

令和元年6月28日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H06135

研究課題名(和文)水産資源データベースのための生物資源量計測システム

研究課題名(英文)Survey system for fisheries resource database

研究代表者

西田 祐也(Nishida, Yuya)

九州工業大学・若手研究者フロンティア研究アカデミー・助教

研究者番号：60635209

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,820,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の成果の一つ目は、高精度な水中3次元計測装置の実現である。本装置はレーザープロジェクターとカメラで構成され、1ショットで1m先にある物体の3次元形状をmmオーダーの精度で計測できるものである。2つ目は、本3次元計測装置の画像処理部分の高速化である。本装置において最も計算負荷が画像から各色のレーザーの位置を検出する部分をFPGAに実装し、30fpsの速度で画像上のレーザー位置検出に成功した。3つ目はカメラで撮影した海底画像から生物位置を検出し、種別する手法の開発である。本手法は人の視覚刺激モデルと一般物体識別手法を組み合わせることで実現し、著者らの先行研究より10%識別精度が向上した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した水中3次元計測装置は照射したレーザーの反射光を撮影できる範囲の3次元形状を計測できるため、これまで正確に計測できなかった魚等の水中移動物体の計測が可能となる。また、本装置は1ショットで計測できる範囲の計測精度は搭載機器(水中ロボットや曳航体)の自己位置精度に依存しないため、現在使われている全ての水中機器に搭載して使うことが可能である。そのため、これまでの観測装置では導入が難しかった水産庁が行っている底生魚の生態調査や地方自治体によるサンゴ礁の生態調査など多くの調査に本装置が使われるようになり、海中における資源調査が促進されると考えられる。

研究成果の概要(英文)：First this research result is development of underwater three-dimensional scanner with high accuracy. The scanner which consists of a laser projector and a camera, measures the shape of target located 1m away with the accuracy of millimeter order. Second result is development of high-speed operation method for the scanner. FPGA board which is implemented laser detection processing, detects laser position at 30 fps from image data. Third result is development of fish species identification method from seafloor image captured by underwater vehicle. The method combined with human visual stimuli model and general object identification method, identifies the fish with 10 % higher accuracy than our previous research results.

研究分野：フィールドロボティクス

キーワード：水中3次元計測 水産資源調査 魚種識別 構造化光

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、重要漁業対象種の漁獲量が年々減少しており、水産生物資源の減少問題が深刻化している。水産生物資源を持続的に利用するには生物多様性を確保しつつ生態系サービスを利用する必要があるため、日本でも一部の魚種に対して TAC (Total Allowable Catch) が導入され、定期的な水産生物資源量の調査を行い、漁獲量を適切に管理するようになった。現在の資源量調査は効率的かつ広域な調査が可能な着底トロールを用いた方法が主流であるが、着底トロールは起伏の多い複雑な地形での運用が難しく、生息場所を荒らす恐れがある。また、実際の生物分布や生息している海底の状態を把握できないという問題がある。

著者らは AUV Tuna-Sand を用いた水産生物資源の調査を 2013 年から行っており、水産生物の資源量調査の自動化に関する研究を行っている。生物の正確な大きさを計測するため、先行研究で著者はシートレーザー光を用いた従来の 3 次元計測手法 (光切断法) を発展させたフルカラーレーザー光を用いた 3 次元計測装置の試作機を開発した。本計測装置は計測対象に照射した赤、緑、青色等の複数色のシートレーザー光を撮影し、撮影画像におけるレーザーラインの位置から 3 次元形状を計測するため、従来手法と比較して効率的かつ高精度、高分解能で対象を計測可能である。また、照射するレーザー光を全て白色光にすれば計測対象の色情報を撮影することが可能である。しかし、本計測装置における計測分解能と処理時間はトレードオフの関係があり、それらは照射するレーザーパターンや色数に大きく依存するという問題がある。

2. 研究の目的

海底に生息する水産生物資源の 3 次元形状と色情報を計測し、魚種ごとの資源量を自動計測するシステムの実現を目指し、本研究では 1 ショットで高精度かつ高分解能な 3 次元形状を計測できる装置の開発、および海底画像から生物を検出し、種別ごとの個体数をカウントするシステムの開発を行う。将来的には、水産生物資源の持続的な利用に貢献できるよう調査によって得られたデータをデータベース化する予定である。

