

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02372

研究課題名(和文)水中イメージセンサ通信に水の濁りが与える影響の研究

研究課題名(英文)study of image sensor communication in turbid water

研究代表者

澤 隆雄 (SAWA, Takao)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究プラットフォーム運用開発部門・主任研究員

研究者番号：50359139

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,450,000円

研究成果の概要(和文)：水中においてカラー情報を用いたイメージセンサ通信を実現するため、RGB-LEDアレイを送信機としイメージセンサを受信機として、LEDからセンサへ伝搬する光の理論解析を行い、外乱下における受信信号の強度をコンピュータシミュレーションによって推定した。
また撮影したイメージ上に写るRGB-LEDアレイの検出を機械学習によってR-CNNを用いて試み、水中に設置したRGB-LEDアレイを水中カメラで撮影し、LEDの発光パターンによる検出精度の違いを明らかとした。
これら成果をもとに、露出オーバー状態で撮影したイメージから輝度を推定する方法を考案し、これを用いたカラー多値通信の特許を申請・審査中。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果によって、水中における短距離高速通信を実現する水中イメージセンサ通信の基本的な特性を把握し、通信における電力効率やLEDアレイの適切な配置に関する知見を得る事が出来た。また機械学習によるLEDアレイの発見や復号を試み、従来方式と比較して有利な点を確認した。
本研究成果を用いれば、水中の高速無線通信を特別な装置を用いず安価に実現可能である。水中ロボットの遠隔制御やダイバー間のコミュニケーション手段に応用可能で、水中wi-fi技術として有望であることを明らかとした。

研究成果の概要(英文)：In order to realize underwater image sensor communication using color information, we performed theoretical analysis of the light propagating from the LED to the sensor using the RGB-LED array as the transmitter and the image sensor as the receiver.
The strength of the received signal under disturbance was estimated by computer simulation. In addition, we tried to detect the RGB-LED array on the captured image using R-CNN by machine learning, photographed the RGB-LED array installed underwater with an underwater camera, and checked the difference in detection accuracy depending on the array pattern of the LED.
Based on these results, we devised a method for estimating the brightness from an image taken in an overexposed state, and obtained a patent for color multivalued communication using this method.

研究分野：海洋工学

キーワード：水中光無線 イメージセンサ LED R-CNN

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

LED は数十年前から光通信として利用され、赤外 LED を用いた光ファイバー通信では 1Tbps を超える高速通信を実現している。しかし水中は赤外線が減衰が大きく、水中での光無線通信は困難であった。近年、ダイオード光源の技術革新により可視光 LED 照明の開発が進み、照明・通信兼用の LED 装置が実用化された。可視光は水中でも 100m 以上伝搬することから、照明用の可視光 LED 素子を用いた水中光無線通信装置が提案され、いくつかの製品が市販に至っている。研究代表者(澤)も水中可視光無線通信装置を試作し、速度 20Mbps の光無線通信を、120m 離れた水中ロボット間で実現した。

一方、水中・海底観測に電池駆動式の海底着座式観測装置は広く用いられる。観測データは装置内部に蓄積し、装置を引き揚げて回収するしくみであるが、この方法は回収・再投入の手間がかかり、頻繁なデータ回収が難しい。そこで無線通信でデータのみ回収したいが、現在の水中無線通信の主流である音響通信の速度が低く実用的でない。例えば 50kHz の音波ではおよそ 50kbps 程度の通信速度で、200kbyte の水中カメラ画像(ハイビジョン画面 1 枚を jpg フォーマットでキャプチャした場合に相当)の伝送に約 30 秒かかる計算である。動画などの多量のデータ送信は水中音響通信では現実的ではない。このデータ回収における課題は自律型水中ロボット(水中ドローン)でも共通しており、近年の水中観測技術における大きなボトルネックの一つである。

もし水中光無線通信が実現すれば、無線でデータのみ回収が可能となり、水中観測の効率が大きく向上すると考えられる。特に LED 照明とカメラは、水中ロボットや海底着座式観測装置に標準的に搭載され、これらを使った光無線通信ならば水中重量と費用のどちらも抑えられる。加えてカメラは空間分解能が高く、複数の対象との同時通信(MIMO)にも容易に対応できる。

2. 研究の目的

本研究では水中カメラとアレイ形式の水中 LED 照明を用いて、空間多重および波長多重を考慮した水中イメージセンサ通信を実現するために、水の濁りや水中の懸濁物質が通信距離や速度に与える影響を把握する事を目的とする。本研究では以下の 3 点を明らかとする事を試みた。

- (1) 水の濁りにより変色して到達する通信光が画像処理に与える影響
- (2) 水中の懸濁物質によりアレイの一部が遮蔽される事が画像処理に与える影響
- (3) 水の濁りによる画像のボケが画像処理に与える影響

