめに

コンピュータグラフィックス (CG) による画像表現には写真的忠実性を追及するフォトリアリズムによる表現と、ノンフォトリアリズムによる表現 [1, 2, 3] がある。フォトリアリズムによる表現はよく用いられているが、画像表現の方法はフォトリアリズムだけで充分とは限らず、ノンフォトリアリズムによる表現も必要である。何故なら、1. 重要な情報に注意を集中させて表現出来る、2. 写真には写らない物が表示出来る、等の長所があるからである。

ノンフォトリアリズムによる表現には絵、書道等があるが、特に、絵は写真の存在する現在でも描かれている事からわかるように、人の重要な表現方法の一つである。絵には筆で描くもの、物を並べるもの、線で描くものなどが挙げられるが、本研究では筆で描くものを考える。

本研究の目的は CG において人が筆で描く絵の質感を表現する画像生成方法を開発する事である。特に本稿ではアウトライン筆モデルを提案し、自然画像を解析する事により、筆モデルのパラメータを決定し、手描き風画像を生成する。

2 絵の質感の表現方法

CG において '人が筆で描く絵の質感' を表現するための情報を得るには次の様な方法が挙げられる。

1. 人がインタラクティブに入力を与える
2. 画像から絵の特徴・要素を抽出する

絵の特徴・要素を抽出する事ができれば最小限のパラメータを設定する事によって半自動生成する事が出来る。この入力データには 2 次元画像、3 次元画像が考えられるが、本研究では 3 次元情報を投影する事によって得られる画像を対象とし、2 次元画像を入力として与える。

本研究で対象とする手描き風表現は物体を認識する事による誇張表現を行なうのではなく、ストロークの塗り重なりによって情報が変化する表現であり、図 1に示す範囲を対象とする。

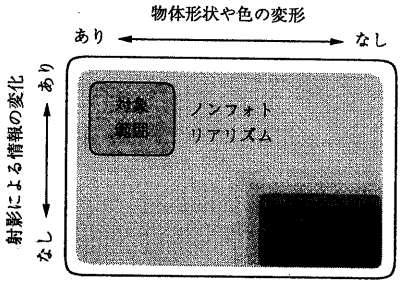

図 1: 本研究の対象範囲

絵の質感を表現する手描き風画像は図 2に示すアルゴリズムによって生成する。

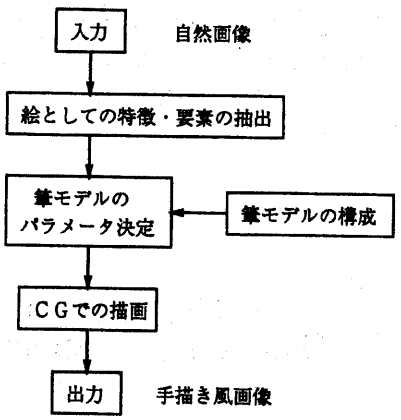

図 2: 手描き風画像の生成アルゴリズム

3 絵としての特徴・要素の抽出

3.1 絵を特徴づける要素

絵を特徴づける要素には対象、レイアウト、筆運び、描く手順 [4]、などが挙げられる。本研究では基本となる筆運びと描く手順を考える。

はじめに、筆運びの例としては輪郭に沿うもの、垂直なもの、沿わないものなどが挙げられ、基本的な描き方と考えられる輪郭に沿うものを考える。このような筆運びを CG で実現するには、入力画像から輪郭部分の方向検出を行なう必要がある。

また、描いていく手順の例としては概形から細部へと描いていく方法や、細部から概形へ描いていく方法などが考えられるが、本研究では基本の描き方と考えられる概形から細部へと描いていく方法を考える [5]。概形を捉えるためには低解像度の情報を用い、細部の特徴を得るためには高解像度の情報を用いることにより、解像度別の方向検出、すなわち多重解像度解析を行なう必要がある。

