

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：17104

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K21319

研究課題名（和文）多領域光線空間のモデル化による水中物体の3次元形状復元

研究課題名（英文）Multi-layer Light Field for Underwater 3D Shape Recovery

研究代表者

川原 僚（Kawahara, Ryo）

九州工業大学・大学院情報工学研究院・助教

研究者番号：80911263

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、多領域光線空間のモデル化による水中物体の3次元形状復元である。令和3年度では、能動偏光光源、および偏光カメラからなる計測系において水槽中の被写体へと照射・観測される多領域光線空間をモデル化し、さらに多領域光線空間同士の変換関係と、その解析法を明らかにした。令和4年度では、多領域光線空間の解析による撮像系のキャリブレーション手法、および被写体の3次元計測手法の有効性を実画像実験を含む評価実験により実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、水中環境における屈折・散乱・吸収といった現象を含む視覚世界を解き明かす手がかりとして、特に偏光情報を利用するための理論の構築、およびその解析による3次元復元技術の具体的な提案と有効性の実証を行った点に学術的貢献がある。

また、本研究成果はコンピュータビジョン技術を水中撮影環境へ拡張する技術に貢献する。つまり、撮影画像から被写体の形、位置、色、質感、運動などの視覚的情報を非接触かつ非破壊で獲得する方法として、視覚情報処理分野への貢献、水中探査技術への応用、受精卵や水中生物の解析による生命情報学への貢献、養殖などの第1次産業における情報化といった波及効果が期待される。

研究成果の概要（英文）：This research aims to recover the 3D shape of underwater objects by modeling the multi-layer light field. In FY2021, we modeled the multi-layer light field that is illuminated to and observed from a underwater object in a measurement system consisting of an active polarization light source and a polarization camera. In addition, we described the transformation relationship between each light field and developed an analysis method for this model. In FY2022, we demonstrated the effectiveness of the calibration method for the imaging system and the 3D reconstruction method for underwater objects through evaluation, including real image experiments.

研究分野：小区分61010:知覚情報処理関連

キーワード：コンピュータビジョン コンピュータショナルフォトグラフィ 3次元形状復元 水中撮影 光線空間  
偏光解析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

空気中とは大きく異なる光学系をなす水中撮影環境の視覚情報処理を目指すにあたり、水中環境における屈折・散乱・吸収といった現象を含む視覚世界を解き明かす手がかりとして、本研究は人間の視覚ですら利用しない近赤外光や偏光の観測情報を利用する。そしてこれらを既存の光線空間の枠組みに導入するだけでなく、光線の表現を物体内部（媒質間の変換）へと拡張した多領域光線空間のモデル化による水中物体の3次元形状復元という研究課題に取り組む。本研究課題の遂行は、水中探査技術、生命情報学、水産業などをはじめとした多分野への波及効果が期待される。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、多領域光線空間のモデル化による水中物体の3次元形状復元である。水中環境における屈折・散乱・吸収といった現象を含む視覚世界を解き明かす手がかりとして、近赤外光および偏光の観測情報を光線空間の枠組みに導入する。さらに、光線空間の表現を物体内部（媒質間の変換）へと拡張した多領域光線空間のモデル化およびその解析による水中物体の詳細な3次元形状復元手法までを明らかにする。よって具体的には、海中等に潜水して水中物体撮影を行うのではなく、等価な環境として、空気中に光源およびカメラを設置し、水槽中に被写体が存在する環境において手法の有効性の実証に注力する。

### 3. 研究の方法

研究目的の実現のために、研究実施計画は以下に述べる (a) ~ (c) の段階に分けて進める。

#### (a) 多領域光線空間のモデル化：

具体的には、偏光状態が既知の能動光源としてのプロジェクタと、偏光カメラを用意する。さらに照射・観測波長を制御するために光源・カメラそれぞれの前に交換可能なバンドパスフィルタを設置し、水槽の中の被写体を観測するシステムを想定する。この計測システムにおける多領域光線空間をモデル化するにあたり、まずはプロジェクタの1画素から照射される光から、ミューラー行列を光線空間のために拡張した理論の検討から開始し、多領域光線空間同士の変換関係を記述し、その解析法の理論的検討に注力する。

#### (b) 多領域光線空間を用いた透明物体の3次元形状復元：

(a) と同様の計測環境において、散乱のない透明物体を対象として、多領域光線空間の解析法の有効性を実証する。ただし計測系は幾何学的・光学的にキャリブレーション済みであると仮定する。

(c) (a), (b) と同様の計測環境において、散乱のある半透明物体を対象として、多領域光線空間の解析法の有効性を実証する。さらに解析時に計測系自体を含む幾何学的・光学的な全体最適化問題にも取り組む。

