

偏光照明環境による実物体の光沢の操作

三好 優輝 川原 僚 岡部 孝弘

九州工業大学情報工学部

1 はじめに

物体の見えは、その形状や反射特性だけでなく、物体を照らす光源にも依存する。CG, CV 分野において物体の見えを操作するタスクは質感編集と呼ばれ、任意照明環境下における実物体の光沢、つまり鏡面反射成分の操作は、AR, MR への応用が期待されている。

任意照明環境下における実物体の見えの操作には、光源を球面/半球面状に配置したライトステージや球面/半球面スクリーンが用いられる。Ma ら [1] は、拡散反射光の明るさが入射光の偏光方向にほとんど依存しないのに対して、鏡面反射光の明るさが入射光の偏光方向に強く依存することに着目し、光源と直線偏光板を離散的に設置したライトステージにより、鏡面反射光の明るさが小さくなるように物体を照明し、拡散反射と鏡面反射を分離する手法を提案している。しかし、Ma らの手法では、カメラの前に偏光板を設置する必要があることに加え、光源の偏光方向は固定されているため、鏡面反射成分の強調は困難である。

そこで本稿では、任意照明環境下において実物体の光沢を操作する手法を提案する。提案手法では、実物体を様々な色・明るさ・偏光状態で照明できる偏光プロジェクタ-スクリーンシステムを構築して、各光源方向の色・明るさだけでなく偏光方向も制御し、実物体上の鏡面反射光の明るさの強調・抑制を行う。

2 提案手法

一般に、入射光と物体表面の法線が張る入射面に対して、垂直/平行な偏光 (s 偏光/p 偏光) では反射率が異なることが知られており (図 1)、特に p 偏光反射率が 0 となる入射角はブリュースタ角と呼ばれる。鏡面反射光は視線方向と光源方向の二等分方向が法線と一致するときに最も強く観測される性質があるため、入射角と反射角が等しくなる光源方向を持つ入射光の偏光方向を s 偏光や p 偏光に近づけると、鏡面反射の強調や抑制ができる。

本手法では、鏡面反射の強調や抑制のための直線偏光の投影を図 2 に示す偏光プロジェクタ-スクリーンシステムで行う。本システムは DLP プロジェクタ、透過型液晶、半球状の偏光反射スクリーンから構成される。透過型液晶は 1 枚の偏光板と液晶層からなり、各画素の入力画素値に応じて、液晶層を透過し

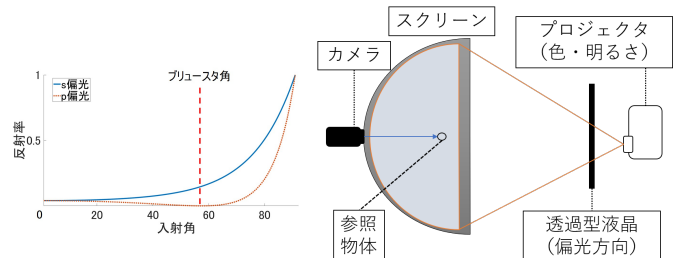


図 1: フレネル反射率の例

図 2: 照明システム

た光の偏光方向は最大 90° 変化する。また、偏光反射スクリーンは、反射前後で偏光方向を維持する性質を持つ。本システムでは、様々な色や明るさ、偏光方向を持つ照明環境を作り出すことが可能である。なお、半球面スクリーンに対し、材質の似た小さな物体を被写体として用いることとし、半球面スクリーンが遠方光源であることを仮定する。

提案手法では、様々な画素値をプロジェクタと透過型液晶に入力して生成した直線偏光を実物体表面上の各点に入射させ、その反射光をカメラで撮影する。具体的には、まず、事前の較正として、偏光カメラと参照物体に球を用いることにより、プロジェクタ画像座標-透過型液晶座標-法線間の対応関係を推定する。

次に、透過型液晶へ画素値が 0 から 255 までの一様なグレースケール画像を入力して入射光の偏光方向を変化させながら参照物体の撮影を行う。撮影画像の画素毎に 256 個の入力画素値と観測輝度値の関係を求め、ルックアップテーブルを作成する。そして、ルックアップテーブルを参照して所望の光沢を与える透過型液晶への入力画素値を求める。

3 実験

実際に、形状が未知の実物体の鏡面反射光の明るさを透過型液晶への入力画素値により操作できることを確認するため、図 3 に示すプロトタイプの実験装置を構築し、実験を行った。この実験では、カラー偏光カメラとして FLIR 社製 BFS-U3-51S5PC-C を使用した。

まず、事前の較正として、プラスチックの球に対して、Yamazaki ら [2] の構造化光を投影する手法と k 近傍法 (今回は $k=7$ とした) を組み合わせて、透過型液晶座標-法線間の対応関係の推定を行った。

