

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14971

研究課題名（和文）深層強化学習を用いた避航操船分析に基づく避航モデルの高度化

研究課題名（英文）Development of Collision Avoidance Model Based on Simulation Analysis of Automatic Collision Avoidance Maneuvering Using Deep Reinforcement Learning

研究代表者

澤田 涼平（SAWADA, RYOHEI）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：00825911

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では自動避航操船のモデルの高度化のための研究を実施した。開発した深層強化学習とグリッドセンサー、OZTを用いた自動避航操船アルゴリズムにおいて、避航操船を評価するためにシミュレーションの評価が重要となる。本研究では、シミュレーション評価のための交通流シナリオの設計方法を開発した。この手法は、COLREGsまたは海上衝突予防法と衝突針路に基づく避航難度に基づく網羅的な評価を可能にする。さらに、船舶の位置・速度ベクトルに基づく、避航操船評価法の解析解を得た。また、この解析解から、与えられたCPAベクトルの関係となる見合い関係に相手船を配置するための定理を導いた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

深層強化学習を用いた避航操船アルゴリズムは現在活発に研究がされており、本研究成果はその先駆けの一つといえるものとなった。また、避航操船の評価シナリオは、これまでいくつか提案されていたが、現行の交通法規に基づく網羅的な評価方法として交通流シナリオセットを提案した。速度差やTCPAを含めた具体的なシナリオ実行手順も示している例は他にない。また、2船の位置・速度ベクトルに基づく避航操船評価指標の解析解は、数値シミュレーションをすることなく将来に渡った指標値の時系列を与え、またこれに関連したシナリオ設計方法は、全く新しい避航操船の評価手段を提供する。

研究成果の概要（英文）：In this study, I studied to advance the model of automatic collision avoidance. Simulation evaluation is important to evaluate collision avoidance maneuvers in the development of automatic collision avoidance algorithms using deep reinforcement learning, grid sensors, and OZT. In this study, I developed the method for designing ship traffic scenarios for simulation evaluation. This method allows for an exhaustive evaluation based on COLREGs and avoidance difficulties using collision courses. Furthermore, I obtained the analytical solutions for the metrics of collision avoidance maneuvers evaluation based on the vessel's position and velocity vectors. I also derived the theorem for placing the other vessel in an encounter relationship corresponding to a given CPA vector relationship using these analytical solutions.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：自動避航船 避航操船 シナリオ COLREGs CPA 深層強化学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、各国で自動運航船の実現に向けたその取り組みが活発化している。世界的にも国際海事機関 IMO においても、自動運航船に関する規則の検討が進められている状況である。このような状況の中、本研究では安全な船舶の自動運航の実現のため、船舶同士の衝突事故を回避する自動避航モデルの高度化に取り組む。また、今後登場する一般的な避航操船アルゴリズムに対してその避航性能が求められる安全性を有するかを評価するための手法が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、深層強化学習を用いた自動避航モデルを開発する。さらに大量のシミュレーション結果を分析することで、AIS(自動船舶識別装置)等の限られた実運航データに依存しない形で、網羅的に避航操船を分析する手法を確立することを目的とする。これを基に体系的な避航操船評価手法を開発し、これを新たな指標としてより高度な避航モデルの開発に資するシナリオ評価手法を構築する。

3. 研究の方法

避航操船アルゴリズムの開発には、深層強化学習を用いる。本手法では、学習された深層ニューラルネットワークにより表現された方策に基づく確率分布により避航行動を出力する(図1)。様々な状況を模擬した海上交通流シナリオにおいてシミュレーションを行い、避航操船の評価に必要な指標を整理する。また、船の位置・速度ベクトルに基づく評価指標の解析解を導き、これに基づくシナリオ設計手法を導く。

4. 研究成果

本研究では、深層強化学習による自動避航操船アルゴリズムを開発した。本手法は、他船の衝突危険度を OZT に基づき評価するとともに、グリッドセンサーにより遠方の船舶であっても検知することができる。図2は開発した、アルゴリズムを用いて学習したモデルによる自動避航操船のシミュレーションを実行した際の様子を示している。この図では相手船との衝突危険度を示す OZT が青のカプセル形の曲線領域として示されており、グリッドセンサー(緑線)のうち、OZT 重なったグリッドセルが赤く表示されている。対複数船舶であっても、適切に飛行できることを示した。

