



Title	Deep Photometric Stereo for High-fidelity 3D reconstruction
Author(s)	山藤, 浩明
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/82295
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 (山藤 浩明)	
論文題名	Deep Photometric Stereo for High-fidelity 3D Reconstruction (深層照度差ステレオによる高精細な3次元形状復元)
<p>論文内容の要旨</p> <p>3D reconstruction is a problem of estimating the 3D shape of a scene using cameras or other sensors. It is one of the fundamental problems in computer vision. In particular, recovering a high-fidelity 3D shape is desired in various applications, such as a digital archive, virtual reality (VR), and robotics. In this thesis, we develop a high-fidelity 3D reconstruction method based on photometric stereo. Photometric stereo estimates the orientations of a scene surface, i.e., surface normals, from multiple images captured under varying lighting conditions. Since photometric stereo observes shading changes in a per-pixel manner, it is suitable for recovering per-pixel surface normals, resulting in high-resolution shape recovery. Besides, photometric stereo can estimate the reflectances of a scene surface in addition to the surface normals.</p> <p>The advantages of photometric stereo are (a) it can yield high-resolution shape estimates as high as the resolution of input images, (b) it can estimate reflectances in addition to surface normals, which are useful for reproducing the appearance of a scene, and (c) since photometric stereo only uses a camera and multiple light sources, its installation cost is lower than other methods that rely on expensive sensors. Despite the above advantages, photometric stereo has not been widely used in practice because of the following three problems. (1) Conventional methods require knowledge about the material of a scene surface in advance to model reflectances on the surface. Because the reflectance model depends on the surface material, there has not been a unified method that can be applied to diverse materials. (2) A conventional capturing setup of photometric stereo requires a large space to place light sources sufficiently far away from a target scene to approximately realize infinitely distant light sources, i.e., parallel lighting. In other words, if light sources are placed close to a target scene, it becomes a near-light setting; the deviation from the distant light assumption degrades the shape estimation accuracy. (3) Most photometric stereo assumes that the lighting conditions under which a target scene is observed are known by calibrating the light sources in advance. However, conventional calibration methods require a special calibration target that is carefully manufactured or measured. That makes it difficult to apply a photometric stereo to a wide range of applications.</p> <p>The goal of this thesis is to solve the above problems and develop a practical and accurate photometric stereo method for high-fidelity 3D reconstruction. To deal with the first problem of dealing with diverse materials, in Chapter 2, we propose a deep learning-based approach, which we call a deep photometric stereo network (DPSN). DPSN learns the direct mapping from observations to surface normals by deep neural networks, and as a result, it can handle diverse materials in the real world. In Chapter 3, to solve the second problem caused by the distant light assumption, we extend our deep learning-based approach to deal with the near-light setting. As a result, the proposed method, which we call a deep near-light photometric stereo, can deal with diverse materials and near-light setting. In Chapter 4, to solve the third problem, we present a flexible light source calibration method. Instead of using a carefully designed calibration target, the proposed method uses an easy-to-make calibration target and estimates a light source position by observing shadows on the calibration target. Finally, in Chapter 5, we conclude the thesis by summarizing its contributions and describing potential venues of the future work.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (山 藤 浩 明)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授
	副 査	教 授
	副 査	教 授
	副 査	教 授
	副 査	教 授
		松下 康之
		鬼塚 真
		下條 真司
		原 隆浩
		藤原 融

論文審査の結果の要旨

物体の3次元形状復元は、コンピュータビジョンの分野において基礎的な技術の1つである。照度差ステレオ法は、測光学に基づく3次元復元手法の1つであり、同一視点下で光源環境を変化させながら対象物体を観測し、物体表面の陰影の変化から物体形状を推定する。観測画像のピクセルごとに陰影情報が得られるため、ピクセルごとの高精細な形状推定が可能という特徴があり、遺物などの3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、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。本論文では、従来の照度差ステレオ法に比べて、実世界の様々な材質の物体に対して高精度に推定できる、かつより簡便に適用できる実用的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次の通りである。

1. 深層学習の枠組みを導入した照度差ステレオ法を提案している。従来の照度差ステレオ法では物体表面における反射現象をモデル化して推定するため、事前に物体表面の反射特性に関する情報を得る必要がある。また各モデルは特定の反射特性を仮定しているため、様々な反射特性の物体に統一的に適用できる手法が存在しない。本論文では、深層学習の枠組みを導入し、学習データから反射特性をモデル化する手法を提案している。結果として、様々な反射特性を持つ物体に対して高精度に推定可能な手法を実現した。ベンチマーク評価においても、従来のモデリングに基づく手法に比べて高精度に推定可能なことを確認している。
2. 近接光源環境を考慮した深層学習に基づく近接照度差ステレオ法を提案している。従来の照度差ステレオ法の多くは対象物体を撮影する光源環境として無限遠光源、すなわち対象物体から無限遠に存在する点光源、を仮定してきた。実際の撮影装置では無限遠光源を近似的に実現するため、光源を可能な限り遠方に設置する必要があり、撮影装置が大規模なものになってしまう。また対象物体の近傍に光源を設置せざるを得ない場合、すなわち近接光源となる場合、無限遠光源仮定に起因して推定誤差が増加してしまう。本論文では、(a) 様々な反射特性と (b) 近接光源環境の両方に対処するために、深層学習に基づく近接照度差ステレオ法を提案している。提案手法では、既存の深層学習に基づく無限遠照度差ステレオ法をフレームワークの一部として利用し、近接照度差ステレオを再構成誤差の最小化問題として定式化する。結果として、金属など従来手法において扱うことの難しかった材質の物体に対して、近接光源環境下において高精度に推定可能な手法を実現した。
3. 光源の位置または方向を推定するための、簡便な光源キャリブレーション手法を提案している。多くの照度差ステレオ法では事前にキャリブレーションを行うことで、対象物体を撮影する光源環境を既知として推定を行う。しかし、従来の光源キャリブレーション手法は、精密に製造・計測された参照物体を必要とするなどコストが高く、実用上の応用が困難であった。本論文では、誰でも簡便に製作できる参照物体、すなわち平板上にまち針をランダムに刺した参照物体、を用いたキャリブレーション手法を提案している。板の姿勢を変化させながら、板に投影されるまち針の影を観測することで、光源の位置または方向と、まち針の位置を同時推定する。結果として、まち針の位置を事前に計測する必要がなく、簡便にキャリブレーションを実行することができる。推定精度の観点では、4つの実環境で実験を行い、高精度に推定可能なことを示した。

以上のように、本論文は深層学習に基づく照度差ステレオに関する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。