

画像モーメントを用いた絵画風画像の生成手法

白石路雄[†] 山口 泰[†]

本研究では、素材画像を入力し絵画風画像に変換するシステムを扱う。絵画風画像は、ブラシストロークと呼ばれる絵筆の一描きを塗り重ねることにより生成される。従来、ブラシストロークを配置する位置、向き、大きさを、適切に決定することは困難であった。本論文では、画像モーメントを用いて、ブラシストロークの位置、向き、大きさを決定する。生成されるブラシストロークは、素材画像中の同系色の部分領域をよりよく近似できる。また、ブラシストロークを大きさの順に描くことにより、素材画像の粗い部分は大きなブラシストロークで描く一方で、詳細な部分が保存された絵画風画像が生成できる。

Painterly Image Synthesis By Image Moment

MICHIO SHIRAISHI[†] and YASUSHI YAMAGUCHI[†]

This paper discusses the system which converts the source image to the painterly rendered image with a hand-crafted look. The output images are synthesized by successively painting the brush strokes on a canvas. The proposed method determines the location, size and orientation of each brush stroke based on the local image moment around it. The resulting brush stroke becomes a good approximation of the region having the similar color as the stroke. The method is also able to preserve the details of the source image, by painting the brush strokes in order of size, namely painting smaller ones after larger ones.

1. はじめに

計算機を用いる画像生成の研究は、現実の物体や風景などを撮影した写真のような現実感を持つ画像の生成を主な目的としてきた。一方、最近では、そのような写実性をともなわない画像の生成手法に関する研究も行われてきている。このような画像の生成手法は一般にノンフォトリアリスティックレンダリングと呼ばれる。このノンフォトリアリスティックレンダリングの対象としては、油彩画などの絵画を模倣した画像や工業デザイン画などがある。

本研究では、絵画に似た画像の生成を対象とする。入力の形態としては、3次元形状モデル¹⁾、2次元の画像^{2),3)}などが考えられる。本研究では、2次元の素材となる画像を入力し、2次元の絵画風画像を出力するシステムを考える。したがって、画像生成の際に3次元の幾何情報を用いることはできない。

一般に絵画風画像の生成手法には次のようなものがある。

(1) 絵具の物理的な性質のシミュレーションを行う

手法

(2) 絵筆の一描きに相当するブラシストロークと呼ばれるテクスチャ画像を塗り重ねる手法

本研究では、後者のブラシストロークモデルを用いて、画像を生成する。

実際に画家が描く絵画を考えると、それぞれ画風と呼ばれるような特徴があり、同じ素材画像を用いても異なる絵画風画像が生成されることになる。たとえば、Hertzmannの研究²⁾では、“impressionist”や“expressionist”といったスタイルの違いを、ブラシストロークの大きさなどのパラメータ調整によって実現しており、また、Salisburyらの研究⁴⁾では、ペン画におけるストロークの流れをベクトル場としてあらかじめ入力させる方法をとっている。このようにユーザの嗜好を反映した絵画風画像の生成を可能にするには、様々なパラメータによる微妙な調整が必要とされている。

もちろんのことではあるが、詳細にわたる多くのパラメータを、ユーザに指定させることは大変な負担である。そこで、本研究では、画風のような画像全体にわたる性質と、素材画像の部分領域に含まれる特徴とを分離して考える。まず、可能な限りパラメータを決定する手法を確立し、これをデフォルトとして利用す

[†] 東京大学大学院総合文化研究科
Graduate School of Arts and Sciences, The University
of Tokyo

ることを考える。これに、画像全体にわたる色合いや、絵筆の運びなどの大域的な特徴を指定したり、部分的にアクセントをつけたりすることによって、ユーザの個性を反映させる。

本論文では、この前段部分である、素材画像の特徴をもとにできる限りパラメータを導く手法を目的としている。つまり、ユーザは必要最小限のパラメータを与えるのみで、素材画像を絵画風画像に変換するシステムを考える。

