

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：62615

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K23354

研究課題名（和文）水による光の物理特性を利用した形状推定

研究課題名（英文）Shape Estimation Using the Physical Properties of Light in Water

研究代表者

浅野 祐太（Asano, Yuta）

国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・助教

研究者番号：70884675

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、水中環境の深度測定を行うために、水による近赤外線光の吸収量の特徴として活用したステレオマッチングアルゴリズムと、水面で発生する光の屈折の波長間の差異の特徴として活用した水中の深度推定アルゴリズムを開発した。さらに、水分により光が吸収・散乱される特徴を応用し、悪天候時の空気中で発生する近赤外線光の減衰の特徴として活用した都市部の深度推定手法を考案した。水中の撮影に適した分光イメージングシステムを構築し、実際に深度マップを推定可能であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海底の形状や海洋生物の3Dデータを取得する方法は、海中や水産資源を調査する上で最も重要な技術の一つであるが、従来の形状推定手法には仮定や制限が多数存在するため、水中環境に直接適用することは難しい。本研究では、水中で発生する光の物理現象を波長方向について解析し、光の吸収・屈折による影響自体を深度推定のための手掛かりとして扱うことで、従来とは全く異なる特徴を活用した深度推定手法を考案した。提案手法を産業的に応用することで、海中環境に特化した3Dデータ取得技術の発展が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a stereo matching algorithm that utilizes the absorption of near-infrared light by water as a feature, and an underwater depth estimation algorithm that utilizes the difference in wavelength of light refraction occurring at the water surface as a feature, to measure the depth of underwater environments. Additionally, by applying the characteristics of light absorption and scattering by moisture, we devised a depth estimation method for urban areas that utilizes the attenuation of near-infrared light generated in the air during bad weather conditions as a feature.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：形状推定 水中 画像処理 分光

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本は世界第 61 位の国土面積の大きさが、排他的経済水域の面積では世界第 6 位、体積では世界第 4 位の大きさを誇る世界有数の海洋国家である。海中には天然資源や水産資源、自然エネルギーが豊富に存在し、海底の形状や深度、海洋生物の 3D データを非破壊・非侵襲・非接触で取得する方法は、海底や水産資源を調査する上で非常に重要な技術の一つである。従来光を利用した高精度かつ高解像度の形状推定手法には、光の空間方向の情報を活用した Triangulation 法や、光の時間方向の情報を利用した Time-of-Flight 法などがある。前者は複数の画像間で同一の対応点を抽出するための局所特徴量が十分に含まれる、後者は対象物が不透明でセンサが一般的な反射光を感知する、などの仮定や制限が多数存在する。そのため、色情報に関する特徴量の少ない海底や、特殊な反射特性を有する海洋生物の 3D データを取得することは難しい。さらに、一般的な推定手法は空気中で使用することを前提としており、光の強度や直進性が変化しないことを仮定しているため、海中で発生する光の吸収や散乱、屈折といった物理現象による影響で、高分解能かつ鮮明なセンシングを行うことが困難となり、海中に存在する膨大な情報を活用できていない。そのため、水中環境における非破壊・非侵襲・非接触で広範囲・高分解能・鮮明な形状推定技術が必要とされている。

2. 研究の目的

本研究では、対象の物体表面における光の反射特性や、対応点探索に必須な特徴量の有無に依存せず、そして光の強度や直進性が変化する水中環境において、対象の正確な 3D データを非破壊・非侵襲・非接触でリアルタイムに取得可能な技術の開発を目的とする。水中で画像を撮影する場合は、水による光の吸収・散乱・屈折現象の影響により、空気中とは異なる色みや画像ボケ・歪みが発生する。多くの先行研究では、水中で発生する光の物理現象による影響を解析の妨げとして捉え、可能な限り除去することを試みている。しかし、センサに届く光量や画像ボケ・歪み度合いは対象の反射特性や空間的な位置関係、光路長に依存するため、影響を完全に除去することは困難である。一方で、光の物理現象は光の波長に大きく依存することが知られている。そこで、可視光に加えて波長の長い赤外線を含む幅広い光域の波長情報に注目し、波長方向の光の物理特性の差異を活用することで、物理現象による影響を除去するのではなく、水中における光の物理特性そのものを深度計測のための手掛かりとして扱う。吸収・散乱・屈折の物理現象の波長方向の差異情報を活用可能な物理モデルを複数の波長情報から解くことで、対象の反射特性や空間的な位置関係、光路長による曖昧性を除去し、深度情報を取得することを目指す。