3.2 輪郭の方向検出方法

輪郭の方向検出方法にはソーベル [6]、ラプラシアン、キルシュ、フーリエ変換 [7]、DCT[8]、ウェーブレット変換による方法等が挙げられる。輪郭に沿った筆運びを行なうためには、ストロークを描き込んだ時に輪郭が保存される方向検出方法が必要である。すなわち、正確な輪郭の方向検出が行なえる事、検出された輪郭近傍では、その方向がおおむね同じになる事が条件となる。この事から、本研究ではウェーブレット変換による輪郭の方向検出を行なう。

3.2.1 ウェーブレット変換

本研究で用いるウェーブレット変換は輪郭方向という「角度」に関するパラメータを扱いやすくするために極座標ウェーブレット変換を用い、基本ウェーブレット関数 $\hat{\psi}(\omega,\Theta)$ を式 (1) で表す。

$$\hat{\psi}(\omega,\Theta)=\hat{\psi}_r(\omega)\hat{\psi}_a(\Theta) \tag{1}$$

本研究では、$\hat{\psi}_r(\omega)$ としてガボール関数、$\hat{\psi}_a(\Theta)$ としてガウス関数を用い、それぞれ、式 (2)、(3) で表す [9]。

$$\hat{\psi}_r(\omega) = \frac{1}{\pi^{1/4}}\left(\frac{\gamma}{\omega_P}\right)^{1/2} \times \exp\left[\frac{-(\omega-\omega_P)^2(\gamma/\omega_P)^2}{2}\right] \tag{2}$$

$$\hat{\psi}_a(\Theta) = \exp\left[-\frac{(\Theta/\Theta_D)^2}{2}\right] \tag{3}$$

ここで、ω_P, Θ_D はそれぞれ中心周波数、回転角のサンプリング角度である。

3.2.2 ウェーブレット変換による輪郭の方向検出

物体輪郭の方向検出は、ウェーブレット変換による方向性分離とハフ変換による直線の傾き検出の組み合わせからなり、スケール毎に次の輪郭方向検出を行なう。

1. 対象画像をウェーブレット変換する
   (a) 対象画像を FFT により周波数領域に変換
   (b) 輪郭方向 $0 \sim \pi$ を 8 分割するように 3.2.1節で述べたウェーブレット・フィルタを設計
   (c) 設計したフィルタを用いて画像をフィルタリングし、それぞれ異なった方向成分を含む 8 枚の画像を出力
2. フィルタリング出力画像を 2 値化する。2 値化の為の閾値には画像の輝度平均値を用い、閾値より大きい画素は黒、小さい画素は白とする
3. 対象画像を 8×8 画素のブロックに分割し、方向を求める
   (a) 8 枚の 2 値画像中の同じ位置にあるブロックから、方向成分を最も強く含んでいるブロックを 1 つ選択
   (b) 選択したブロックに対し、ハフ変換を行ないブロック内の線分の方向を検出

この輪郭の方向検出法を図 3に示す。

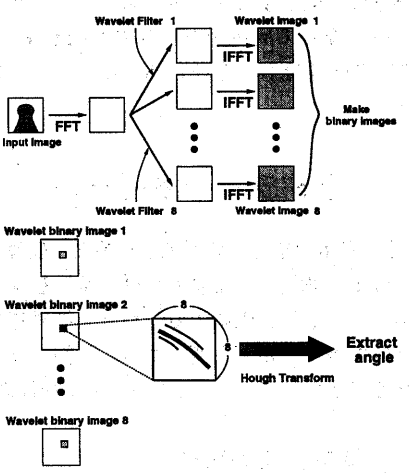

図 3: 輪郭の方向検出方法

3.3 多重解像度解析

ウェーブレット変換のスケールを変化させて多重解像度解析を行なう。本研究ではスケールパラメータ s は0(高解像度) から24(低解像度) までの25個用意する。解像度別に輪郭の方向を検出した結果を図4に示す。ここで、方向成分は白い線で表している。