ユーザの入力によらない、ブラシストロークの属性の決定手法に関しては、従来手法は不満足なものであった。実際の絵画では、キャンバス全体にわたって均質な粒度では描かれない。すなわち、背景などでよく見られるように変化に乏しい部分は太い筆で粗く描く一方で、詳細部分では細い筆を用いて細かく描かれる。この効果を実現するためには、ブラシストロークの大きさを制御する必要があることが多い。しかしながら、従来手法では、ブラシストロークの大きさを制御することは難しかった。また、ブラシストロークの位置や向きなどに関しても適切に決定できない場合が存在した。

本論文では、素材画像の部分領域をもとに、ブラシストロークの各属性を決定する手法を提案する。本手法は、色差画像の画像モーメントを用いることにより、ブラシストロークの大きさや向きなどの属性を適切に決定する。その結果、素材画像の粗い部分は大きなブラシストロークで大雑把に描く一方で、素材画像の詳細な領域は細かいブラシストロークで描くことが可能になり、より自然な絵画風画像が生成できる。

本論文の構成は以下のとおりである。2章では、絵画風画像生成システムの概要を説明し、従来手法での問題点を述べる。3章では、本研究で用いる画像モーメントについて説明する。4章で画像モーメントを利用した絵画風画像の生成手法について述べ、5章に結果を示す。最後に、6章においてまとめと今後の展望について述べる。

2. ブラシストロークモデルによる絵画風画像の生成手法

2.1 絵画風画像の生成プロセス

絵画風画像の生成プロセスは、図1に示すように3ステップからなる。

属性決定 それぞれのブラシストロークは、配置される位置や塗り重ねる際の色などの属性を持つ。これらの属性を素材画像や素材画像から導かれる情報をもとに決定する。ブラシストロークの属性に

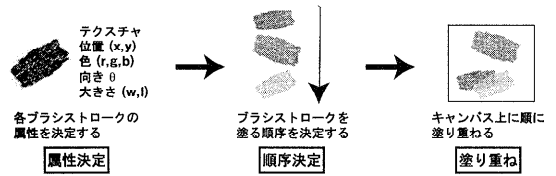


図1 絵画風画像の生成過程

Fig.1 Process of painterly rendering.



図2 ブラシストロークのテクスチャ¹⁾

Fig.2 Texture of brushstroke¹⁾.

については、2.2節で述べる。また、既存の手法による属性決定については、2.3節で議論する。

順序決定 それぞれのブラシストロークがキャンバス上に塗り重ねられる順序も、最終的に得られる絵画風画像に影響する。したがって、前のステップで用意されたブラシストロークをどのような順序で塗り重ねるかを決定する必要がある。2.4節で既存の手法とその問題点について述べる。

塗り重ね 前のステップで用意されたブラシストロークを順にキャンバス画像に塗り重ねる。キャンバス画像は、素材画像と同じ大きさで、白色に初期化されているものとする。本研究では、既存の方法と同様にアルファブレンディングを用いて塗り重ねを行う。

2.2 ブラシストロークの属性

ブラシストロークの表現方法には、中心線をスプラインで定義するもの^{2),5)}、円や長方形などの単純な幾何形状を用いるもの^{1),3),6)}などがある。本研究では、ブラシストロークの形状はほぼ長方形とし、次の5つの属性を用いて表現する^{1),3)}。

テクスチャ 図2のようなグレースケール画像で、この画像の輝度値はブラシストロークを塗り重ねる際の不透明度に相当する。

位置 ブラシストロークが配置されるキャンバス画像上の位置であり、ブラシストロークの中心の座標値によって表現する。

色 ブラシストロークの色であり、RGB表色系によって表現する。

向き ブラシストロークの主軸の傾きであり、キャンバス画像の横方向との角度で表現する。

大きさ ブラシストロークの主軸方向の長さとし、主軸

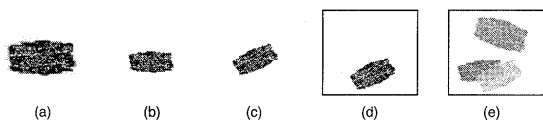


図3 キャンバス画像へブラシストロークを塗り重ねる操作
Fig. 3 Composition of a stroke on the canvas image.