3. 研究の方法

【水中 3 次元計測装置：計測原理の検討】

本装置はレーザープロジェクターおよびカメラで構成され、これらの装置は海水から守るため透明なレンズ (アクリルもしくはガラス) がある耐圧容器内に格納されている。そのため、プロジェクターから照射されるレーザー光、およびカメラで撮影する反射光はレンズを通過し、その全ての光に屈折が生じる。本計測装置の計測は光の侵入出角度が重要であるため、光の屈折を正確に把握する必要がある。本研究では既存のレーザー光とカメラを用いた光切断法の計測原理を拡張するとともに、スネルの法則を用いて海水が本装置の計測に及ぼす影響について検討する。

【水中 3 次元計測装置：レーザーパターンの検討】

本装置は複数色のレーザー光を照射しカメラでレーザーの反射光を撮影し、撮影画像における各色のレーザーラインの位置から対象の 3 次元形状を計測する手法である。したがって、画像処理でレーザーラインの位置を正しく検出できない場合は計測精度が著しく低下する。水中では大気中より光は減衰しやすく、近しい色のレーザーは画像処理した際に同じ色と扱われる危険性があるため、できるだけ少ない種類の色でレーザーパターンを構成する必要がある。しかし、照射するレーザーの種類 (色、組み合わせ) が少ないと本装置の計測解像度が低下する。本研究では複数のレーザーでコーティングすることで少ない色で最大の解像度が得られるレーザーパターンを検討する。

【水中 3 次元計測装置：画像処理の高速化】

本装置は複数のレーザーの色を識別し、画像上におけるレーザー光の位置を検出する必要があるが、レーザーの色数に応じて画像処理にかかる時間が増大する問題がある。この問題を解決するため、本研究では、プログラマブルロジックデバイスである FPGA に HSV 色相系を用いた二値化処理を実装し、各色のレーザー光位置の検出を並列に行う画像処理デバイスの開発を行う。FPGA を用いてレーザー光位置の検出を並列に処理することで、レーザーの色数に依存せず、高速に物体の 3 次元形状を計測できる可能性がある。

【魚種識別手法の開発】

以前の研究で申請者は、画像から回転普遍特徴である SIFT 特徴量のベクトル量子化ヒストグラムを作成し、それを事前に作成した参照生物のヒストグラムと比較することで魚種を特定する画像処理手法が開発した。提案手法は生物の体の半分だけ写った画像からでも種類を特定できたが、生物が別の物体 (岩や他の生物) と重なっている場合、認識精度が低下するという問題があった。また、様々な低質 (砂地、砂利、岩盤など) にいる生物が画像上のどの位置にいるかを検出することが難しく、低質によって検出精度が悪くなる傾向があった。本研究では人と同様の視覚刺激であるサリエンスマップを用いて生物位置を検出し、検出した画像に対してクラスタリング処理を行い生物とその他の画像を分割する手法を開発する。本研究で開発した手法と先行研究で開発した魚種識別手法を組み合わせ、識別精度が高いアルゴリズムの実現を目

指す。

4. 研究成果

【水中3次元計測装置に関する成果】

Fig.1 に本研究で開発した水中3次元計測装置および設計したレーザーパターンを示す。本装置はプロジェクター用耐圧容器とカメラ用耐圧容器の2つの容器で構成され、プロジェクター用耐圧容器にはレーザーパターンを照射するプロジェクターと機器を制御するCPUボード、カメラ用耐圧容器には短焦点レンズが付いたネットワークカメラが搭載されている。2つの耐圧容器はギガビット対応の水中ケーブルで接続されており、容器間で高速にデータをやり取りすることが可能である。本装置におけるカメラの水中画角およびレーザーの照射角度をスネルの法則に基づいて補正し、カメラの光学中心をレンズやカメラの幾何学的な関係とスネルの法則を用いて補正した。