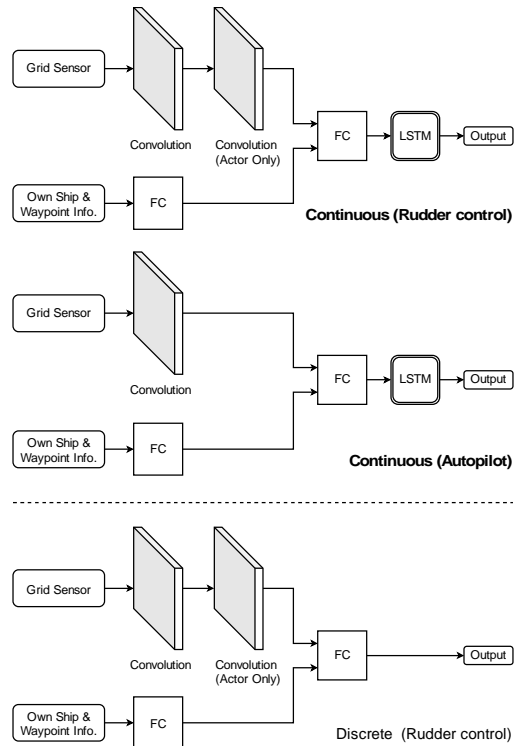


図1 開発したアルゴリズムのニューラルネットワークの構造

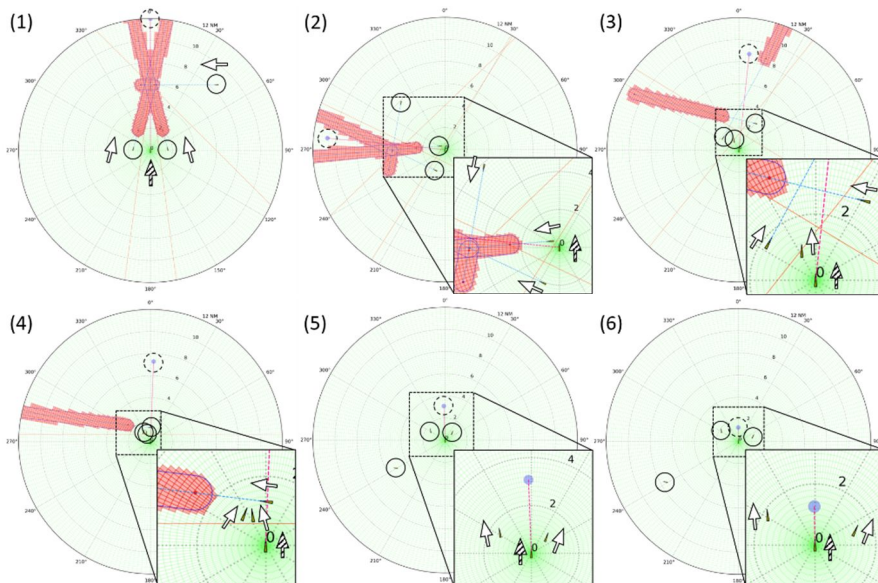


図2 自動避航操船中のグリッドセンサーによる OZT の検知の過程 (中心が自船)

また、本アルゴリズムを用いたシミュレーションから現行のシナリオセットの問題点を整理した。シミュレーションの結果は図3に示す。避航操船シナリオにおいては、相手船との見合い関係により自動避航操船アルゴリズムの挙動が変わる。これについては、OZTを計算する過程で用いる衝突針路の概念を用いてシナリオの特性を整理した。

