

令和元年6月6日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18319

研究課題名(和文)カメラ画像を用いた波高計測の研究

研究課題名(英文)Wave height measurement using computer vision

研究代表者

松本 洋平 (Matsumoto, Yohei)

東京海洋大学・学術研究院・助教

研究者番号：80572081

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)：単眼カメラで海面を撮影した映像データから画像処理で波高を計測することを目標とし、小型船舶に前方の映像データと運動データを同時に取得する仕組みを構築し、30時間程度のデータを収集した。また、映像データを深層学習の入力とし、運動データから抽出したパワースペクトルの学習を繰り返した。本来は波高が計測されている海域でデータを収集し、映像から抽出した波高と比較する予定であったが、計画立案当初存在した野島崎の波高計が撤去されたため、IMUで得た小型船舶の運動スペクトルとの関係を深層学習を用いて抽出することとした。現在のところ、深層学習がうまくいっておらず、その原因を追及している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

船舶から用いる波高計には電波や音波を使ったものがあり高価である。これによらない場合、波高の計測は目視により行われている。コンピュータビジョンを用いて波高を計測することができれば波高計がより安価になる。ステレオカメラを用いた波高計測については多く研究されているが、本研究は単眼カメラでの波高計測を目指している。社会的・学術的意義としては、波高計が安価になり、客観的な波高計測手段が普及することで、より多くの場所で波高データが収集され、地球科学の発展に寄与すると思われる。

研究成果の概要(英文)：To measure the wave height using monocular camera, a system that the motion data and the front camera data of a ship are logged simultaneously is developed, and the data sets are collected for 30 hours. The front camera data is used as the input of deep neural network trained to estimate power spectrum of the ship motion.

In the beginning, the project had been planned to collect data in the area the wave height is measured by Japanese government, but the wave height meter was removed just after starting the project. Instead of actual wave height, now the motion spectrum of the ship is the prediction target of the neural network. Training neural network has not been succeeded yet, and the cause is investigated in detail.

研究分野：情報工学

キーワード：画像処理 深層学習

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

1. 研究開始当初の背景

航行中の船舶から波高を計測する手段として電波や音波による波高計が存在するが、波高計は高価であるため、通常の船舶には搭載されておらず、多くの場合、波高は目視によって計測される。コンピュータビジョンを用いて波高計測を行うことができれば、波高計はより安価になり様々な船舶で利用され、多くの海域で客観的な波高データの収集が可能となる。

航行中の船舶から波高を計測することができれば、まず、航海の安全性が向上する。また、オートパイロットは、計測された波高を入力として扱うことで、より安定した制御を行いうる。さらに、多くの船舶が様々な海域で取得したデータを集積し、解析することで、地球科学の発展に貢献すると考えられる。

ステレオカメラを用いた波高計測については多くの研究が行われており、ある程度の精度で波の3次元形状を復元できるようになっている。一方で、単眼カメラの映像から深層学習を用いてデプス画像を生成する研究もまたある程度の精度で成功しており、そのような事実から、単眼カメラを用いた場合でも、何らかの特徴をとらえて、波高を推定することは可能であると考えられる。単眼カメラはステレオカメラに比較して安価である。

2. 研究の目的

船舶に搭載した単眼カメラの映像を処理して波高を計測することが目標である。しかし、後述するが、波高計のデータが得られなくなったため、波高の代わりに船舶の運動(ロール、ピッチ、ヨー)のパワースペクトルを推定する。船舶によって波浪中での振る舞いは異なるが、そのパワースペクトルは波高に相関すると考えられ、この目標の設定は当初の目標にほぼ等しいと考える。

一方、カメラをトラッキングすることで、映像からロール、ピッチ、ヨーを計算し、船舶の運動のパワースペクトルを得ることも可能である。しかし、それができたところで、波浪にほぼ影響を受けない大型船舶等で利用できる波高計にはならない。ここでは、カメラの運動の影響とは無関係に海面のテクスチャを解析することで波高を計測することができなくてはならない。

3. 研究の方法

研究開始当初は、波高計が設置されている海域で、船舶に搭載した単眼カメラで撮影した映像データを学習データ、そのときに計測された波高データを教師データとして、深層学習を行い、映像データからの波高の推定を可能とする予定であった。しかし、研究開始当初設置されていた野島崎の波高計が撤去されたため、目標を船の運動のパワースペクトルを推定することに変更した。そのために、映像データと運動データを同時に収集できるデータ収集システムと、集めたデータセットを深層学習ツールへ入力するソフトウェアを開発する必要があった。

- データ収集システムの開発について

まず、船舶に単眼カメラを設置し、これの映像データをIMUのデータと同期して記録できるシステムを開発した。

カメラとしては撮影タイミングをトリガで制御できるAllied VisionのMako G234を用意した。海水が降り注いでも撮影を継続可能とするために、防滴フィルタを備えたカメラハウジングを開発した。また、IMUとしてはSparkfunのRazor IMUにDCM(Discrete Cosine Matrix)アルゴリズムを適用して、ロール、ピッチ、ヨーを得られるようにした。さらに、船舶の電子システムに時刻同期の仕組みを導入し、IMUとカメラから得られるデータに精密なタイムスタンプを付すことを可能とした。

- 深層学習へのデータ入力ソフトウェアの開発について

Tensorflowによって深層学習を行うことを想定し、Tensorflowに入力可能な形にデータを整えるソフトウェアを開発した。収集した映像データ及び船舶の運動データは、例えば、センサの誤動作等により異常値が記録されていたりするため、それらのデータを学習対象から除外するためのフィルタを開発した。あるいは、学習データとして、例えば「5ノットの等速直線運動のみのデータを与えたい」等の場合があり、運動状態を分類するフィルタを開発した。

