

## 多重スケール分解を用いた非写実的画像生成 Non-Photorealistic Rendering Based on Multi Scale Image Decomposition

瀬川 大勝<sup>†</sup> 岡部 めぐみ<sup>†</sup> 白倉 健太郎<sup>†‡</sup> 斎藤 隆文<sup>†</sup> 宮村 (中村) 浩子<sup>†</sup>  
Hirokatsu SEGAWA Megumi OKABE Kentaro SHIRAKURA Takafumi SAITO Hiroko Nakamura MIYAMURA

### 1. はじめに

近年、非写実的な画像生成 (Non-Photorealistic Rendering, 以下 NPR と記す) の手法を用いて、実写画像を元に絵画風やイラスト風などのさまざまな画風の画像を生成することが広く行われている。しかし、これまでの NPR 手法は、同一プログラム (実装) でさまざまな NPR 表現に対応することが難しかったり、望んだ結果を得るために多くのパラメータ調整を必要とするという問題があった。したがって、実写画像からの NPR 生成を手軽に行うためには、統一的な枠組の中で、少数のパラメータ設定により複数の NPR 表現に対応できる手法が望まれる。

既存の実写画像に基づく NPR 手法は、大きく次の四つに分類することができる。

1. ストロークの配置による手法 [1, 2, 3]
2. 空間フィルタリングに基づく手法 [4, 5]
3. 領域分割に基づく手法 [6]
4. 描画の例示に基づく手法 [7]

これらの中で、我々は二番目に挙げた空間フィルタリングに基づく手法に着目した。この手法は、空間フィルタリングや濃度変換などの単純な画像処理を組み合わせることで画像全体に統一的に施すだけで、NPR として効果的な描画を実現することができる。本論文では、多重スケール分解に基づく統一的な枠組を用いて実写画像からさまざまな NPR 表現を施した画像を生成する新しい手法を提案する。提案手法における画像生成の概略は、次の通りである。

1. 入力画像から色成分を取り除き、輝度を [0, 1] の範囲に正規化
2. スケールの異なる平滑化画像列を生成
3. 隣接するスケールの平滑化画像の差分から帯域通過画像を取得
4. 帯域通過画像に適切な重みを乗じて再合成
5. 適切なバイアス値を加算 (輝度値をプラスまたはマイナス方向にシフトする)
6. 得られた輝度値を表示上の輝度の範囲にマッピング

空間フィルタリングに基づく手法として、たとえば Gooch ら [5] は、サイズの異なる Laplacian-Gaussian フィルタを複数組み合わせることによって、人間の眼に感じる明暗をシミュレートし、実写画像に基づく顔画像のイラスト風描画を実現している。提案手法による高域強調の結果は、この Gooch ら [5] 手法による人間の視覚特性を考慮した brightness に類似している

<sup>†</sup>東京農工大学大学院生物システム応用科学教育部  
<sup>‡</sup>現所属：トッパンフォームズ (株)

(Gooch らの手法では、Laplacian-Gaussian フィルタをサイズの異なる二つの Gaussian フィルタの差分として近似しており、重み付けやバイアスの考え方が若干異なるものの、処理内容は類似のものといえる)。

しかし、提案手法ではパラメータの変更による効果の調節が可能であるほか、低域強調も同じ枠組みの中で実現できるという点で優位性がある。加えて、重み付けやバイアス値を変えることで、さらに新しい NPR 表現にも使うことができる可能性を持っている。

また、提案手法で用いるパラメータは、詳細度を制御するためのスケール、再合成時に用いる重み付けのための係数列およびバイアス値の三種類である。これらのパラメータは、バイアス値による白領域 (地) の制御や、高域をカットすることによるノイズの削減など、描画結果の効果との対応が比較的分かりやすい。

以下、提案手法のアルゴリズム、パラメータ設定とその意味付け、および実験結果を示す。

### 2. 提案手法のアルゴリズム

#### 2.1 画像生成手順

本節では、1章で概略を述べた画像生成手順を順を追って説明する。

入力画像を  $f(x, y)$  とする。まず、スケールを段階的に変化させたガウス関数列  $G_i(x, y)$  (ただし  $i = 1, 2, \dots, n-1$ ) を考える。このとき、 $i$  が大きくなるほど平滑化の効果が大きくなるようにスケールを定める。

$$G_i(x, y) = (2\pi\sigma_i^2)^{-1} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

