

## 視覚混色に基づくアーティスティックメディアにおける構成色の自動選択

山本 茂文<sup>1</sup>, 茅 暁陽<sup>2</sup>, 今宮 淳美<sup>2</sup>

- 1 山梨大学大学院工学研究科
- 2 山梨大学工学部コンピュータメディア工学科

一般的に色鉛筆画やパステル画を描く場合,用意できる色には限りがある.よって,限られた色で様々な色を表現するために視覚混色という技法を用いる.視覚混色とは,ある色を表現する際に,紙の上に複数の色を置く事によってその色を表現するという手法である.この手法を用いることは,表現できる色の幅を増やすだけでなく,さらにそれが色鉛筆画やパステル画の持つ独特の雰囲気を生み出す理由の一つとなる.しかし,このような手法はどの色を混ぜれば目的の色を表現できるかを判断するのに豊富な知識と経験が必要であり,混色に関する知識のない素人にとっては難しい手法と言える.そこで,本研究では与えられた画像に対して視覚混色を考慮し,入力画像を色鉛筆画やパステル画に自動変換するシステムの構築を目的とする.

## Automatic Color Selection in Optical Blending Based Artistic Media

Shigefumi Yamamoto<sup>1</sup> Xiaoyang Mao<sup>2</sup> Atsumi Imamiya<sup>2</sup>

- 1 Graduate School of Engineering, Yamanashi University
- 2 Department of Computer and Media Engineering, Yamanashi University

Generally the number of colors which can be prepared in drawing colored pencil drawing or pastel drawing is restricted, and a technique based on optical blending is used to represent various colors with the limited set of primitive colors. Optical blending reproduces a target color by blending two or more colors on paper. Not only for creating a large number of colors, optical blending is also one of the major technique contributes to the particular gentle and soft atmosphere of colored pencil or pastel drawings. However the correspondence between the target color and the primitive colors can only be learnt through experience and it is difficult for beginners to use such a technique. In this paper, we propose a technique for automatically selecting best matching primitive colors in computer generated colored pencil drawing or pastel drawing.

### 1 はじめに

近年,コンピュータグラフィックス(CG)分野において,非写実的レンダリング(Non-Photorealistic Rendering: NPR)に関する研究が注目され,これまでに絵画風画像の生成を始め,伝統的な芸術メディアやスタイルをシミュレートするさまざまな技法が提案さ

れている[2].本研究では,様々な芸術メディアの中でも,視覚混色という技法を使用するメディアに着目した.

一般的に色鉛筆画やパステル画を描く場合,用意できる色には限りがある.よって,限られた色で様々な色を表現するために視覚混色という技法を用いる.視覚混色とは,ある色を表

現する際に、紙の上に複数の色を置く事によってその色を表現するという手法である。この手法を用いることは、表現できる色の幅を増やすだけでなく、さらにそれが色鉛筆画やパステル画の持つ独特の雰囲気を生み出す理由の一つとなる。その様子を図1に示す。

しかし、このような手法はどの色を混ぜれば目的の色を表現できるかを判断するのに豊富な知識と経験が必要であり、混色に関する知識のない素人にとって利用が困難である。

そこで、本研究では与えられた画像に対して視覚混色を考慮し、入力画像を色鉛筆画やパステル画に自動変換するシステムの構築を目的とする。本稿では、印刷の分野で提案されている入力画像を2色または任意数のインクで再現する手法を利用し、入力画像の色に合わせて描画に使われて最適な色を自動選出する、またはユーザが指定した色の使用割合を自動算出する方法を提案する。



図1：色鉛筆による視覚混色手法の例

## 2 関連研究

色鉛筆画やパステル画生成法に関する研究

には、高木ら[9]や、村上ら[11]による研究がある。

高木らの手法は、紙の微細構造を3次元ボリュームデータとしてモデリングし、運筆方向、紙の性質による顔料受理性の差などをパラメータとして、色鉛筆の芯の到達可能性を算出し、より実際の現象に近い顔料付着を実現している。そして、色鉛筆の芯が付着されている紙のボリュームデータをボリュームレイトレーシングによりレンダリングすることによって、リアルな色鉛筆画を描画する。村上らの手法は、三次元モデルを入力データとし、顔料の支持体（紙など）の凹凸や描画技法、ストロークの交差部分の混色を考慮した顔料付着モデルを作成する。そして、そのモデルをレンダリングすることで三次元モデルをパステル画風に変換する。