レーザーパターンの設計を行う前、海水中における光の減衰のシミュレーションを行い、レーザー光を検出しやすい色の組み合わせについて検討した。シミュレーションの結果、本研究で想定している計測レンジである1m~2mにおいて、照射した光の色相が最大で30degほど変化するため、色が異なっても色相の差が30deg以内であれば画像処理で色の異なるレーザー同士を識別できない可能性があることが分かった。確実に各色のレーザーを識別するためには光の減衰によって変化する色相値の倍以上の色相を持つ色のレーザーでパターンを構成する必要があるが、色数が少なくなると計測分解能の低下につながる。本研究では色相が60deg以上離れた赤、黄、緑、水、青、紫の6色で構成されるデブルーイン系列でデコードされたレーザーパターンを設計した。設計したレーザーパターンは上記6色から3色のレーザー光の組み合わせでデコードし、隣り合うレーザーの組み合わせの2色が重複するように配置することで、レーザーパターン内に多くの情報(レーザーの組み合わせ)を付加することができた。

開発した水中3次元計測装置および設計したレーザーパターンを用いて清水中にて評価試験を行った。Fig.2 に1m先に設置した150x20x20mmの白色物体の形状を計測した結果を示す。計測の結果、白色物体の計測点数は10,000点を超え、垂直方向で10mm程度の誤差があったものの、水平方向および奥行方向は1mm以下の精度で物体の形状計測することができた。

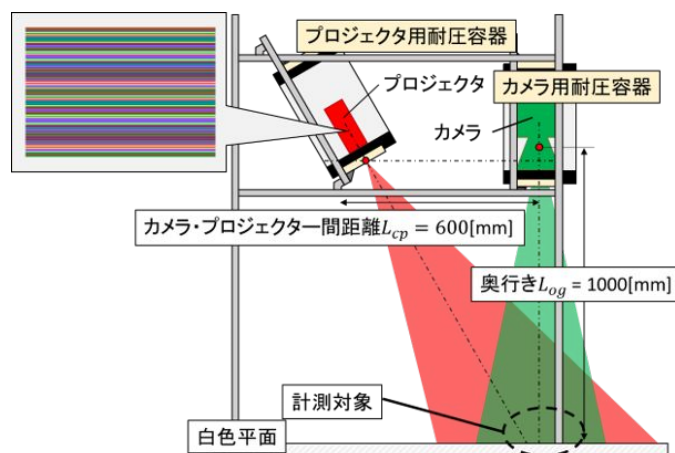


Fig. 1 開発した水中3次元計測装置および設計したレーザーパターン

■白色物体計測結果

	白色物体
物体表面の点の数[個]	14166
物体の縦の長さ[mm]	140.5
物体の横の長さ[mm]	19.9
物体の奥行[mm]	20.9
背景までの距離[mm]	989.0

奥行にオフセットがあるもの高精度に計測

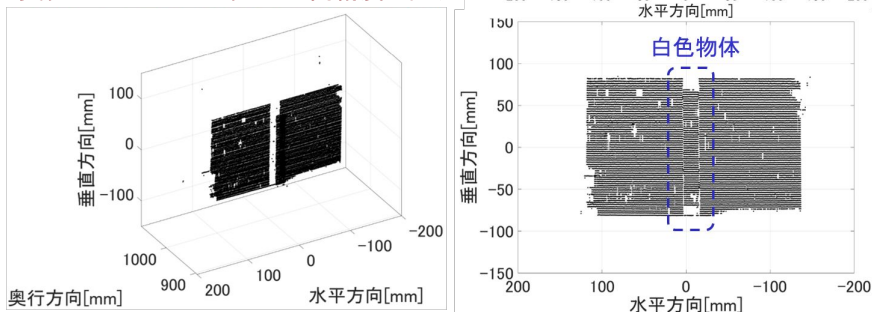


Fig.2 水中における白色物体の3次元形状計測試験の結果

【魚種識別手法に関する成果】

本研究では様々な大きさの物体検出に適したマルチスケールサリエンスを用いて撮影した海底画像から生物位置を検出した。Fig.3 にマルチスケールサリエンスを用いた生物検出の結果を示す。色差、明るさ、模様(オリエンテーション)で表現されるサリエンスマップは海底にいる生物のように特徴的な物体の検出に向いているが、画像の解像度やスケールファクターによって検出される生物が異なる。そこで様々なスケールで表現されたマルチスケールサリエンスを用いて様々な大きさに対応した生物検出手法を開発した。性能評価試験の結果、オホーツク海で撮影した画像から北海道の重要漁業対象種であるキチジを 100%、タラバガニを 90%、小さなエビを 80%の精度で検出することが分かった。

