逆アンシャープマスキングによる画像の非写実的鮮鋭化と2値化

Non-Photorealistic Sharpening and Binarization of Images by Reversed Unsharp-Masking

学生会員 王 濤[†], 正会員 井上 光平[†], 浦 浜 喜一[†]

Tao Wang[†], Kohei Inoue[†] and Kiichi Urahama[†]

Abstract We present a reversed unsharp masking technique for sharpening images by producing hue halos around edges. This technique is used to binarize images. In the reversed unsharp masking, a detailed component in the usual unsharp masking is reversed and added to a base component. Images sharpened with this masking are then thresholded to generate non-photorealistic binary images.

キーワード：画像鮮鋭化，逆アンシャープマスキング，色相ハロー，非写実的2値化

1. ま え が き

アンシャープマスキング(UM)は，エッジやテクスチャを鮮明にする画像鮮鋭化の基本的な手法である。UMによってエッジ付近に生じるハロー(マツハバンド)は絵画にも見られ，ノンフォトリアリスティックレンダリング(NPR)でも多用される。UMでのハローは主に明度を強調したものであるが，エッジの視覚認知性を高める効果として色相が異なるハロー対を付加する技法も提案されている¹⁾。暖色と寒色のハロー対が典型的であるが，必ずしも補色関係でなくてもよい。図1にBaileyらの色相ハローの例¹⁾を示す。左端が入力画像，中央がUMによる通常の明度ハロー，右端が色相ハローである。右二つともエッジが強調されているが，右端の画像では輪郭が鮮明に知覚される。

本稿では，この色相ハローに似ている画像鮮鋭化法として，従来のUMの詳細成分を反転させる逆UMを提案する。この逆UMの計算量は従来のUMと同じであるが，従来のUMがエッジの縁に明度ハローを付加するのに対し，逆UMでは色相のハローを付加することにより，物体の輪郭の視認性が向上する。従って本手法はカラー画像の鮮鋭化法として従来のUMを補完できると期待される。

本稿ではまた，この逆UMの応用例の一つとして，逆UMで鮮鋭化した画像を2値化することで非写実的な2値

画像が簡単に得られることも示す。画像を2値化する基本は閾値処理であるが，単純な閾値処理では物体の輪郭が不明瞭になることが多い。そこで手描き風の2値画像を生成する手法が提案されているが，最適化問題の反復解法や階層的処理など複雑な計算を要する²⁾³⁾。本稿では，逆UMの結果を単純に閾値処理することで従来法に似た2値画像が簡便に得られることを示す。

2. 逆UMによる非写実的鮮鋭化

入力画像の画素 (i, j) の値を d_{ij} とし，ガウスフィルタの出力を

$$f_{ij} = \frac{\sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p e^{-\alpha(l^2+m^2)} d_{i+l, j+m}}{\sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p e^{-\alpha(l^2+m^2)}} \quad (1)$$

とする。以下の実験では p は画像の幅と高さの小さいほうの $1/30$ とし， $\alpha = 1/p^2$ とする。 p を大きくするとハローの幅が増えて視覚効果が強くなるが，エッジから遠い領域もハローが大きく浸食して，原画像の色調が失われてしまうので，ここでは画像中のテクスチャが適度に鮮明化され

図1 明度ハロー(中央)と色相ハロー(右)
Luminance halo (center) and hue halo (right).

2010年10月14日受付，2010年12月15日再受付，2011年2月10日採録

[†]九州大学 大学院芸術工学研究院 視覚情報部門

(〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1, TEL 092-553-4512)

[†] Faculty of Design, Kyushu University

(4-9-1, Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka-shi, 815-8540 Japan)

るハロー幅になるように, p は画像の幅と高さの小さいほうの $1/30$ とした. $\alpha = 1/p^2$ はガウスフィルタの標準偏差の常套的な設定値である.

入力画像 d_{ij} を $f_{ij} + (d_{ij} - f_{ij})$ と分解したとき, f_{ij} を基調成分, $d_{ij} - f_{ij}$ を詳細成分と呼ぶ. UM では入力画像に詳細成分を加えて

$$d_{ij} + \beta(d_{ij} - f_{ij}) \quad (2)$$

を出力する. また, 基調成分に拡大詳細成分を加えて

$$f_{ij} + \beta(d_{ij} - f_{ij}) \quad (3)$$

を出力しても鮮鋭化画像が得られる⁴⁾.

