

ライトフィールドカメラを用いた照度差ステレオのための鏡面反射の検出

武智 鴻生 岡部 孝弘

九州工業大学 大学院情報工学府

1 はじめに

光源方向の変化に伴う反射光強度の変化を手掛かりにして物体表面の法線を推定する技術は、照度差ステレオと呼ばれる。画素ごとに法線を推定する照度差ステレオには、疎な対応点の奥行きを推定する多視点ステレオと比較して、密な形状を復元できるという特長がある。

物体表面で観察される反射光は、一般に、拡散反射成分と鏡面反射成分からなる。Lambert モデルと既知の光源方向・明るさを仮定した古典的照度差ステレオ [4] においては、鏡面反射成分は除去すべきノイズである。一方、Lambert モデルと未知の光源方向・明るさを仮定した未較正照度差ステレオにおいては、鏡面反射成分は形状復元の不定性を解決する手掛かりとして有用であることが知られている [2]。したがって、光源方向の変化に伴う画像において鏡面反射成分が支配的な画素を検出することは、重要な研究課題である。

そこで本研究では、ワンショットの画像から多視点情報を得ることのできるライトフィールドカメラで撮影された画像を対象として、鏡面反射を検出する手法を提案する。提案手法では、拡散反射の明るさが視線方向に依存しないのに対して、鏡面反射の明るさが視線方向に依存することに基づいて、鏡面反射を検出する。実画像を用いた実験を行い、提案手法の有効性を確認した。

2 関連研究

拡散反射成分と鏡面反射成分の分離に関しては、偏光に基づく手法や色に基づく手法など様々なものが提案されている。照度差ステレオにおいては、Lambert モデルに従う拡散反射成分のみで構成される任意光源方向下の画像が 3 枚の画像の線形結合で表現されることに基づいた分離手法 [3] が利用されることが多い。提案手法は、拡散反射成分と鏡面反射成分の視線方向への依存性の違いに基づいた手法であり、上記の手法とは相補的關係にある。

3 鏡面反射の検出

3.1 着想

本研究では、図 1 のように、撮像素子の直前にマイクロレンズを並べたマイクロレンズアレイ方式のライトフィールドカメラで撮影された画像を対象とする。提案手法では、被写体に焦点が合っていること、つまり、被写体から放たれた光線がマイクロレンズ上で結像していることを仮定する。このとき、各マイクロレンズ直下の画素には、シーンの同一の点を異なる視線方向から観察したときの画素値が記録される。図 2 に示すように、ライトフィールドカメラで撮影した原画像を拡大すると、マイクロレンズアレイが並んでいることが分かる。拡散反射の明るさが視線方向に依存しないのに対して、鏡面反射の明るさが視線方向に依存することに基づいて鏡面反射を検出するのが、提案手法の基本的な着想である。

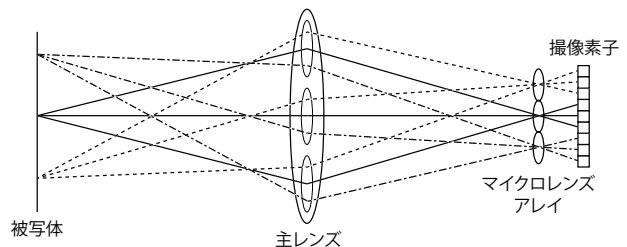


図 1: ライトフィールドカメラによる光線の記録。



図 2: 原画像を拡大した様子。

3.2 ベースライン手法

マイクロレンズ直下の領域を切り出した微小画像をマイクロレンズ画像と呼ぶ。マイクロレンズ画像には、シーンの同一の点を異なる視線方向から観察したときの画素値が記録されているため、拡散反射のみが観察されるとき、マイクロレンズ画像の全ての画素値は同じ値を取る。一方、鏡面反射が観察されるときは、マイクロレンズ画像の画素値は互いに異なる値を取り得る。

そこで単純に、マイクロレンズ画像の画素値の分散に基づいた検出方法をベースライン手法とする。具体的には、マイクロレンズ画像の画素数を P 、画素値を i_p ($p = 1, 2, 3, \dots, P$)、画素値の平均を μ とし、分散

$$S_1 = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^N (i_p - \mu)^2 \quad (1)$$

が閾値を越えたときに、鏡面反射が観察されたとみなす。

3.3 提案手法

ベースライン手法では、拡散反射のみが観察されるときに、マイクロレンズ画像の全ての画素値が等しくなることを仮定している。ところが実際には、焦点ぼけやマイクロレンズ画像の切り出し誤差のために、画素値が等しくなるとは限らない。また、光源方向の変化に伴いマイクロレンズ画像の明るさが変動するため、光源方向によって適切な閾値が異なることも予想される¹。

そこで本稿では、焦点ぼけ、マイクロレンズ画像の切り出し誤差、および、光源方向の変動に頑健な鏡面反射検出法を提案する。具体的には、図 3(a) に示すよ

¹ フォトンショットノイズの分散は輝度に比例することが知られている。

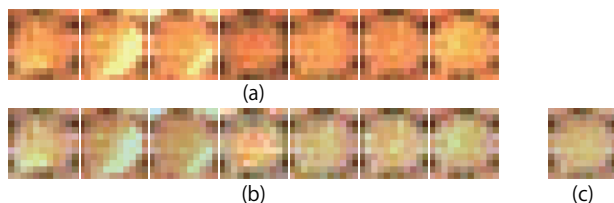


図 3: (a) マイクロレンズ画像, (b) 正規化マイクロレンズ画像, および, (c) 中央値画像.

