

# カメラ応答関数未知の単一画像からの形状復元

小田 武蔵<sup>†</sup> 岡部 孝弘<sup>†</sup>  
<sup>†</sup>九州工業大学情報工学部知能情報工学科

## 1. はじめに

ヒトの視覚機能の模倣に端を発するコンピュータビジョンの研究において、単一画像の理解、つまり、1枚の画像から形状・反射特性・光源環境などのシーンの記述を復元することは、中心的な研究課題の1つである。本研究では、物体表面における反射光の強度に基づいて単一画像から物体形状を復元する shape from shading[2]に取り組む。

物体表面の放射輝度と画素値の関係は、カメラ応答関数により記述される。従来の shape from shading では、画素値が輝度に比例していること、つまり、カメラ応答関数が線形であることを仮定していた。ところが、一般に、民生用カメラの応答関数は未知で非線形であるため、従来手法を用いるには、カメラ応答関数を事前に較正する必要があった。

そこで本研究では、カメラ応答関数が未知の単一画像からの形状復元に取り組む。具体的には、非線形のカメラ応答関数が shape from shading による形状復元に与える影響を調べたのち、可積分条件に基づく物体形状とカメラ応答関数の同時推定について検討する。

## 2. カメラ応答関数の shape from shading への影響

平行投影を仮定して、画像平面上の位置  $(x, y)$  における物体表面の奥行きを  $z(x, y)$  と表す。物体表面の反射特性とシーンの光源環境が既知のとき、物体表面の輝度  $E$  は面の勾配  $(p, q) = (\partial z / \partial x, \partial z / \partial y)$  の関数になる。Shape from shading では、観測される輝度(画素値)が未知の勾配から決まる輝度に一致すること

$$E(x, y) = R(p(x, y), q(x, y)),$$

に加えて、遮蔽輪郭線や滑らかさ拘束も利用して形状を復元する。ここで関数  $R$  は反射率地図と呼ばれる。

従来手法では、画素値  $I$  が輝度  $E$  に等しい、つまり、 $I = E$  と仮定して形状復元を行っていた。ところが、カメラ応答関数としてガンマ補正を仮定すると、画素値と輝度の関係は  $I = E^\gamma$  となる。したがって、 $\gamma \neq 1$  のときに復元された形状は正確ではないことが予想される。

図 1 に、 $\gamma$  の値を変えたときの球の画像(上段)、および、shape from shading による形状復元結果(下段)を示す。 $\gamma = 1$  のときに正しい形状が得られるのに対して、 $\gamma < 1$  のときは画素値が大きくなる、つまり、面が光源(=カメラ)方向を向くために、高さ方向に縮んだ形状が得られる。逆に、 $\gamma > 1$  のときは、高さ方向に伸びた形状が得られる。

## 3. 可積分条件に基づく同時推定

物体表面上の点 A から点 B に向かって勾配を積分するときに、どのような経路を通っても積分結果が一定になるよ

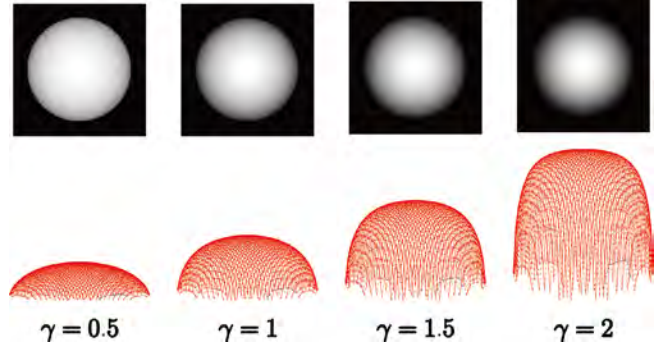


図 1: 形状復元結果

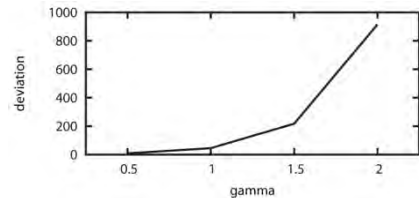


図 2: 可積分条件からのずれ

うな物体表面は、可積分条件[1]を満たす。可積分条件は、勾配の微分を用いて、

$$\text{curl}(p, q) = \frac{\partial p(x, y)}{\partial y} - \frac{\partial q(x, y)}{\partial x} = 0$$

と表すことができる。

本研究では、非線形のカメラ応答関数の影響で歪んだ形状は可積分条件を満たさないという予想のもと、図 1 下段の復元結果の可積分条件からのずれ

$$\sum_{x, y} [\text{curl}(p, q)]^2$$

を調べた。その結果、可積分条件からのずれは、 $\gamma$  について単調増加になっていることが分かった(図 2)。つまり、可積分条件からのずれに基づいて物体形状とカメラ応答関数を同時に推定することが困難であることが分かった。これは、高さ方向に縮めば縮むほど、勾配の微分を計算するときの離散化誤差もまた小さくなるためであると考えられる。

## 4. むすび

本稿では、カメラ応答関数が未知の単一画像からの形状復元について議論した。具体的には、非線形のカメラ応答関数が shape from shading による形状復元に与える影響を調べるとともに、可積分条件に基づく物体形状とカメラ応答関数の同時推定について検討した。今後は、画素ごとに重み付けした可積分条件からのずれなども検討したい。

## 参考文献

- [1] P. Belhumeur, D. Kriegman, and A. Yuille, The bas-relief ambiguity, CVPR1997, pp.1060-1066, 1997.
- [2] K. Ikeuchi and B. Horn, Numerical shape from shading and occluding boundaries, AI, 17(1-3), pp.141-184, 1981.