

超高精細ディスプレイのための質感復元技術

金子 敏 充

Fine Texture Restoration for Super High Definition Displays

Toshimitsu KANEKO

Human visual system estimates properties of material surface by processing local image features such as spatial frequency, direction, intensity and color. When spatial high frequency component is lost during the process of image sensing or transmission, the feeling of material in a displayed image becomes different from the real one. In this paper, a method of generating high frequency components based on statistical property of natural texture images is introduced.

Key words: super-resolution, texture, image gradient

ヒトは物体を見ることにより、単にそれが何であるかだけでなく、その素材や表面の状態まで推定することができる。この過程でどのような神経情報処理が行われているのかはまだ解明されていないが、画像の局所的な空間周波数や方向性、輝度、色といった低次元画像特徴が統合されてより複雑な特徴を生成し、素材を識別していると考えられている。

実物を直接見るのではなく、ディスプレイに表示された被写体を見る場合には、ディスプレイの低次元画像特徴の再現精度が高いほど、被写体の質感をリアルに感じられると考えられる。ディスプレイの解像度、色域、ダイナミックレンジは年々向上しており、従来よりも画像から質感を感じられるようになってきている。しかし、ディスプレイの空間周波数の表示能力が十分に生かされないことが少なくない。たとえば、地上デジタルテレビ放送の映像を4Kの解像度をもつディスプレイで見るときのように、ディスプレイに入力される以前に画像の空間周波数が制限されてしまうことがある。また、注視している画像領域が撮影時にカメラのピントを合わせた位置と異なっていれば、高周波成分が失われたぼけた画像を見ていることになる。広角に撮影する機会が多い超高精細画像においては、このように見たいところのピントがあまいといったケースが頻繁に発生すると思われる。

最近のTVにおいては、超解像技術^{1,2)}によって高周波成分を復元して表示することが一般的になってきた。超解像技術ではもともと、画像に含まれるエイリアシングを利用して高周波成分を復元している³⁾。しかし、もともと入力画像に十分なエイリアシングが含まれていない場合や、拡大率が大きい場合には、高周波成分を十分に復元することができない⁴⁾。そこで、本稿では、被写体のもつ質感を復元する試みのひとつとして、自然画像のもつ統計的な性質を利用して微細なテクスチャーに相当する高周波成分を積極的に生成する技術⁵⁾を紹介する。

1. 画像劣化により失われる輝度勾配

高解像度画像と、高解像度画像の高周波成分が失われるなどして劣化した劣化画像を考える。ここでは、高解像度画像と劣化画像の差分画像を消失成分画像とよぶ。劣化画像から未知の消失成分画像を推定して質感を復元するための手掛かりとして、劣化により失われる微小な輝度成分変化に着目した。すなわち、劣化画像のある座標の輝度勾配ベクトルを $\mathbf{F} = (F_x, F_y)$ 、消失成分画像の同じ座標の輝度勾配ベクトルを $\mathbf{f} = (f_x, f_y)$ と表記し、 \mathbf{F} が単位ベクトルとなるように \mathbf{f} を座標変換したベクトル (f_x, f_y) 、

$$f_x = (f_x F_x + f_y F_y) / \|\mathbf{F}\|,$$

$$f_y = (f_x F_y - f_y F_x) / \|\mathbf{F}\|$$

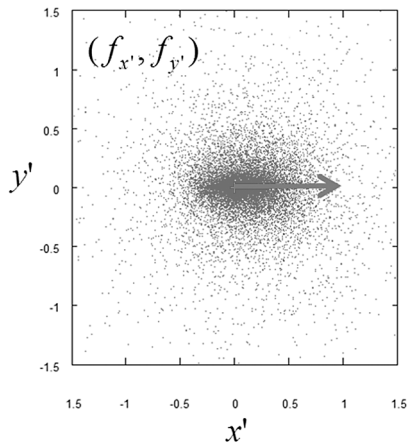


図1 劣化画像の勾配に対する消失成分画像の輝度勾配分布。

の分布を利用する。

実画像での (f_x, f_y) の分布を図1に示す。ここでは、風景、ポートレート、草木花等のさまざまな実画像を準備し、そこから複数のテクスチャー領域を切り出して高解像度画像のサンプルとした。また、これらの画像を縮小して低解像度画像に変換し、さらにスケール処理によって高解像度画像と同じ解像度に戻した画像を劣化画像のサンプルとした。輝度勾配ベクトル F, f は、それぞれ劣化画像、消失成分画像に x 方向、 y 方向の微分フィルターをかけることにより算出し、各画素における (f_x, f_y) の値をプロットした。図1では、 (f_x, f_y) の分布は水平方向に広く分布しており、消失成分画像の輝度勾配が劣化画像の輝度勾配と相関をもつことがわかる。

2. 輝度勾配分布復元手法

劣化により失われた輝度勾配を分布として復元することにより、質感に寄与する高周波成分を生成する手法の概要を図2に示す。処理に先立ち、実画像から得られた輝度勾

配分布を二次元正規分布 $N(\mu, \Sigma)$ で近似しておく。

まず、入力画像に微分フィルターをかけ、輝度勾配ベクトル $F = (F_x, F_y)$ を算出する (図2①)。次に、入力画像に付加する輝度勾配ベクトル $\hat{f} = (\hat{f}_x, \hat{f}_y)$ を次式で算出する (図2②)。

$$\begin{aligned}\hat{f}_x &= g_x F_x + g_y F_y \\ \hat{f}_y &= g_x F_y - g_y F_x\end{aligned}$$