に垂直な方向の幅で表現する。

キャンバス画像上に塗り重ねる際には、各ブラシストロークは図3に示すように処理される。

- (1) テクスチャを大きさ属性によってスケール変換する(図3(b))。
- (2) その結果の画像を向き属性だけ回転させる(図3(c))。
- (3) 位置属性を用いて平行移動する(図3(d))。
- (4) キャンバス画像とアルファブレンディングする(図3(e))。

(4)のアルファブレンディングは、次式に従って行う。 n 番目のブラシストロークが塗り重ねられることにより、キャンバス画像中の位置 (x, y) における色 $C_n(x, y)$ は次のように定められる。

$$C_n(x, y) = (1 - \alpha_n(x, y))C_{n-1}(x, y) + \alpha_n(x, y)B_n$$

となる。ただし、 B_n は、 n 番目に塗り重ねられるブラシストロークの色属性を表し、また、 $\alpha_n(x, y)$ はテクスチャ画像の輝度値によって定まる不透明度である。

2.3 ブラシストロークの属性の決定

従来手法では、まずブラシストロークの位置属性が決定される。2次元の画像を入力する場合、jittered gridと呼ばれる格子を生成し、その頂点をブラシストロークの位置属性とする⁶⁾。jittered gridは、あらかじめ与えられた間隔で規則的な格子を作成し、次に各格子点を乱数でずらして作られる。この格子を用いることにより、キャンバス画像全体に均一にブラシストロークを配置でき、なおかつ、格子点をずらすことによりストロークが不自然に規則的に並ぶことを避けられる。

位置の決定の後、その位置における素材画像の色をブラシストロークの色属性とする^{2), 3), 6)}。また、当該位置における輝度の勾配方向に垂直な向きをブラシストロークの向き属性とする^{2), 6)}。

しかしながら、この従来手法によるブラシストロークの位置、および、向きの決定手法には以下にあげる3つの問題点がある。

2.3.1 位置属性

第1の問題点として、位置属性の固定性があげられる。すなわち、格子によって定められた位置属性は、

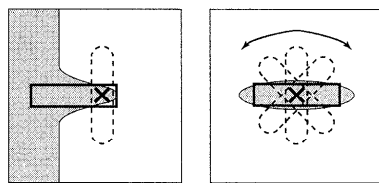


図4 位置・向き属性の決定における従来手法の問題点
Fig. 4 Problems of the previous works to determine the location and orientation attributes.

必ずしもブラシストロークを配置するのに適したものであるとは限らない。たとえば、図4において、素材画像の灰色の部分に近似するブラシストロークを、×印の位置に配置する場合を考える。この場合、輪郭を保存するために、ブラシストロークをクリッピングする必要がある⁶⁾。しかし、ブラシストロークを短くすることで、隙間が生じる恐れがあり、近傍にブラシストロークを新しく追加しなくてはならない。そもそも、このような位置にブラシストロークを配置するのは明らかに適切でなく、適当な位置にずらしてから描くほうが良いと考えられる。

2.3.2 向き属性

第2の問題点として、輝度値の特異点における勾配方向の不確実性がある。右図の場合には、×点においていかなる方向に関しても対称であるから勾配方向は定まらない。したがって、ブラシストロークの方向は決定できないが、実際には矩形で示すように左右方向に配置するのが適当である。