これらのガウス関数列を用いて平滑化画像列  $F_i(x, y)$  を得る。 $*$  を畳み込み積分を表す演算子とすれば、 $F_i(x, y)$  は次のように書くことができる。ただし、 $F_0(x, y)$  は原画像、 $F_n(x, y)$  は輝度値が一様に 0.5 の画像とする。

$$F_i(x, y) = G_i(x, y) * f(x, y)$$

この平滑化画像列において、隣接する画像の差を取ることによって帯域通過画像列  $D_i(x, y)$  を得る。

$$D_i(x, y) = F_{i+1}(x, y) - F_i(x, y)$$

ここで、重み付け係数列を  $w_i$ 、バイアス値を  $b$  と定めると、帯域通過画像に重みを付けて再合成し、バイアス値を加えることで輝度値をシフトした画像は、次のように書くことができる。

$$\left( \sum_i w_i D_i(x, y) + F_n(x, y) \right) + b$$

このとき、得られた輝度値が  $[0, 1]$  の範囲の画素は、その値に対応する濃淡で描画するが、その範囲を越えた画素は、真白または真黒で描画する。

2.2 実装

提案手法で画像の性質を決める主要なパラメタは、ガウス関数のサイズ (平滑化のスケール) と重み付け係数列、バイアス値である。これらのパラメタ取り方は本質的に自由であるとともに、これらを変化させることでさまざまな表現が期待できるが、今回の実験では次のように定めた。

- ガウス関数のサイズ:  $\sigma_i = 2^{(i-3)/2}$
- 帯域数:  $n = 14$
- 重み付け係数列:  $w_i = a\sigma_{i+1}^p$   
 ( $a$  は定数,  $\sigma_{i+1}$  は隣接帯域間の上限での  $\sigma$  の値)
  - $p = 0$ : 原画像のまま
  - $p < 0$ : 高域強調画像
  - $p > 0$ : 低域強調画像

2.3 パラメタ制御の具体例: 高域強調

本節では、高域強調におけるパラメタ制御の具体例を示す。なお、本節を通して  $a$  は最も低域の重みが 1 (たとえば,  $w_{13} = 1$ ) となるように定めている。

最初に重み付け係数列のパラメタ  $p$  の変化による生成画像の違いを示す。バイアス値を  $b = 0$  と固定し、次に示す  $p$  の値を用いて画像を生成した。

- $p = 0$  ( $a = 1$ ),  $-0.5$  ( $a = 2^{11/4}$ ),  $-1$  ( $a = 2^{11/2}$ )  
 (図 1(a), 図 1(b), 図 1(c))



(a)  $p = 0$  ( $a = 1$ )



(b)  $p = -0.5$  ( $a = 2^{11/4}$ )

(c)  $p = -1$  ( $a = 2^{11/2}$ )

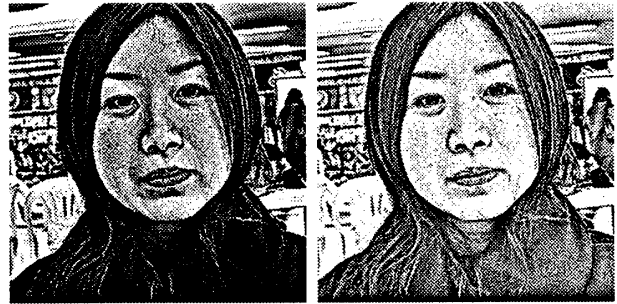
図 1: 重み付け係数の調整 ( $b = 0$ )

$p = 0$  のときはどの帯域も重み 1 で再合成しているので、入力画像と同じものが得られる (図 1(a))。  $p$  を

0 より小さくし高域強調の度合を高めるにつれて、コントラストを強調した表現となる (図 1(b))。  $p$  が  $-1$  程度になると、多くの画素が白または黒に飽和し、ペン画などの表現に似てくる (図 1(c))。

次に、バイアス値  $b$  の変化による生成画像の違いを示す。重みのパラメタを  $p = -1$  ( $a = 2^{11/2}$ ) と固定し、次に示す  $b$  の値を用いて画像を生成した。

- $b = 0, 0.5, 1, 1.5$   
 (図 2(a), 図 2(b), 図 2(c), 図 2(d))



(a)  $b = 0$

(b)  $b = 0.5$



(c)  $b = 1$

(d)  $b = 1.5$

図 2: バイアス値の調整 ( $p = -1$ )