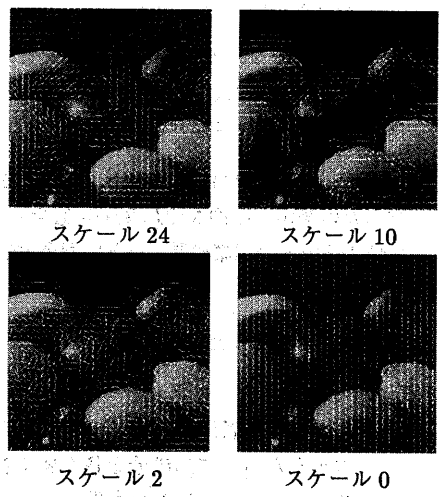

図 4: スケールパラメータ別の輪郭の方向検出

スケールが24では輪郭の方向成分がまとまって検出され、10では物体の輪郭部分などの大局的な部分の方向が検出される。スケールが2では物体の内部などの局所的な部分の方向も検出され、0では方向成分が一定の方向になっている事がわかる。

4 アウトライン筆モデル

「人が筆で描く絵の質感」を多様に表現するためには筆の選択による塗り分け、筆の動きが曲線の場合の対応、筆圧による「塗り」の質感の変化が可能な筆モデルが必要である。本節ではこの条件を可能とするアウトライン筆モデルを構成する。

4.1 筆モデルの構成

筆モデルの構成法には次の2つが考えられる。

1. 筆と絵具の振る舞いからシミュレーションする方法
2. 直接的に現象 (ストローク) を表現する方法

筆と絵具の振る舞いからシュミレーションする方法の例には墨の移動・拡散をセルオートマトンでモデル化する方法 [10] がある。このような方法は重要であるが、一つのストロークを厳密に計算しても絵の質感表現としてはっきりとした差は現れないと考えられる。よって、本研究の目的である絵の質感を表現するという事と、計算コストを考え、ストロークを直接表現する方法をとる。アウトライン筆モデルは図5に示すアルゴリズムによってストロークを生成する。

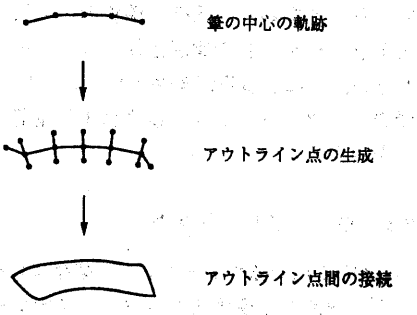

図 5: ストローク形状の近似アルゴリズム

4.2 アウトライン点の生成

筆の中心の軌跡を C_n とする。この各点において、図6に示すように、x 軸との角度 η_n 、L_n から R_n の長さ l_n を決定する事によってアウトライン点を決定する。ここで、l_n はストロークの太さに対応する。

4.3 ストロークの太さ

ストロークの太さは筆形状の種類、筆の硬さ、筆の太さ、筆の毛の長さ、筆圧、筆を動かす方向と筆先の方向の差からストロークの太さを決定する。

筆形状には、丸筆、平筆、フィルバート筆などが挙げられる。中でも、基本となる丸筆と平筆のストロークについて考える。

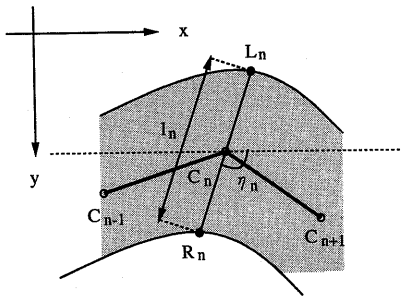

図 6: アウトライン点の生成法

4.3.1 丸筆での太さ

ストロークの太さ l_n と筆圧 p_n の関係を 2 次関数と直線で式 (4) のように近似する。

$$l_n = \begin{cases} \frac{m_n}{\sqrt{h}}\sqrt{p_n}, & 0 \le p_n < h \\ m_n, & h \le p_n \end{cases} \quad (4)$$

h は筆の硬さであり、m_n は式 (5) で表す。

$$m_n = \begin{cases} -\frac{4b_l}{\pi}\alpha_n + 2b_l + b_{w1}, \\ \quad 0 \le \alpha_n < \frac{\pi}{2}, \pi \le \alpha_n < \frac{3\pi}{2} \\ \frac{4b_l}{\pi}\alpha_n + 2b_l + b_{w1}, \\ \quad \frac{\pi}{2} \le \alpha_n < \pi, \frac{3\pi}{2} \le \alpha_n < 2\pi \end{cases} \quad (5)$$

