

## 補色対比を考慮した筆触分割による点描画風画像生成法

杉田 純一 高橋 時市郎

東京電機大学大学院 工学研究科

**あらまし：** 点描画は線ではなく、点の集合や非常に短いタッチで表現する絵画技法の1つであり、新印象派の画家達によって確立された。新印象派の点描画の最大の特徴は、鮮やかな色を並置する筆触分割により、網膜上で加法混色を起こす、視覚混合という光学現象を巧みに利用していることにある。さらに、補色を並置させることにより、非常に鮮やかな色彩の効果を生むことができる補色対比も工夫している。本稿では、補色対比を考慮した筆触分割をモデル化し、入力画像から点描画風の画像を生成する手法を提案する。実験の結果、良好な結果を得たので報告する。

## A Method of Generating Pointillistic Images Based on Divided Brushstrokes Considering Complementary Color Contrast

Junichi SUGITA Tokiichiro TAKAHASHI

Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University

**Abstract :** We have developed an image generation method based on divided brushstrokes taking into account of complementary color contrast. This technique is called “pointillism”, established by neo-impressionism artists. Pointillism expresses an image by huge numbers of colored points instead of line strokes. Each point is painted by pure color or its complementary color of corresponding pixel color of input image. Several experimental results verified the method generated pointillistic images well.

### 1. まえがき

入力画像から絵画調の画像を生成するノンフォトリアリスティックレンダリング(NPR)技術の研究が盛んに行われている。油絵風[1]や水彩画風[2]の NPR 手法の多くはストロークを重ね合わせて描画しているが、ストロークの色は、主にストロークを描画する画素の位置の入力画像の色が用いられる。入力画像には写真が使用されることが多いが、実際の絵画作品と写真とでは大きく色が異なる。しかしながら、写真の色に対し、どの色のストロークで描画すればよいかについての研究は少ない。

一方、印象派の画家達は、線ではなく、点の集合や非常に短いタッチで表現する点描画と呼ばれる新しい

絵画技法を確立した。点描画は、鮮やかな色を並置する(筆触分割)ことで、網膜上で加法混色を起こす、視覚混合という光学現象を巧みに利用している[3][4]。これは、絵具を混ぜることで、彩度が低下するのを避けるためである。

さらに、新印象派の画家達は、印象派の視覚混合を色彩理論に基づいて探求し、点描主義を確立した。特に、補色同士を並置する補色対比と呼ばれる方法で、より鮮やかな色彩になるよう工夫している。

本稿では、新印象派の中でも、特にスーラの点描技法に着目し、補色対比を考慮した筆触分割をモデル化することで、入力画像から点描画風の画像を生成する手法を提案する。

## 2. 関連研究

点描画風画像を生成する従来手法として Jing らの手法[5]がある。しかし、色の選択に用いる情報が局所的であり、補色の求め方も厳密性を欠いている。

点描画以外で、色の選択方法を考慮した NPR 法として山本らの手法[6]がある。山本らは視覚混色を考慮した鉛筆画を生成している。

筆者らは、視覚混色を考慮した貼り絵風画像を生成する手法[7][8]を提案している。限られた色紙の色の中から、入力画像の色に近い色を複数選択し、並置させることで視覚混合の効果を実現している。

しかし、両手法とも補色対比の効果まで考慮されていない。

## 3. 点描画の理論

### 3.1 概要

点描画技法を駆使した代表的な画家であるスーラは、ルードの著書「現代色彩理論」[9]を色彩理論の主な情報源としていた。

ルードによれば、隣合わせに置かれた二つ以上の色彩が、遠くから見ると混じり合ってひとつの色に見える光学現象を視覚混合という。視覚混合の効果を実現するために、複数の色を並置させることを筆触分割という。この2つの技法が点描画技法の理論的な背景となっている。

本章では、どのような理論に基づいて筆触分割が行われているかと、実際のスーラの油絵の制作手順について述べる。

### 3.2 ルードの「現代色彩理論」

ルードの色彩理論[3][9]は以下の2点に要約できる。

1. 画家は絵具を過度に混ぜるべきではなく、可能な限り純粋な顔料を混合せずに、隣同士に並べた方がよい。
2. 補色同士は、人間の目の中で互いに補い合い、引き立てあい、非常に鮮やかな色彩の効果を生む。