3. 研究の方法

光の波長依存性に関する物理特性について調査・解析を行った。水中で発生する光の吸収・散乱・屈折割合は波長に大きく依存している。光の物理特性の波長依存性に着目した際に、実利用を想定したカメラの空間および輝度分解能から抽出可能である光の吸収・散乱・屈折の情報について、シミュレーションおよび実画像実験から解析を進めた。次に、物理モデル式を構築し、推定アルゴリズムの開発を行った。実際の水中環境では、複数の光の物理特性が同時に相互作用して発生する。カメラが画素毎に取得する光量や空間分布を、光の波長依存性を含めて物理モデル化し、深度推定に必要な特徴量を抽出するために最適な光の波長情報や、分光画像の撮影位置や枚数を選定し、画像処理による推定アルゴリズムを開発した。最後に、推定に必要な分光画像データを取得するためのイメージングシステムを構築し、撮影実験を行い、精度評価を行った。

4. 研究成果

- (1) 一般的なステレオカメラは、撮影された複数枚の画像間の対応点を探索し、視差情報から三角測量の原理に基づき対象物までの深度を算出する。そのため、画像中に対応点探索のためのテクスチャや色情報が不可欠である。そこで、テクスチャがない対象物を測定するために、テクスチャの代わりにステレオカメラ間の水中での近赤外線光の減衰量の特徴量としてステレオマッチングを行うアルゴリズムを開発した。近赤外線光の減衰量は、水中の光路長に依存する。ステレオカメラの 2 台のカメラ位置および対応点の相対的な位置関係を考慮し、物理モデル式を構築した上で、対応点探索のための特徴を近赤外線画像から抽出することを検討した。特定の波長の近赤外線光を撮影することが可能なステレオカメラシステムを構築し、水中を撮影した画像から対象物の深度マップを推定可能であることを確認した。シミュレーション実験および実画像実験での精度評価および精度補正アルゴリズムを改良し、国際学術論文誌へ投稿を予定している。

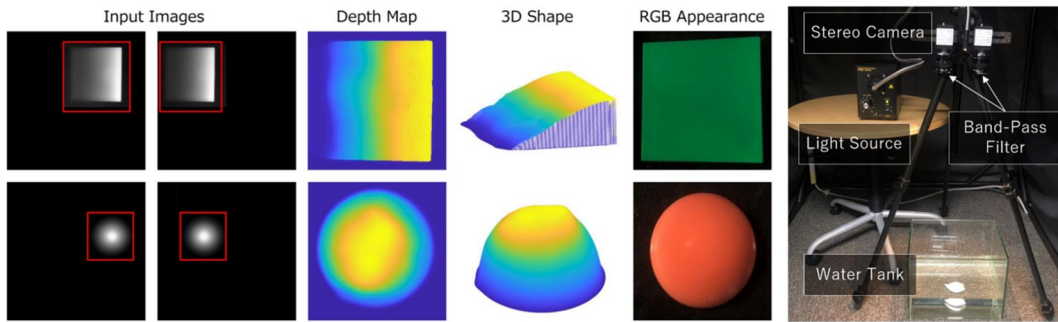


図1 推定結果および撮影セットアップ

- (2) 空気中から水中を分光カメラで撮影した場合、長波長側の分光画像よりも短波長側の分光画像の方が水面での屈折による歪み方が大きい。この波長に依存した歪み方を特徴量として活用することで、水面の法線マップおよび水中の深度マップを同時推定可能なアルゴリズムを開発した。波長毎の水と空気の屈折率と水中を撮影した分光画像の歪み具合の関係性をシミュレーション実験から考察し、構築した物理モデル式から水中の深度を算出することを検討した。複数波長の分光画像を撮影可能なイメージングシステムを構築し、水中の対象物の深度マップを推定可能であることを確認した。国際会議 International Conference on 3D Vision (3DV)に論文投稿し、採択された。

