



Title	Lightweight Photometric Shape Recovery
Author(s)	曹, 旭
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/88152">https://doi.org/10.18910/88152</a>
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 ( 曹 旭 )	
論文題名	Lightweight Photometric Shape Recovery (測光学による簡便な3次元形状復元)
<p>論文内容の要旨</p> <p>Shape recovery from images is a fundamental task in computer vision. In this task, a target scene's three-dimensional (3D) shape is recovered from its image observations. The recovered shapes play essential roles in various applications, such as digital archives for preserving cultural heritages, city modeling for mapping services, and surrounding environment reconstruction for augmented reality experiences. Among all shape recovery methods, photometric-based methods are especially suitable for high-fidelity shape recovery. They first estimate per-pixel surface normals from single-view images captured under varying light conditions and then integrate the surface normals to obtain the 3D shape. Therefore, the success of photometric shape recovery depends on reliable normal estimation and integration methods.</p> <p>Although various methods have been proposed for normal estimation and integration, they are complex to apply in practice. In particular, two complexities in photometric shape recovery methods limit their applications. (1) Complex imaging setups are required for normal estimation. A typical capture procedure is to turn on multiple lights in turn to actively illuminate the scene, and may require careful calibration between the camera and lights. Consequently, photometric-based methods are not handy to apply and are mainly limited in laboratory or factory environments. (2) Complex strategies are used to handle outliers and discontinuities in normal integration. Existing normal integration methods require tedious hyperparameter tuning or non-convex optimizations to handle outliers. On the other hand, preserving the discontinuities in normal integration is so challenging that no existing method can solve the problem well. This thesis develops lightweight photometric shape recovery approaches to facilitate its real-world applications. In particular, we propose a lightweight imaging setup for high-fidelity normal estimation, a hyperparameter-free least-squares method to handle outliers in normal integration, and a straightforward strategy for effective discontinuity preservation in normal integration.</p> <p>In Chapter 2, we propose stereoscopic flash/no-flash photography to estimate high-fidelity surface normals and albedos. Our imaging setup only uses a stereo camera and a flashlight to capture the scene twice. As a result, we demonstrate that our method can be directly applied on off-the-shelf smartphones. In Chapter 3, we formulate the normal integration problem as the inverse plane fitting problem to handle outliers in the normal maps. Our objective function to be optimized remains least-squares and hyperparameter free. Nevertheless, we demonstrate that this least-squares formulation yields smooth shapes in the existence of outliers.</p> <p>In Chapter 4, we propose bilateral normal integration to preserve discontinuities in the shape. Our method's key is to model the discontinuities from the unknown shape. The discontinuities can be gradually recovered by iteratively solving for the shape and updating the discontinuity maps from the currently estimated shape.</p> <p>As a result, this thesis realizes high-fidelity shape recovery from a lightweight imaging setup applicable on off-the-shelf smartphones. By stereoscopic flash/no-flash photography, we can estimate high-fidelity normal maps. Then we can integrate the normal maps to obtain high-fidelity shapes with discontinuity preserved, and the shapes are barely affected by outlier normal vectors.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (曹 旭)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主査	教授 松下 康之
	副査	教授 春本 要
	副査	准教授 荒瀬 由紀
	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

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へのアプローチでは、物体表面の陰影パターンから物体の三次元形状を推定する。観測画像のピクセルごとの形状情報を法線という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、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。一方で、測光学に基づくアプローチには、(1) 撮像系が複雑になる、(2) 推定された法線を形状に変換する際に、外れ値や不連続点が問題となる、といった課題が残っていた。本論文では、従来の測光学に基づく三次元復元において、上述の二つの課題を解消することで、より実際のセットアップにおいても適用可能な簡便な三次元形状復元手法を提案している。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。

1. 撮像系の簡略化を考察し、ステレオカメラとフラッシュライトのみの簡便な撮像システムによる高精細な三次元形状復元手法を提案した。従来のステレオカメラによる測距に加えて、フラッシュライトを点灯・非点灯した二枚の画像 (flash/no-flash photography) から、高精細な物体法線を推定可能であることを示した。屋内及び屋外における実際的なシーンに対して適用し、その有効性も示されている。
2. 推定された法線を三次元形状へ変換する問題では、推定された法線に含まれる推定誤差の扱いが課題となる。従来手法では、形状復元の際に最小化する目的関数を、視線方向軸に固定することが提案されていたが、本論文ではその問題点を明らかにし、新たに法線を軸とする面と推定点の誤差に着目した目的関数を提案した。結果として、どの従来手法よりも高精度で頑健な三次元形状復元が可能となった。
3. 法線から三次元形状への変換問題において、遮蔽によって生じる不連続点が大きな課題として残っていた。これに対して、本論文では三次元形状復元において右微分、左微分の概念を導入し、それぞれに応じた適応的重み付けによって両側性 (bilateral) な法線積分手法を提案した。事前には不連続点がどこにあるかは未知であるため、反復的に不連続点を推定しつつ重み付けを決定するアルゴリズムも構築した。結果として、従来は困難であった、不連続点を含む形状も高精度に復元できるようになった。

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。