バイアス値を増加させることで、白地に黒いインク (に相当するもの) で描く表現に (さらに) 近づいてゆく。

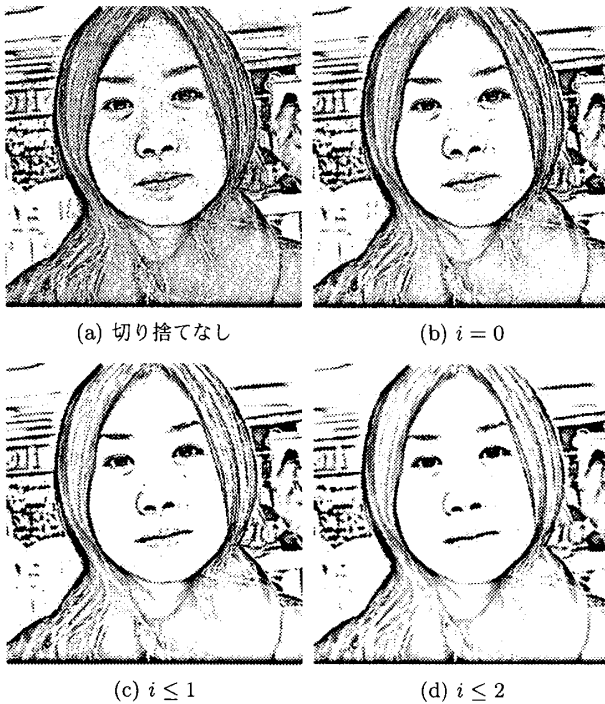
最後に、高域側の帯域を切り捨てる (帯域を使わない) ことによる生成画像の違いを示す。重みのパラメタを  $p = -1$  ( $a = 2^{11/2}$ ), バイアス値を  $b = 1$  と固定し、 $w_i = 0$  となる  $i$  を次のように設定した画像を生成した。なお、比較のために切り捨てなしの画像を図 3(a) として示す。

- $i = 0, i \leq 1, i \leq 2$  (図 3(b), 図 3(c), 図 3(d))

高域側を切り捨てたことで、細かいノイズが除去されるとともに、表現を柔らかくする効果を得ることができる。

2.4 パラメタ制御の具体例: 低域強調

本節では、低域強調におけるパラメタ制御の具体例を示す。なお、本節も節中の  $a$  は最も低域の重みが 1 となるように定めている。まず、比較のために単純な低域通過画像 ( $b = 0.5, w_{10} = 4, w_i = 0$  ( $i \neq 10$ )) を図 4 として示す。

図3: 帯域を切り捨てた効果 ( $p = -1, b = 1$ )

最初にバイアス値  $b$  の変化による生成画像の違いを説明する。重みのパラメタを  $p = 1$  ( $a = 2^{1/4}$ ),  $w_i = 0$  ( $i \geq 11$ ) と固定し、次に示す  $b$  の値を用いて画像を生成した。

- $b = 0, 0.5$  (図 5(a), 図 5(b))

適度なバイアス値を加えることで図と地の領域を制御し、効果的な(特徴が伝わる)画像を生成することができる。特に、単純な低域通過画像(図 4)と比較すると、画像の特徴が残っていることが分かる。

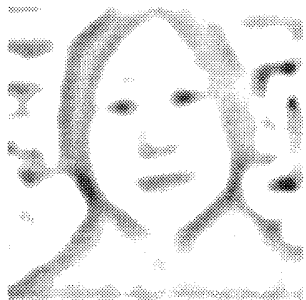
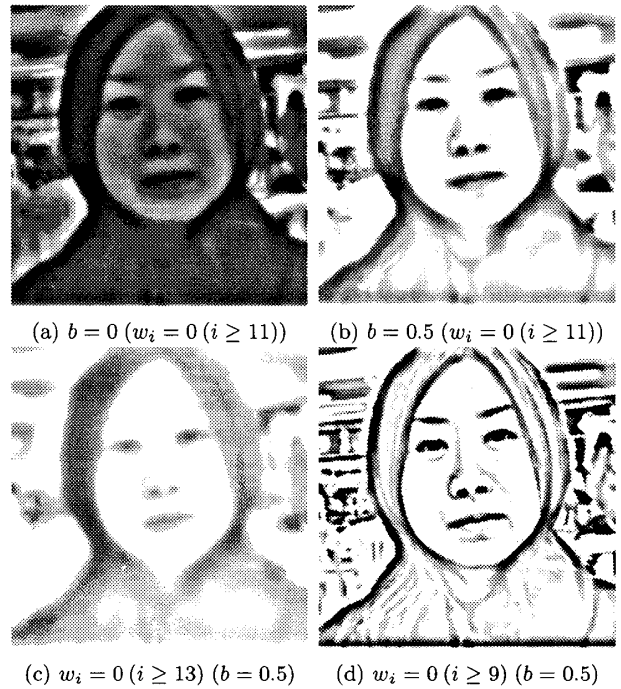