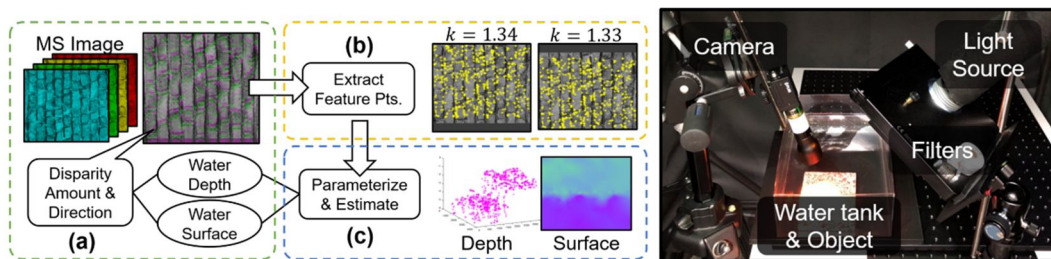


図2 推定アルゴリズムの概要および撮影セットアップ

- (3) 水分により光が吸収・散乱される特徴を応用し、悪天候時の空気中で発生する近赤外線の減衰を特徴量として活用した都市部の深度推定手法を考案した。悪天候時は、空気中の霧などによる光の吸収・散乱の影響で視認性が悪い。この悪天候時の視認性と近赤外線の減衰の関係を調査し、視程パラメータを含む物理モデル式を構築した。そして、近赤外線領域の3波長画像を用いて、測定対象の反射スペクトルを線形近似した上で、大気中の視程情報を考慮した距離推定アルゴリズムを開発した。実際に撮影した3波長の近赤外線画像から、都市部の深度マップを推定可能であることを確認した。国際論文誌 Infrared Physics & Technology に投稿し、採択された。

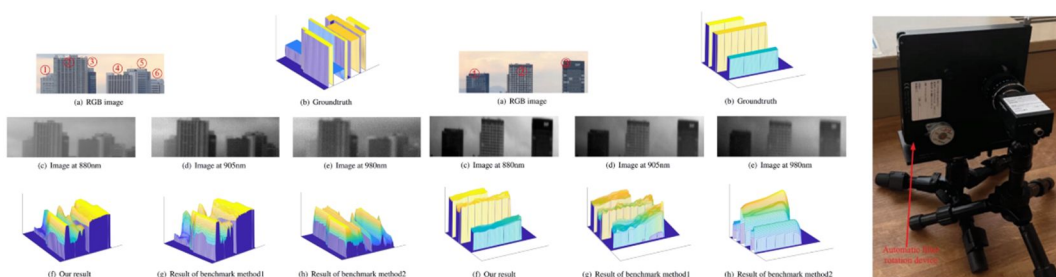


図3 推定結果および撮影セットアップ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Zhao Dong, Tang Liu, Arun Pattathal V., Asano Yuta, Zhang Like, Xiong Youzhi, Tao Xu, Hu Jianling	4. 巻 128
2. 論文標題 City-scale distance estimation via near-infrared trispectral light extinction in bad weather	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Infrared Physics & Technology	6. 最初と最後の頁 104507 ~ 104507
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.infrared.2022.104507	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Ishihara Shin, Asano Yuta, Zheng Yinqiang, Sato Imari
2. 発表標題 Underwater Scene Recovery Using Wavelength-Dependent Refraction of Light
3. 学会等名 International Conference on 3D Vision (3DV)（国際学会）
4. 発表年 2020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		
中国	Wuxi University		