

物体形状の推定と表面質感に関する一考察

A Study on Object Shape Estimation and Surface Shading

巽 英之^{1,2} 渡辺 裕² 大谷 淳²
Tatsumi Hideyuki Watanabe Hiroshi Ohya Jun

凸版印刷株式会社 総合研究所¹

Technical Research Institute, TOPPAN Printing Co., Ltd.

早稲田大学 大学院 国際情報通信研究科²

Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, WASEDA University

1 はじめに

物体表面の質感を濃淡画像を用いて表現する手法として、光源を変化させ、物体表面の凹凸に起因して生じる影の変化を利用することが考えられる。本稿では JPEG2000[1] を静止画に施すことにより得られる Wavelet 係数を操作し、光源変化を擬似的に再現させた画像を作成する方法を検討する。従来、平行投影の光源を用い、平面上の細かな凹凸に対して、幾つかの条件を設定することによって光源変化を擬似的に再現している [2]。本稿ではこの方式を拡張し、凹凸の他にグラデーションが存在する場合について、光源変化を擬似的に再現することについて検証する。

2 基本的な考え方

光源変化による金属のハイライト部分の変化であったり、布や紙の表面のざらざら感やしわの陰影については、一枚の静止画では表現することが難しい。これは、画像一枚では光源変化や視点変化が再現できないことによる。

そのため、紙や布などの表面にある微細な陰影を取得する一つの方法として、光源の角度を変えて撮影した複数枚の画像を用いる手法が提案されている [3]。

しかし、画像をより質感あるものにするために、多くの画像を用いたり、映像を使って表現する事は非効率である。また非可逆離散コサイン変換を圧縮方法として採用しているフォーマットでは、高周波成分に関する情報がより多く失われてしまうため、表面の細かなざらつき感等の高周波成分を表現するのにより多くの情報が必要となる。

そこで本研究では、画像保存形式の一つである JPEG2000 を用いることで、一枚の画像から光源変化を擬似的に再現し上記の問題の解決を図る。[2] では、平行光源を照射した画像について、その光源方向の反転させた画像を擬似的に作成している。しかし、対象画像にグラデーションを含む場合、実際とは大きく異なる画像が作成されてしまう問題が生じる。本研究では、その問題点の改善について検討を行う。具体的には対象画像を直流成分と高周波成分に分離し、それぞれ別々の処理を施す事によって上記の問題の解決を試みる。

3 Wavelet 変換フィルタと入力画像の周期との関係

一次元入力画素列を 4 周期としたときの各値を、 $[a, b, c, d, a, b, c, d, a, \dots]$ とおく。また、離散 Wavelet 変換

(DWT) のフィルタを 5×3 としたときのハイパスフィルタの係数を H_0, H_1 とおく。

このとき DWT 及びサンプリング後の高周波成分側係数は、次のような周期 2 画素の列となる。

$$bH_0 + (a + c)H_1, dH_0 + (a + c)H_1, \dots \quad (1)$$

ここで、光源位置を 180 度回転させたときの画像を、入力画素列を各周期内で入れ換えることによって実現できると仮定する。その時の画素列は $[d, c, b, a, d, c, b, a, \dots]$ となる。

この画素列における DWT とサンプリング後の高周波成分側係数列は、

$$cH_0 + (b + d)H_1, aH_0 + (b + d)H_1, \dots \quad (2)$$

となる。

入力画素列と対称画素列とで、DWT 後の高周波成分係数の正負が反転するための条件は、係数列 (1) と係数列 (2) について、式 (3) 及び式 (4) が成り立つことである。

$$bH_0 + (a + c)H_1 = -(cH_0 + (b + d)H_1) \quad (3)$$

$$dH_0 + (a + c)H_1 = -(aH_0 + (b + d)H_1) \quad (4)$$

上記二式とハイパスフィルタの関係 $H_0 = -2H_1$ を用い、入力画素列についての関係を求めると、 $a + d = b + c$ となる。

同様にして、周期が 8 画素の場合を求める。入力画素列 $[a, b, c, d, e, f, g, h, a, b, c, d, e, f, g, h, \dots]$ と、その対称画素列 $[h, g, f, e, d, c, b, a, h, g, f, e, d, c, b, a, \dots]$ について、DWT 後の高周波成分係数が反転する条件は、

$$a + h = b + g = c + f = d + e \quad (5)$$

となる。また、2 階 DWT の高周波成分係数についても、式 (5) の関係が成り立つとき、係数に -1 を乗じることで入力画素列が周期内で反転する。以上の結果から、係数値の正負を反転して画素が入れ替わるためには、入力画像が 2^n の周期 T をもち、その周期内において対応する画素 $[i] (0 \leq i < T - 1)$ と画素 $[T - i - 1]$ の和が一定であることが条件である。

4 グラデーションへの適応

入力画像が大まかなグラデーションと細かな凹凸から構成されているとき、高周波成分のみを操作するだけで

は、光源変化を擬似的に再現するには不十分である。この問題の解決方法として本稿では、二つの構成要素を分離し、別々の処理を施すことを検討する。

4.1 グラデーションを含む画像の光源変化条件

グラデーションが線形の場合、入力画素列を、[a, b, c, d, a-t, b-t, c-t, d-t, a-2t, b-2t, c-2t, d-2t, a-3t, ...] のように仮定する。このとき、3章のように高周波成分係数の正負を反転させるだけで、各画素が周期単位で入れかわるためには、3章と同じく式(5)が成立することが条件となる。

