

## 実存する油彩画の特徴分析による 油彩画風画像の生成手法

白石 路雄 山口 泰

東京大学大学院総合文化研究科

Email: {shira,yama}@graco.c.u-tokyo.ac.jp

本研究では、素材画像を入力し油彩画風画像に変換するシステムを考える。油彩画風画像は、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やその大きさを、適切に決定することは困難であった。本報告では、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、詳細な部分も保存された油彩画風画像が生成できる。また、油彩画風画像の生成にあたって、実存する絵画の特徴を利用するための展望についても述べる。

## An Approach to a Painterly Rendering Method based on the Features of Oil Paintings

Michio SHIRAISHI Yasushi YAMAGUCHI

University of Tokyo, Division of International and Interdisciplinary Studies

Email: {shira,yama}@graco.c.u-tokyo.ac.jp

This paper discusses the system which converts the source image to the painterly rendered image. Handcrafted-look 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. The paper also discusses the use of oil paintings as a reference image.

## 1 はじめに

計算機による画像生成の分野では、現実の物体や風景を撮影した写真のように見える画像を生成することを主な目的としてきた。しかしながら、そのような画像の生成を目的としないノンフォトリアリスティックレンダリングに関する研究も進んできている [1]。

その中でも、油彩画や水彩画のような絵画を模倣した画像を生成する手法には様々なものがある。特に painterly rendering と呼ばれる画像の生成手法では、絵を描くときの絵具の塗り重ねをモデル化し、油彩画などによく似た画像の生成を行う。本研究では、painterly rendering に基づいた油彩画風画像の生成手法を考察する。

研究の前提として、2次元の素材画像を入力し、その画像を2次元の油彩画風画像に変換するシステムを対象とする。ここでは、ユーザが対話的に油彩画風画像を製作するためのツールではなく、最小限のパラメータを与えて自動的に油彩画風画像を生成するシステムを考える。

本論文では、次の二点について報告を行う。第一に、画像モーメントを利用して油彩画風画像を生成する手法を示す。また、この手法によって画像を生成し、その効果を実証する。次に、実存する油彩画の特徴を利用して、油彩画風画像の生成に用いる試みについて述べる。

## 2 油彩画風画像の生成プロセス

油彩画風画像の生成は、絵筆の一描きに相当するブラシストロークを塗り重ねることで行われる。ブラシストロークの表現方法には、中心線をスプライン曲線で表現するもの [2][3]、円や長方形などの単純な幾何形状を用いるもの [4][5]、および、図1に示すようなテクスチャを用いるもの [6] などがある。

本研究では、テクスチャを用いたブラシストロークの表現を用いる。この表現は、絵筆の質感を比較的容易に表現できる。さらに、テクスチャを変えることで、様々な質感を持った油彩画風画像が実現できる。

油彩画風画像の生成プロセスは次のようになる。

1. 素材画像と同じ大きさのキャンバス画像を



図1: ブラシストロークのテクスチャの例 [6]。

- 初期化する。
2. 各ブラシストロークの属性と、塗り重ねる順序を決定し、リストとする。
3. 2で作られたリストからブラシストロークを1つずつ取り出してキャンバス画像上に塗り重ねる。

したがって、油彩画風画像を生成するためには、それぞれのブラシストロークをどのように描くか、すなわち、ブラシストロークの属性を決定するとともに、ブラシストロークを塗り重ねる順序を決定しなければならない。同じブラシストロークの集合であっても、塗り重ねる順序が変わると最終的に生成される画像は異なる。