この2つの手法において、描画に使われる色はユーザが指定すると仮定され、3次元モデルの表面の色や、目的となる色に合わせて、描画に使用する色を自動選択、また指定された基本色をどのぐらいの割合で描画するかを自動決定する方法は明らかにされていない。

## 3 本システムの基本となる技術

印刷の分野において Power らにより入力画像を2色のインクで再現する技術が提案されている[5]。また、Stollnitz らによって、任意の数のインクで入力画像を再現する技術が提案されている[7]。これらの研究で提案されている技術は本システムを構築する上で基本となる。ここでは、現時点で実装を完了している Power らによって提案された技術を説明する。

Power らのシステムではまず、ユーザが入力画像を再現する際に使用したいインクの色を0~2色選択する。システムは選択したインクが2色でなければ2色になるように残りのインクの色を自動的に選択する。そして、その2色のインクを用いて入力画像を再現する。

このシステムはハーフトーン印刷を想定しており、印刷の分野ではハーフトーン（網点）を用いることで中間調を表現する。普通はシアン・マゼンタ・イエロー・ブラックのインクを使って印刷を行う。

ハーフトーン印刷により色を再現する際の基礎理論として,下記の Neugebauer の式[6]がある .

$$\begin{aligned}
 c &= (1-\alpha_1)(1-\alpha_2)(1-\alpha_3)g_0 \\
 &+ (\alpha_1)(1-\alpha_2)(1-\alpha_3)g_1 \\
 &+ (1-\alpha_1) (\alpha_2)(1-\alpha_3)g_2 \\
 &+ (\alpha_1) (\alpha_2)(1-\alpha_3)g_{1,2} \\
 &+ (1-\alpha_1)(1-\alpha_2) (\alpha_3)g_3 \\
 &+ (\alpha_1)(1-\alpha_2) (\alpha_3)g_{1,3} \\
 &+ (1-\alpha_1) (\alpha_2) (\alpha_3)g_{2,3} \\
 &+ (\alpha_1) (\alpha_2) (\alpha_3)g_{1,2,3}
 \end{aligned}$$

ここで,  $g_0$  は紙の色を示し,  $g_i$  はインク  $i$  の色を示し,  $g_{i,j}$  はインク  $i$  と  $j$  を重ねた色,  $g_{i,j,k}$  はインク  $i, j$  及び  $k$  を重ねた色を示している . これらに入る値はそのインクの XYZ 色空間における座標値である .  $\alpha_i$  はインク  $i$  の量の割合を示しており, 0 から 1 の値をとる . この技術では, 上記のように 3 色ではなく 2 色を扱うので, Neugebauer の式は以下のようになる .

$$\begin{aligned}
 c &= (1-\alpha_1)(1-\alpha_2)g_0 \\
 &+ (\alpha_1)(1-\alpha_2)g_1 \\
 &+ (1-\alpha_1) (\alpha_2)g_2 \\
 &+ (\alpha_1) (\alpha_2)g_{1,2}
 \end{aligned}$$

この 2 色の場合の Neugebauer の式によって作られる印刷可能な色領域は図 2 のような双一次曲面になる . 3 次元空間に広がる入力画像の色領域をこの曲面にマッピングすることで, それぞれの色に対するインクの量  $\alpha_1$  と  $\alpha_2$  が求まり, 入力画像を 2 色で再現することが可能となる .

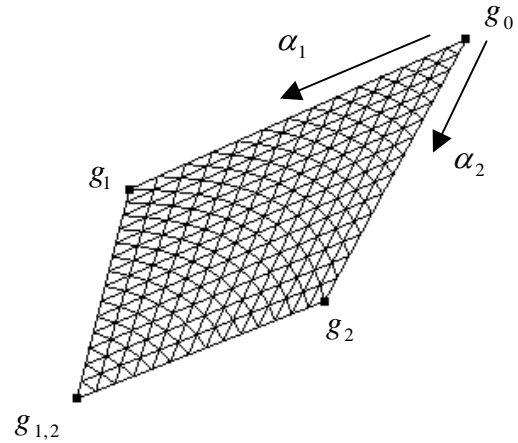


図 2 : Neugebauer の式によって作られる双一次曲面

### 双一次曲面へのマッピング

双一次曲面へのマッピングは 3 つの手順を経て行われる .