2.3.3 大きさ属性

第3の問題点として、ブラシストロークの大きさに関する情報の欠如がある。すなわち、素材画像の部分に応じて、ブラシストロークの大きさを決定的に求める手法がなく、同じ大きさのものを用いたり、乱数によって大きさを変化させたりする手法がとられていた。そのため、全体として単調で一様な雰囲気を持つ絵画風画像しか生成できなかった。Hertzmannの手法²⁾では、数種類のブラシストロークの幅をあらかじめ用意する。まず、幅の大きなブラシストロークで描き、得られた画像と素材画像で大きく異なる部分があれば、その部分を幅の小さなブラシストロークで塗る。これを繰り返すことで、異なった幅のブラシストロークで描かれた画像が生成される。しかし、この手法でもブラシストロークの幅をユーザがあらかじめ与える必要があり、また、ブラシストロークの幅は数種類に限定される。

2.4 ブラシストロークを描く順序の決定

Hertzmannの手法からも分かるように、ブラシ

トロックを描く順序は、最終的に生成される画像に大きく影響する。すなわち、時間的に先に描かれたブラシストロークは、後に描かれるブラシストロークによって上塗りされる可能性があるからである。従来は、ブラシストロークを描く順序をランダムに決定することが多かった⁶⁾。しかしながら、この手法では、先に詳細部分が描かれてしまい、他のブラシストロークに塗りつぶされる危険がある。Hertzmann の手法²⁾は、あらかじめ設定した数種類の幅のブラシストロークを用いて、粗い部分と詳細部分を描き分けている。

3. 画像モーメント

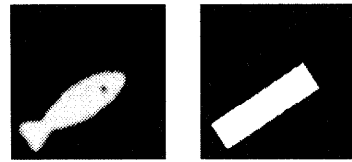
2.3.1 項, 2.3.2 項で指摘したように、ブラシストロークモデルでは、素材画像中の局所的な部分に適切な位置、向き、大きさを持ったブラシストロークを配置したい。すなわち、図 4 で示した矩形領域を求める手法が望まれる。このために、本研究では画像モーメントを利用する手法を提案する。本章ではグレースケール画像に定義される画像モーメントについて説明する。

ピクセル (x, y) における輝度値が $I(x, y)$ であるグレースケール画像において、 x に関して l 次、 y に関して m 次の画像モーメント M_{lm} は以下のように定義される。

$$M_{lm} = \sum_x \sum_y x^l y^m I(x, y)$$

また、 $n = l + m$ となる画像モーメント M_{lm} を n 次モーメントと呼ぶ。0 次モーメント M_{00} は単にグレースケール画像の輝度値の総和である。これは、2 値画像の場合には面積に相当する量である。また、1 次モーメント M_{10} および M_{01} を計算することにより、グレースケール画像の重心が求められる。さらに、2 次モーメント M_{20} , M_{02} , および M_{11} を用いることにより、グレースケール画像の慣性主軸が求められる。

グレースケール画像が与えられた場合、その画像が持つ 0 次, 1 次, および, 2 次の画像モーメントと同じ画像モーメントを持つ「等価な長方形」の画像を考える。図 5 (b) は、図 5 (a) と等価な長方形の画像であり、これらの 2 つの画像の持つ 0~2 次モーメントはそれぞれ一致する。この長方形の中心の座標 (x_c, y_c) 、方向 θ 、および、長辺・短辺の長さ L_1, L_2 は、グレースケール画像の 0~2 次モーメント、 $M_{00}, M_{10}, M_{01}, M_{20}, M_{02}$, および、 M_{11} から以下のように計算できる⁷⁾。



(a) (b)

図 5 (a) グレースケール画像, (b) 画像 (a) と等価な長方形の画像
Fig. 5 (a) A gray-scale image. (b) The image of equivalent rectangle to the image (a).

$$\begin{aligned} x_c &= \frac{M_{10}}{M_{00}} \\ y_c &= \frac{M_{01}}{M_{00}} \\ \theta &= \frac{\tan^{-1}\left(\frac{b}{a-c}\right)}{2} \\ L_1 &= \sqrt{6\left(a+c+\sqrt{b^2+(a-c)^2}\right)} \\ L_2 &= \sqrt{6\left(a+c-\sqrt{b^2+(a-c)^2}\right)} \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 a, b, c はそれぞれ次式で定められる。

$$\begin{aligned} a &= \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_c^2 \\ b &= 2\left(\frac{M_{11}}{M_{00}} - x_c y_c\right) \\ c &= \frac{M_{02}}{M_{00}} - y_c^2 \end{aligned}$$