うに, 異なる光源方向の下で撮影された N 枚の画像から, 同一のマイクロレンズに対応する N 枚のマイクロレンズ画像を切り出す. 次に, 図 3(b) に示すように, 各マイクロレンズ画像の画素値 i_{pn} ($n = 1, 2, 3, \dots, N$) を P 個の画素値の平均で割って正規化したものを i'_{pn} として, 正規化マイクロレンズ画像を求める. これにより, 図 3 の例では, 左から 2 番目と 3 番目のマイクロレンズ画像に鏡面反射成分が含まれることがより顕著になる. 正規化マイクロレンズ画像の各画素について, N 個の画素値の中央値を m_p として, 図 3(c) に示すような中央値画像を求める. このとき, 鏡面反射成分は少数の光源方向の下のみで観察されることから, 中央値画像は拡散反射成分のみで構成されていると考えられる.

焦点ぼけやマイクロレンズの切り出し誤差があっても, 拡散反射のみが観察されるときに正規化マイクロレンズ画像は中央値画像と等しいことから,

$$S_{2,n} = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P (i'_{pn} - m_p)^2 \quad (2)$$

のように定義される $S_{2,n}$ が閾値を超えたときに, 鏡面反射が検出されたとみなす.

4 実験

カメラと被写体を固定して, 光源方向のみを変化させて撮影した 10 枚 ($N = 10$) の画像を入力として実験を行った. 撮影には Lytro 社製の第 1 世代機を用いた. また, マイクロレンズの中心座標の推定には, Bokら [1] のライブラリを用いた.

一般に, 鏡面反射成分は画像中のハイライトとして現れることが多いため, 画素値が飽和している画素は鏡面反射成分であるとみなした. また, 陰 (attached shadow) や影 (cast shadow) の影響を取り除くために, マイクロレンズ画像の画素値の平均が閾値を越えるもののみを処理対象とした.

図 4 と図 5 に, ベースライン手法と提案手法で鏡面反射として検出される画素数が等しくなるように閾値を設定したときの実験結果を示す. 前者に関しては, 提案手法がうまく働いているのに対して, ベースライン手法は腹のテクスチャ境界を誤検出していたり, 尾のハイライトの検出に失敗したりしている. 後者に関しては, 両者とも概ね良好な結果が得られているが, 提案手法は暗い領域のハイライトを, ベースライン手法は明るい領域のハイライトを過剰に検出する傾向がみられる.

5 むすび

本稿では, ライトフィールドカメラで撮影された光源方向の変化を伴う画像を対象として, 鏡面反射成分

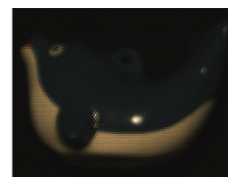


図 4: 実験結果 (イルカ): (a) 入力 RAW 画像, (b) ベースライン手法, および, (c) 提案手法を用いて検出した鏡面反射.

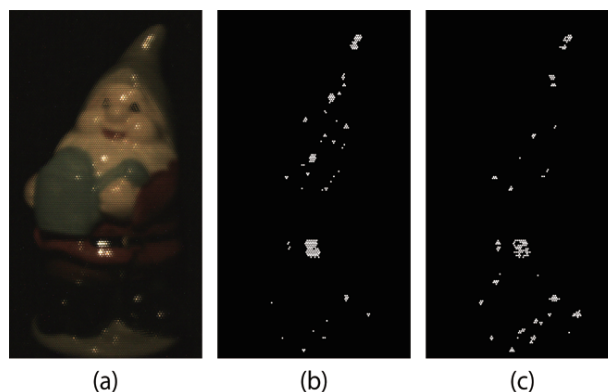


図 5: 実験結果 (小人): (a) 入力 RAW 画像, (b) ベースライン手法, および, (c) 提案手法を用いて検出した鏡面反射.

と拡散反射成分の視線方向への依存性の違いに基づいて, 鏡面反射を検出する手法を提案した. 実画像を用いた実験を行い, 焦点ぼけ, マイクロレンズ画像の切り出し誤差, および, 光源方向の変動を考慮した提案手法が, ベースライン手法よりも頑健であることを確認した. 今後は, 閾値の自動設定や照度差ステレオへの応用にも取り組みたい.

参考文献

- [1] Y. Bok, H.-G. Jeon, and I. Kweon, "Geometric calibration of micro-lens-based light-field cameras using line features", In Proc. ECCV2014 (LNCS8694), pp.47-61, 2014.
- [2] O. Drbohlav and M. Chantler, "Can two specular pixels calibrate photometric stereo?", In Proc. IEEE ICCV2005, pp.II-1850-1857, 2005.
- [3] A. Shashua, "On photometric issues in 3D visual recognition from a single 2D image", IJCV, 21(1/2), pp.99-122, 1997.
- [4] R. Woodham, "Photometric method for determining surface orientation from multiple images", Optical Engineering, Vol.19, No.1, pp.139-144, 1980.