

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14968

研究課題名（和文）多様な自律船が存在する環境下でのロバストな自動避航アルゴリズムの研究

研究課題名（英文）A study of robust ship avoidance algorithms in an environment with a variety of autonomous vessels

研究代表者

佐藤 圭二（SATO, Keiji）

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：90734244

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、避航アルゴリズムのパラメータを経済・利便性、衝突のリスクといった複数の目的関数のトレードオフが存在する環境下で、多数の解の候補を獲得できる進化型多目的最適化手法を適用することで、適切なパラメータ設計を行うものである。多目的最適化手法としてNSGA-IIを用いて避航アルゴリズムの解探索をおこなう手法を考案し、得られたパラメータをもとに操船リスクシミュレータを用いて海技者と自動避航アルゴリズムとの操船の比較を行うことにより、パラメータの妥当性を海技者の目を通して検証を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多くの研究は避航操船アルゴリズムのパラメータは経験的な値を設定するにとどまっている。しかし、避航アルゴリズムのパラメータの解空間は膨大であり、かつアルゴリズムの評価も「目的地点までの距離を短くしたい（経済性・利便性）」と「互いに安全な距離を保持したい（リスク）」はトレードオフの関係にあるため、適切なパラメータ探索手法が求められており、本研究はその解決に資する。

研究成果の概要（英文）：In this study, the parameters of the ship avoidance algorithm is designed by applying an evolutionary multi-objective optimization method that can obtain a large number of candidate solutions in an environment where there are tradeoffs among multiple objective functions such as economy, convenience, and collision risk.

A multi-objective optimization method, NSGA-II, was applied to search for a solution to the avoidance algorithm. The obtained parameters was verified through a comparison of ship operation results between a mariner and an automatic ship avoidance algorithm using a ship handling simulator.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：避航操船 多目的最適化 CORLEGs OZT

1. 研究開始当初の背景

国内外において、自動運航船の安全性確保の観点から避航操船アルゴリズムの研究が進められているが、その多くは自船、もしくは全船が同じ自動避航アルゴリズムを搭載している環境がほとんどであり、複数の避航アルゴリズムが混在している環境を考慮したものはない¹⁾。より環境が複雑化する中で、避航操船アルゴリズムのパラメータはどのような環境でも安定して避航できるように設定しなくてはならない。避航アルゴリズムのパラメータの解空間は膨大であり、アルゴリズムの評価も「目的地点までの距離を短くしたい(経済性・利便性)」と「互いに安全な距離を保持したい(リスク)」はトレードオフの関係にあるものであるが、多くの研究は避航操船アルゴリズムのパラメータは経験的な値を設定するにとどまっている。

そこで、本研究では、アルゴリズムのパラメータを経済・利便性、衝突のリスクといった複数の目的関数のトレードオフが存在する環境下で、多数の解の候補を獲得できる進化的多目的最適化手法を適用することで、安定した避航操船を可能とするアルゴリズムのパラメータ設計を行い、多様な自律船が混在する輻輳海域に適用しても避航操船が可能となるロバストな自動避航アルゴリズムの研究を行う。

2. 研究の目的

本研究の目的は、多様な避航アルゴリズムが存在する環境下での安定した避航が可能なパラメータ設計手法と避航アルゴリズムを構築し、その有効性を検証することである。そのために、まず、複数の避航アルゴリズムが存在する環境下でのアルゴリズムの評価手法を構築し、次に、複数の異なるアルゴリズムが混在する環境下で、安定して避航行動を取ることができるパラメータ推定手法を確立する。完成されたアルゴリズムの妥当性は、シミュレーション実験などにより検証を行う。

3. 研究の方法

どのような環境でも安定して動作するロバストな解を見つけるために、進化的多目的最適化を応用し、避航アルゴリズムのパラメータ構築を行い、多数の船舶が行き交う輻輳海域を想定したシナリオをもとに、シミュレーションでの検証を行う。進化的多目的最適化の主な手法としては多目的遺伝的アルゴリズムがあげられるが、これは多数の最適解を一括獲得する手法で、多数の解をトレードオフの中で獲得できる手法である²⁾であり、本研究では評価値のばらつきを考慮できる手法をベースに用いる³⁾が、この手法はあくまでもナップザック問題などのタイプロblemに適用したものであり、本研究には直接適用できない。そこで、図1に示す評価値のばらつきを考慮した進化的多目的最適化手法を提案する。まずは、評価値のばらつきを考慮した避航アルゴリズム用の目的関数・評価値の設計を行う。各設計パラメータは多数のシナリオで避航の評価値を与えられるが、「目的2:リスク」のリスクの表現を最接近距離だけでなく、目的関数を増加、もしくは統合させるなどして海上衝突予防法も考慮できるように、適切な避航アルゴリズムのパラメータを得られるように設計する。また、船舶特有の問題として、時間のブレはある程度許容できるが、リスクについてはあまり許容できないなどの要求があげられる。従来手法は評価値のばらつきを標準偏差などで一律に扱っていたが、評価値のばらつきを目的関数毎に考慮可能なパラメータ設計手法を確立することで、より現実的なパラメータを求めることが可能な評価値の表現方法についても研究を進め、最後にシミュレーションによる検証を行う。