### 4. 研究成果

#### 令和3年度：

能動偏光光源、および偏光カメラからなる計測系（**図1**）において水槽中の被写体へと照射・観測される多領域光線空間をモデル化し、さらに多領域光線空間同士の変換関係と、その解析法の理論的検討に注力した。具体的には、偏光情報を含む光線を記述するために光の偏光方向を表す偏光面を定義し、これを用いて従来のプリュッカー座標系をミューラー行列およびジョーンズ行列に対して拡張した偏光光線としての記述を考案した（**図2(a)**）、また、屈折、反射、および座標変換に対して多領域光線空間同士の変換関係を記述した（**図2(b)**）。さらに、その変換関係を用いたキャリブレーション法及び被写体の形状復元法を考案

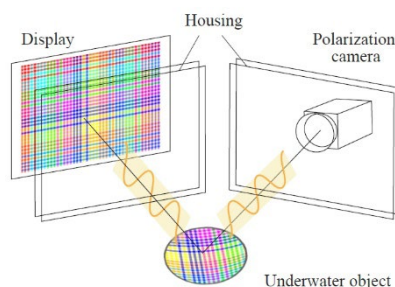


図1. 水中計測環境

した。これらは、コンピュータビジョンにおけるこれまでの幾何変換を拡張する新たな枠組みである。

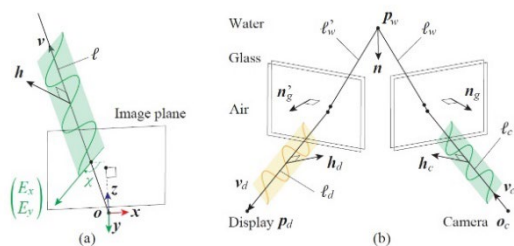


図 2. 多領域光線空間

令和 4 年度：

前年度に理論的検討を行った多領域光線空間の解析による撮像系のキャリブレーション手法、および被写体の 3 次元計測手法の有効性をシミュレーション実験、および実画像実験を通して定性的・定量的に評価した。

特に実画像実験に関して、

1. 能動偏光光源としての液晶ディスプレイ、およびカラー偏光カメラを用いて、水槽中の被写体に対して偏光を照射・観測する計測装置を構築した (図 3 (b))。
2. 考案した撮像系のキャリブレーションを水中に用意した単一の平面鏡を用いて行い、カメラに対する平面鏡の姿勢・位置推定を介してディスプレイの姿勢・位置を推定した、(図 3 (a))。
3. 照射・観測された多領域光線空間を解析し、水中物体の 3 次元形状 (奥行き・表面法線) を復元することで提案手法の有効性を実証した (図 4)。

また、これらの研究成果の一部をとりまとめ、国際会議において成果発表および議論を行った (主な発表論文等を参照)。

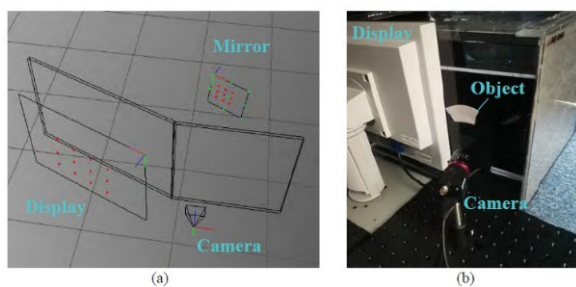


図 3. 実画像による実験環境

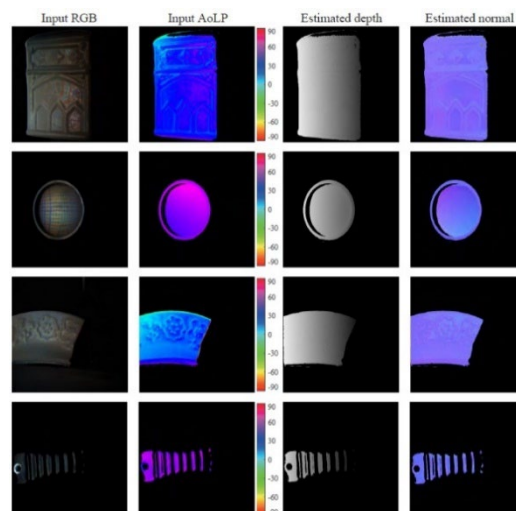


図 4. 水中物体の 3D 形状復元結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Ryo Kawahara, Meng-Yu Jennifer Kuo, and Takahiro Okabe
2. 発表標題 Polarimetric Underwater Stereo
3. 学会等名 Image Analysis: 22nd Scandinavian Conference, SCIA 2023, Sirkka, Finland (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Soma Kajiyama, Taihe Piao, Ryo Kawahara, and Takahiro Okabe
2. 発表標題 Separating Partially-Polarized Diffuse and Specular Reflection Components Under Unpolarized Light Sources
3. 学会等名 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------