

ぼけ画像復元による半透明物体の照度差ステレオ法

井下智加^{1,a)} 向川康博² 松下康之³ 八木康史¹

1. 概要

照度差ステレオ法は異なる照明条件下における物体の陰影に基づき物体の法線を推定する手法である．この手法は単純な拡散反射を起こすランバート面を仮定した解析に始まり [1]，近年においては鏡面反射や相互反射などの実環境における複雑な反射現象も扱えるようになってきている．しかし，表面下散乱を起こす半透明物体の法線推定は今だに難しく [2]，偏光板や特殊なパターン照明を用いて散乱光を除去することが必要とされている．

表面下散乱はある点に入射した光が物体内部に伝播し他の点から出射する現象であり，物体の形状と陰影を直接対応付けることを難しくする．そのため厳密な表面下散乱のモデルは複雑になりがちであるが，Munoz ら [3] は光学的に濃い半透明物体における表面下散乱は散乱フィルタと拡散反射の畳み込み演算により高精度に近似できることを示した．図 1 に示すのは Munoz らの近似モデルの概念図である．我々はこのモデルに基づき，ぼけ画像復元の枠組みと対応付けた半透明物体の照度差ステレオ法を提案する．半透明物体において観測される陰影は，計測対象が不透明物体であるときの拡散反射が散乱フィルタによりぼけたものとみなせるため，拡散反射を仮定する古典的な照度差ステレオ法により求めた法線も同様に正しい法線からぼけたものとみなすことができる．このことから，我々は推定された法線に対して逆畳み込み演算を行うことにより元の法線を推定する．

本研究においては，散乱フィルタをキャリブレーションにより得ることで，光学的に不均一な物体の法線推定も可能としている．また，光学的に均一な物体においては既存のぼけ画像復元の手法も適用できるため，散乱フィルタのキャリブレーションをせずに法線を復元することも可能である．