b_{w1} は筆の太さ、b_l は筆の毛の長さ、α_n は筆を動かす方向と筆先の方向の差であり、式 (6) で表される。

$$\alpha_n = \beta - \theta_n \quad (6)$$

β は筆を動かす方向と x 軸との角度である。

4.3.2 平筆での太さ

ストロークの太さ l_n と筆圧 p_n の関係を 2 次関数と直線で式 (7) のように近似する。

$$l_n = \begin{cases} 0, & p_n = 0 \\ \sqrt{\frac{(m_n)^2 - b_{w2}^2}{h}p_n + b_{w2}^2}, & 0 < p_n < h \\ m_n, & h \le p_n \end{cases} \quad (7)$$

m_n は丸筆と同様に式 (5) で表す。また、平筆は筆先がつぶれた形状となっているため、筆の太さは b_{w1} と b_{w2} の 2 つ必要である。

4.4 アウトラインの端点の生成

ストロークの始点と終点でのアウトライン点をそれぞれ O_f、O_l とし、座標を (xO_f, yO_f)、(xO_l, yO_l) とすると、式 (8) で表される。

$$\begin{aligned} xO_f &= b_l \cos\alpha_f \\ yO_f &= b_l \sin\alpha_f \\ xO_l &= -b_l \cos\alpha_l \\ yO_l &= -b_l \sin\alpha_l \end{aligned} \quad (8)$$

アウトライン点間の接続は 3 次 Bezier で補間するが、平筆の場合は筆の形状が角形なので、端点のみ直線で補間する。

4.5 ストロークの生成

筆の中心点 C_n の座標、筆圧 p_n、筆の種類 (筆形状、筆の毛の長さ、筆の太さ) はパラメータとしてデータ入力し、角度 θ_n は $\angle C_{n-1}C_nC_{n+1}$ の 2 等分線と x 軸との角度として算出する。

アウトライン筆モデルによって CG で生成したストロークを図 7に示す。

図 7: アウトライン筆モデルで生成したストローク

アウトライン筆モデルで生成したストローク形状は丸筆と平筆で異なったストローク形状を表現出来ている事がわかる。

5 筆モデルのパラメータ決定

本節では手描き風画像を生成するために必要な筆モデルのパラメータのうち、対象画像から抽出した情報によって決定できるパラメータについて述べる。

5.1 筆の中心の軌跡の生成

入力画像内の一点 C_0 の座標をランダムに選択し、選択した点において 3.2節で述べた輪郭の方向検出を行ない、θ_0' を算出する。次に、筆の中心点間の角度 θ_0 を式 (9) により決定する。

$$\theta_n = \theta'_n + \theta_r \qquad (9)$$

ここで、θ_r は 0 か π の値をランダムに選択する。そして、図 8の様に点 C_1 の座標を決定する。

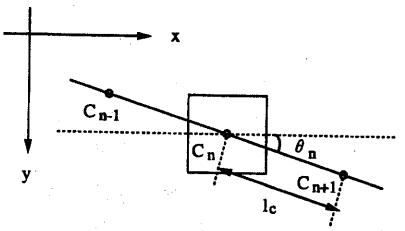

図 8: 筆の中心点の決定

ここで、l_c は筆の中心点間の距離で、方向検出のブロックと同じ大きさの 8 画素とする。よって、点 C_n の座標を (xC_n, yC_n) とすると、点 C_{n+1} の座標は漸化式 (10) で表される。

$$\begin{aligned} xC_{n+1} &= xC_n + l_c \cos\theta_n \\ yC_{n+1} &= yC_n + l_c \sin\theta_n \end{aligned} \qquad (10)$$

