

# ライトフィールドに基づく鏡面反射物体の法線推定

黒木 武<sup>1,a)</sup> 岡部 孝弘<sup>2,b)</sup>

**概要：**拡散反射がほとんど観察されないような鏡面反射物体では、鏡面反射の明るさが正反射方向付近で最大になることを手掛りにして、鏡面反射が観察されている物体表面上の点の法線を推定することができる。ところが、鏡面反射の明るさは視線方向が正反射方向から外れると急激に小さくなることから、通常のカメラで撮影した単一画像において観察される鏡面反射は疎であり、鏡面反射を手掛かりとした法線推定には大量の画像が必要になる。そこで本稿では、ワンショットの画像から多視点情報を得られるライトフィールドカメラを用いて、鏡面反射を多視点から密に捉えることで、比較的少数の画像から高い角度分解能で法線を推定する手法を提案する。

**キーワード：**形状復元、照度差ステレオ、鏡面反射、ライトフィールド

## 1. はじめに

光源方向の変化に伴う反射光の明るさ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。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。そのため、拡散反射の理想的なモデルであるランバートモデルを仮定した古典的照度差ステレオ [4] では、拡散反射成分がほとんど観察されないような鏡面反射物体の法線を推定することはできない。

鏡面反射物体では、鏡面反射の明るさが正反射方向付近で最大になることを手掛かりにして、鏡面反射が観察されている物体表面上の点の法線を推定することができる。ところが、鏡面反射の明るさは視線方向が正反射方向から外れると急激に小さくなることから、通常のカメラで撮影した単一画像において観察される鏡面反射は疎である。したがって、鏡面反射に基づく法線推定には、大量の画像が必要で、推定される法線の角度分解能が低いという問題がある [1]。

そこで本稿では、ライトフィールドに基づいて鏡面反射物体の法線を推定する手法を提案する。具体的には、ワンショットの画像から多視点情報を得られるライトフィールドカメラを用いて、鏡面反射を多視点から密に捉えることで、比較的少数の画像から角度分解能の高い法線推定を実

現する。

## 2. 関連研究

Chen ら [1] は、光源方向を変化させながら撮影した複数の画像を入力として、鏡面反射の明るさが正反射方向付近で最大になることに基づいて鏡面反射物体の法線を推定する手法を提案している。しかしながら、通常のカメラで撮影された単一視点からの画像を用いた彼らの手法は、観察できる鏡面反射が疎であるために、大量の画像が必要で、推定される法線の角度分解能が低いという問題がある。

Meng ら [2] もまた、ライトフィールドに基づいて鏡面反射物体の法線を推定する手法を提案している。彼らの手法は、ワンショットの多視点画像のみを入力としている点で、複数の画像が必要な我々の提案手法よりも優れている。しかしながら、ワンショット、すなわち、単一の光源方向の下で観察される鏡面反射は限られるため、被写体の反射モデルを仮定する必要がある、また、推定可能な法線の範囲も限られてしまう。

## 3. 提案手法

本研究では、図 1 のように、撮像素子の直上、すなわち、通常のカメラでは撮像素子が配置されている位置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 [3] 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（マイクロレンズ画像やスーパーピクセルと呼ばれる）に

<sup>1</sup> 九州工業大学 大学院情報工学府 先端情報工学専攻

<sup>2</sup> 九州工業大学 大学院情報工学研究院 知能情報工学研究系

<sup>a)</sup> t.kurogi@pluto.ai.kyutech.ac.jp

<sup>b)</sup> okabe@ai.kyutech.ac.jp

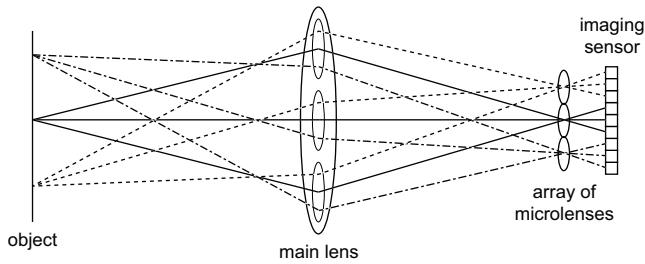


図 1 マイクロレンズアレイ方式のライトフィールドカメラの構造. 各マイクロレンズ直下の画素には, 同一の点を異なる視線方向から観察したときの画素値が記録される.

