

## 2面直交リフレクタを用いた Shape from Focus

布施 良朗 岡部 孝弘  
九州工業大学 情報工学部

### 1 はじめに

焦点を変化させて撮影した対象物体の画像群（多焦点画像群）から物体表面上の各点の奥行きを求める技術は、Shape from Focus (SFF) と呼ばれる。Nayarら [1] は、光学顕微鏡と移動ステージを用いて作成した計測装置で多焦点画像群を取得し、SFF による3次元形状の復元を行った。

本稿では、2面直交リフレクタを用いたSFFによる奥行き推定法を提案する。2面直交リフレクタは、2層のマイクロミラーアレイからなるプレートで、図1に示すようにプレートの片側にある点光源から放たれた光が反対側の対称な位置で一点に交わる性質を持つ。したがって、2面直交リフレクタはレンズと合焦に関して類似の働きをすることから、SFFの枠組みで奥行きを推定することができる。本稿では特に、大口径の2面直交リフレクタを用いることで、小口径レンズでは困難な遮蔽の背後の奥行きも頑健に推定できることを示す。

2面直交リフレクタの応用として、Hirataniら [2] は単一のプロジェクタで影のできないプロジェクションマッピングのシステムを構築している。また、Aotoら [3] は鏡と2面直交リフレクタを組み合わせることでライトフィールドを伝搬し、遮蔽の背景の映像を映す光学クローキングディスプレイを構築している。提案手法は、これらの先行研究とは異なる、2面直交リフレクタの新たな応用である。

### 2 提案手法

#### 2.1 2面直交リフレクタの利用

図1に示すような2面直交リフレクタによる結像位置付近の様子をスクリーンを用いて観測する。このとき、立体的な被写体の実像は3次元状に分布するため、観測される画像には焦点が合う領域と合わない領域が存在する。この性質から、移動ステージを用いてスクリーンを奥行き方向に移動させることで多焦点画像が得られる。被写体のテクスチャが十分ではない場合を考慮し、プロジェクタを用いてモノクロ2階調のランダムパターンを投影することで合焦の有無による画素値の変化を増大させる。また、小口径レンズでは奥行き推定の困難な遮蔽された領域においても、図1に示

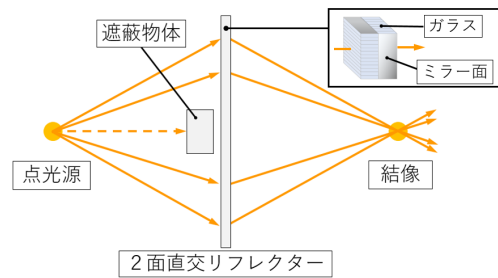
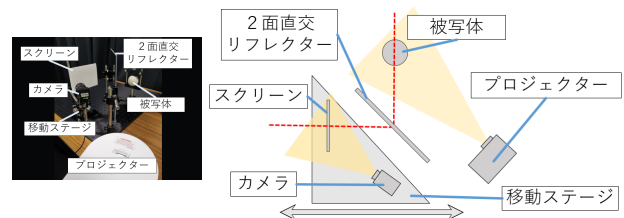


図1: 集光原理



(a) 計測装置

(b) 計測装置を上から見た図

図2: 実験の撮影環境

すように大口径である2面直交リフレクタには一部の反射光が到達する。このことから、遮蔽された領域においても奥行き推定を行うことが可能となる。

#### 2.2 奥行き推定

各画素において合焦している移動ステージの位置を求めることで奥行き推定が可能となる。移動ステージの位置を変化させると合焦の度合いが変化することから、撮影動画の全フレームに対して合焦の度合いを表す指標を計算し、値のピークを求めることで合焦しているステージ位置が得られる。観測した移動ステージの初期位置を基準として、合焦しているステージ位置との距離を全画素で求めることで被写体全体の奥行き推定を実現する。

### 3 実験

#### 3.1 多焦点画像の取得

提案手法の有効性を確認するために図2(a), (b)に示すようなカメラ、移動ステージ、および、レーザープロジェクタなどと組み合わせたプロトタイプシステムを作成した。図2(a)は計測装置の写真であり、図2(b)は計測装置を上から見た図である。実験に使用した2面直交リフレクタはASKA3Dである。このシス