次に、透過型液晶に画素値が 0 から 255 までの一様なグレースケール画像を入力して撮影を行い、得

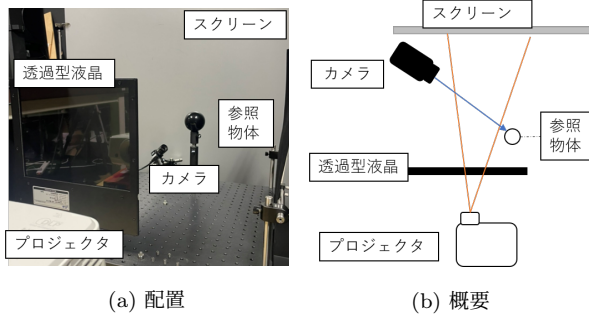


図 3: 実験装置

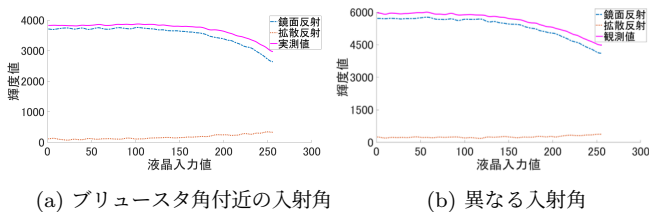


図 4: ある 2 つの画素の観測輝度値変化

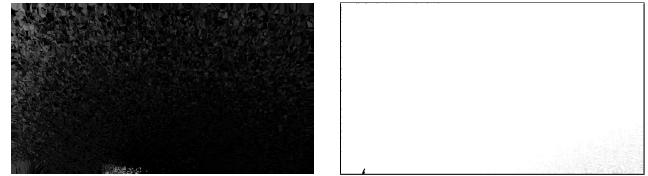
られた画像から反射成分を分離した。ブリュースタ角付近の入射角を持つ画素と、鏡面反射光を含むある画素に着目した観測輝度値の変化をそれぞれ図 4(a), (b) に示す。図 4(a), (b) のどちらも、透過型液晶への入力画素値の変化に応じて鏡面反射成分は大きく変化している一方、拡散反射成分はほとんど変化していない上に、輝度値としても非常に小さい値となっていることから、入射光の偏光方向に大きく依存するのは特に鏡面反射成分であることが分かる。

そして、鏡面反射光をより強調・抑制する透過型液晶入力パターン作成のため、画素毎に鏡面反射成分の観測輝度値が最大、最小となる透過型液晶入力画素値を探索した。探索結果と較正により推定した透過型液晶座標-法線間の対応に基づき、作成した透過型液晶入力パターンを図 5 に示す。

ここで、未知の形状の実物体に対して、作成した透過型液晶入力パターンの有効性を示すため、観測対象を 2 種類の形状が未知の実物体に変えて撮影を行った。図 6(a) と (b) は図 5(a) を、図 6(c) と (d) は図 5(b) をそれぞれ透過型液晶へ入力した撮影画像を示す。図 6(a) と (c), (b) と (d) を比較すると、ほとんどの鏡面反射発生部分において輝度値の変化が確認できる。また、図 6(e) と (f) はそれぞれ図 6(a) と (c), (b) と (d) の差分値を 5 倍したグレースケール画像を示す。図 6(e) と (f) では、図 6(a)~(d) のそれぞれにおいて、拡散反射成分が主な画素は、暗いまま、すなわち輝度値の変化が小さいことを示しており、定性的に作成した透過型液晶入力パターンが観測される鏡面反射成分を特に変化させていることが確認できる。

4 むすび

本稿では、偏光及び鏡面反射光の性質を利用して、形状が未知の実物体の光沢として観測される鏡面反



(a) 鏡面反射強調 (b) 鏡面反射抑制

図 5: 液晶入力パターン

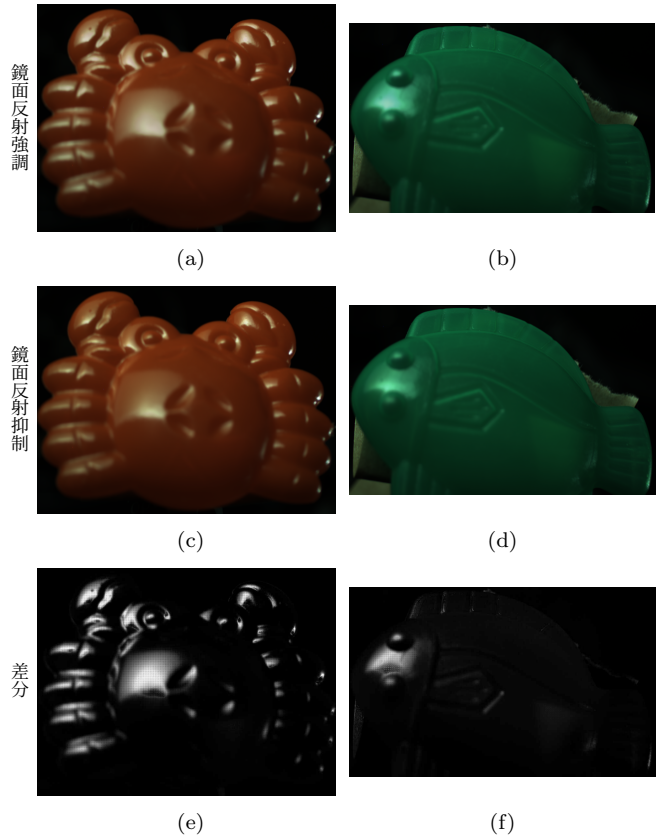


図 6: 作成パターンによる撮影画像

射光の明るさを操作する手法を提案し、実画像実験を通して提案手法の定性的な有効性を確認した。

今後の課題として、半球状のスクリーンへの拡張や、物体への入射光の偏光方向が最大 180° 変化するように拡張し、任意の偏光方向の光を入射させること、また、偏光の反射前後における偏光状態変化を記述したミューラー計算に基づく透過型液晶入力パターンの作成とそのパターンを用いた実験などがあげられる。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP20H00612 の助成を受けた。

参考文献

[1] W. C. Ma, T. Hawkins, P. Peers, C. F. Chabert, M. Weiss, and P. Debevec, "Rapid Acquisition of Specular and Diffuse Normal Maps from Polarized Spherical Gradient", In Proc. EGSR2007, pp.183-194, 2007.
 [2] S. Yamazaki, M. Mochimaru, and T. Kanade, "Simultaneous self-calibration of a projector and a camera using structured light", In Proc. PCS2011, pp. 67-74, 2011.