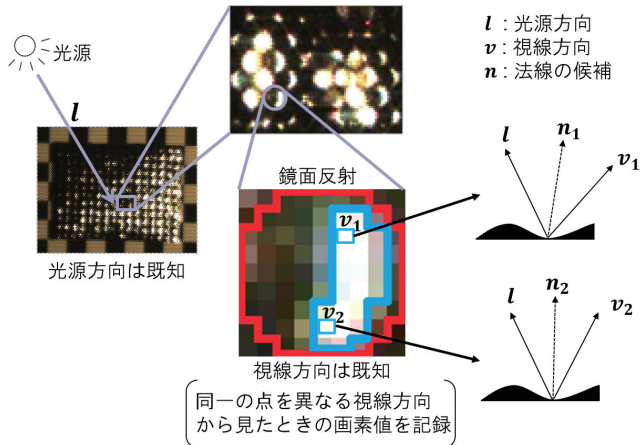


図 2 提案手法の概要. 多視点から捉えた鏡面反射を手掛かりに, 完全鏡面を仮定して法線の候補を推定する.

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.

提案手法では, 被写体を照らす光源方向を変化させながらライトフィールドカメラを用いて撮影した  $L$  枚の画像を入力とする. このとき, 物体表面上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た  $L$  枚のマイクロレンズ画像には, 光源方向・視線方向・法線方向に応じて鏡面反射 (ハイライト) が観察される (図 2). 光源方向と視線方向が既知で, 被写体が完全鏡面であると仮定すると, 光源方向と視線方向を 2 等分する方向を法線方向とみなすことができる. したがって, 物体表面上の各点ごとに,  $L$  枚のマイクロレンズ画像において鏡面反射が観察された画素の数だけ, 法線の候補が得られる.

実際には, 被写体の反射特性が完全鏡面に従うとは限らず, 鏡面反射は正反射方向を中心にある程度の広がりを持つと考えられる. そのため, 得られた法線の候補にもまたある程度のバラツキがあると考えられる. そこで, ミーンシフトアルゴリズムにより法線候補の最頻値を求めてその点における法線とみなす.

## 4. 実験

実験では, 表面に凹凸のあるアルミシートを被写体として, Lytro の第 1 世代機を用いて撮影した 30 枚 ( $= L$ ) の画

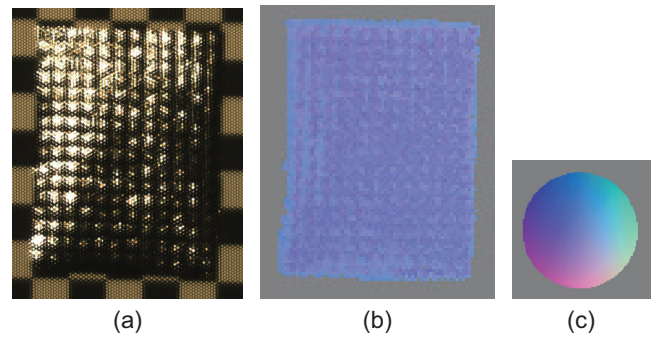


図 3 実験結果: (a) 入力画像の一例, および, (b) 提案手法により推定した法線と (c) 球面の法線を可視化したもの.

像を用いた. 被写体の周囲に 4 つの金属半球面を配置し, ハイライトを手掛かりにして各々の位置から見た光源方向を求めたのち, 被写体表面上の各点における光源方向を内挿により求めた. また, 主レンズの口径, および, カメラから被写体までの距離に基づいて, マイクロレンズ画像内の各画素の視線方向を経験的に定めた. なお, ミーンシフトアルゴリズムの初期値は法線候補の平均とした.

図 3 に, (a) 入力画像の一例, (b) 提案手法により推定した法線を可視化したもの, および, (c) 球面の法線を可視化したものを示す. 視線方向が正確ではないため定性的な考察しかできないが, (b) と (c) を比較すると, 法線がカメラを向いていると考えられる多くの領域は水色になっていること, および, 表面の凹凸に応じた法線の変化が観察されることから, 良好な結果が得られていると考えられる.

## 5. むすび

本稿では, ライトフィールドに基づいて, 比較的少数の画像から鏡面反射物体の法線を推定する手法を提案した. 視線方向の較正, 既存手法との比較実験, および, 未較正光源への拡張などは今後の課題である.

## 参考文献

- [1] T. Chen, M. Goesele, and H.-P. Seidel, "Mesostructure from specularity", In Proc. IEEE CVPR2006, pp.1825–1832, 2006.
- [2] L. Meng, L. Lu, N. Bedard, and K. Berkner, "Single-shot specular surface reconstruction with gonio-plenoptic imaging", In Proc. IEEE ICCV2015, pp.3433–3441, 2015.
- [3] R. Ng, M. Levoy, M. Bredif, G. Duval, M. Horowitz, and P. Hanrahan, "Light field photography with a hand-held plenoptic camera", Stanford Tech Report CTSR 2005-02, 2005.
- [4] R. Woodham, "Photometric method for determining surface orientation from multiple images", Optical Engineering, 19(1), pp.139–144, 1980.