

全方位カメラと球面鏡で構成された 反射屈折撮像系における奥行き推定の検討

蛭田 雄也[†] 宋戸 英彦[†] 北原 格[†]
筑波大学[†]

1. はじめに

3次元情報は撮影シーンの空間的理解を助けることから、様々な分野において3次元情報の計測・提示技術の導入が進んでいる。センサを用いた3次元情報計測法としては、レーザー光を用いたセンシング技術や、多視点撮影による3次元復元^[1]などがあるが、特殊機材や大規模な観測装置を要するという欠点がある。

1台のカメラで撮影した画像から3次元情報の推定が可能となれば、コンパクトな観測装置が実現できる。Xianら^[2]は、深層学習を用いて単眼画像により、3次元情報の推定を行っているが、深層学習のためのデータが必要であるため、未知の世界を対象とするとき、正確な推定が困難となる。本稿では、鏡像を用いて撮影カメラとは異なる視点の画像を疑似的に撮影することにより、単眼画像から学習データを要せずに奥行きを推定する手法を提案する。

反射屈折光学系 (Catadioptric System) は、鏡とレンズにより構成される光学系である。その中でも、レンズとしてカメラを使用したシステムは反射屈折撮像系と呼ばれる。曲面鏡を用いた反射屈折撮像系は、一般的なカメラに比べて広い空間を観察できる。しかし、多くの反射屈折撮像系^[3]では鏡とカメラの位置関係が固定されているため観察の自由度が低い。本研究では、撮影画像から球面鏡の3次元位置を推定することにより、鏡とカメラの位置関係が可変な（観察自由度の高い）反射屈折撮像系を実現する。Agrawalら^[4]は複数の曲面鏡を使用して3次元情報を推定しているが、本研究では、図1に示すように全方位カメラを導入することで、球面鏡が一つしかない状況でも3次元情報推定が可能な手法を提案する。画像中で観察される鏡像領域を深層学習を用いて検出し、球面鏡の3次元位

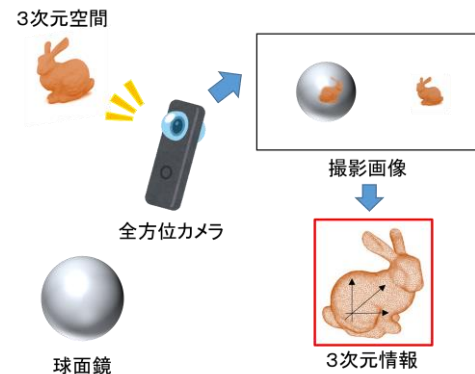


図1 全方位カメラと球面鏡で構成された反射屈折撮像系における奥行き推定

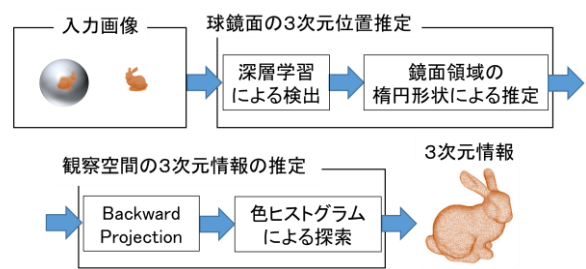


図2 全方位カメラと球面鏡で構成された反射屈折撮像系における奥行き推定手順

置を推定する。球面鏡形状と3次元位置の情報に基づいて反射屈折撮像系を構築し、ステレオ視によってシーンの3次元情報を推定する。

2. 全方位カメラと球面鏡で構成された反射屈折撮像系における奥行き推定法

本研究で提案する奥行き推定処理の流れを図2に示す。ここでは図1に示すように、シーン内に形状が既知の球面鏡が配置され、それを全方位カメラで撮影していることを想定する。

2.1 球面鏡の3次元位置推定

鏡像内外でのコンテキスト特徴を対比させることにより画像中の鏡像領域を検出する深層学習(MirrorNet^[5])を用いる。MirrorNetは透視投影画像を対象として学習されているため、全方位画像をキューブマッピングによって分割し学習モ

Depth Estimation with an Omnidirectional Camera and a Spherical Mirror

[†]Yuya Hiruta, Hidehiko Shishido, Itaru Kitahara, University of Tsukuba

デルを適用する。検出した鏡像領域には、検出誤差が含まれるため、鏡面球の半径など球面鏡の形状に関する事前知識を利用する。深層学習により検出した領域に対し、形状情報に基づいた楕円フィッティングを行い、楕円形状から球面鏡の3次元位置を推定する^[6]。