式 (11) または式 (12) の条件を満たす間、漸化式 (10) を計算する。

$$|\theta_{n+1} - \theta_n| \leq \theta c \qquad (11)$$

$$|\theta_{n+1} - \theta_n| \geq \pi - \theta c \qquad (12)$$

ここで、θ_c は $0 < \theta_c < \pi$ であり、大きい値である程ストロークは長くなる傾向がある。

5.2 アウトライン点の生成

アウトライン点 L_n 、R_n は各点 C_n から、図 9のように決定する。

ここで、l_n はストロークの太さに相当し、4.3 節で述べた方法で決定する。よって、アウトライン点の座標 $L_n = (xL_n, yL_n)$ 、$R_n = (xR_n, yR_n)$ は式 (13) で表される。

$$\begin{aligned} xL_n &= xC_n + (l_n/2)\sin\theta_n \\ yL_n &= yC_n - (l_n/2)\cos\theta_n \\ xR_n &= xC_n - (l_n/2)\sin\theta_n \\ yR_n &= yC_n + (l_n/2)\cos\theta_n \end{aligned} \qquad (13)$$

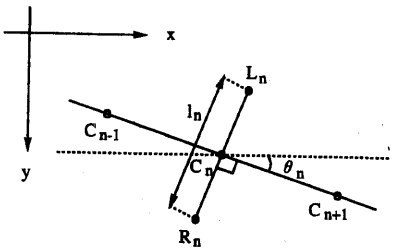

図 9: アウトライン点の決定

5.3 アウトライン内の色の決定

本研究ではストロークの塗り重なりによる「塗り」の質感表現を目指し、次の条件を満たすように色を決定する。

1. 色の変化が緩やかな所でも筆跡が見える
2. 対象画像とは異なった色が表現出来る

上記の条件から、アウトライン内の色 (r', g', b') は式 (14) で決定する。

$$\begin{aligned} r' &= r + c \\ g' &= g + c \\ b' &= b + c \end{aligned} \qquad (14)$$

ここで、(r, g, b) は点 C_0 の色、c は $c_{min} \leq c \leq c_{max}$ の範囲のランダム値である。

6 手描き風画像の生成

本節では自由に設定出来るパラメータを挙げ、例としてモネ風、ゴッホ風の画像を生成するパラメータを設定し、手描き風画像を生成する。

6.1 設定するパラメータ群

アウトライン筆モデルは画像から抽出する事によって決定するパラメータと、ユーザーが設定するパラメータからなる。このパラメータの設定によって異なった質感を表現する事が出来る。設定するパラメータ群 $\mathbf{P}$ は式 (15) で表される。

$$\mathbf{P} = (s, \mathbf{B}, \theta_c, \beta, c_{min}, c_{max}) \qquad (15)$$

ここで、$\mathbf{B}$ は筆の種類に関するパラメータで丸筆ならば $\mathbf{B_m}$ 、平筆ならば $\mathbf{B_h}$ とし、式 (16)

で表される。

$$\begin{aligned} \mathbf{B_m} &= (b_l, b_{w1}, h) \\ \mathbf{B_h} &= (b_l, b_{w1}, b_{w2}, h) \end{aligned} \tag{16}$$

6.2 モネ風画像の生成

印象派のモネの絵は光がテーマであり、黒色や褐色は使用しない [11]。そして、短めのストロークを使用する事が多い。モネ風画像を生成するためのパラメータは式 (17) で表される。

$$\begin{aligned} \mathbf{P} &= (5, \mathbf{B_m}, \pi/16, 30, 40) \\ \mathbf{B_m} &= (3, 1, 5) \end{aligned} \tag{17}$$