2.1 逆 UM による非写実的鮮鋭化

本稿では式 (2) の d_{ij} と f_{ij} を入れ替えて

$$f_{ij} + \beta(f_{ij} - d_{ij}) \quad (4)$$

とし, 逆 UM と呼ぶ. これは, 式 (3) の詳細成分を反転するのと同じである. こうすると UM でエッジ近傍に生じるハローを反転した色のハローが生じ, 色相ハロー¹⁾ と似た効果が生成される. β が大きいほど鮮鋭化が強くなるが, 以下の実験では $\beta = 4$ とする. p がハローの幅を調節したの

に対し, β はハローの振幅強度を決める. β が大きいほどハローの振幅が大きくなり視覚効果が増すが, 大きすぎると画素値が $[0, 255]$ をはみ出すようになり, 白とびや黒つぶれを起こすので, ここでは適度に強い値として $\beta = 4$ とした. このようにハローの幅や振幅を調節するための p や β の適度な値の設定は, 本提案法の逆 UM も従来の UM と同じである.

なお, カラー画像では R,G,B 成分それぞれについて式 (4) を計算する.

2.2 実験

図 2 の画像 (3 枚とも Windows 搭載パソコンに入っている sample pictures でサイズは 512×384) に対する式 (2) すなわち通常の鮮鋭化の結果を図 3 左に, 式 (4) の提案法の結果を図 3 右に示す. 計算時間は, 2.3GHz CPU, 2GB RAM のコンピュータでいずれも 1.83 秒であった. ガウスフィルタは重み係数を空間分解して高速計算した.

図 3(b) では, 中央付近の花の下の方の鋸歯状の葉の輪郭が図 3(a) よりも鮮明である. 図 3(d) では中央の山の壁面の皺状のテクスチャが (c) よりも視認しやすい. また, 図 3(f) では (e) よりも各花卉が個別に区別しやすい.

このような視認性の差には色相の差が影響している. 図 4 は図 3 の画像の RGB を HSL に変換した H(色相) 成分である. 図 4(b) では個々の花卉が図 4(a) よりも区別しやすく, (c) では山の稜線が不明瞭であるが (d) では鮮明である. (e) では個々の花卉が, とりわけ中心の黒い領域を囲む灰色の領域で区別できないが, (f) では花卉の縁が個別に判別できる.

図 2 入力画像
Input images.

図 3 鮮鋭化結果
Sharpened images.

図 4 図 3 の画像の色相成分
Hue components in images in Fig.3.

このことから、従来の UM が主に明度のハローをエッジ付近に付けるだけであったのに対し、本提案法では図 1 に類似した色相ハローが生成されている。ただし、図 1 の右端の画像の明度変化は、中央の通常の UM と似ており色相変化が大きく異なるが、本提案法では色相に加えて明度も通常のハローとは異なる。すなわち、本提案法では明度と色相の相乗効果で輪郭の色知覚的な視認性が高められている。

3. 逆 UM による非写実的 2 値化

次に、この鮮鋭化法を画像の非写実的 2 値化にも応用した。ここでは単純に上記の鮮鋭化画像の明度を 2 値化した。しきい値は f_{ij} の平均明度とした。

2 値化の結果を図 5 から図 8 に示す (これらの画像の出

図 5 Mould ら²⁾の画像例 1
Example image 1 in Mould et al.²⁾.

図 6 Mould ら²⁾の画像例 2
Example image 2 in Mould et al.²⁾.

図 7 Xu ら³⁾の画像例 1
Example image 1 in Xu et al.³⁾.

図 8 Xu ら³⁾の画像例 2
Example image 2 in Xu et al.³⁾.

典は Proc.NPAR であり、本稿での使用は著者と ACM から許可を得ている)。図 5 と図 6 は Mould らの論文²⁾の例 (画像サイズは 295×291 と 464×461) で、(a) が入力画像、(b) が単純な 2 値化での最良の結果、(c) は Mould らの結果、(d) が提案法の 2 値化結果である。図 5(b) では両耳付近の髪が黒く、毛髪がわかり難いが、図 5(c) や (d) では耳も浮き出ており、特に図 5(d) では左耳辺りの髪の毛も白く浮き出ている。図 6(b) では額の皺や髭の毛が分かり難いが、図 6(c),(d) ではそれらも分かるようになっていた。図 6(c) は濃淡が図 6(b) に近いが、図 6(d) ではテクスチャのコントラストが強く、髭の個別の毛が視認しやすい。

図 7 と図 8 は Xu らの論文³⁾の例 (画像サイズは 267×310 と 551×414) で、(a) が入力画像、(b) が単純な 2 値化での最良の結果、(c) は Xu らの結果、(d) が提案法の 2 値化結果である。図 7(b) では影の暗い部分での模様が見え難く、

図 9 非等方平滑化の結果
Anisotropically smoothed binary images.