顔料の混色は減法混色であるため、パレットの上で補色の関係にある顔料を混ぜ合わせると、暗く濁ってしまう。一方、光の混色は加法混色であるため、キャンバス上に原色のままで並置することで、波長の異なった光として目に到達し、混ざり合い、鮮やかに見える。また、補色同士を隣同士に置くことで、より鮮やかに見える効果（補色対比の効果）がある。

文献[4]によれば、スーラのパレットに並んでいる絵具を見ると、チューブから出した純色と白色絵具だけが確認でき、隣り合う色相の色と白色絵具のみ混色さ

れている。白色絵具は光の表現に重要な役割を果たし、白色絵具の量の加減によって明度調整が行われる。

### 3.3 スーラの油絵の制作手順

文献[4]によれば、スーラの作品の制作手順は、構図や配色の練り上げなどの準備を除くと、(1)エボシュ（下地の粗描）、と(2)点描、の2つの手順に分けられる。

#### (1)エボシュ（下地の粗描）

白色塗料で地塗りされた画布にエボシュと呼ばれる下描きが施される。これは、対象をその固有色で大まかに粗描するものである。エボシュは地塗りの白色が覗き見える程度に描かれている。エボシュが終了した後は点描の絵具と混ざり合うのを防ぐために、乾燥期間が設けられる。

#### (2)点描

エボシュの上から、前節で説明した色彩理論に基づいて点描が施される。点描は点同士が重なり合わないようにながれ、下層のエボシュや白色の地塗りが見えるような密度で描かれている。点の間から見える下層の色も作品に大きな影響を与えている。

## 4. 点描画風画像生成法

### 4.1 概要

3章で述べた理論と手順を基に、入力画像から点描画風画像を生成する手法を提案する。

(1) エボシュを実現するために、まず、Poisson Disk Sampling 法[10]を用いて同じ大きさの円を配置する。配置した円の中心の位置に対応する入力画像の位置の色で円の内部を塗りつぶす。

(2) 次に、筆触分割の適応領域を決定するために、画像全体に Gaussian Filter を施してノイズの除去を行った後、CIE-L\*a\*b\*色空間で領域分割を行う。

(3) 続いて、分割された領域毎に筆触分割アルゴリズムを適用する。筆触分割アルゴリズムの概要は次の通りである。

- ① まず、任意の領域の色に対して、その色の純色と補色を求める。
- ② 求めた純色、補色と領域の色との距離をそれぞれ計算する。これによって、純色、補色、それぞれの色の円をいくつ配置するかが決まる。
- ③ 次に、Poisson Disk Sampling 法により、分割された領域の中に配置する円の数と位置を求める。
- ④ ステップ②で求めた距離の比に応じて、ステップ③の円の総数に占める純色と補色の割合を求め、それぞれの色で円を描画する。