検出した生物画像内には識別対象種以外に海底やその他の物体(岩や海藻)が写っており、その画像が認識精度の低下につながっている。本研究では認識精度の向上を目指し、検出した上記の生物検出手法で得られた画像から生物、海底、その他を分割する手法を開発した。Fig.4 に岩、海底、生物が写った画像に対して本分割手法を適用した結果を示す。本分割手法は、減色した画像に対して k-means によるクラスタリングを行うことで画像を生物、海底、その他の3つに分割している。魚種識別手法の前に本分割手法を導入することで、先行研究の結果より 10%ほど生物種の識別精度が向上した。

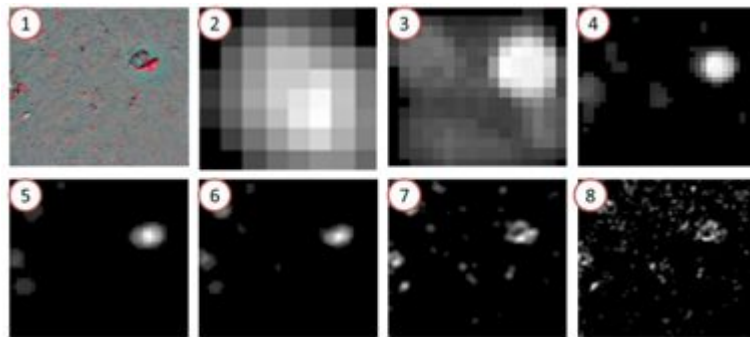


Fig. 3 . マルチスケールサリエンスを用いた生物位置検出結果

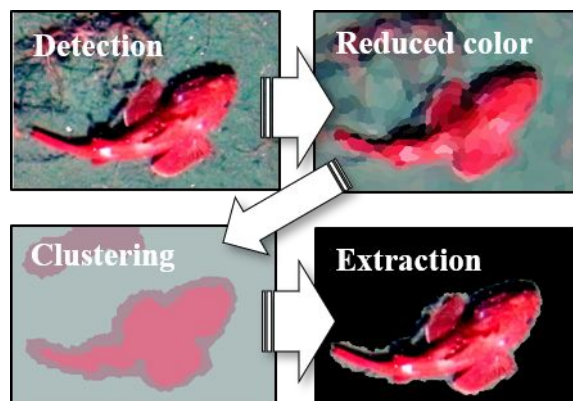


Fig.4 分割処理の結果

【3次元計測装置の高速化に関する成果】

3次元計測装置の画像処理の一部を実装するうえで問題となるのが画像処理 CPU と FPGA 間の通信である。比較的画像処理部分を FPGA に実装することは容易であるが、RS232C やイーサネットなどの通信は厳密に規格化されているため、少しでも規格に沿っていない場合は通信が成り立たない。したがって、FPGA 内に CPU との通信を実装するには、かなりのノウハウや経

験が必要となる。本研究では、FPGA と ARM が組み合わさっている FPGA ボードを用いて高速なレーザー位置検出処理を実現した。使用したボードは FPGA と ARM が共通に使用できるメモリを有するため、FPGA と ARM 間のデータのやり取りは容易である。FPGA 内に画像から並列に各色を二値化しレーザー位置を検出する処理を実装し、ARM に CPU に検出したレーザーの位置を送信する部分を記述した。この FPGA ボードを用いることで、限界があるものの色数に関係なく 30fps の速度でレーザー光の位置を検出し、CPU にそのデータを送信することが可能になった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

Jonghyun Ahn, Shinsuke Yasukawa, Takashi Sonoda, **Yuya Nishida**, Kazuo Ishii, Tamaki Ura, An Optical Image Transmission System for Deep Sea Creature Sampling Missions Using Autonomous Underwater Vehicle, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 10.1109/JOE.2018.2872500, pp.1-12, 2018 (査読あり)

松野 隆幸, 見浪 護, **西田 祐也**, 米森 健太, 李 想, 向田 直樹, 加藤 直輝, MYINT Myo, 山田 大喜, KHIN Nwe Lwin, 複眼立体認識を用いた水中嵌合実験(AUV を用いた制御機能検証), 日本機械学会論文集, Vol.84, No.858, 17-00242-17-00242, 2018 (査読あり)

