



Distributed Algorithms for n-Ship Collision Avoidance

Kim, Donggyun

(Degree)

博士 (海事科学)

(Date of Degree)

2016-09-25

(Date of Publication)

2017-09-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6757号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006757>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



論文内容の要旨

氏 名 _____ 金東均 _____

専 攻 _____ 海事科学専攻 _____

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

Distributed Algorithms for n -Ship Collision Avoidance

(n 船衝突回避のための分散アルゴリズム)

指導教員 _____ 平山 勝敏 _____

(注) 2, 000 字~4, 000 字でまとめること。

As vital transportation carriers in trade, ships have the advantage of stability, economy, and bulk capacity over airplanes, trucks, and trains. Even though navigation technology has been developing year by year, ship collision still accounts for a large percentage of maritime accidents. Their loss and cost due to collisions and other accidents exceed those of any other mode of transportation. It is very difficult for officers to ascertain routes that will avoid collisions, especially when multiple ships travel the same waters.

Ship collision avoidance involves helping ships find routes that will best enable them to avoid a collision. When more than two ships encounter one another, the procedure becomes more complex since a slight change in course by one ship might cause a "butterfly effect" in the whole system. To prevent ship collisions many ways have been suggested, such as COLREGs, ship domain, fuzzy theory, and genetic algorithm. These methods work well in one-on-one situations, but are more difficult to apply in multiple-ship situations.

To support the need to find safe routes for ship travel in crowded waters, I apply the Distributed Algorithms (DS). The DS does not require a server, which could be a bottleneck in the system. The objective of this thesis is to reduce the ship collision risk in multiple-ship situations. To do that, I suggest three kinds of DS, such as Distributed Local Search Algorithm (DLSA), Distributed Tabu Search Algorithm (DTSA) and Distributed Stochastic Search Algorithm (DSSA). Along with the development of the Distributed Algorithms, I also suggest a new cost function that considers both safety and efficiency.

First, I introduce the DLSA. The main purpose of DLSA is to reduce collision risk among multiple ships. DLSA is a distributed algorithm in which multiple ships communicate with each other within a certain area. DLSA computes a cost based on the information received from neighboring ships. By exchanging information on, for example, next-intended courses within a certain area among ships, ships having the maximum reduction in collision risk change courses simultaneously until all ships approach a destination without collision. In DLSA, I assume that ships can exchange information with each other (using a communication device such as the Automatic Identification System (AIS)) to cooperatively establish routes to avoid collisions. More specifically, when multiple ships meet, the ship that can reduce collision risk most significantly has the right to choose its next course. Where there is a tie in the maximum risk reduction, the one with the highest priority has the right to choose its

(氏名： 金東均 NO. 2)

next course. These choices are then relayed to their neighboring ships as their current courses. Each individual ship computes its collision risk based on the information on current courses that it receives from the neighboring ships.

Second, I show DTSA to make up for the weak points of DLSA. DLSA works well empirically, but, it is sometimes trapped in Quasi-Local Minimum (QLM) that prevents a ship from changing course even when at risk of collision. To deal with this issue, therefore, I developed a new distributed algorithm called the DTSA. DTSA uses a Tabu Search (TS) to escape from QLM. There are several types of memory, such as short-term, intermediate-term and long-term. By using memory to prohibit certain moves, TS searches for global optimization rather than local optimization. In short-term memory, the recently selected or visited solutions are put in tabu list. Therefore, an agent can search new solution in spite of worse one. Only a short-term memory may be enough to solve a given problem in conventional local search methods. However, the intermediate and long-term memory structures are used for solving more complex problems. For ship collision avoidance, I use short-term memory structure only. DTSA enables a ship to search for a new course compulsorily when trapped in QLM, to allow it to escape. In this way, DTSA enables ships to find shorter paths to their destinations while avoiding collisions.

Third, I introduce DSSA to compensate the problems of DLSA and DTSA. The common drawback of DLSA and DTSA are that it takes a relatively large number of messages for the ships to coordinate their actions. This could be fatal, especially in cases of emergency, where quick decisions should be made. DSSA enables each ship to change her next-intended course in a stochastic manner immediately after receiving all of the intentions from the neighboring ships. It allows each ship to change her next-intended course in a stochastic manner immediately after receiving all of the intentions from the neighboring ships.

Forth, I propose new cost function and an improvement. For a course, two things have to be taken into consideration, namely, Collision Risk (CR) and Relative angle. Otherwise, a ship will be in a dangerous situation or she will go a long way round. For each candidate course Therefore, the cost function is made up of two parts, such collision risk and relative angle.

Finally, to know the performance of DLSA, DTSA, and DSSA, I made experiments in various situations. For the performance benchmark, I computed the sailing distance, the average cost, the number of exchanged messages. As the result of the experiments, I categorized the results according to each variable.