4. 画像モーメントを用いた絵画風画像の生成

本章では、画像モーメントを用いて、ブラシストロークの属性決定を行い、塗り重ねる順序を決定する手法を説明する。この手法は色の違いを表す色差を利用する。ブラシストロークの色との色差画像を考え、その色差画像の画像モーメントを求めることにより、同系色の等価な長方形が得られる。この等価な長方形をもとに、ブラシストロークの属性のうち、位置、向き、大きさ属性を決定する。さらに、ブラシストロークの大きさをもとにして、ブラシストロークを描く順序を決定する。以下にこの手法を詳しく説明する。

4.1 画像モーメントを用いた属性決定

ブラシストロークの属性を決定するアルゴリズムの概略は次のようになる。ユーザは、格子の間隔 d , および、ウィンドウの一辺の長さ s を指定する。

- (1) 格子を用いてブラシストロークの仮位置を決定する。
- (2) 仮位置における素材画像の色をブラシストロークの色属性とする。
- (3) 仮位置を中心にウィンドウ領域を切り出す。

- (4) ウィンドウ領域内でブラシストロークの色との色差画像をつくる.
- (5) 色差画像と等価な長方形をもとに、ブラシストロークの位置、向き、大きさを決定する.

各ステップの詳細は、以下のとおりである.

4.1.1 仮位置の決定

まず、画像上に間隔 d で張られる格子上的点を、ブラシストロークを配置する仮位置とする. 本手法では、従来の手法とは異なり、この段階で決定された仮位置はそのままブラシストロークの位置属性とはならない. 仮位置は、後のステップである色属性の決定とウィンドウ領域の切り出しの際にのみ用いられる.

仮位置は、間隔 d によって一意に定まる規則的な格子点となる. 前述したように、従来の手法では、jittered grid が用いられていた. しかしながら、本研究の手法では、仮位置は後のステップでより適切な位置にずれされるために、規則的な格子点を用いても jittered grid と同様な手描き風の効果が得られる.

4.1.2 色属性の決定

仮位置における素材画像の色をブラシストロークの色 C とする. ここで色 C は RGB 空間に属する 3 次元ベクトルであり、ベクトルのそれぞれの要素は、0 から 1 の間の実数値であるとする.

4.1.3 ウィンドウ領域の切り出し

仮位置を中心として、素材画像から一辺の長さ s の正方形ウィンドウ領域を切り出す. 図 6 (a) に示す正方形部分を素材画像中から切り出し、ウィンドウ領域としたものが図 6 (b) である. ユーザによって与えられるウィンドウの一辺の長さ s は、ブラシストロークの大きさの最大値となる.

4.1.4 色差画像の生成

3 章で説明した画像モーメントはグレースケール画像を対象にしたものであった. そこで、素材画像の部分領域であるウィンドウ領域の中で、ブラシストロークの色属性との色差をもとにグレースケール画像を生成する. この色差画像の輝度値は、同じ色の場合には 1 となり、まったく異なる色の場合には 0 となる. その結果、ブラシストロークを色 C で描く際に、近似すべき領域として等価な長方形が計算できる. 図 6 (c) は、カラー画像である図 6 (b) から生成した色差画像である. 色差画像におけるピクセルの輝度値 $I(x, y)$ は、