Yuya Nishida, Takashi Sonoda, Shinsuke Yasukawa, Shinsuke Yasukawa, Kazunori Nagano, Mamoru Minami, Kazuo Ishii, Tamaki Ura, Underwater platform for intelligent robotics and its application in two visual tracking systems, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.30, No.2, pp.238-247, 2018 (査読あり)

Shinsuke Yasukawa, Shinsuke Yasukawa, Jonghyun Ahn, **Yuya Nishida**, Takashi Sonoda, Kazuo Ishii, Tamaki Ura, Vision system for an autonomous underwater vehicle with a benthos sampling function, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.30, No.2, pp.248-256, 2018 (査読あり)

〔学会発表〕(計 11 件)

Yuya Nishida, Tomoya Shinnoki, Shinsuke Yasukawa and Kazuo Ishii, Three-dimensional Measurement Using Laser Pattern And Its Application to Underwater Scanner, The 2019 International Conference on Artificial Life and Robotics, Beppu, 2019 (査読あり)

Jonghyun Ahn, **Yuya Nishida**, Kazuo Ishii, Tamaki Ura, A sea creatures classification method using convolutional neural networks, international Conference on Control, Automation and Systems 2018, South Korea, 2018 (査読なし)

Jonghyun Ahn, Takashi Sonoda, Kazuo Ishii, Shinsuke Yasukawa, Sotaro Takashima, **Yuya Nishida**, Tamaki Ura, Flounders measurement system using obtained optical images by AUV, MTS/IEEE OCEANS, Kobe, 2018 (査読あり)

進木 智也, **西田 祐也**, 石井 和男, フルカラー構造化光を用いた水中三次元計測: 報 2 報 計測装置の開発および水中環境がおよぼす影響の検証, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2P2-C07, 2018 年 (査読なし)

Yuki Soejima, **Yuya Nishida**, Takashi Sonoda, Kazuo Ishii, Automatic recognition of benthic species using image processing, The 2018 International Conference on Artificial ALife and Robotics, Beppu, 2018 (査読あり)

進木 智也, **西田 祐也**, 石井 和男, フルカラー構造化光を用いた水中三次元計測: 第 1 報 基礎理論の検証, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2A2-007, 2017 年 (査読なし)

安川 真輔, 安 鍾賢, **西田 祐也**, 園田 隆, 石井 和男, 浦 環, 深海底生物捕獲ロボットのための画像センシングシステム, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2A2-G09, 2017 年 (査読なし)

Yuto Otsuki, Blair T. Homton, Blair T. Homton, Toshihiro Maki, **Yuya Nishida**, Adrian Bodenmann, Kazunori Nagano, Real- Time autonomous multi resolution visual surveys based on seafloor scene complexity, Autonomous Underwater Vehicles 2016, 330-335, 2016 (査読なし)

Yuya Nishida, Takashi Sonoda, Shinsuke Yasukawa, Jonghyun Ahn, Kazunori Nagano, Kazuo Ishii, Tamaki Ura, Development of an autonomous underwater vehicle with human-aware robot navigation, MTS/IEEE OCEANS, Monterey, 2016 (査読あり)

Jonghyun Ahn, Shinsuke Yasukawa, Takashi Sonoda, **Yuya Nishida**, Kazuo Ishii, Tamaki Ura, Image enhancement and compression of deep-sea floor image for acoustic transmission, MTS/IEEE OCEANS 2016, Shanghai, 2016 (査読あり)

安 鍾賢, 安川 真輔, 園田 隆, **西田 祐也**, 石井 和男, 浦 環, 自律海中ロボットの視覚情報共有を目的にした画像圧縮と復元手法, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A1-16b7, 2016 年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者 : なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 石井 和男 (九州工業大学)

ローマ字氏名: ISHII, kazuo

研究協力者氏名: 安川 真輔 (九州工業大学)

ローマ字氏名: YASUKAWA, shinsuke

研究協力者氏名: 安 鍾賢 (広島工業大学)

ローマ字氏名: AHN, jonghyun

研究協力者氏名: 眞田 篤 (西日本工業大学)

ローマ字氏名: SANADA, atsushi

研究協力者氏名: 園田 隆 (西日本工業大学)

ローマ字氏名: SONODA, takashi

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、研究者個人に帰属されます。