



Title	Efficient and Practical Exemplar-based Photometric Stereo
Author(s)	Enomoto, Kenji
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/89578
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (榎本憲二)	
論文題名	Efficient and Practical Exemplar-based Photometric Stereo (多様なシーンに対する高速な探索照度差ステレオ)
論文内容の要旨	

Throughout this dissertation, we consider high-fidelity 3D shape recovery from images, which is a fundamental problem in the computer vision field and required in various applications such as cultural heritage archives, film creation, and virtual reality. Photometric stereo is the most promising candidate for this purpose due to its ability of shape estimation in a per-pixel manner. It takes a set of images taken by a static camera under varying, known distant illuminations as input and recovers a scene's shape in the form of surface normal orientation by disentangling the interplay of a surface normal and reflectance in the image formation. Traditional photometric stereo assumes the Lambertian reflectance and convex surfaces, which deviate from real-world observations, thus introducing errors in surface normal estimates. This dissertation proposes photometric stereo methods for non-Lambertian, general reflectances and convex/non-convex surfaces with simple searching strategies that give a guarantee of reaching the globally optimal solution within the bound of an objective.

First, we address the photometric stereo problem for spatially varying, general reflectances. Unlike previous methods that are mostly based on continuous local optimization, we cast the problem as a discrete hypothesis-and-test search problem over the discretized space of surface normals. While a naive search requires a significant amount of time, we show that the expensive computation block can be precomputed in a scene-independent manner, resulting in accelerated inference for new scenes. It allows us to perform a full search over the finely discretized space of surface normals to determine the globally optimal surface normal for each scene point. We show that our method can accurately estimate surface normals of scenes with spatially varying reflectances in a reasonable amount of time.

Second, we propose the first nearest neighbor search-based photometric stereo, named Discrete Search Photometric Stereo (DSPS), for a scene with spatially varying, general reflectances. We show that the photometric stereo problem for general reflectances can be turned into a well-known nearest neighbor search problem over a set of appearance exemplars; a set of synthetic appearances generated from all possible pairs of finely discretized surface normals and reflectances. We demonstrate that the proposed method efficiently and accurately estimates both surface normals and reflectances, powered by advanced nearest neighbor search methods.

Third, we address the photometric stereo problem for a general scene with spatially varying, general reflectances and non-convex surfaces. Since the accuracy of our DSPS is determined by the coverage of the appearance exemplars, an augmentation of the appearance exemplars directly improves the surface normal estimation. We, therefore, introduce general appearance exemplars that take into account non-convex surfaces and more diverse reflectances than existing appearance exemplars. Our general appearance exemplars can be easily plugged into DSPS and improve the surface normal estimation accuracy, particularly in non-convex regions. Furthermore, our general appearance exemplars allow us to estimate a convexity (convex or non-convex) of a surface and incorporate benefits of different photometric stereo methods using the knowledge of the estimated convexity. We show that our DSPS with general appearance exemplars can accurately estimate surface normals on both convex and non-convex surfaces with diverse reflectances. We also demonstrate that incorporating different photometric stereo methods based on the estimated convexity provides more accurate surface normal estimates than either.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (榎 本 憲 二)		
最終試験担当者	(職)	氏 名
	主 査 教授	松下 康之
	副 査 教授	春本 要
	副 査 准教授	矢内 直人
	副 査 教授	原 隆浩
	副 査 教授	藤原 融
	副 査 教授	鬼塚 真
	副 査 教授	下條 真司

論文審査の結果の要旨

実世界物体の三次元形状復元は、コンピュータビジョンにおける重要な基礎技術である。測光学に基づく三次元形状復元アプローチ（照度差ステレオ法）では、光に照らされた物体表面の陰影パターンから物体の微細な三次元形状を推定する。この照度差ステレオ法では、観測画像のピクセルごとの形状情報を法線の形式で獲得できるため、高精細な三次元形状推定が可能であり、文化財などの三次元形状をデジタルデータとして保存するデジタル・アーカイブや、バーチャルリアリティ、デジタルツイン、ロボティクスなど様々なアプリケーションへの応用が期待されている。これまでの照度差ステレオ法では、非拡散反射面に対する法線の推定精度が低下するという課題があった。本論文では、照度差ステレオ法の拡張問題である法線と材質の同時推定問題に対して、探索をベースとした照度差ステレオ法に取り組んでいる。特に、材質のデータベースが拡充される将来を見据え、非拡散反射を含む多様な材質に対する高精度かつ高速な照度差ステレオ法を提案している。本論文の主要な研究成果を要約すると以下の通りである。

- 探索照度差ステレオにおいて、陽に材質を推定せずとも法線の推定が可能であることを世界で初めて示し、材質推定をバイパスすることで法線推定の高速化を実現した。また、法線探索のさらなる高速化のために、高負荷な計算ブロックが事前計算可能であることを示し、既存手法に比して精度を落とすことなく大きな速度向上を実現した。
- 探索照度差ステレオ法では、法線を離散化するが材質は連続として扱う問題設定が主流であった中で、本論文では初めて法線と材質を共に離散化するアプローチを提案した。また、この新しい離散化アプローチにより、探索照度差ステレオ問題が最近傍探索問題に帰着することを示し、精度を落とすこと無く高速な照度差ステレオ法を実現した。
- 探索照度差ステレオ法では材質データベースに含まれない大域照明効果が含まれると精度が低下することを指摘し、さらに、観測ベクトルから局所照明・大域照明の分類をする手法を考案し、これにより材質データベースを拡張する手法を提案した。また、このデータ拡張が、探索照度差ステレオ法の精度向上に寄与することを実験的に示した。

以上のように、本論文は測光学に基づく三次元形状復元に関する検討を深めた先駆的な研究として、情報科学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。