$$I(x, y) = 1 - |C - C_w(x, y)|^d \quad (2)$$

として求める. ここで、 $C_w(x, y)$ は、ウィンドウ領域のそれぞれのピクセル (x, y) における色ベクトル

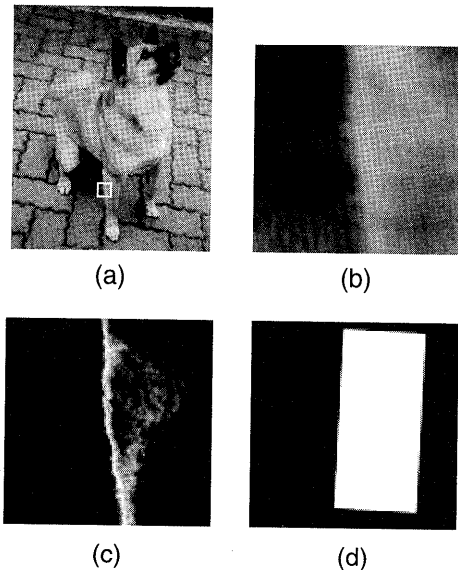


図 6 (a) 素材画像, (b) 素材画像の一部を切り出したウィンドウ領域, (c) 色差画像, (d) 画像 (c) と等価な長方形
Fig. 6 (a) A source image. (b) The window region cropped from the source image. (c) The color difference image of the image (b). (d) The equivalent rectangle to the image (c).

である. また、 $|C - C_w|$ は、色 $C = (r, g, b)$ と $C_w = (r_w, g_w, b_w)$ の間の色差を求める演算である. これには、RGB 空間でのユークリッド距離を正規化した値、 $\sqrt{(r - r_w)^2 + (g - g_w)^2 + (b - b_w)^2} / \sqrt{3}$ を用いている. また、現段階での実装では、 d は 2^8 程度の値を用いている.

4.1.5 等価な長方形の算出と属性決定

式 (1) に基づいて、色差画像と等価な長方形を計算する. この長方形の位置 (x_c, y_c) 、方向 θ 、大きさ L_1, L_2 を用いて、ブラシストローク属性として利用する. 図 6 (c) の色差画像から算出された等価な長方形の画像を図 6 (d) に示す.

4.2 ブラシストロークの描画の順序の決定

前に述べたように、ブラシストロークの塗り重ねにあたっては、大きいものを先に、小さなものを後に描くことが望ましい. そこで、すべてのブラシストロークの属性が決定された後に、ブラシストロークを面積 $A = L_1 \times L_2$ の順にソートし、面積の大きなものから描く. その結果、小さなブラシストロークは、より大きなブラシストロークよりも後に描かれるので、他のブラシストロークに上塗りされる可能性が低くなる.

4.3 本手法の特徴

本章で述べたブラシストロークの属性の決定手法は、以下の特徴を持つ.

ブラシストロークの位置と向き 本手法では、等価な長方形を用いて、ブラシストロークの位置、向き属性を適切に決定できる。たとえば、図 6(a)の正方形領域にブラシストロークが配置される場合、従来の手法ではそのまま中央に配置されてしまうのに対し、本手法では右側に位置をずらして、なおかつ適切な向きに配置できる。

ブラシストロークの大きさの変化 ブラシストロークの大きさは、計算された等価な長方形と同じ大きさになる。等価な長方形は、ブラシストロークの色と近い色を持つ素材画像中の領域を近似するので、ブラシストロークの大きさは、素材画像の詳細部分では小さくなり、そうでない部分では大きくなる。その結果、従来手法による絵画風画像で見られた単調な雰囲気を取り除くことができる。

ブラシストロークを塗り重ねる順序 また、本手法では、大きさの順にブラシストロークを描く。その結果、詳細部分に対応するブラシストロークはより後の段階で描かれ、他のブラシストロークによって上塗りされる危険性を避けられる。

5. 結 果

前章で述べた内容を実装し実験を行った。入力する素材画像として、図 7 に示す画像を用いた。この素材画像の大きさは、横 800 ピクセル、縦 980 ピクセルである。表 1 のようにパラメータを変えて、図 8～図 11 に示す 4 種類の画像を生成した。