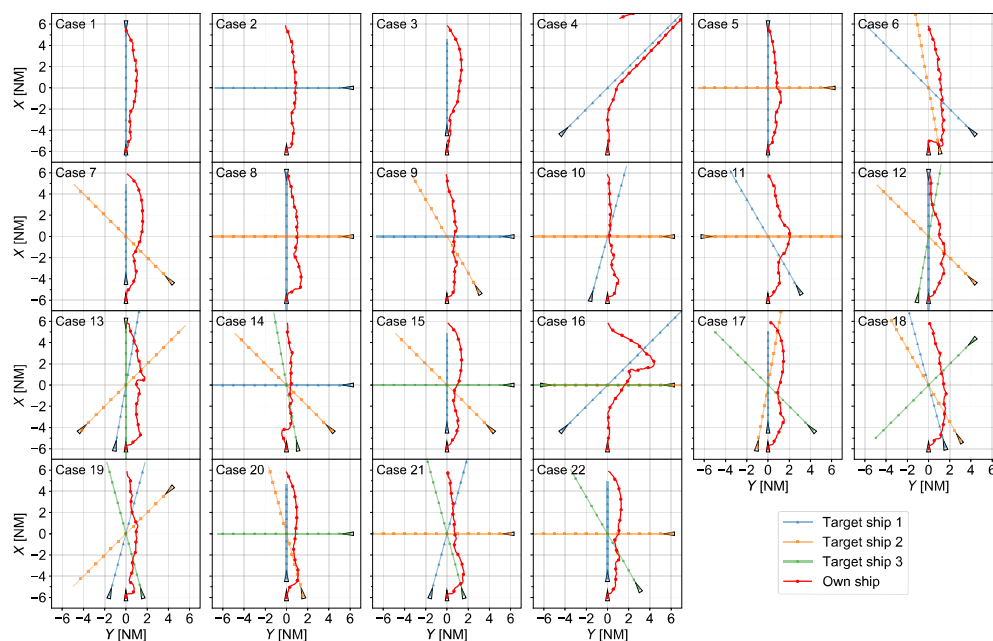


図3 開発したアルゴリズムを用いた、避航操船のシミュレーション結果

さらに、自動避航操船評価のために海上の交通法規の元となる COLREGs 条約を整理し、定められる航法を網羅的に検証できるシナリオセットを設計した。図4はシナリオセットの一部である。図4のシナリオセットはCOLREGsに基づき、見合い関係を6種類、13パターンに分類した1対1シナリオを組み合わせ、さらに同航のシナリオを追加したものである。