#### 明度方向の変換

まず, 人間は明度の変化に敏感であるため, 最初は明度の情報をできるだけ保持する変換を行う . 具体的には色空間 XYZ の Y 軸方向は明度を表す方向であるので Y 軸方向に対して, 曲面に収まるように変換する ( 図 3 ) .

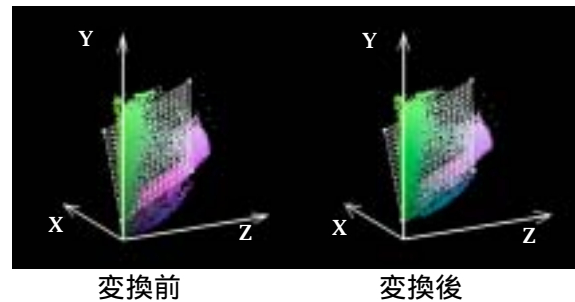


図 3 : 明度方向 Y の変換

#### インクの広がり方向の変換

次に色のバリエーションの保持するための変換を行う . 色の広がりを表す  $g_2 - g_1$  方向を

Sとし、S軸方向に対して、双一次曲面に収まるように変換する。この時、SがYに対して垂直でなければ垂直となるように変換する（図4）。

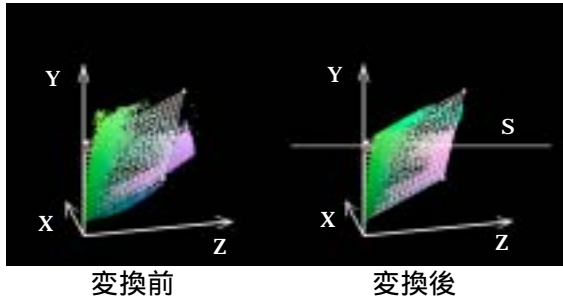


図4：インクの広がり方向Sの変換

#### 曲面への投影

最後に、Y、S軸に垂直な方向Pに対して、双一次曲面に投影を行う（図5）。

このようにして、3次元空間に広がる入力画像の色領域を双一次曲面にマッピングする。

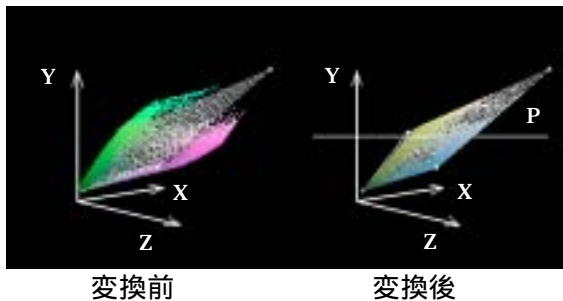


図5：P方向の曲面への投影

#### インクの自動選択

インクを選択では入力画像と、2色で再現された画像の差が最も小さくなるようなインクの組み合わせを見つけ、それを使用するインクとする。インクの組合せは膨大なのですべての組み合わせを調べることは膨大な時間を必要とするので実用的ではない。そこで、最適化問題を解く手法である Simulated Annealing（焼きなまし法）[3]を用いて最適なインクの組み合わせを求め、この手法は鉄などの焼きなまし過程を模倣し、最適化問題を解く手法である。

#### 4 本研究で利用している鉛筆画生成手法

本研究では色鉛筆画を生成する技術に Maoら[4]が提案した鉛筆画自動生成法を利用している。

Maoらが提案した鉛筆画自動生成法は、鉛筆画のストロークと流れ場の可視化手法である LIC法[1]の出力画像との相似点に着目し、LIC法を利用して鉛筆画の自動生成を行う。LIC法はホワイトノイズの流れに沿ってぼやけさせることで流れ場を可視化する手法である。これを利用して鉛筆画を生成するためには、まず入力画像の各ピクセルの明るさに応じたホワイトノイズ画像を生成する。同時に、入力画像をテクスチャにより領域分割し、各領域に対してテクスチャ解析の結果をもとに、またはランダムにストローク方向を与えるベクトル場を定義する。次に、生成したホワイトノイズ画像とベクトル場にLIC法を適用しストロークを生成する。続いて得られた画像にエッジ検出により入力画像から検出した輪郭線を重ね、紙の凹凸を擬似的に表わす画像との合成を行い、出力画像を生成する。