図 8 から分かるように、犬の体が比較的大きなブラシストロークで描かれているのに対し、顔の部分は小さなブラシストロークで描かれている。従来手法では、ブラシストロークの幅が画像全体で均一であったが、本手法では、素材画像の細かさに応じてブラシストロークの大きさが自動的に変化している。

また、図 8～図 10 を比較すると、 s と d の値を小さくすることによって、画像全体のブラシストロークの大きさも小さくなっている。すなわち、これらの値によって絵画風画像のブラシストロークの粒度をユーザが陽に指定できることが分かる。

ウィンドウの大きさを小さくすることは、ブラシストロークの最大の大きさを制限することにほかならない。しかし、ウィンドウの大きさ s を小さくして、ブラシストロークを小さくすると、ブラシストロークによってカバーされない領域が生まれる。図 11 は、図 8 と同じ格子間隔 d で、ウィンドウの大きさ s を小さくして生成した画像である。ブラシストロークが小さくなる領域において、隙間が生じてしまっていること

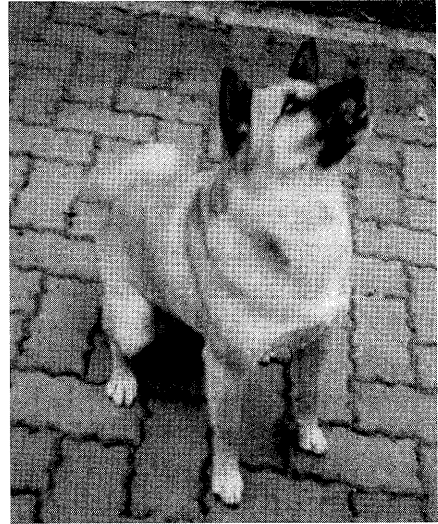


図 7 入力とした素材画像
Fig. 7 A sample source image.

表 1 絵画風画像生成に用いたパラメータ
Table 1 Parameters used for the examples.

	ウィンドウの 大きさ s	格子間隔 d	ブラシ ストローク数
図 8	51	10	6975
図 9	31	6	20511
図 10	15	3	84364
図 11	31	10	7315

が分かる。これまでの実験から、 s と d の比を 5 : 1 程度にすることで、キャンバスのほぼ全体が覆われることが分かった。

本手法では、ウィンドウの中にある同系色の部分を等価な長方形で近似する。そのため、ウィンドウ内に同系色の物体が複数入ってしまう場合には、それらの物体を 1 つのブラシストロークで近似しようとするため、不適切な配置になってしまうことがある。図 12 (b) のコアラの人形の絵では、指の部分が同じウィンドウ内に含まれたため、指の部分は適切に描かれていない。この問題を解決するには、ウィンドウ内に複数の物体があるかどうかを判定しなければならないと思われる。

また、素材画像のウィンドウ内の色調が単調な場合、ブラシストロークの大きさはウィンドウと同じ正方形になり、向きも明らかでなくなる。この問題は、素材画像の部分領域の性質のみでブラシストロークの属性を決定する手法をとる限りは解決不能である。変化に乏しい領域における向きの決定には、素材画像の大域的な性質を調べるかユーザの明示的な入力が必要となる。



図 8 ウィンドウの大きさを 51 ピクセル，格子間隔を 10 ピクセルとして，本手法により生成した絵画風画像
 Fig. 8 Painterly rendered image by the proposed method. The size of window is 51 pixels and the grid interval is 10 pixels.



図 10 ウィンドウの大きさを 15 ピクセル，格子間隔を 3 ピクセルとして，本手法により生成した絵画風画像
 Fig. 10 Painterly rendered image by the proposed method. The size of window is 15 pixels and the grid interval is 3 pixels.



図 9 ウィンドウの大きさを 31 ピクセル，格子間隔を 6 ピクセルとして，本手法により生成した絵画風画像
 Fig. 9 Painterly rendered image by the proposed method. The size of window is 31 pixels and the grid interval is 6 pixels.



