

古典的照度差ステレオのための照明計画

谷川 央周[†] 岡部 孝弘[†]

[†]九州工業大学情報工学部知能情報工学科

1. はじめに

光源方向の変化に伴う物体表面の明るさの変化から法線を求める方法は照度差ステレオと呼ばれる。様々な方向の光源下における被写体の2次元画像から法線を推定し、法線から算出される勾配を積分することで、物体の3次元形状を復元することができる。

照度差ステレオを用いた法線推定の精度は、被写体を照らす光源に大きく依存する。照度差ステレオでは、画像の輝度値を手がかりに法線を推定するため、影になっている画素は法線推定を行うことができない。また、古典的な照度差ステレオでは物体表面がランバートモデルに従うことを仮定しているため、鏡面反射が含まれる画素の法線の推定精度も低下する。そのため、影と鏡面反射の両方を考慮する必要がある。

本稿では、ディスプレイを用いた照度差ステレオのための照明計画を提案する。具体的には、法線を少数の画像から頑健に推定するのに最適な光源方向を求め、最適な光源方向で撮影した画像を逐次的に追加することで、法線の高精度な推定を実現する。

2. 提案手法

2-1. 照度差ステレオ

Woodham[1]によって提案された古典的照度差ステレオは、被写体およびカメラを固定し、平行光線、ランバート反射面の仮定の下で、異なる光源方向で撮影された複数枚の画像から、各画素の法線を推定する手法である。光源数 $N \geq 3$ のとき、ある画素の画素値を要素とするベクトル \mathbf{i} は、法線ベクトル \mathbf{n} 、および、それぞれの光源方向ベクトル \mathbf{l} を転置して縦に並べた行列 \mathbf{L} を用いて $\mathbf{i} = \mathbf{L}\mathbf{n}$ と表せる。したがって、光源行列 \mathbf{L} の疑似逆行列 \mathbf{L}^+ を用いて $\mathbf{n} = \mathbf{L}^+\mathbf{i}$ つまり $\mathbf{n} = (\mathbf{L}^T\mathbf{L})^{-1}\mathbf{L}^T\mathbf{i}$ を解くことにより、法線ベクトル \mathbf{n} を求めることができる。

2-2. 照明計画

最適な光源方向で撮影した画像を逐次的に追加する提案手法においては、最適な光源の選択が鍵となる。光源数 $N \geq 3$ のとき、ランバート面で影のない場合の法線の不確かさ $\Delta\mathbf{b}$ は、光源ベクトルを並べた行列 \mathbf{L} 、カメラノイズ $\Delta\mathbf{i}$ を用いて $\Delta\mathbf{b} = \mathbf{L}^{-T}\Delta\mathbf{i}$ で決まる[2]。したがって、提案手法のように光源を選択することが考えられる。ところが、この手法では、影や鏡面反射を考慮していない。

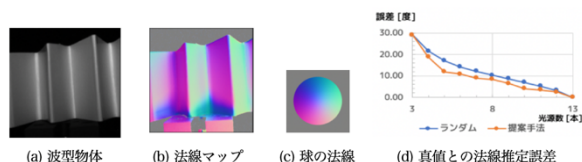


図1 実験結果

そこで本稿では、暫定的な形状モデルと鏡面反射モデルから予測される影と鏡面反射に基づいた、法線の不確かさの指標を提案する。具体的には、 M を画素数、 L_m を L の中から m 番目の画素を照らし、かつ、鏡面反射を起こさない光源方向のみを格納した行列とし、画素ごとに影と鏡面反射の影響がない有効な光源方向から求められる法線の不確かさの和

$$\varepsilon(L) = \sum_{m=1}^M \sigma^2 \text{trace}[(L_m L_m^T)^{-1}] \quad (1)$$

を最小化する。すべての光源方向の中から式 (1) が最小となる光源方向を選択する。

3. 実験

予備実験として、予め特定の方向の光源下で撮影した画像群から、推定に最適な画像を逐次的に追加して法線を推定した。図 1(b)は図 1(a)の波型物体の推定した法線を可視化したもの、図 1(c)は球の法線を可視化したもの、図 1(d)は全画像から推定した法線を真値とし、真値と推定した法線の誤差を表したグラフである。 $N \geq 4$ のとき、提案手法による光源選択は無作為な光源選択に比べ誤差が小さいため、定量的に良い結果といえる。

4. さいごに

本稿では、照度差ステレオのための照明計画により、影、鏡面反射、ノイズの伝搬を考慮した高精度な物体の法線推定手法を提案した。今後は、光源選択と画像撮影のオンライン化、および、より複雑な形状の被写体での照明計画を行いたいと考えている。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H01766 の助成を受けた。

参考文献

[1] R.Woodham, "Photometric method for determining surface orientation from multiple images", Optical Engineering, Vol.19, No.1, pp.139-144, 1980.

[2] "On optimal light configurations in photometric stereo", In Proc. IEEE ICCV 2005, Vol. II, pp.1707-1712, 2005.