2.2 観察空間の3次元情報推定

推定した球面鏡の3次元位置情報を基に撮影シーンの3次元情報（奥行き：図3 |OP|）を推定する。まず、Backward Projectionにより球面鏡上の反射点（図3 X_s ）と物体（図3 P ）からの入射光線（図3 V_r ）を求める。次に、反射点での鏡像と対応する全方位画像部分のマッチングを行う。先に求めた物体からの入射光線は全方位カメラの撮像面に投影される時、エピソード曲線を描く。このエピソード曲線上を走査することにより、マッピングを行う。鏡の形状によって、カメラで撮影された鏡像には曲面歪みが含まれている。その結果、鏡像と全方位画像面で観測される同一地点の見え方が大きく異なるため、テンプレートマッチングなど観測像の形状変化の影響を大きく受ける類似度はマッピング指標としてふさわしくない。本研究では、形状変化の影響が小さい特徴量である色ヒストグラムによって類似度を算出する。このとき、ヒストグラムを取得するマスクは、形状変化に対応するために反射点が撮像される位置や、反射点と物体の位置関係（図3の赤線と緑線で示される光路長の比）により設定する。

3. 実験

CGを用いて撮影環境を構築し、図4に示す全方位画像を撮影した。提案手法で推定した奥行き画像を図5(a)に示す。図5(b)にこの時の真値（Ground Truth）を示す。

4. まとめ

本稿では、単眼全方位カメラと単一球面鏡で構成された反射屈折撮像系に基づいて3次元空間の奥行き情報を推定する手法を提案した。CG環境で撮影した画像を用いた実験を実施し、提案手法の有効性を確認した。

参考文献

[1] Umesh R. Dhond, Jake K. Aggarwal. "Structure from Stereo - A Review". IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, 19 (6): 1489-1510, 1989.
 [2] Ke Xian, Chunhua Shen, Zhiguo Cao, Hao Lu, Yang Xiao, Ruibo Li, Zhenbo Luo. "Monocular Relative Depth Perception with Web Stereo Data Supervision". IEEE Conference on Computer Vision and Pattern

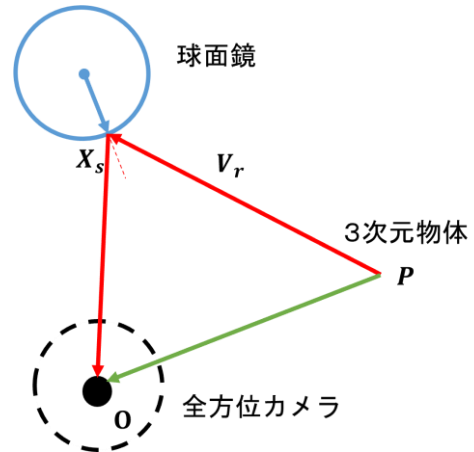


図3 撮影シーンの3次元情報（奥行き|OP|）の推定



図4 構築したCG環境で撮影した画像：画像中央にある円状の領域が球面鏡による鏡像領域

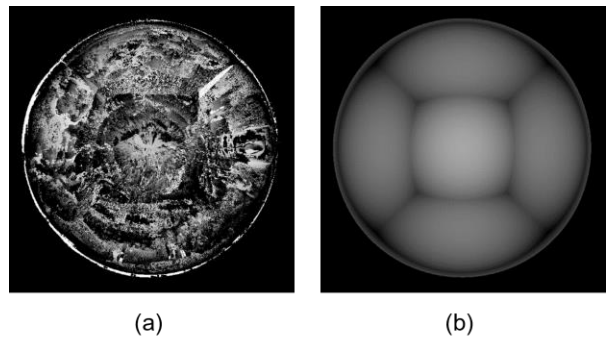


図5 撮影画像から推定した奥行き画像(a)と真値（Ground Truth）画像(b)

Recognition (CVPR), 311-320, June 2018.
 [3] Kazumasa Yamazawa, Yasushi Yagi, Masahiko. Yachida. "HyperOmni Vision: Visual Navigation with an Omnidirectional Image Sensor". Systems and Computers in Japan, Vol.28, No.4, pp.36-47, Apr 1997.
 [4] Amit Agrawal, Yuichi Taguchi, Srikumar Ramalingam. "Beyond Alhazen's Problem: Analytical Projection Model for Non-central Catadioptric Cameras with Quadric Mirrors". IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Colorado Springs, CO, USA, 20-25 June 2011.
 [5] Xin Yang, Haiyang Mei, Ke Xu, Xiaopeng Wei, Baocai Yin, Rynson W. H. Lau. "Where Is My Mirror?". International Conference of Computer Vision (ICCV), 3 Oct 2019.
 [6] 金谷 健一, 菅谷 保之, 金澤 靖. 「3次元コンピュータビジョン計算ハンドブック」. 森北出版. 2016. 10. 27.