図 11 ウィンドウの大きさを 31 ピクセル，格子間隔を 10 ピクセルとして，本手法により生成した絵画風画像
 Fig. 11 Painterly rendered image by the proposed method. The size of window is 31 pixels and the grid interval is 10 pixels.

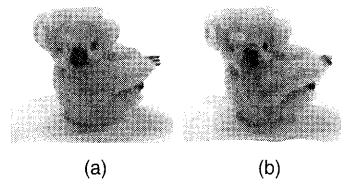


図 12 ウィンドウの中に複数の同系色の物体が入ってしまった場合. (a) 素材画像，(b) 絵画風画像
 Fig. 12 The case where the window image includes multiple objects.

6. おわりに

本論文では、画像モーメントを用いた絵画風画像の生成手法を示した。本手法では、素材画像の色差画像とその画像モーメントをもとに、等価な長方形を求めることにより、ブラシストロークの属性を決定する。この手法は、以下のような特徴を持つ。

- ブラシストロークの位置や向き属性を適切に決定できる。
- ブラシストロークの大きさは、画像の詳細度にあわせて適切に決定される。その結果、ブラシストロークの大きさの変化に富んだ絵画風画像が生成できる。
- 小さなブラシストロークを大きなブラシストロークより後に描くことにより、詳細部分が上塗りされずに保存される。

参 考 文 献

- 1) Meier, B.J.: Painterly Rendering for Animation, *Proc. SIGGRAPH 96 Conference, Annual Conference Series*, Rushmeier, H. (Ed.), pp.477-484, Addison-Wesley (1996).
- 2) Hertzmann, A.: Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes, *Computer graphics: proc. SIGGRAPH 98 Conference proceedings, July 19-24, 1998* Cohen, M.F. (Ed.), pp.453-460, ACM Press and Addison-Wesley, (1998).
- 3) Haeberli, P.: Paint By Numbers: Abstract Image Representations, Vol.24, No.4, pp. 207-214 (1990).
- 4) Salisbury, M.P., Wong, M.T., Hughes, J.F. and Salesin, D.H.: Orientable Textures for Image-Based Pen-and-Ink Illustration, *Proc. SIGGRAPH 97 Conference, Annual Conference Series*, Whitted, T. (ed.), pp.401-406, Addison-Wesley (1997). ISBN 0-89791-896-7.

- 5) 福島範幸, 小谷一孔: 手描き風グラフィクス生成におけるアウトライン筆モデルの構成, *情報処理学会研究報告*, 98-CVIM-109, pp.125-132 (1998).
- 6) Litwinowicz, P.: Processing Images and Video for an Impressionist Effect, *Proc. SIGGRAPH 97 Conference Annual Conference Series*, Whitted, T. (Ed.), pp.407-414, Addison-Wesley (1997).
- 7) Freeman, W.T., Anderson, D.B., Beardsley, P.A., Dodge, C.N., Roth, M., Weissman, C.D., Yerazunis, W.S., Kage, H., Kyuma, K., Miyake, Y. and ichi Tanaka, K.: Computer Vision for Interactive Computer Graphics, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.18, No.3, pp.42-53 (1998).

(平成 10 年 12 月 1 日受付)

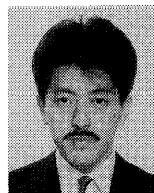
(平成 11 年 7 月 1 日採録)

白石 路雄 (学生会員)



1974 年生。1999 年東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻修士課程修了。現在同博士課程在学中。コンピュータグラフィクス全般に興味を持つ。ACM, IEEE 等会員。

山口 泰 (正会員)



1961 年生。1988 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。同年同大学教養学部図学教室助手。1989 年東京電機大学工学部講師。1993 年より東京大学大学院総合文化研究科助教授。この間、1995~1996 年スタンフォード大学客員研究員。形状モデリング、機械系 CAD/CAM, コンピュータグラフィクス等の研究に従事。工学博士。精密工学会, ACM, IEEE 等会員。