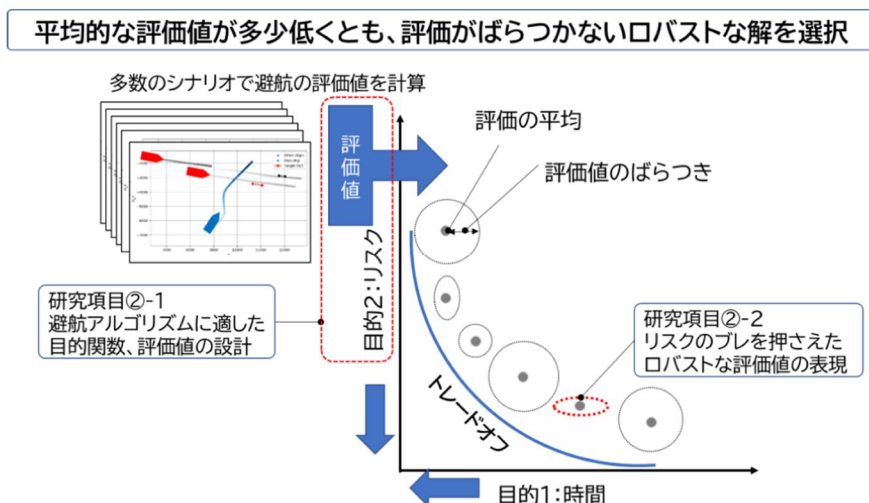


図1 最適化によるパラメータ探索

4. 研究成果

本研究の最適化によるパラメータ推計値をもとに、海技研所有の操船リスクシミュレータを用いて被験者実験を行った。まず、自船の操船経験のある海技者がシミュレータの航海計器（レーダーなど）をもとに手で操船を行った。つぎに同じシナリオを、避航操船システムと操船リスクシミュレータはUDP通信で接続し、避航操船システムが直接操船を行い、その航跡の比較を行った。装置の設置環境を図2に示す。



図2 操船リスクシミュレータと自動避航システム

避航操船システムでの自動運航中は被験者にブリッジから避航の様子を確認してもらい、実験終了後にインタビューを実施した。図3に今回用いたシナリオを示す。中心の1番の船が自船、その他の番号の船が相手船の初期位置であり、OZTを円列で示している。前半で数隻避航し、その後東西に航行する輻輳した交互通行の航路を横切するというシナリオになっている。

図4に海技者と自動避航システムで操船した航跡を示す。航跡図を見ると、海技者と自動避航システムでの操船結果はほとんど同じという結果が得られた。実験後のインタビューからは、自動避航システムでの操船は海技者の操船と類似しており、安心して見ていられたとのことであった。また、自動避航アルゴリズムでの操船は、状況判断が速いため、早期に避航行動を行う事によって、余裕が生まれるのではないかとコメントがあった。

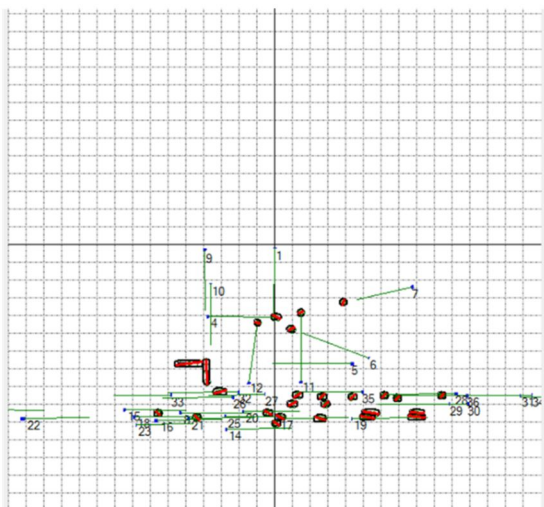


図3 評価シナリオ

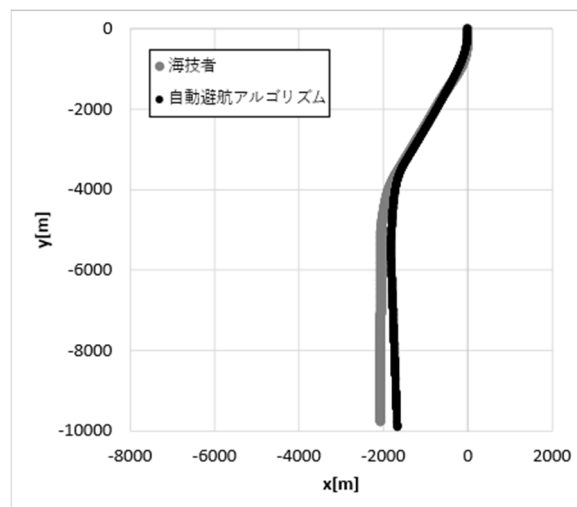


図4 航跡比較

< 引用文献 >

- 1) Lazarowska, Agnieszka : Research on algorithms for autonomous navigation of ships , WMU Journal of Maritime Affairs, Vol.18, No.2, pp.341-358, 2019.
- 2) Kumagai, Kei, et al. "Basic Study on Analyzing of Maneuvering for Avoiding Collision in the Congested Sea Area where Many Ships are Crossing by Using OZT." 2012 Fifth International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology. IEEE, 2012.
- 3) Hiroyuki Sato and Tomohisa Hashimoto "Evolutionary Multi-Level Robust Solution Search for Noisy Multi-Objective Optimization Problems with Different Noise Levels," International Journal of Automation and Logistics (IJAL), Vol. 2, No. 1, pp. 4-25, 2016.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|-----------------------|
| 1. 発表者名 佐藤圭二 |
| 2. 発表標題 自動運航船の研究動向 |
| 3. 学会等名 日本原子力産業協会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 南 真紀子、丹羽 康之、佐藤 圭二、間島 隆博 |
| 2. 発表標題 自動避航アルゴリズムの評価に関する検討 |
| 3. 学会等名 令和2年（第20回）海上技術安全研究所講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 佐藤圭二 |
| 2. 発表標題 OZTを用いた避航操船支援システムと実船実験報告 |
| 3. 学会等名 日本航海学会令和3年度秋期講演会 |
| 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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|