2. 問題設定と法線推定の流れ

本研究における問題設定は古典的な照度差ステレオ法と

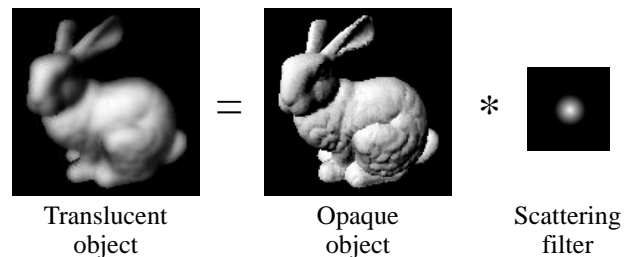


図 1 畳み込み演算による半透明物体の陰影の近似．半透明物体の陰影は不透明物体における拡散反射と散乱フィルタの畳み込み演算の結果とみなすことができる．

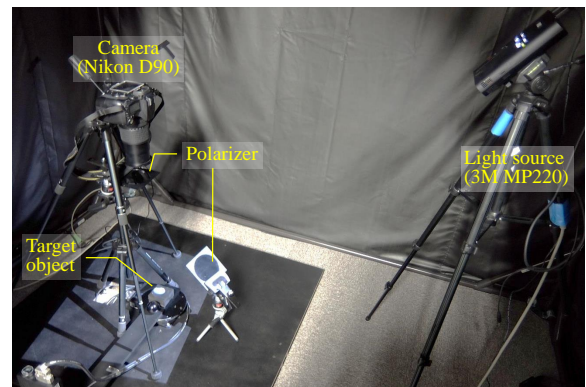


図 2 実験環境．散乱フィルタのキャリブレーションのため，光源にはプロジェクタを使用している．また，偏光板は鏡面反射を除去するために使用している．

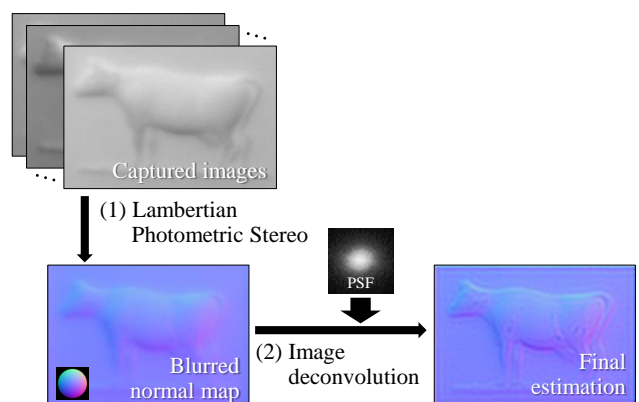


図 3 法線推定の流れ

同様であり，無限遠の点光源を仮定，カメラの視点は固定し，様々な方向から照明された観測画像から物体の法線を

¹ 大阪大学
² 奈良先端科学技術大学院大学
³ マイクロソフトリサーチアジア
^{a)} inoshita@am.sanken.osaka-u.ac.jp

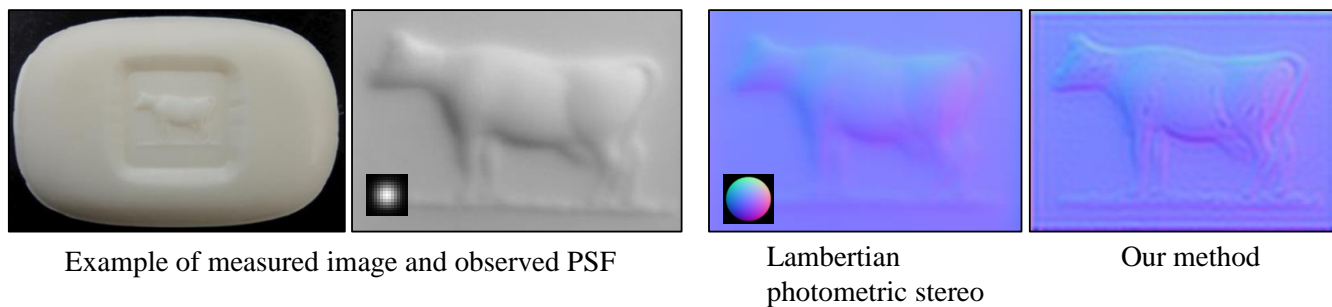


図 4 光学的に均一な物体における実験結果

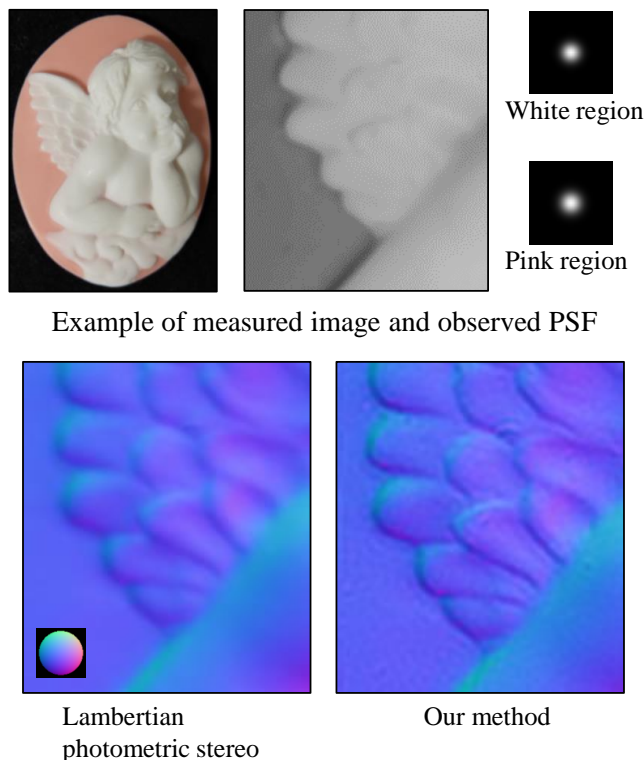


図 5 光学的に不均一な物体における実験結果

推定する．なお，光源の方向は既知とする．

散乱フィルタは撮影対象に細い光線を照射し，物体表面におけるその広がり方から推定を行う．光学的に不均一な物体を計測対象とする場合は光学特性が位置により異なるため，各点に対して光線を照射することで物体の散乱フィルタを得る．実験環境は図 2 に示すものであり，光線を制御するために光源にはプロジェクタを用いている．

図 3 に示すのは法線推定の流れであり，[3] の近似モデルに基づき 2 段階の手順により法線の推定を行う．

- (1) 古典的な照度差ステレオ法による法線推定
既知の光源方向を用いて，古典的な照度差ステレオ法 [1] を適用し，散乱フィルタによってぼけた状態の法線を推定する．
- (2) ぼけ画像復元による法線推定
前段階において推定された法線に対し，ぼけ画像復元を行うことで最終的な解を得る．この演算においては，

既存の復元手法を適用しても良い．本研究では，畳み込み演算を行列演算として扱い，物体の各点において散乱フィルタが変化する光学的に不均一な計測対象も復元できるようにしている．

3. 実験と考察

計測対象として，光学的に均一・不均一な物体それぞれを準備し，法線推定を行った．実験環境は図 2 と同様であり，プロジェクタからは白パターンを投影し，撮影している．光源の方向のキャリブレーションには計測対象の隣に設置した黒い鏡面反射球を用いている．

図 4 に示すのは光学的に均一な物体における法線推定結果である．表面下散乱の存在により観測した陰影画像がぼけているため，古典的な照度差ステレオ法により得られた法線もぼけたものになっている．一方，我々の手法により逆畳み込み演算を行った結果では法線が鮮明化され，表面下散乱の影響が軽減されていることがわかる．

図 5 に示すのは光学的に不均一な物体における法線推定結果である．この計測対象においては，色が異なる部分で散乱特性が異なるため，それぞれの領域毎に散乱フィルタのキャリブレーションを行っている．推定結果においては，光学的に均一な計測対象における実験結果同様，古典的な照度差ステレオ法から得られる法線から，我々の手法により法線が鮮明化されていることがわかる．

以上のように，光学的に濃い半透明物体においては，本手法により法線を改善することができた．今後は，光学的に薄い物体に対しても適用可能な照度差ステレオ法の開発に取り組みたい．

参考文献

- [1] Robert J. Woodham, “Photometric Method For Determining Surface Orientation From Multiple Images”, vol. 19, pp. 139-144, Optical Engineering, 1980.
- [2] K. D. Moore, and P. Peers, “An empirical study on the effects of translucency on photometric stereo”, The Visual Computer, vol. 29, num. 6-8, pp. 817-824, 2013.
- [3] A. Munoz, J. I. Echevarria, F. J. Seron, and D. Gutierrez, “Convolution-Based Simulation of Homogeneous Subsurface Scattering”, Computer Graphics Forum, vol. 3, num. 8, pp. 2279-2287, 2011.