

カラー画像の点再配置法を用いた描画法によるスケッチ風画像の生成 Sketch Style Drawing of Color Images using Point Redistribution Method

長船 光紘

Mitsuhiro Osafune

南葉 宗弘

Munehiro Namba

東京学芸大学 教育学部 技術・情報科学講座

Department of Technology and Information Science, Tokyo Gakugei University

1 はじめに

コンピュータグラフィックスにおいて、ノンフォトリアスティックレンダリングと呼ばれる手法が研究されている。Secordらによって提案された確率分布に基づいた点再配置法もその一つであり、比較的高速なレンダリング法として知られている [1]。この手法は画像の輝度値をもとに導き出した確率密度関数に従って点描画画像を生成するものであり、グレイスケール画像が対象となる。

本研究では、Secordらの点再配置法を拡張させ、カラー画像に適用可能な手法を提案し、複数のペン色からなるスケッチ風画像の生成を試みる。カラー画像へ適用するには、点が配置される確率を、用意したペン色の数だけ定義し直す必要がある。提案法ではi)RGB空間におけるペン色とピクセル色の色距離、ii)HSI空間におけるペン色とピクセル色の色相差から確率密度関数を導き出す。

また、スケッチ風画像を生成するために、描画する単位を線とし、勾配の大きな部分には、勾配と直交させるような太線を配置する。さらに、多くの中間色が生成されるように、異なるペン色の線が重なるようなときにはペン色の平均の値を取り描画を行った。

2 点再配置法

Secordらの手法は、画像領域全体を覆うような m 個の点をランダムに配置し、画像の輝度値から導き出される確率密度関数に従って各点を再配置する。

n 個のピクセルからなる画像中において、任意の1ピクセルの座標を $x_i, i=1, \dots, n$ とする。 m 個のランダムに配置された点が確率密度関数 $q(x_i)$ に従って再配置されるとき、この座標に点が置かれる確率 $p(x)$ は、

$$p(x_i) = 1 - (1 - q(x_i))^m \quad (1)$$

すなわち、 $q(x)$ は以下の式で求まる。

$$q(x_i) = 1 - \sqrt[m]{1 - p(x_i)} \quad (2)$$

点再配置後の x_i の近傍領域の平均輝度値と、元画像の x_i の輝度値が等しくなるようにするため、確率 $p(x)$ は輝度値 $I(x)$ 、 $0 \leq I(x) \leq 1$ と一致すると考える。

点の総数 m は、確率密度関数の総和が1であることから

$$\sum_{i=1}^n q(x_i) = 1 \Leftrightarrow \dots \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n \sqrt[m]{1 - p(x_i)} = n - 1 \quad (3)$$

より、簡単な数値計算で求まることがわかる。

Secordらの手法をカラー画像へ拡張するには、 $p(x_i)$ に相当する確率関数を各ペン色毎に定義しなければならない。

3 カラー画像への適用

3.1 RGB空間における描画法

RGB空間を $[r, g, b]$ 、 $0 \leq r, g, b \leq 1$ と定義し、8種のペン色、赤= $[1, 0, 0]$ 、緑= $[0, 1, 0]$ 、青= $[0, 0, 1]$ 、黄= $[1, 1, 0]$ 、マゼンタ= $[1, 0, 1]$ 、シアン= $[0, 1, 1]$ 、黒= $[0, 0, 0]$ 、灰= $[0.5, 0.5, 0.5]$ を用意する。

x_i におけるピクセルの色が $w = [w_r, w_g, w_b]$ であるとき、ペン色 $c = [c_r, c_g, c_b]$ との距離は

$$D(c, w) = \sqrt{(c_r - w_r)^2 + (c_g - w_g)^2 + (c_b - w_b)^2} \quad (4)$$

で表すことができる。この距離はペン色とピクセル色の違いの度合いを表すので、距離が大きくなるほどそのペン色が用いられる確率が低くなるのが望ましい。従って、以下の式のように x_i に対してペン色 c を用いる確率を定義する。

$$p(x_i, c, w) = \max \left\{ 0, \frac{(d - D(c, w))}{d} \right\} \quad 0 \leq d \leq \sqrt{3} \quad (5)$$

ここで d はRGB空間においてペン色 c が用いられる可能性を持つ範囲を示す値である。

d が大きな値である場合、ペン色が塗られてほしくない画像領域にも配置される傾向が強くなり、また描画する点の総数も増える。逆に小さな値であると、ペン色が塗られるべき領域に対して配置されず、点の総数も少なくなる。