#### 5 色鉛筆画生成手法

現段階では入力画像に対して Powerらの手法を適用し求めたインクの量 $\alpha_1$ と $\alpha_2$ を用い、Maoらの鉛筆画生成手法に応用することによって入力画像から色鉛筆画の生成を行った。

まず、入力画像（図6）にPowerらの手法を適用すると画像のピクセルごとにインク1の量 $\alpha_1$ とインク2の量 $\alpha_2$ が求まる。その値からピクセルの色を決定し、入力画像を再現すると図7の画像が得られる。

Maoらの鉛筆画生成法では入力画像の明るさに応じてホワイトノイズを生成するが、本手法ではその値からノイズを生成する。大局的にとらえるとピクセルごとの $\alpha_1$ はそのインクがそのピクセルに使用される確率とみなすことができる。そこで、ピクセルごとに $\alpha_1$ の確率でインク1の色を置き、図8の画像を生成する。インク2についても同様の処理を行う（図9）。

続いて、領域分割は行わずに、生成した二つのノイズ画像に対してそれぞれ同じ方向に

ベクトル場を定義し,生成したノイズ画像とベクトル場にLIC法を適用してストロークを生成し,図10・11の画像を生成する.そして,最後にこの二つの画像を減法混色によって重ね合わせ,色鉛筆画像として出力する.その結果を図12に示す.



図6：入力画像

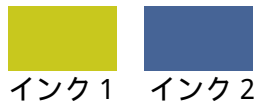


図7：使用した2色のインクとそれによって再現される画像



図8：インク1のノイズ画像



図9：インク2のノイズ画像



図10：インク1のストローク



図 1 1 : インク 2 のストローク



図 1 2 : 出力画像

## 6 まとめ

今回はMaoらの手法を用いて色鉛筆画を生成したが、LIC法を適用することで元の の値を正確に反映できていない可能性がある。

今後、描画部分を改良しストロークとインクの量の正確な対応付けを行い、より再現画像に忠実な描写ができるようにしていきたいと考えている。また、今回は輪郭線の描画を行っていないが、輪郭線は物体の構造を表す上で重要と考えられるので輪郭線の描画方法も考える必要がある。最終的には、Stollnitzらの技術も実装し、3色以上使用した色鉛筆画も生成可能にする予定である。

## 参考文献

- [1] B. Cabral and C. Leedom : "Imaging Vector Field Using Line Integral Convolution", SIGGRAPH93 conference Proceeding, pp.263-270 (1993)
- [2] B. Gooth and A. Gooth. Non-Photorealistic Rendering. A K Peters, 2001.
- [3] Kirkpatrick,S., Gelett Jr. CD, and Vecchi,MP. Optimization by Simulated Annealing. Science, Vol.220, No.4598, pp.671- 680. 1983.
- [4] X Mao, Y Nagasaka and A Imamiya. Automatic Generation of Pencil Drawing from 2D Images Using Line Integral Convolution, Proceedings of CAD/GRAPHICS2001, PP.240-248, August. 2001.
- [5] Joanna L .Power, Brad S. West, Eric J. Stollnitz, and David H. Salesin. Reproducing Color Images as Duotones. In *Proceedings of SIGGRAPH96*, pages 237-248, 1996.
- [6] Kazuo Sayanagi, editor. *Neugebauer Memorial Seminar on Color Reproduction*, volume 1184 of *Proceedings of the SPIE*. SPIE, Bellingham, WA, 1990.
- [7] Eric J. Stollnitz, Victor Ostromoukhov, and David H. Salesin. Reproducing Color Images Using Custom Inks. In *Proceedings of SIGGRAPH 98*, pages 267-274. ACM, New York, 1998.
- [8] イアン・ハットン・ジェイミスン著. 大内誠司・川本道彦訳. 色鉛筆で描く. MPC. 1990.
- [9] 高木佐恵子, 藤代一成, 中嶋正之. 色えんぴつ画周辺技法のボリュームモデリング. 情報処理学会論文誌, vol.41, no.3, pp.616-624. 2000年3月.
- [10] フォーラム 11 編, 鉛筆アート. 遊友出版. 1998.
- [11] 村上恭子, 鶴野玲治. 顔料及び支持体の特性を考慮したパステル画風レンダリング. 芸術科学会論文誌, Vol.1, No.2, pp.89-96. 2002.