(4) 最後に、エボシュと筆触分割の画像を合成し、点描画風画像を生成する。

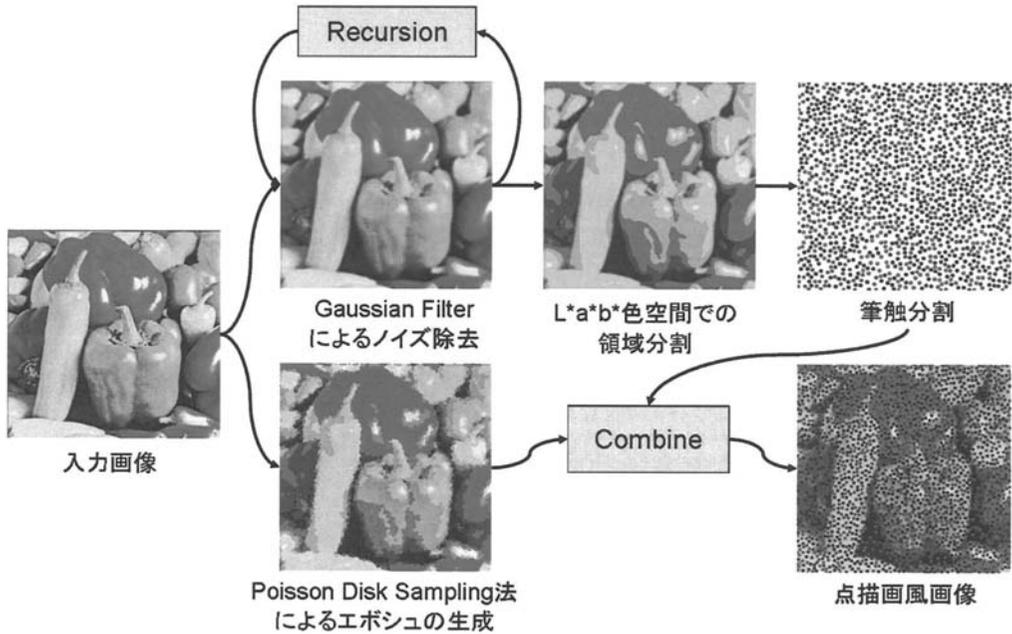


図1 点描画風画像生成処理の流れ

以上述べた提案手法の処理の流れを図1に示す。なお、提案手法では均等知覚色空間である CIE-L\*a\*b\*色空間上で処理を行う。以下、各処理内容を説明する。

#### 4.2 エボシュ

エボシュを実現するために、入力画像と同じ大きさの白いキャンバスに Poisson Disk Sampling 法を用いて円を描画する。Poisson Disk Sampling 法はランダムに円を配置する際に、円同士の距離を比較することで、画面内に円が偏らないように配置する手法である。

すなわち、基本的にはランダムに点を配置していくのだが、 $d_{ij} < \alpha(r_i + r_j)$ ならば円を配置不可能と判定する(図2)。ここで、 $r_i$ はすでに配置された円の半径、 $r_j$ は次に配置しようとしている円の半径、 $d_{ij}$ は2つの円の中心点間の距離である。この  $d_{ij}$ の値に関する条件判定を加えることで、画面内に円が偏らずに配置できる。また、係数  $\alpha$ の値を変更することで、円の密度を制御することができる。

ここでは、 $\alpha$ を1以下にして、円を重ねて配置し、円の中心の画素の位置に対応する入力画像の色で円を塗りつぶす。

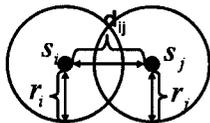


図2 Poisson Disk Sampling 法の円の配置判定

#### 4.3 領域分割

次に、同じ色の領域内に、その純色と補色の関係にある鮮やかな色を2色並置する、筆触分割処理を行う。そのために、筆触分割処理を適用する範囲を決定するために領域分割を行う。

まず、入力画像に Gaussian Filter を施し、ノイズを除去する。次に、CIE-L\*a\*b\*色空間で L\*値を均等に m 分割して、m 個のクラスタを構成する。同じクラスタに属する画素の集合がひとつの領域を構成することとする。各画素の L\*値から画素の属する領域を決定する。領域毎にそこに属する画素の a\*値と b\*値の平均をそれぞれ求め、その領域の代表値とする。

#### 4.4 筆触分割

分割された各領域の代表値から、(1)その純色と補色の関係にある鮮やかな2色を求め、(2)それぞれの色の円の数を決定し、その2色を並置する。この処理を筆触分割処理と呼ぶ。

##### (1)純色と補色を求める

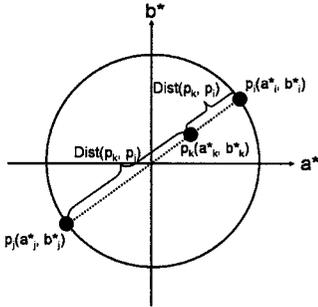
筆触分割により並置する点の位置決めにも Poisson Disk Sampling 法を用いる。Poisson Disk Sampling 法の係数  $\alpha$ の値を大きく取り、円の間隔を広げて、下地であるエボシュが見えるようにする。