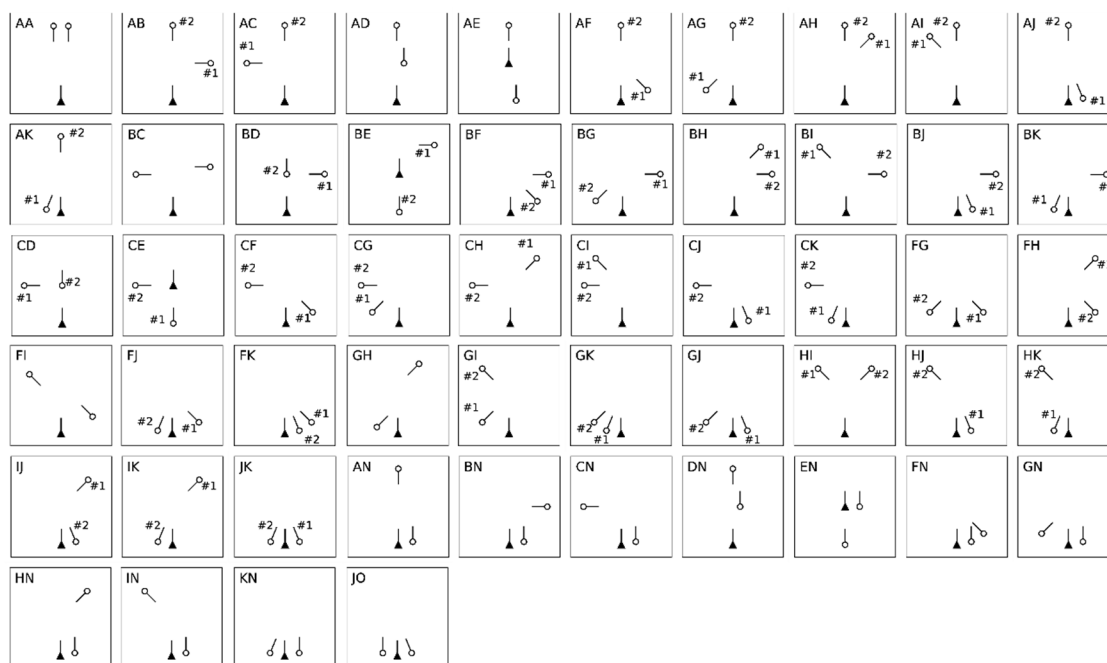


図4 1対2のシナリオセット

さらに、船の位置・速度ベクトルの初期位置に基づく2船間距離、TCPA/DCPA、相対方位/相対方位変化の時系列を与える解析解を求めた。この解析解を用いることで、ある時刻の2船の位置・速度ベクトルを基準にこれらの指標の時間発展をシミュレーションなしに予測することができる。また、相対方位変化については、時間微分を数値計算で求める必要がないため扱いが簡便である。さらにこれに基づいて、与えられた相対CPAベクトルに基づく相手船配置問題の定理を導き、シナリオ設計方法を確立した。これは、図5に示す他船の配置問題において次のような定理により設計される： p_i と v_i を船 i の初期位置ベクトルと運動ベクトルとすると、与えられた最接

近点の位置ベクトルを d_{CPA} と最接近時間 TCPA を t_{CPA} とする。 θ_{CPA} を d_{CPA} の方位とする。他船 j の速度 $|v_j|$ が与えられ、 $d_{CPA} \cdot v_i \leq |d_{CPA}| |v_j|$ を満たす場合、他船 j の進路 ψ_j と初期位置 p_j は次で与えられる。

$$\psi_j = \theta_{CPA} \pm \arccos\left(\frac{d_{CPA} \cdot v_i}{|d_{CPA}| |v_j|}\right), \quad (1)$$

$$p_j = d_{CPA} - t_{CPA}(v_j - v_i) + p_i. \quad (2)$$

本定理により、より細かな仕様要求にも対応するシナリオ評価手法を構築することができた。

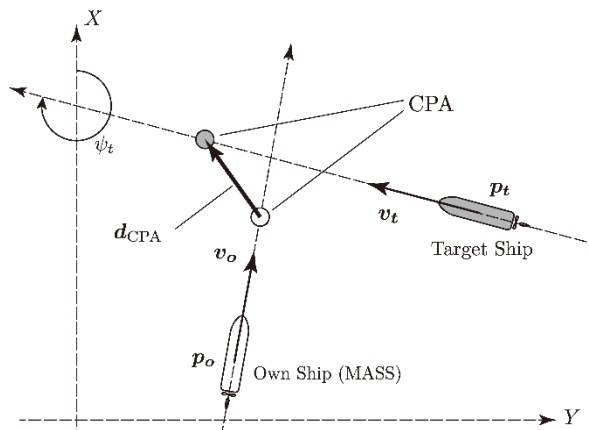


図5 相対 CPA ベクトルに基づく他船の配置

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 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sawada Ryohei, Sato Keiji, Majima Takahiro	4. 巻 0
2. 論文標題 Automatic ship collision avoidance using deep reinforcement learning with LSTM in continuous action spaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Technology	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00773-020-00755-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 澤田涼平
2. 発表標題 「自動運航船の研究紹介」と「研究活動と英語」
3. 学会等名 弓削商船高等専門学校産学連携フォーラム2021・専攻科特別研究中間発表会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤田 涼平
2. 発表標題 深層強化学習を用いた複数の船舶を考慮した自動避航操船
3. 学会等名 海上技術安全研究所報告第20巻第4号
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間島 隆博、佐藤 圭二、澤田 涼平
2. 発表標題 自動運航船の避航アルゴリズムの開発とシミュレータ
3. 学会等名 日本人間工学会関東支部第50回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤田 涼平
2. 発表標題 深層強化学習による自動避航操船研究
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会誌(Journal of the JIME), 第55巻, 第6号
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤田 涼平
2. 発表標題 深層強化学習(DRL)による自動避航操船
3. 学会等名 海上技術安全研究所 海洋リスク評価系、知識・データシステム系講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤田涼平、南真紀子
2. 発表標題 自動避航操船アルゴリズムのための評価用交通シナリオセット設計
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会 令和4年 秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤田涼平
2. 発表標題 自動避航アルゴリズムの評価のためのシナリオ設計法
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会 令和5年 春季講演会
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
---------	---------