### 2.1 ブラシストロークの表現

#### 2.1.1 ブラシストロークの属性

本研究において、ブラシストロークは、以下の5つの属性を持つものとする [4][6]。

**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は、RGB表色系によって表現する。

**テクスチャ** 図1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合成する際の不透明度に相当する。

**向き** ブラシストロークの主軸と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に沿った長さど、主軸に垂直な幅で表現する。

#### 2.1.2 ブラシストロークのキャンバス上への塗り重ね

ブラシストロークのそれぞれの属性が決定されると、各ブラシストロークの塗り重ねは以下の手順で実行される。

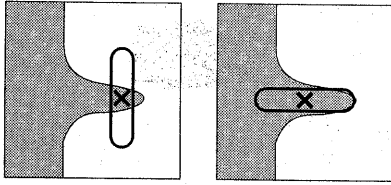


図2: 不適切に配置されたブラシストローク。

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

4のアルファブレンディングは、次式に従って行う。位置  $(x, y)$  における色  $C_i(x, y)$  は、

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

となる。ただし、 $B_i$  はブラシストロークの色属性を表し、また、 $\alpha_i(x, y)$  はテクスチャの輝度によって定まる。

### 2.1.3 ブラシストローク属性の決定手法とその問題点

既存の手法では、ブラシストローク属性は、まず位置属性が決定され、素材画像から導かれる情報によって、色・向き属性が決定される。色属性は当該位置における参照画像の色によって定められる。また、向き属性は、その位置での素材画像の輝度値の勾配を用いて定められる[4][5]。

このように、既存の手法では、素材画像とは無関係にブラシストロークの位置が定まる。しかし、実際には、ブラシストロークの位置も重要な要素となる。たとえば、図2に示す画像において、 $x$ の位置にブラシストロークを配置しようとするとう無理が生じる。特に、勾配を用いて、ブラシストロークの向きを決定しようすると、図の太線のような向きになり、素材画像と大きく異なってしまう。できれば、右図のように位置を微調整した上で適切な向き、大きさとなるようにしたい。

また、ブラシストロークの大きさを適切に制御することも困難であった。たとえば、素材画像のエッジを抽出しエッジを用いてブラシストロークを切断する手法[5]、また、ブラシストロークを折り曲げる手法などがある[2]。しかし、ブラシストロークの幅を制御することは不可能で、生成された画像上のブラシストロークの幅は均一となり、不自然な印象を与える。また、ブラシストロークの幅があらかじめ決められてしまうと、それより詳細な部分が表現できないという問題点がある。そこで、最初は広い幅のブラシストロークで描き、うまく表現できない部分に関して、狭い幅のブラシストロークで描き直す手法が提案された[3]。しかし、この方法でもブラシストロークの幅は、あらかじめ与えられた数種類に限定される。

## 2.2 ブラシストロークを塗り重ねる順序

ブラシストロークを塗り重ねる順序も、最終的に生成される画像に大きく影響する。従来は、主にランダムに順序を入れ替えて描く方法が用いられてきた[5]。しかしこの手法では、先に描かれた詳細部分が後から塗りつぶされる可能性が大きい。そこで、ブラシストロークの大きさが異なる場合には、大きいものを先に、小さいものを後に描くことが望ましい[3]。しかし、大きいブラシストロークと小さいブラシストロークをどのような割合で用いるかは、以前として問題のままである。

## 3 画像モーメントを用いた画像生成

本研究では、ブラシストローク属性と塗り重ねる順序の決定のために、画像モーメントを用いた手法を提案する。

前節では、ブラシストロークの位置と大きさを決定する際の問題点を述べた。本手法では、素材画像において、ブラシストロークと同色系の部分領域を適切に近似するように、ブラシストロークの各属性が決定される。この結果、一樣な部分は大きなブラシストロークで描き、素材画像の詳細部分は小さなブラシストロークで描くことが可能になる。

### 3.1 画像モーメント

グレースケール画像におけるピクセル  $(x, y)$  の輝度値が  $I(x, y)$  であるとする。  $x$  に関して  $m$  次,  $y$  に関して  $n$  次の画像モーメントは以下のように定義される。

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

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」を考える。この長方形の中心の座標  $(x_c, y_c)$ , 方向  $\theta$ , および, 長辺・短辺の長さ  $L_1, L_2$  は, 以下のように与えられる [7]。

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}}$$

$$y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}}$$

$$\theta = \frac{\arctan(b, (a - c))}{2}$$

$$L_1 = \sqrt{6 \left( a + c + \sqrt{b^2 + (a - c)^2} \right)}$$

$$L_2 = \sqrt{6 \left( a + c - \sqrt{b^2 + (a - c)^2} \right)}$$

ただし,  $a, b, c$  は次式で定められる。

$$a = \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_c^2$$

$$b = 2 \left( \frac{M_{11}}{M_{00}} - x_c y_c \right)$$

$$c = \frac{M_{02}}{M_{00}} - y_c^2$$

### 3.2 画像モーメントを用いた画像生成

一般に, 画像モーメントはグレースケール画像で定義される量である。本節では, これをカラー画像に拡張し, ブラシストロークの属性決定に応用する手法を示す。さらに, ブラシストロークを塗り重ねる順序を定める手法についても説明する。