図4: 単純な低域通過画像

次に、低域側の帯域を切り捨てる(帯域を使わない)ことによる生成画像の違いを示す。重みを  $p = 1$ , バイアスを  $b = 0.5$  と固定し、 $w_i = 0$  となる  $i$  を次のように設定した画像を生成した。

- $i \geq 13$  ( $a = 2^{1/16}$ ),  $i \geq 11$  ( $a = 2^{1/4}$ ),  $i \geq 9$  ( $a = 1$ ) (図 5(c), 図 5(b), 図 5(d))

低域側を切り捨てたことで、生成される画像の「ぼかし具合」を制御できることが分かる。

図5: 低域強調でのパラメタ変化 ( $p = 1$ )

### 3. 実験

2章で得られたパラメタの性質に基づき、本章ではいくつかの異なる入力画像に対して画像を生成する。パラメタの基本的な条件は前章と同じとした(具体的な値は各図中に示す)。

異なる入力画像(図 6(a), 図 7(a), 図 7(b))に対して、高域強調画像と低域強調画像を作成した。図 6(a)に対する結果(図 6(b), 図 6(c))では、木立の領域の細かいテクスチャと建物の稜線の特徴を保持しており、提案手法が風景画に対しても有効に(絵画的な表現として効果的に)働いていることが分かる。また、図 7(a), 図 7(b)は、比較的厳しい照明条件であるが、それぞれの顔の特徴を損なわない描画結果を得ている(図 7(c), 図 7(d), 図 7(e), 図 7(f))。

### 4. 提案手法の評価・考察

提案手法では、多重スケール分解を用いることで帯域ごとの系統的な詳細度の制御を可能としている。本論文では、高域と低域に絞って議論したが、提案手法では意図する画像の生成とパラメタの関係が比較的明らかことから、同一の枠組でさまざまな描画結果が期待できる。たとえば、密に書き込みたい部分(テクスチャなど)と粗い描写の部分(輪郭線など)の制御を従来に比べて簡単に行なうことができる。

今回の実験で、スケールの制御とともに適切なバイアス値を加えることが重要であることが分かった。このことは、バイアス値を1にしたときに再合成時の輝度変調の基準レベル(バイアスをかける前の輝度値0のレベル)が、描画時の白の飽和レベルと一致していることに起因する。このため、バイアス値を制御することで、輪郭線などの特徴を示す部分を(黒で)描画

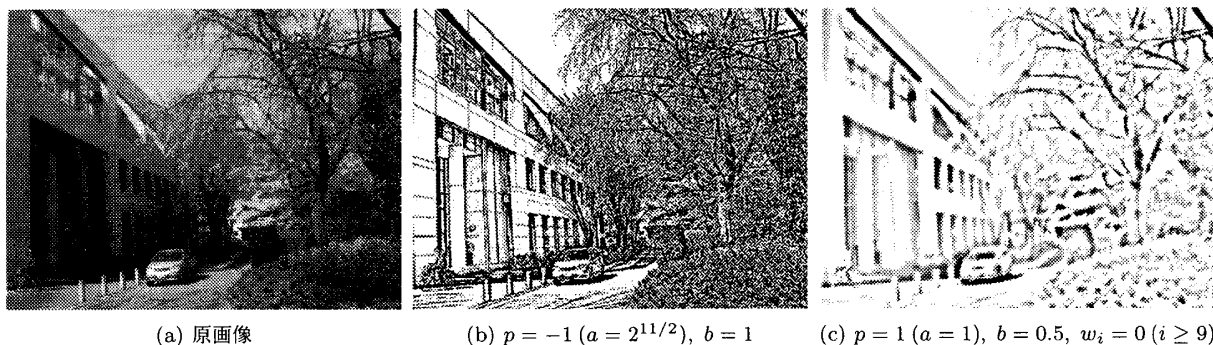


図 6: 絵画調画像の生成 ((b) 高域強調, (c) 低域強調)