図 10を対象として生成したのが図 11で、図 12を対象として生成したのが、図 13である。

図 10: 対象画像の例 1

図 11: 例 1 のモネ風画像

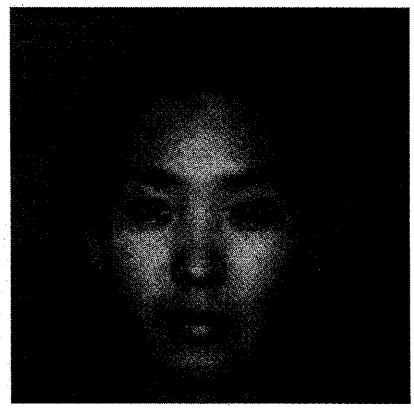

図 12: 対象画像の例 2

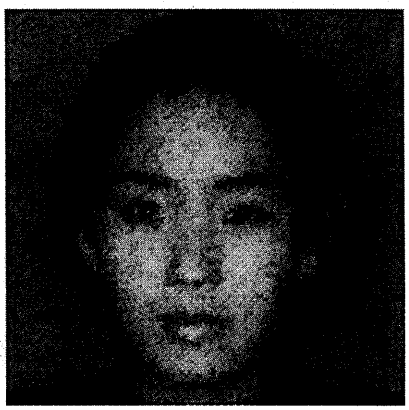

図 13: 例 2 のモネ風画像

6.3 ゴッホ風画像の生成

ゴッホは後期印象主義の画家で、ストロークはわかりやすく、長めである。また、輪郭に沿って描く傾向が強い。ゴッホ風画像を生成するためのパラメータは式 (18) で表され、$\mathbf{P_1}$、$\mathbf{P_2}$の順番で用いる。

$$\begin{aligned} \mathbf{P_1} &= (10, \mathbf{B_h}, \pi/8, -20, 40) \\ \mathbf{B_h} &= (3, 2, 0.5, 5) \\ \mathbf{P_2} &= (2, \mathbf{B_m}, \pi/8, -20, 40) \\ \mathbf{B_m} &= (2, 1, 5) \end{aligned} \tag{18}$$

図 10を対象として生成したのが図 14で、図 12を対象として生成したのが、図 15である。

図 14: 例 1 のゴッホ風画像

図 15: 例 2 のゴッホ風画像

7 まとめ

本稿では CG において人が筆で描く絵の質感を表現する画像生成方法について述べた。特に、アウトライン筆モデルを提案し、自然画像から抽出した情報からパラメータを決定する事によって手描き風画像が生成出来る事を示した。また、ユーザがパラメータを設定する事によってモネ風、ゴッホ風等の質感が表現出来た。

今後は絵具、下地を考慮する事により、絵具の盛り上がりやかすれを表現する事の可能な筆モデルを開発する予定である。さらに、従来の CG 特有の表現方法と融合させる事によって新しい画像表現方法の開拓を目指す。

謝辞 本研究を進めるにあたり日頃から熱心に御助言して頂きました本学 宮原誠教授に深く感謝致します。

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", 技報 95–CG–76, 情報処理学会 (1995).

[2] 石原亘: "Siggraph'94 におけるノンフォトリアリズムの研究の動向", 技報 95–CG–76, 情報処理学会 (1995).

[3] 斎藤隆文: "Comprehensible rendering", 技報 95–CG–76, 情報処理学会 (1995).

[4] 福島範幸, 染谷信彦, 小谷一孔: "手描き風グラフィックス生成における筆モデルの構成と多重解像度解析によるパラメータ決定", 情報処理学会全国大会, Vol. 5AD, No. 7 (1997).

[5] 長谷川晶: "油絵の初歩技法", 美術出版社 (1993).

[6] 土屋裕, 深田陽司: "画像処理", コロナ社 (1990).

[7] 斎藤豪, 中嶋正之: "計算機による手描き風画像の生成に関する研究", テレビジョン学会誌, Vol. 50, No. 10, pp. 1528–1535 (1996).

[8] 藤根俊夫, 小田弘, 田中初一: "離散コサイン変換を用いた方向性フィルタの構成法とその画像符号化への応用", 電子情報通信学会, Vol. J76-D-II, No. 12 (1993).

[9] 佐藤雅昭: "ウェーブレット理論の数学的基礎 第 i 部", 日本音響学会誌, 47 巻, 6 号 (1991).

[10] 張青, 高橋淳也, 村越一信, 千葉則茂: "樹木の水墨画調レンダリング", 技報 95–CG–76, 情報処理学会 (1995).

[11] Hartt, F.: "ART : A History of Painting, Sculpture and Architecture", 明治書院 (1982).