氏名	金 東均		
論文 題目	Distributed Algorithms for n -Ship Collision Avoidance (n 船衝突回避のための分散アルゴリズム)		
審査 委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教 授	平山 勝敏
	副 査	教 授	古莊 雅生
	副 査	教 授	堀口 知也
	副 査	教 授	今井 昭夫
要 旨			
<p>船舶衝突は海難事故において大きな比重を占めており、その被害は甚大なものとなる。このような船舶衝突事故を防止するための技術的支援の一つとして、衝突を回避するためのルートを自動生成する衝突回避アルゴリズムに関する研究が幾つか報告されている。従来研究では、基本的に1対1あるいは1対多という状況を想定するものが多く、基盤となる理論および手法として、主にファジィ推論、遺伝的アルゴリズム、アントコロニー最適化等に基づいた研究がある。一方、近年では、自動船舶識別装置 (AIS) を用いて複数の船舶間で互いの情報を容易に交換できることを考慮すれば、同様の仕組みで互いの「意図」(直近のルート計画やその代替案など)に関する情報を交換することにより、1対1、1対多のみならず多対多というより一般的で複雑な状況を統一的に扱うことができる分散アルゴリズムに基づく船舶衝突回避が原理的に実現可能である。本論文は、多対多状況における船舶衝突回避 (n 船衝突回避) の問題に対して、分散局所探索法に基づく一連の分散アルゴリズムを提案し、シミュレーション実験によりその評価を行うものである。論文の構成は以下の通りである。</p> <p>第1章は序論であり、船舶の特性や船舶衝突に関する近年の統計データ等が示され、本研究の基本的な動機である衝突回避のための技術的な支援の必要性が提示される。</p> <p>第2章では、本研究の背景として、船舶衝突回避のための国際ルールである COLREG 条約の紹介、および、情報処理技術を利用した船舶衝突回避のための主な既存研究として、Ship Domain, ファジィ理論、遺伝的アルゴリズムを用いた研究の概要がそれぞれ紹介される。</p> <p>第3章以降が本論であり、本研究独自の成果が提示される。まず、第3章では、分散衝突回避のための基本的な枠組みと用語が定義され、分散環境における単純な制御手続きと探索手続きの繰り返しで衝突回避を実現すること、並びに論文全体を通して使用する専門用語の意味が説明される。また、探索手続きの中で使用する、各船舶のある特定のコースに対するコスト、および、各船舶のコストの改善度合に相当する improvement の計算方法が紹介される。</p> <p>第4章では、分散局所探索法を実装した最初の素朴な分散アルゴリズムである DLSA (Distributed Local Search Algorithm) の詳細とそのシミュレーション実験による評価結果が報告される。DLSA では、各船舶(エージェント)は単純な局所探索を行うのみであり、局所探索固有の問題である局所最適解に陥ったとしてもそこから脱出する手段を持たない。その結果、シミュレーション実験では、人工的に作成した 3840 回の試行中、約 3% の試行で衝突回避に失敗することが報告される。</p> <p>第5章では、DLSA をベースとし、局所最適解からの脱出手続きとしてタブー探索を実装した DTSA (Distributed Tabu Search Algorithm) の詳細とそのシミュレーション実験による評価結果が報告される。タブー探索とは、局所最適解から脱出するために、探索の過程で直前の状態へ戻ることを一定期間禁止する仕組みを組み込んだ局所探索法であり、その考え方は DLSA にも比較的簡単に導入することができる。実験によれば、各船舶が選択できるコースが極端に限定されている場合には、タブー探索の効果が一部認められるが、そうでない場合には、期待した程には大きな効果は確認できないことが報告されている。</p>			

氏名	金 東均
<p>第6章では、従来のDLSAとDTSAにおけるエージェント間のメッセージ交換方法と各エージェントの局所計算の方法を本質的に改善したDSSA (Distributed Stochastic Search Algorithm) の詳細とそのシミュレーション実験による評価結果が報告される。DSSAでは、確率的局所探索という仕組みが導入されており、コストを改善できる場合でも、各船舶(エージェント)は設定された確率pでコースを仮想的に変更し、残りの確率$1-p$で現コースを仮想的に維持する。この単純な仕組みにより、例えば100隻の船舶が互いに交差し合う状況においても、得られる解の質(全船舶の出発地点と目標地点間の総移動距離)を維持したまま、エージェント間で交換されるメッセージ数を劇的に減らすことができると報告されている。また、より現実的なシナリオとして、ドーバー海峡における実際のAISデータから8隻の船舶が交差する状況をシミュレータ上で再現した上でDSSAに基づいて計算した各船舶の航路が示され、その妥当性についても議論されている。</p> <p>最後に第7章では、論文全体のまとめと今後の課題が示される。今後の課題としては、1) 個々の船舶の特徴を細かく反映した、より現実的な設定のもとで性能評価を行うこと、2) 島、海峡、浅瀬などが存在する、より現実的で複雑な環境のもとで性能評価を行うこと、3) 「意図」を交換することができない船舶が含まれている状況にも対応できる新しい分散アルゴリズムを考案すること、などが挙げられる。</p> <p>なお、本論文を構成する主な内容を記した対外公表論文は、英文ジャーナル論文2編(いずれもフルペーパー査読付きで第1著者)、国際学会プロシーディングス2編(フルペーパー査読付き国際会議で第1著者かつ本人発表)の計4編である。</p> <p>以上で述べたように、本論文は、多対多状況における船舶衝突回避問題(n船衝突回避問題)に対して、複数の分散アルゴリズムを提案し、シミュレーションによる実験結果に基づいてそれらの性能を評価したものである。現状では、かなり理想化された環境を想定しているため、実際の応用を考えた場合にはまだ検討すべき課題は多々あると思われるが、海上交通システムの問題に分散アルゴリズムを適用するという試みは新しく、将来の完全自動運航実現に向けた基礎的かつ萌芽的な研究の一つとして評価に値する。よって、本論文は海事科学研究科学位論文評価基準を満たしており、学位申請者の金 東均氏は、博士(海事科学)の学位を得る資格があると認める。</p>	