3.2 HSI空間における描画法

HSI空間を $[\theta, s, I]$ 、 $0 \leq \theta < 2\pi$ 、 $0 \leq s, I \leq 1$ で定義し、7種のペン色、赤= $[0, 1, 1]$ 、緑= $[2\pi/3, 1, 1]$ 、青= $[4\pi/3, 1, 1]$ 、黄= $[\pi/3, 1, 1]$ 、マゼンタ= $[5\pi/3, 1, 1]$ 、シアン= $[\pi, 1, 1]$ 、黒= $[0, 0, 0]$ を用意する。

ペン色の色相 θ_c を、ピクセル x_i の色相を θ_w とすると、色相差 $|\theta_c - \theta_w|$ を用いて点の配置される確率を定義する。

$$p(x_i, \theta_c, \theta_w) = \max \left\{ 0, \frac{(r - |\theta_c - \theta_w|)}{r} \right\} \quad 0 \leq r < 2\pi \quad (6)$$

r は色相円上でペン色が用いられる可能性のある範囲を示



図1 元画像



図2 3.1節の手法を用いた出力画像



図3 3.2節の手法を用いた出力画像

す. r が大きな値をであれば, ペン色が塗られるべきではない画像領域に配置され, 点が多くなり, 式(5)の d と同様の効果をもたらす.

黒は色相を持っていないので, 画像のピクセル色の彩度 s_w を用いて別に確率を定義する.

$$P_{black}(x_i, s_w) = \exp(-s_w \cdot 5) \quad (7)$$

彩度が小さくなると指数関数的に確率が上がるようにし, 黒のペン色が他のペン色に影響し過ぎないようにする. 式(7)の「5」という値は, 試行錯誤的に決定した.

式(6), (7)で定義した確率は輝度値を考慮していないので, 点を再配置する際, ピクセルの輝度値がペン色の輝度値よりも大きいときには, ペン色を薄く塗る効果として輝度値の差に比例して白色に近づける.

4 実験結果

二つの色空間で各ペン色の点の配置される確率を定義し, それに基づいて描画した結果がそれぞれ図2, 3で, その元画像が図1である(画像の大きさは256*256ピクセル).

3.1節の手法を用いた描画において, 灰色以外のペン色 d は $\sqrt{3}/2$ (ペン色から灰色のペン色までの距離) とした. RGB空間内でペン色の用いられる領域を設定するにあたり, 今回はペン色がRGB空間の頂点にあるため, 対角のペン色との半分の距離が適切な値と考えたからである. 灰色のペン色に関しては, RGB空間内の中央にあるので, 他のペン色の領域に強く干渉しない値として $d=0.15$ と設定した. 図1, 2を比較すると, 元画像の色を表現するために, 用意したペン色を適切に選択していることがわかる. したがって式(5)の確率の定義は, ペン色毎に画像の特徴を捉えており, 妥当であると考えられる. しかし, 用意したどのペン色からも距離が遠いピクセル色で構成された画像の領域には, 異なるペン色がまばらに描画されてしまうような効果が出てしまった. これは用意したペン色が原色に近い色ばかりだったので, 他のペン色を用意することで正しく描画され

ると思われる.

3.2節の手法を用いた実験では, r を最も近いペン色との色相差である $\pi/3$ とした. 図1と3を比較すると, 出力画像はペン色を塗る際に輝度値を変えていることから色が多く, 元画像の色に近い結果が得られたことがわかる. 黒のペン色が適切に描画されれば, 元画像により近い色を表現できると考えられる. 黒以外のペン色は適切な位置に描画しているので, 式(6)のように色相をパラメータとするだけの確率の定義も妥当であると考えられる. 本研究ではHSI空間を円柱状で定義したため, 輝度値の小さいピクセルは視覚的に黒と感じても彩度が大きいことがあり, 式(7)は黒のペン色に対して良好な結果が得られなかった.

5 まとめ

本研究では, Secordらの点再配置法のカラー画像への適用可能な手法をRGB空間, HSI空間における確率の定義から提案し, スケッチ風画像の生成の実現を試みた. ペン色を増やし描画することや, HSI空間における黒色のペン色を正確に表現することが今後の課題である.

参考文献

- [1] A. Secord, W. Heidrich, and L. Streit, "Fast Primitive Distribution for Illustration", Proc. 13th Eurographics Rendering Workshop, pp.215-226, June 2002.
- [2] 井上光平, 浦浜喜一, "点再配置法に基づく点サイズ可変な点描画." 電子情報通信学会論文誌, Vol. J86-A, No.9, pp.1251-1253, Nov. 2003.