図3に示すように、各変数を定義する。ある画素の色  $p_k(a^*_k, b^*_k)$ を入力画像の a\*値、b\*値とする。このとき、筆触分割のための2色の a\*値、b\*値は、原点と  $p_k$ を通る直線と、CIE-L\*a\*b\*色空間の a\*b\*空間上

の原点を中心とする円との交点の値となる。

ここで求める2色  $p_i(a^*_i, b^*_i)$  と  $p_j(a^*_j, b^*_j)$  は、それぞれ  $p_k(a^*_k, b^*_k)$  の色の純色とその補色となる。純色とは彩度が最も高い色であり、 $a^*b^*$ 空間上では原点から離れるほど彩度が高くなる。

ここで、 $L^*$ 値は入力画像の値をそのまま用いる。 $L^*$ 値は明度の変化に対応している。スーラも白色絵具を混ぜることで明度を調整しており、明度は陰影や立体感の表現に重要な役割を果たす。



$p_k$  : CIE- $L^*a^*b^*$ 空間の  $a^*b^*$ 空間の任意の点  
 $p_i, p_j$  :  $p_k$  と原点を結んだ直線と円とのそれぞれの交点

図3 筆触分割

## (2)純色と補色の数を求める

ある画素の色  $p_k$  とその純色  $p_i$ 、 $p_i$  の補色  $p_j$  との距離  $Dist(p_k, p_i)$ 、 $Dist(p_k, p_j)$  を求める。ここで、 $L^*a^*b^*$ 空間上の2点  $P_u, P_v$  の  $a^*b^*$ 平面上でのユークリッド距離を  $Dist(P_u, P_v)$  と定義する。

最後に、2色で描画する円のそれぞれの数を  $Dist(p_k, p_i)$  と  $Dist(p_k, p_j)$  の比により求める。ある領域内の Poisson Disk Sampling 法により得られた円の総数を  $N$  としたときの  $p_i$  の円の数  $N_{p_i}$  を式(1)により求める。

$$N_{p_i} = W \times N \times \frac{Dist(p_k, p_j)}{Dist(p_k, p_i) + Dist(p_k, p_j)} \quad (1)$$

一方、色  $p_j$  で塗られる円の総数  $N_{p_j}$  は式(2)。

$$N_{p_j} = N - N_{p_i} \quad (2)$$

により求める。ここで、係数  $W$  は純色と補色で描画されるそれぞれの円の数の割合を調整するための重みであり、 $W$  の値を変更することで、 $N_{p_i}$  と  $N_{p_j}$  の数の割合を制御することができる。

すなわち、Poisson Disk Sampling 法で純色、補色それぞれの色の円を式(1)、(2)で求めた数だけ描画することで、入力画像の色の純色と補色を対比させて、筆触分割した点描画を生成することができる。

図4(a)の入力画像に対して、 $W=1$  で筆触分割を行った例を同図(b)に、 $W=1.2$  で行った例を同図(c)に、 $W=0.5$  で行った例を同図(d)に示す。図4(a)の純色として赤が、その補色として青が正しく選ばれていることがわかる。また、図4(b),(c),(d)から、筆触分割の係数  $W$  に応じて、純色、補色で塗られる円の数が変化している。

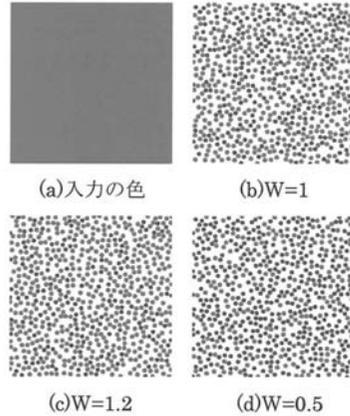


図4 筆触分割の例

## 5. 実験結果

本提案手法の有効性を検証するため、点描画の生成実験を行った。

### 5.1 筆触分割の各領域への適用

図5(a)の入力画像を、 $L^*a^*b^*$ 空間の  $L^*$ の値により6個の領域に分割した結果を図5(b)に示す。両者を比較すると、概ね良好な領域分割結果となっていることが分かる。