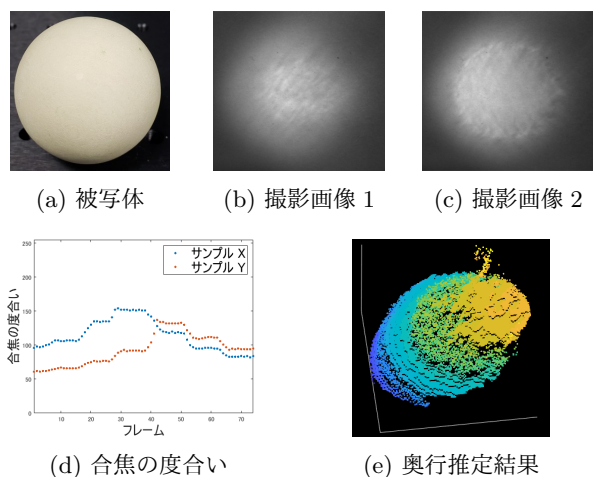


図 3: 遮蔽のない被写体の奥行の推定結果

テムでは被写体をプロジェクタで照らすことで発生した反射光が2面直交フレクタを通過し、スクリーン位置付近で結像するように撮影環境を構築した。撮影時には光源としてモノクロ2階調のランダムパターンを投影し、スクリーンとカメラを設置した移動ステージを動かしながら撮影を行うことで多焦点画像を取得した。また、合焦の度合いを表す指標としてLoGフィルタを使用した。

### 3.2 遮蔽のない被写体の奥行の推定

図3(a)に示す球を用いた実験を行い、撮影した動画の異なるフレームに関して正面からの視点にホモグラフィ変換を行ったものを図3(b), (c)に示す。これらの画像から多焦点画像が取得できていることがわかる。

また、図3(d)に撮影動画のフレームの変化(ステージの奥行の変化に対応)による合焦の度合いの変化を示す。サンプルXは球の中心付近のある画素であり、サンプルYは球の端付近のある画素である。このグラフから奥行きが異なる点において合焦の度合いのピークが異なっていることが確認できる。図3(e)は入力動画の全画素の奥行を計算し、合焦の度合いが閾値以下の画素を省いて奥行きを表示した結果であり、黄色で示される球の中心付近の点から離れるほど青色で示される深い奥行へなだらかに変化していることが分かる。十分な光が当たらず省かれた領域も存在するが、球と類似の形状が復元できており、2面直交フレクタを用いたSFFの有効性が確認できた。

### 3.3 遮蔽の背後の奥行の推定

遮蔽の背後の奥行の推定の有効性を確認するために図4(a)に示す棒を棒で遮蔽したものを被写体に用いて撮影を行った。この写真では被写体の形状の確認のために斜めからの視点となっているが、実験の際にはスクリーンの中央から見て、片方の棒がもう片方の棒

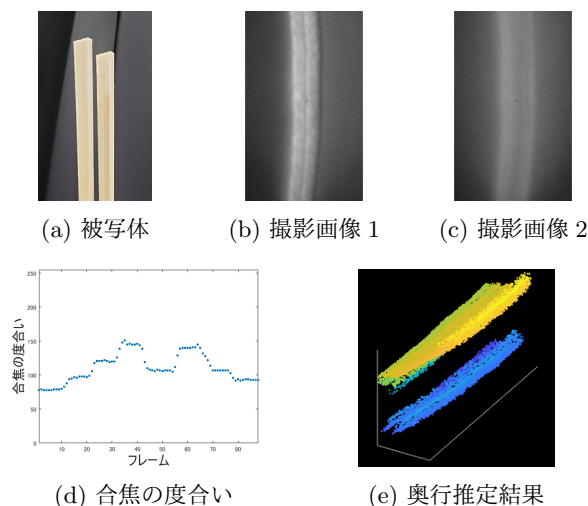


図 4: 遮蔽のある被写体の奥行推定結果

を遮蔽するように設置した。撮影した動画の異なるフレームに関して正面からの視点にホモグラフィ変換を行ったものを図4(b), (c)に示す。

また、図4(d)はある画素において撮影動画のフレームの変化による合焦の度合いの変化を示したものであり、合焦の度合いのピークが2つ生じていることが確認できる。図4(e)は節3.2と同様にして奥行を推定した結果であり、各被写体における遮蔽、被遮蔽の領域が共に推定できていることがわかる。この結果より、2面直交フレクタを用いたSFFによる遮蔽の背後の奥行の推定の有効性が確認できた。

## 4 むすび

本稿では、2面直交フレクタとレンズが合焦に関して類似の働きをすることに注目して、2面直交フレクタの新たな応用となる多焦点画像群を入力とするSFFによる奥行き推定法を提案した。また、大口径の2面直交フレクタを用いて、小口径レンズでは困難な遮蔽の背後の奥行きを推定できるという有効性を示した。合焦の度合いを表す指標の改善による推定精度向上が今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H01766 および JP18H05011 の助成を受けた。

### 参考文献

- [1] S. Nayar and N. Yasuo, "Shape From Focus," IEEE Trans. PAMI, 16(8), pp.824-831, 1994.
- [2] K. Hiratani, D. Lwai, P. Punpongsanon and K. Sato, "Shadowless Projector: Suppressing Shadows in Projection Mapping with Micro Mirror Array Plate," In Proc. IEEE VR2019, pp.1309-1310, 2019.
- [3] T. Aoto, Y. Itoh, K. Otao, K. Takazawa, and Y. Ochiai, "A design for optical cloaking display," In Proc. ACM SIGGRAPH2019 Emerging Technologies, Article No.3, 2019.