#### 3.2.1 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。

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

各ステップについて, 以下で詳しく述べる。

#### 仮位置の決定

既存の手法と同様に, jittered grid と呼ばれる格子を用いる [3][5]。まず, あらかじめ与えられた間隔で正方形の格子を作る。次に各格子点を適当な乱数を用いてずらし, この点を仮位置  $p'$  とする。

#### 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。

#### ウィンドウ領域の切り出し

仮位置  $p'$  を中心として, 素材画像から正方形のウィンドウ領域を切り出す。このウィンドウの大きさはユーザによって与えられ, ブラシストロークの大きさの最大値となる。

#### 色差画像の生成

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を  $c_w(x, y)$  とする。色差画像におけるピクセルの値  $I(x, y)$  を,

$$I(x, y) = 1 - |c - c_w|^d$$

として求める。ここで,  $d$  は 16 程度の値を用いている。つまり,  $I(x, y)$  は, ブラシストロークの色と近い色を持つ場合には, 1 に近い値が入り, そうでない場合には 0 に近い値となる。色差を求める演算  $|c - c_w|$  には, RGB 空間でのユークリッド距離  $\sqrt{(r - r_w)^2 + (g - g_w)^2 + (b - b_w)^2}$  を用いている。

#### 等価な長方形の算出と属性決定

色差画像と等価な長方形を計算する。この長方形を用いて, ブラシストローク属性のうち, 位置, 方向, 大きさの属性を決定する。

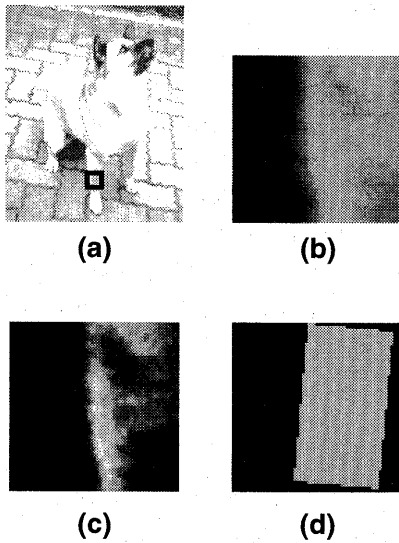


図 3: (a) 素材画像, (b) 素材画像の一部を切り出したウィンドウ領域, (c) 色差画像, (d)(c) と等価な長方形。

素材画像から等価な長方形を算出する過程を図 3 に示す。

### 3.2.2 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、全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大きさの順にソートし、大きいものから描く。その結果、小さいブラシストロークは、より大きい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書きされる可能性が低くなる。

### 3.3 画像生成の例

前節で述べた内容を、SGIO<sub>2</sub> 上で実装した。図 5 は、図 4 を素材画像として生成したものである。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。この画像に対して、縦横 10 ピクセル間隔の格子を適用し、7840 個のブラシストロークによって画像を生成した。画像モーメントの計算には、一辺 50 ピクセルのウィンドウを用いている。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

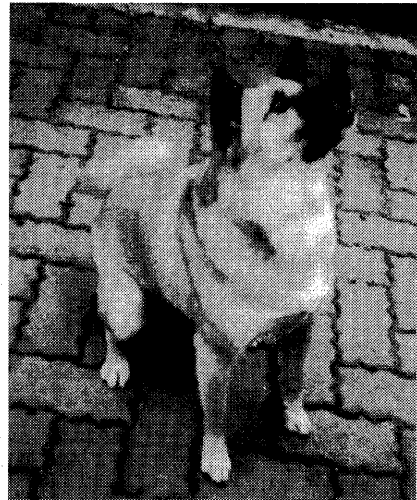


図 4: 入力とした素材画像。



図 5: 画像モーメントを利用して生成した油彩画風画像。

おり、詳細な部分が適切に表現されている。

### 3.4 画像モーメントを用いた属性決定手法に関する考察

画像モーメントを利用することで、ブラシストロークの、適切な形状と描く順序を決定できることを示した。

しかしながら、本手法に関しては、いくつか検討すべき課題が残されている。

第一に、jittered grid を用いて仮位置を決定したが、以下のような問題点がある。

1. 仮位置が、素材画像の詳細部分を外れると、その詳細部分は見逃されてしまう。
2. 詳細な模様が入り組んだ場所では、ブラシストロークが細かくなり、隙間が生じてしまう。