上記のいずれの生産物もgithubにて自由に利用できる形で公開している。

これらを用いて研究期間中に約30時間の学習に使っているデータを収集し深層学習を行った。

- データ収集について

データ収集は私的に保有している小型船舶に実装してあるオートパイロットを用いて、一定速度で浦安沖を様々な向きに直線的に航行することで行った。(最初は自由に走らせてデータを集めていたが、そのデータでは学習が収束しないので、徐々に条件を絞った。)研究期間中に64日の航海を行い、結果、現在のところ、学習に使えるデータは約30時間得られている。

ここにおいて、深層学習の目標は映像データから船の運動スペクトルを推測可能とすることであり、畳み込みネットワーク(CNN)を基礎として、その階層構成、パラメータを様々に変更し

ながら現在も学習を継続している。

現在のところ、深層学習には成功しておらず、これには次の原因が考えられる。

- (a) IMUの精度が低く、記録した運動データに誤差が生じている。これは、建造物が近接している状態でカメラの運動をトラッキングした結果との比較で分かった。利用したIMUは極めて安価なものであり、特に長時間の加速に対して間違った計測結果を示す。
- (b) 波の他の自然現象とそれに対する船の応答が大きな雑音となっている。例えば、風の影響が大きい。船舶は動力を停止していても風が吹いているだけで最大2ノット程度で流される。データの収集は基本的にオートパイロットで一定速度、一定針路で航行して行っているが、同じ速度・方位に走っていても、船は斜めに走っていることになり、同じ波向、波高でも、違った画像的特徴の映像データになってしまう。
- (c) 波高が高いとオートパイロットが安定しない。オートパイロットは2次元平面でコースと速度を一定に保つように制御されているため、波の間で上り下りをすると、平面上での進行方向・速度が変動し、余分なヨーイングが生じる。(オートパイロットが舵を動かしたことで運動データに余計なパワースペクトルが乗る。)

巨大な深層学習のネットワークを構築し、より大量のデータを与えれば、ニューラルネットワークは、例えば、IMUの誤差、風やオートパイロット制御の雑音すら学ぶ可能性があるが、そのネットワークは波高を推定したことにはならない。そこで、以下の対策を実施中である。

- (i) サテライトコンパスの導入。
- (ii) 風向風速計の導入。
- (iii) オートパイロットまで含めた船舶の運動モデル(シミュレーションモデル)の構築。船舶の制御に対する運動予測手段の確立。

(i)について、使用しているIMUの精度が低い原因は、ドリフトの防止に加速度ベクトルが鉛直下向きであるという想定をしているためであると考えている。つまり、波浪中の船舶は常に加速しているため、鉛直下向きが定まらない状態になっている。サテライトコンパスは複数のGPSアンテナを用いて絶対的な鉛直下向きを計算することができる。サテライトコンパスについては、既にHemisphere V104を私費にて購入し、2019年5月現在、艀装作業をしている。

(ii)について、データを収集している浦安周辺で、船舶の運動に大きく影響を与える自然現象は風であり、この影響を推定するか、あるいは、風向風速を条件として学習データをフィルタする必要がある。これについて、超音波風向風速計Airmar WeatherStation 220WXを私費にて購入し、2019年5月現在、艀装作業をしている。

(iii)について、制御と船の運動の関係をモデル化し、船舶の運動を予測することで、運動データから波浪の影響を取り出すことを模索している。これは、逆に運動データから波高を推定する研究であるともいえる。これに関して、昨年度、典型的な3自由度(平面上での移動、回転)の船舶の運動モデルを構築しパラメータ抽出を行った。今後はロール、ピッチ、ヒープの運動を考慮したモデルへと改良し、目的を達する。

この他、教師データとなる波高をステレオカメラで計測して与えることも考えうる。既に、ステレオカメラを用いた波高計測についてはいくつかの先行研究があるが、それらの研究は安定した大型船舶から行っており、波の影響を受けやすい小型船舶では、まず、海面に対するカメラの姿勢を安定させる必要があり、現状、容易ではない。

4. 研究成果

研究によって、波高の計測を成し遂げるには至らなかったが、成果物として下記のソースコード及びデータセットを挙げる。

1. データ収集システムのソースコード。
2. 深層学習へのデータ入力ソフトウェアのソースコード。
3. 約30時間のデータセット。

1については私的に保有している小型船舶の自律航行システムの一部として実装しており、githubにて公開している。ただし、適切なハードウェアを用意しなくては自律航行システムとして利用できない状態であり、また、中核にあるFPGA回路のソースコードについては公開していない。したがって、公開しているソースコードだけで船を動かすことはできないが、ビルドはできるので、これを用いて3のデータセットを処理することは可能である。

2もgithubにて公開している。Tensorflowを呼び出すため、Pythonで書かれているが、1のソースコードに含まれているログデータのデシリアライザやC++で記述された船舶運動モデルを呼び出す仕様になっており、1をビルドしなくては動作しない。また、1を用いて得られたログデータがなければ動作しない。

3については120GB程度と巨大であるため公開していない。データフォーマットは独自のものになっており、利用には1のデシリアライザが必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 0件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

船舶システムのプログラムコード

<https://github.com/yhmtmt/aws>

深層学習のプログラムコード

<https://github.com/yhmtmt/aws2tf>

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

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。