同図(c)は入力画像に対して Poisson Disk Sampling 法を適用した結果である。同図(d)はある1つの領域内に Poisson Disk Sampling 法により配置された円を表示したものである。同図(e)は(d)の円に提案した筆触分割法を適用した結果である。同図から、純色の赤、補色の青が点描され、提案手法が正しく実装されているのが分かる。

### 5.2 点描画風画像の生成結果

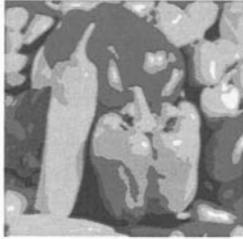
図6、図7に提案手法による点描画風画像の生成結果を示す。図6、図7ともにエポシユは  $\alpha=0.5$ 、筆触分割は  $\alpha=1.0$ 、円の半径  $r=3[\text{pixel}]$  で生成した。

図6(a)は入力画像、同図(b)はエポシユ、同図(c)は領域分割結果である。同図(d)~(f)は  $W$  の効果を見るために  $W$  の値を変更して生成した結果である。

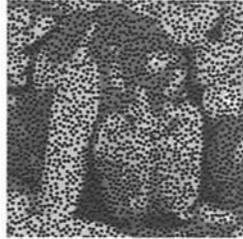
図6(b)を見ると円の隙間からキャンバス地に相当す



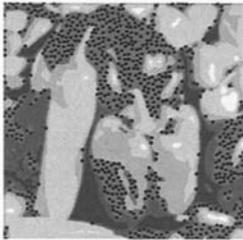
(a)入力画像



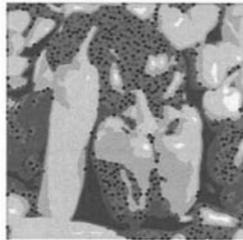
(b)領域分割



(c)入力画像の Poisson Disk Sampling 結果



(d)ある領域内に配置された Poisson Disk



(e)図(d)の領域に対する筆触分割結果

図5 領域毎の筆触分割法の適用結果

る白が覗き見えていることがわかる。図6(d)~(e)でも、筆触分割の点の間から下層のエポシユが覗き見えていることがわかる。

図6(e)は同図(d)より純色の点描数が多く、同図(f)は同図(d)より補色の点描数が多く選択されていることがわかる。

また、図7(a)の入力画像から点描画風画像を生成した結果を同図(b)に示す。適切な補色が選択されているので、画面から離れて遠くから見ると視覚混合の効果が実現されていることがわかる。

## 6. むすび

入力画像から補色対比を考慮した点描画風の画像を生成する手法を提案した。提案手法では、入力画像の色に対して、その純色と補色を求める。次に、入力画像の色、純色、補色間の距離の比に応じて、純色と補色の点描の数を決定する。点描する位置は Poisson Disk Sampling 法により決定する。これにより、筆触

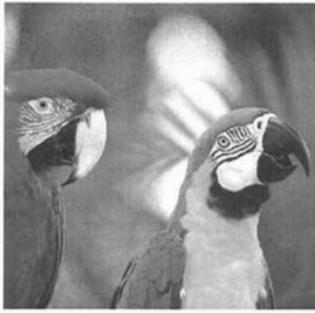
分割を実現した。また、入力画像の色の純色と補色を求めることにより、補色対比の効果も併せて実現した。いくつかの画像に対して提案手法を適用したところ、後期印象派独特の鮮やかな色彩表現が可能になった。

提案した  $L^*$  値による領域分割法では、入力画像の色と分割された領域の色が大きく異なる場合がある。領域統合法などの他の手法も検討する必要がある。

また、提案した筆触分割法では、無彩色に近い色の処理が不十分であった。今回は点描の筆を単純な円で表現したが、楕円や実際の筆のタッチに近い形状を用いることも有用と思われる。また、絵具の凹凸や質感のレンダリングも未着手である。これらは今後の課題である。