ここで、 $g = (g_x, g_y)$ は二次元正規分布 $N(\mu, \Sigma)$ に従って発生させた乱数である。

最後に、 \hat{f}_x, \hat{f}_y を x 方向、 y 方向の勾配基底画像 B_x, B_y の重みとして微小波形 $\hat{f}_x B_x + \hat{f}_y B_y$ を算出し、入力画像に付加する (図2③)。

3. 輝度勾配分布復元の適用例

輝度勾配分布復元手法を自然画像に適用した例を図3に示す。この例では、デジタル一眼レフカメラで撮影した $3,504 \times 2,336$ 画素の非圧縮データを高解像度画像とし、これを縦横 $1/2$ 倍に縮小したのち縦横 2 倍に拡大した画像を処理の入力画像とした。なお、輝度勾配分布復元手法を適用する画像領域は、領域判定処理によりエッジや平坦部を除いて一様なテクスチャー領域に限定している。

図3左上が実験に使用した入力画像である。花びら上に四角で示した 128×128 [pixel] の部分領域を図3中段に示す。入力画像はぼけて微細なテクスチャーは視認できないのに対し、輝度勾配復元処理を行った画像では微細なテクスチャーが視認でき、花表面の微小な凹凸を感じることができるようになっている。比較のため、高域強調処理であるアンシャープマスクの処理結果も示した。アンシャープマスクは鮮鋭感の向上は確認できるが、正解画像に含まれるような微細なテクスチャーを生成することはできない。図3下段は、中段に示した画像の一部を、輝度を z 軸に

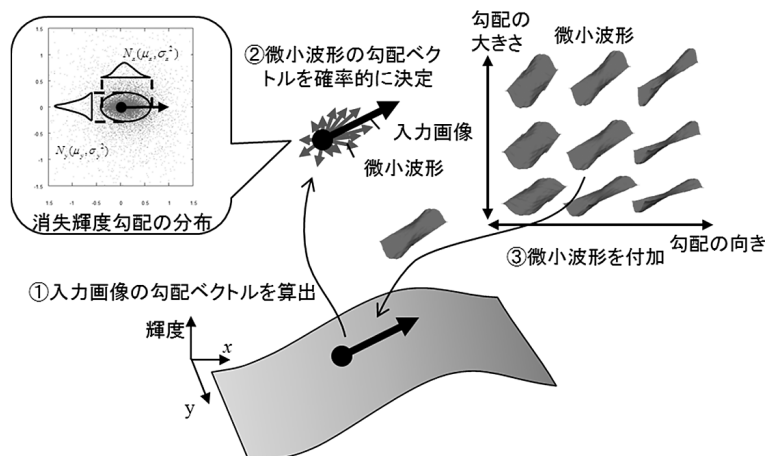


図2 勾配分布復元による劣化成分推定手法の概要。

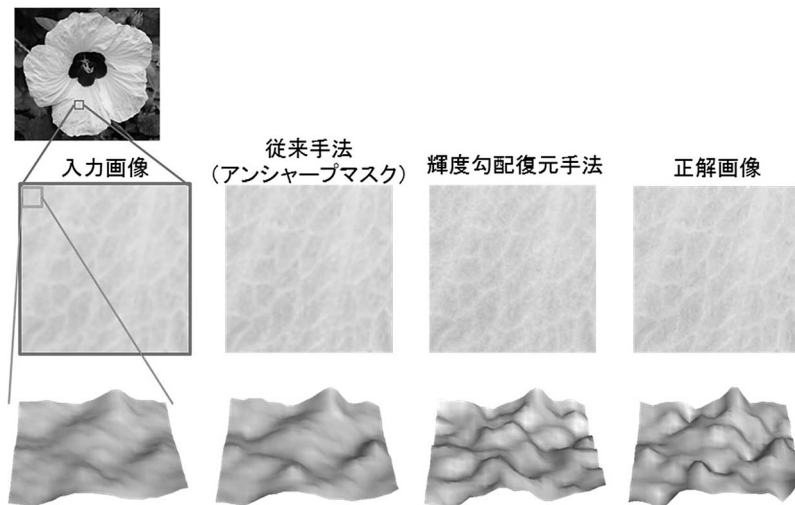


図3 輝度勾配分布復元手法の適用例.

とって三次元表示したものである。正解画像に含まれる細かな輝度勾配と同種の輝度勾配が復元されていることがわかる。

画像劣化により消失した微小な輝度勾配を分布として復元することにより、高周波成分を生成して被写体のもつ質感を復元する技術を紹介した。ヒトが質感を知覚するメカニズムの解明は、現在も精力的に行われている。今後研究が進み、質感に寄与する画像特徴量が明らかになると、その特徴量を具体的に制御する手法の開発も可能になり、画像の表現力が豊かになっていくことが期待される。

文 献

- 1) S. C. Park, M. K. Park and M. G. Kang: "Super-resolution image reconstruction: A technical overview," *IEEE Signal Process. Mag.*, **20** (2003) 21-36.
- 2) 松本信幸, 井田 孝: "画像のエッジ部の自己合同性を利用した再構成型超解像", *電子情報通信学会論文誌 D*, **J93-D** (2010) 118-126.
- 3) R. Y. Tsai and T. S. Huang: "Multipleframe image restoration and registration," *Advances in Computer Vision and Image Processing* (JAI Press, Greenwich, 1984) pp. 317-339.
- 4) S. Baker and T. Kanade: "Limits on super-resolution and how to break them," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, **24** (2002) 1167-1183.
- 5) 齋藤佳奈子, 金子敏充, 窪田 進: "輝度勾配分布の復元による画像の質感改善技術", *情報科学技術フォーラム講演論文集*, **11** (2012) 253-256.

(2014年2月10日受理)