4.2 画素の周期とDWTの回数

JPEG2000ではWavelet分解毎に1/2サブサンプリングを施す。よって、 n レベル分解後の低周波成分における1画素は、入力画素 2^n 個を集約したものとなる。このことから、凹凸の周期が 2^n で構成されている画像から、グラデーションを分離するためには n 回のWavelet分解が必要となる。

4.3 提案手法

前提として、入力画像が一定の周期をもったパターンと大まかなグラデーションから構成されているとする。周期パターンについては、3章の条件を満たすものとし、周期の間隔については、4.2節の条件を満たすものとする。このとき、光源が、物体表面に対して垂線方向を中心として対称の位置にある2つの画像(I_L 及び I_R とする)を設定し、画像 I_L から画像 $\hat{I}_R(\approx I_R)$ を作成する。画像 I_L 及び I_R についてWavelet変換したときの係数をそれぞれ C_{I_L}, C_{I_R} とし、各々の高周波成分を $C_{I_L(H)}, C_{I_R(H)}$ 、低周波成分を $C_{I_L(L)}, C_{I_R(L)}$ とする。この時、目的画像 \hat{I}_R は $\hat{I}_R = W^{-1}(C_{\hat{I}_R(L)} \oplus C_{\hat{I}_R(H)})$ (但し、 W^{-1} は逆Wavelet変換)によって求められる。低周波成分 $C_{\hat{I}_R(L)}$ についてはグラデーション成分のみの集合であると考えられる。そこで、低周波成分の大きさを $H \times W$ とおくと、 $C_{I_L(L)}[i][j]$ と $C_{\hat{I}_R(L)}[m][n]$ ($0 \leq i, j < H, 0 \leq m, n < W$)について、 $C_{\hat{I}_R(L)}[m][n] = C_{I_L(L)}[H-i-1][W-j-1]$ とする。

以上の手法で目的画像を作成する。

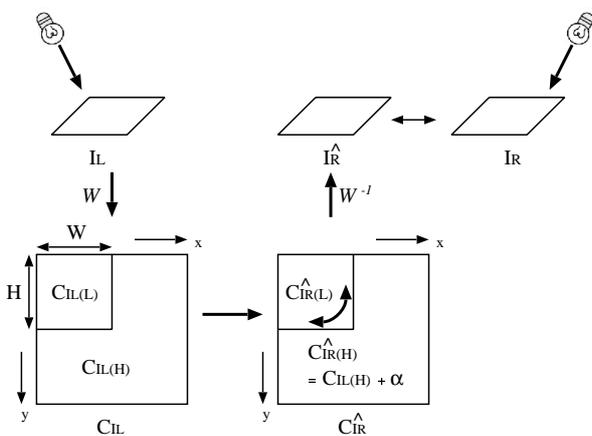


Fig. 1 提案方式概要

5 実験手法と結果

実験方法として、入力画像 I_L を使い、実際に光源を変化させて作成した画像 I_R と提案手法を用いて作成した画像 \hat{I}_R との輝度差の比較を行った。また、比較のために[2]で提案した手法を用いた結果と I_R との輝度差比較も行った。入力画像(Fig.2, $W256 \times H256$, grayscale, 32pel周期)について、Wavelet変換を再帰的に5回行い、各Wavelet変換係数を変化させた。従来手法を用いて変化させた結果の画像をFig.4に、提案手法を用いて変化させた結果の画像をFig.5に示す。その結果、Fig.3とFig.4との平均輝度差が31.02、Fig.3とFig.5との平均輝度差が15.45であった。この結果から提案方式は従来方式に比べ、擬似的な光源変化画像をより精度良く生成できていることが判明した。

また、Wavelet変換をする際の端の処理方法に起因する問題で、提案手法の結果画像は画面端において所望の精度が得られていない。そのため、特に変化の激しい左右端の32pelを評価対象外としたときのFig.3とFig.5との平均輝度差は10.74であった。

この結果から提案手法は従来手法に比べ、擬似的な光源変化画像をより精度良く生成できていることがわかる。

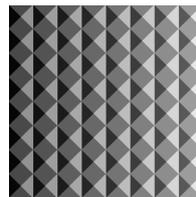


Fig. 2 入力画像 I_L

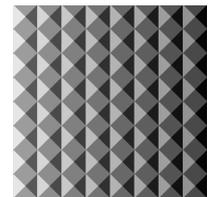


Fig. 3 実際の光源変化結果

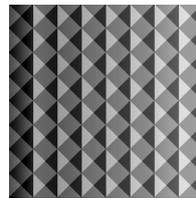


Fig. 4 従来手法での結果

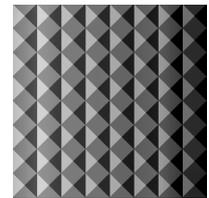


Fig. 5 提案手法での結果

6 まとめ

本稿では従来手法を改善し、グラデーションを含んだ一枚の画像から、Wavelet係数を変化させることにより、光源を変化させたときの画像を作成することを検討した。その結果、いくつか条件を設定することで従来手法に比べ精度の高い画像を作成できることが判明した。今後の課題としては、画面端における誤差の改善が挙げられる。

参考文献

- [1] ISO/IEC FCD 15444-1:2000 Core Coding System
- [2] 巽, 渡辺, 大谷: "JPEG2000を用いた静止画中の物体の質感表現", 信学会2002年総合大会論文集, D-11-172
- [3] J.S.Arney, D.Stewart, "Surface Topography of Paper from Image Analysis of Reflectance Images", Journal of Image Science and Technology, Vol.37, No.5, pp.504-509, 1993