図 7(c) でも左下部の壁が黒くつぶれているが、図 7(d) ではそのなかの構造も見えるようになっていて、また図 8(b) や (c) でも影の暗い所の物体が見え難く、水面も暗い所が多いが、図 8(d) では白い部分が増えて水面上の波や照り返しも鮮明になっている。

このように本手法の 2 値化画像が、Mould や Xu らの結果と比べて白い部分が多くコントラストが高いのは、入力画像の色変化を強調する手法であるためである。したがって、提案法は入力画像のテクスチャを鮮明化させるが、トーンを正確には再現していない。しかし、このような単純な処理でも Mould や Xu らのような複雑な処理と類似の 2 値化が行えることがわかる。

この 2 値化では明度成分にだけガウスフィルタをかければよいので、計算時間は 2 節のカラー画像の鮮鋭化の約 1/3 であり、図 5(d) が 0.28 秒、図 6(d) が 0.69 秒、図 7(d) が 0.27 秒、図 8(d) が 0.73 秒であった。Mould らの手法は 512×512 の画像で、本実験とほぼ同等のコンピュータで、確率伝搬法だと 20 秒、グラフカット法だと 6 秒かかると報告されている²⁾。Xu らの論文³⁾では計算時間が報告されていないが、シミュレーテッドアニーリングで 200 回反復計算するとされているので、少なくとも数十秒かかるも

のと思われる。これらに比べて本手法は高速である。

しかし本手法では、2 値化画像に対する平滑化はしておらず、入力画像をそのまま 2 値化しているので、ザラザラした雑音が残る。そこで図 5～図 8 の (d) の画像に微弱な非等方平滑化フィルタ⁵⁾をかけて細かい雑音を消した結果を図 9 に示す。

4. む す び

入力画像に逆アンシャープマスキングをかけて、通常のアンシャープマスキングとは異なる色相ハローをエッジ付近に生じさせることによって、エッジを視知覚的に鮮鋭化させる手法を提案し、非写実的 2 値化にも応用した。本稿では、パラメータ p の値は画像のサイズだけで決め、 β は 4 に固定した。この設定法は、鮮鋭化でも 2 値化でも多くの画像でほぼ良好に働いたが、画像に含まれる模様のスケールによって微調整すれば、よりよい結果が得られると思われる。このようなスケールパラメータは、Mould ら²⁾ や Xu ら³⁾ の手法にもあり、提案法の自由度はそれらの従来法と同等である。提案法は、それらの手法よりも高速なのでパラメータ値を何通りか変えた結果を複数出して、それらを目で見て良好なものを選ぶという手段も可能である。 p や β の値を絵柄によって調整する手法は今後の課題とする。なお、本稿では、ガウスフィルタを用いる UM について逆 UM を提案したが、バイラテラルフィルタを用いる UM⁴⁾ についても同様な逆 UM を検討するのも今後の課題とする。

〔文 献〕

- 1) R. J. Bailey and C. M. Grimm: "Perceptually meaningful image editing", Visual Comput., **23**, 9-11, pp.813-821 (2007)
- 2) D. Mould and K. Grant, "Stylized black and white images from photographs", Proc.NPAR, pp.49-58, 2008.
- 3) J. Xu and C. S. Kaplan, "Artistic thresholding", Proc.NPAR, pp.39-47, 2008.
- 4) 井上光平, 浦浜喜一, "多重スケール非線形平滑化によるコントラスト強調", 信学論, **J83-A**, 6, pp.831-833 (2000)
- 5) 井上光平, 浦浜喜一, "非等方バイラテラルフィルタによるエッジ保存模様強調", 映像学誌, **58**, 1, pp.115-120 (2004)

おう とう 王 濤 2010 年, 中国四川大学修士課程修了。同年, 九州大学大学院芸術工学府博士後期課程入学。画像情報処理に関する研究に従事。学生会員

いのうえ こうへい 井上 光平 1996 年, 九州芸術工科大学画像設計学科卒業。2000 年, 同大学大学院博士後期課程修了。現在, 九州大学大学院芸術工学府助教授。パターン認識, 画像処理, コンピュータビジョンに関する研究に従事。正会員。

うらはま きいち 浦浜 喜一 1980 年, 九州大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年, 同大学助手。1989 年, 九州工業大学助教授。現在, 九州大学大学院芸術工学府助教授。パターン認識, 画像情報処理の研究に従事。