## 文献

- [1] A. Hertzmann: "Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes", Proc. of ACM SIGGRAPH'98, pp.453-460(1998)
- [2] C. J. Curtis, S. E. Anderson, J. E. Seims, K. W. Fleischer and D. H. Salesin: "Computer-Generated Watercolor", Proc. of ACM SIGGRAPH'97, pp.21-430(1997)
- [3] ハーヨ・デュヒティング: 『ジョルジュ・スーラ点に要約された絵画』, タッシュンジャパン (2000)
- [4] ポーラ美術館学芸部: 『色彩の瞬き スーラの点描主義からマティスのフォーヴィスムまで』, ポーラ美術館 (2004)
- [5] L. Jing, K. Inoue and K. Urahama: "An NPR Technique for Pointillistic and Mosaic Images with Impressionist Color Arrangement", Proc. of ISVC 2005, pp.1-8(2005)
- [6] 山本茂文, 茅暁陽, 今宮淳美: "視覚混色を考慮した鉛筆画風レタッチング手法", Visual Computing/グラフィックスと CAD 合同シンポジウム 2004 予稿集, pp.49-54(2004)
- [7] J. Sugita and T. Takahashi: "Visionary Mixture Method for Generating Colored-Paper Mosaic Images", ACM SIGGRAPH 2006 Research Posters, No. 115 (2006)
- [8] 杉田純一, 高橋時市郎: "視覚混合を考慮した貼り絵風画像生成法", FIT2006 第5回情報科学技術フォーラム講演論文集, J-039 (2006)
- [9] Ogden Nicholas Rood, 『Modern chromatics: with applications to art and industry』, D. Appleton (1879)
- [10] M. McCool and E. Fiume: "Hierarchical Poisson Disk Sampling Distributions", Proc. of Graphics Interface '92, pp.94-105 (1992)



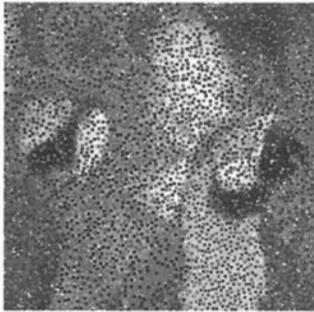
(a)入力画像(512×512画素)



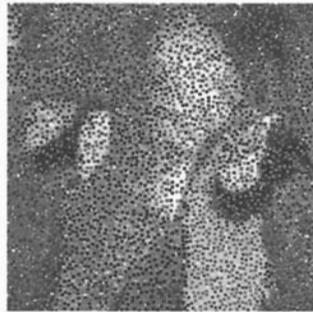
(b)エボシュ



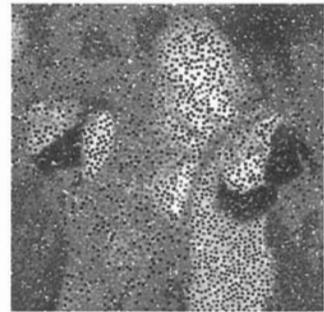
(c)領域分割画像(16階調)



(d)W=1



(e)W=1.4

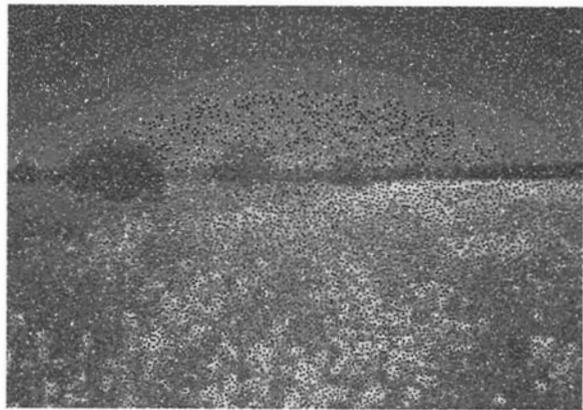


(f)W=0.5

図6 点描画風画像の生成例(1)



(a)入力画像(1200×800画素)



(b)点描画風画像

図7 点描画風画像の生成例(2)