第二に、ブラシストロークの大きさ属性の制御の問題点がある。画像モーメントを計算するためのウィンドウの大きさにより、ユーザはブラシストロークの大きさの最大値を指定できる。しかし、色彩が単調な領域では、ブラシストロークがウィンドウと同じ正方形になってしまう。このようなブラシストロークは不自然な感じを与えるので、アスペクト比などに関する制約を与えることが適当と思われる。

#### 4 実存する油彩画の特徴を用いた画像生成

本研究では、ブラシストロークの塗り重ねによる画像生成手法を前提とし、実存する油彩画の特徴を用いた油彩画風画像の生成を目標としている。従来、ブラシストロークの各属性は、素材画像と、素材画像から導かれる勾配などの情報によってのみ決定されていた。そこで、ブラシストロークの属性の決定にあたって、ゴッホやルノワールといった実存した画家が描いた油彩画の特徴を分析し、その結果を反映させることを考えている。つまり、油彩画風画像に変換する素材画像を入力する際に、「この絵画の雰囲気であってほしい」という参照画像を与える。この参照画像の特徴として、ブラシストロークの属性決定に利用可能なものとして、たとえば、次の2つが考えられる。

##### 4.1 色分布の特徴を用いた色属性の決定

実存する油彩画の特徴として、画像の色調の違いがある。離散化・量子化されている画像データに関して、色空間での3次元のヒストグラムが考えられる。これは、離散化された色空間内の色と、その色が画像データに出現する頻度とを関連づけたものである。素材画像と参照画像に関して3次元ヒストグラムを生成する。素材画像ヒストグラムから参照画像ヒストグラムへの写像が求められれば、参照画像の色分布にしたがった色属性の決定を行えると考えられる。

##### 4.2 画像モーメントを用いた、大きさおよびテクスチャ属性の決定

同様に、油彩画の特徴としては、タッチと呼ばれる筆使いが挙げられる。タッチは、ブラシストロークの大きさの違い、テクスチャ属性の違い、と考えられる。現在、画像モーメントを利用して、参照画像のブラシストロークの大きさを推定する可能性を検討している。これが実現されると、等価な長方形領域内で色差のテクスチャを切り出し、これをタッチに応用できると考えられる。

##### 5 まとめ

本報告では、画像モーメントによる油彩画風画像の生成手法を提案した。本手法では、ブラシストロークの形状を適切に制御でき、詳細部分を損なうことなく、油彩画風の画像が生成できた。また、この手法をもとに、実存する油彩画の特徴を用いた画像生成の可能性を検討した。

##### 参考文献

- [1] John Lansdown and Simon Schofield, *Expressive Rendering: a Review of Nonphotorealistic Techniques*, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 15, No. 3, 1995.
- [2] 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, 1998.
- [3] Aaron Hertzmann, *Painterly Styles for Expressive Rendering*, SIGGRAPH 98 Conference Proceedings, 1998.
- [4] Paul Haeberli, *Paint By Numbers: Abstract Image Representations*, SIGGRAPH 90 Conference Proceedings, 1990.
- [5] Peter Litwinowicz, *Processing Images and Video for an Impressionist Effect*, SIGGRAPH 97 Conference Proceedings, 1997.
- [6] Barbara J. Meier, *Painterly Rendering for Animation*, SIGGRAPH 96 Conference Proceedings, 1996.
- [7] William T. Freeman, David B. Anderson, Paul A. Beardsley, Chris N. Dodge, Michal Roth, Craig D. Weissman, William S. Yezazunis, Hiroshi Kage, Kazuo Kyuma, Yasunari Miyake and Ken-ichi Tanaka, *Computer Vision for Interactive Computer Graphics*, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 18, No. 3, 1998.