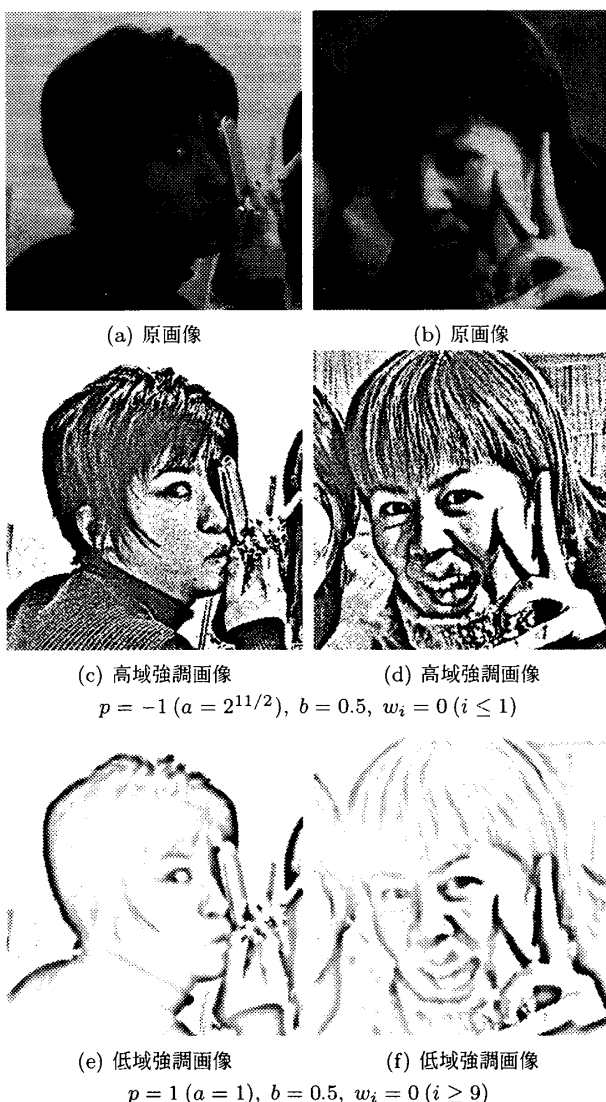


図 7: 照明条件が厳しい入力画像への適用

し、それ以外の部分を（白に）飽和させることが可能となる。

特に、低域強調画像ではバイアス値制御の効果が顕著であった。今、理想的なステップエッジ（エッジ部分の輝度勾配が  $\infty$ ）に対して本論文で述べた低域強調パラメタで演算を施すことを考える。全般的に輝度変化が鈍るが、わずかに入っている高域成分の影響で基準レベルと交差する部分（ゼロクロス）だけは輝度勾配が  $\infty$  のままになる。つまり、画像上ではエッジ周辺は平滑化されるが、（白レベルからの輝度の立ち下がり部分だけは輝度勾配が  $\infty$  であるので）エッジそのものは鮮明に描画される。したがって、単純な低域強調画像とは異なり、描画対象の特徴を残した描写が可能となっている。

### 5. おわりに

多重スケール分解を用いて、実写画像を元に高域強調と低域強調の NPR 画像を統一的な枠組みの中で実現した。人物や風景などのいくつかの画像に適用し、良好な結果を得た。今後の課題として、色付け方法の検討や新たな NPR 表現の開拓などが挙げられる。

### 参考文献

- [1] Paul Haeberli, Paint By Numbers: Abstract Image Representations, Proc. SIGGRAPH '90, pp. 207 - 214 (August 1990).
- [2] Michael P. Salisbury, Sean E. Anderson, Ronen Barzel, and David H. Salesin, Interactive Pen-and-ink Illustration, Proc. SIGGRAPH 94, pp. 101 - 108 (August 1994).
- [3] Peter Litwinowicz, Processing Images and Video for An Impressionist Effect, Proc. SIGGRAPH 97, pp. 407 - 414 (August 1997).
- [4] Pearson, D. E. and Robinson, J. A., Visual Communication at Very Low Data Rates, Proc. IEEE, Vol. 73, No. 4, pp. 795 - 812 (April 1985).
- [5] Bruce Gooch, Erik Reinhard, and Amy Gooch, Human Facial Illustrations: Creation and Psychophysical Evaluation, ACM Trans. on Graphics, Vol. 23, No. 1, pp. 27 - 44 (January 2004).
- [6] Doug DeCarlo and Anthony Santella, Stylization and Abstraction of Photographs, Proc. SIGGRAPH 2002, pp. 769 - 776 (July 2002).
- [7] Aaron Hertzmann, Charles E. Jacobs, Nuria Oliver, Brian Curless, and David H. Salesin, Image Analogies, Proc. SIGGRAPH 96, pp. 327 - 340 (August 2001).