

## 光沢のある物体の再照明のための鏡面反射成分の補間

中居 大成 谷川 央周 岡部 孝弘  
九州工業大学 情報工学部

### 1. はじめに

照明環境は被写体の見えを左右する重要な要素の一つである。様々な照明条件下で撮影した実写画像を組み合わせることで、新たな照明条件下の画像を近似的に生成する手法は、Image-Based ReLighting (IBRL) と呼ばれる。IBRL は写実的な画像を生成することができる一方で、大量の実写画像を必要とする。

光沢のある物体の画像は、一般に、拡散反射成分と鏡面反射成分で構成される。新たな照明環境における拡散反射成分が少数の実写画像の線形結合で補間できる [1] のに対し、鏡面反射成分の線形補間 [2] には密な光源方向で撮影した大量の実写画像が必要になることが知られている。対数空間で線形補間を行う従来手法 [2] でも、鏡面反射によるハイライトが重なるように光源を配置する必要がある。

本稿では、形状と反射特性が未知の被写体に対し、新たな光源方向下での鏡面反射を補間する手法を提案する。具体的には、偏光に基づいて鏡面反射成分を抽出したのち、対数空間で線形補間を行う従来手法 [2] に、平滑化と鮮鋭化を組み合わせることでハイライトに重ならない場合でも写実的な補間を実現する。

### 2. 提案手法

#### 2.1 拡散反射と鏡面反射の分離

偏光光源に照らされた物体の反射光を直線偏光板を通して観察する。一般に、偏光板を回転させたときの回転角に対する鏡面反射成分の観測輝度値は正弦波状に変化する。偏光カメラでは主に  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  の 4 種類の透過軸を持つ偏光画素が撮影素子の上に規則的に配列されているため、光が偏光画素を透過することによって各偏光角における偏光成分が得られる。各偏光画素で得られた偏光成分と偏光角を用いて、観測輝度値に関する連立方程式を解くことで、画像を鏡面反射成分と拡散反射成分に分離することができる。

#### 2.2 拡散反射成分の補間

Shashua[1] は、平行光線および完全拡散反射面を仮定すると、光源方向の異なる 3 枚の画像の線形結合により任意光源方向の画像を表現できることを示している。3 枚

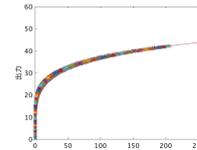


図 1: 入出力関係

の拡散反射画像をベクトルで表現したものを  $I_1^d, I_2^d, I_3^d$  とすると新たな光源方向の画像  $I^d$  は

$$I^d = c_1 I_1^d + c_2 I_2^d + c_3 I_3^d \quad (1)$$

と表すことができる。係数組  $[c_1, c_2, c_3]$  を変化させることで新たな光源方向下における拡散反射画像の生成を行う。

#### 2.3 鏡面反射成分の補間

鏡面反射成分の補間については、鏡面反射によるハイライトが重なっていると仮定して、対数領域における線形結合により、新たな光源方向下における鏡面反射画像を近似的に生成できることが知られている [2]。3 枚の鏡面反射画像をベクトルで表現したものを  $I_1^s, I_2^s, I_3^s$  とすると、それぞれの画像ベクトルに対して自然対数をとることで新たな光源方向の画像  $I^s$  は

$$\ln I^s = c_1 \ln I_1^s + c_2 \ln I_2^s + c_3 \ln I_3^s \quad (2)$$

と表すことができる。係数組  $[c_1, c_2, c_3]$  を変化させることで鏡面反射の補間を行う。しかし、ハイライトが重なっていない場合には補間を行うことができない。

提案手法では、式 (2) による鏡面反射の補間手法を拡張し、ハイライトが重なっていない場合における鏡面反射の補間を次の手順で実現する。最初に、鏡面反射の基底画像をガウシアンフィルタを用いて平滑化してぼかす。次に、ぼけた基底画像に対して従来手法 [2] を適用して、新たな光源下のぼけた鏡面反射を得る。最後に、ぼけた鏡面反射を鋭くする。この鮮鋭化では、基底画像の画素値と平滑化した基底画像の画素値の関係を用いる。具体的には、基底画像の画素値を入力、平滑化した基底画像の画素値を出力としたとき、入出力の関係は図 1 のようになる。入出力の関係を適当な関数に当てはめ、鏡面反射の補間結果を逆変換することで鏡面反射を鋭くする。