3. 研究の方法

まず水中イメージセンサ通信のシミュレーションを実施し、影響の理論的な検証を行う。合計 256 素子程度の 2 次元アレイ LED を想定し、それをカメラで撮影した場合に得られる画像を photoshop 等の写真処理ソフトを用いて仮想的に生成する。水に濁りが無ければ追加処理は不要であるが、濁りがある場合を想定して生成画像の色調を変更、一部を欠損、ボカすなど、意図的に劣化させる。その劣化後画像を Matlab の Computer Vision System Toolbox を用いて元画像とのパターン認識を実施し、素子配置における充填効率と識別精度の関連を検証する。この検証に基づき、認識に有利な LED 素子の配置を 3 つ選択し、RGB 混光型白色 LED 素子を 9 個用いたアレイ形式の水中 LED 照明を 3 台製作する。この LED 照明を水槽や海中で点灯させ、防水処理を施したハイスピードカメラで撮影する。その後撮影動画を処理して情報を取り出し、通信性能を確認する。

4. 研究成果

初年度はまず水中イメージセンサ通信のシミュレーションモデルを作成し、RGB-LED アレイを送信器、単板・3 板のイメージセンサを受信機とし、カラーフィルタアレイ画像と RAW 画像を取得するためのシミュレーションモデルを作成した。またシミュレーションモデルを検証するため、RGB-LED アレイを単板・3 板のイメージセンサを用いた実験を行い、アレイとセンサ間の距離によるサチュレーションや分解能の影響、レンズフレアーの影響、カメラ本体の画像演算処理の影響を確認した。並行して LED アレイの発見とアライメントを目的として、情報(外乱)の多い背景にある 2 次元パターン識別実験を行った。地面や水中無人機を背景としてその前面に QR コードと Bayer パターンを配置し、その発見をコンピュータビジョン技術と R-CNN で試み、それぞれの検出性能を把握した。



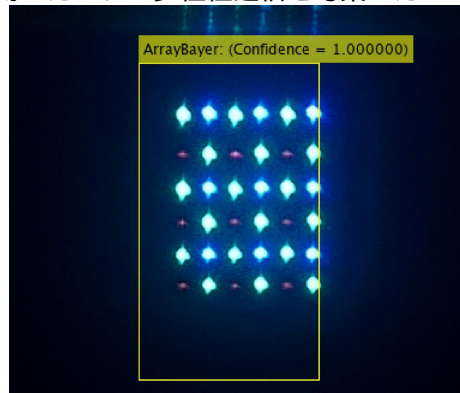
R-CNN による 2 次元パターンの読み込み試験

次年度は次元アレイ通信を想定して LED を配置した水中利用可能なアレイ型 LED 照明を 3 種類を製作した。それらは赤, 青, 緑の LED を異なるパターン配置で, 緑を多く配置し CCD の色フィルターで用いられる Bayer 配列, Bayer 配列の緑と赤を入れ替えて配置した赤 Bayer 配列 (仮称), 三色を正三角形のそれぞれの頂点に配置して並べる細密充填配列を採用した。また既存アレイ通信システムの改良も実施し, 単色のアレイシステムをひな形として三色独立に点灯できるシステムに拡張しつつ, 水中照明として十分な光量を確保するための高出力化を行った。加えて受光部として小型 PC にカメラを直結した専用システムも制作し, 既存システムと同様のコンピュータビジョン (CV) による画像認識で通信することで, AI 等による通信との比較検証ができるようにした。これら成果は電子情報通信学会にて一検討という形で発表した。



水中利用可能なアレイ型 LED 照明

最終年度は RGB の 3 色を用いる水中イメージセンサ通信において, その送信光の減衰量を, イメージセンサの構造も考慮して理論解析し, 受信信号の強度をコンピュータシミュレーションで推定した。また送信アレイの発見と発光パターンに含まれる情報を抽出 (復号) するために, 機械学習を活用したニューラルネット (R-CNN) を用いて認識する事を想定した水中実験を行った。さらにカメラで撮影する際に露出オーバー状態で撮影したイメージから輝度を推定する方法を考案し, これを用いたカラー多値通信を考案した。



水中で発光したアレイ型 LED 照明の検出実験

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 小澤佑介	4. 巻 88
2. 論文標題 水中可視光通信の現状と展望	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気計算	6. 最初と最後の頁 46-52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 横尾和音, 澤隆雄, 小澤佑介
2. 発表標題 RGB-LEDを用いたイメージセンサ型海中可視光通信における海水 濁りの影響に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会
4. 発表年 2021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
研究分担者	武内 伴照 (TAKEUCHI Tomoaki) (00516825)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・高速炉・新型炉研究開発部門 大洗研究所 環境技術開発センター 材料試験炉部・研究職 (82110)	
研究分担者	小澤 佑介 (KOZAWA Yusuke) (20634215)	茨城大学・理工学研究科(工学野)・助教 (12101)	
研究分担者	後藤 慎平 (GOTO Shinpei) (90772939)	東京海洋大学・学術研究院・助教 (12614)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	柴垣 太郎 (SIBAGAKI Taro)	池上通信機株式会社	

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