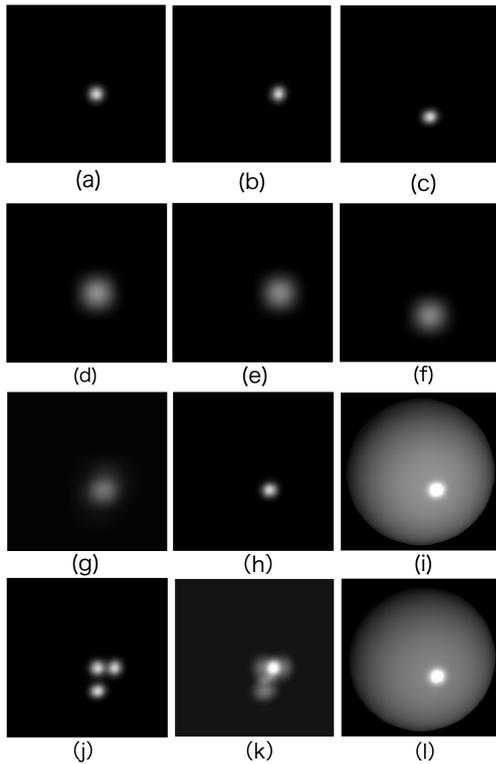


図 2: 合成画像実験の結果

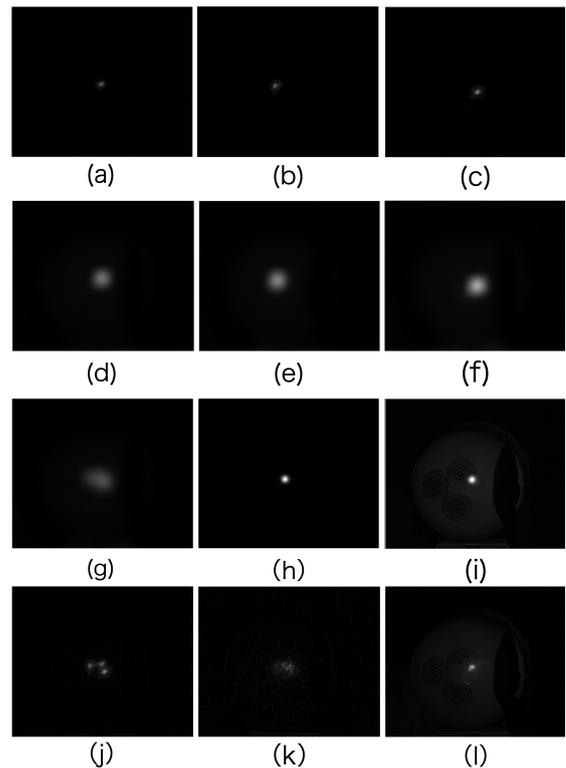


図 3: 実画像実験の結果

### 3. 実験

提案手法の有効性を確認するため、合成画像および実画像を用いた実験を行った。まず、図 2 に合成画像実験の (a)-(c) 基底画像、(d)-(f) 基底画像を平滑化した画像、(g) 平滑化画像に従来手法 [2] を適用した結果、(h) (g) を鮮鋭化した結果、(i) 拡散反射と組み合わせた提案手法の最終的な結果、(j) 基底画像の線型結合による結果、(k) 従来手法 [2] の結果、(l) 正解画像を示す。なお、図 2(i) では基底画像を参照して、画素値の補正を行っている。図 2(j) の線型結合や (k) の従来手法による補間では、基底画像のハイライトが残ったままになっているのに対して、(h) の提案手法による補間がうまく働いていることが分かる。また、図 2(i) の提案手法の最終的な結果と (l) の正解画像を比較すると、鏡面反射の位置と鋭さが正解画像に近いことから、定性的に良好な結果が得られている。

次に、図 3 に実画像実験の (a)-(c) 基底画像、(d)-(f) 基底画像を平滑化した画像、(g) 平滑化画像に従来手法 [2] を適用した結果、(h) (g) を鮮鋭化した結果、(i) 提案手法の最終的な結果、(j) 基底画像の線型結合による結果、(k) 従来手法 [2] の結果、(l) 正解画像を示す。なお、液晶ディスプレイに照らされた被写体を偏光カメラで撮影した画像を用いて、鏡面反射と拡散反射の分離を行った。図 3(j) の線型結合や (k) の従来手法による補間では、基底画像のハイライトが残っているのに対して、(h) の提案手法

による補間ではハイライトが一つにまとまっていることが分かる。また、図 3(l) 正解画像と比較して図 4(i) 提案手法の最終的な結果は、正解画像に近い鏡面反射の鋭さを実現しており、提案手法による平滑化画像の線形補間および鮮鋭化が効果的であることを示している。

### 4. むすび

本稿では、疎な光源方向下における鏡面反射を滑らかに補間する手法を提案した。具体的には、鏡面反射の平滑化画像を対数領域で線型結合することで補間したのち、入出力関係に適切な関数を当てはめることで補間結果を鮮鋭化させた。合成画像および実画像を用いた実験を行い、本手法の有効性を示した。表面粗さに応じた適切な関数の当てはめは今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H01766、および、JP20H00612 の助成を受けた。

### 参考文献

- [1] A. Shashua, "Geometry and photry in 3D visual recognition," IJCV, 21(1/2), pp.99-122, 1997.
- [2] S. Lin and S. Lee, "A representation of specular appearance," In Proc. IEEE ICCV1999, pp.855-860, 1999.
- [3] L. Wolff and T. Boulton, "Constraining object features using a polarization reflectance model," IEEE Trans. PAMI, 13(6), pp.167-189, 1991.