

速度制御を考慮に入れた分散衝突回避アルゴリズム

宮家昂希[†] 平山勝敏[†] 沖本天太[†] 塩田知宏[†]

神戸大学大学院海事科学研究科[†] 神戸大学海事科学部[†]

1. はじめに

国際物流にとって船舶は必要不可欠な移動体であり、船舶の自動運転が実現すれば、船員の負担軽減に大きく貢献できるだけでなく、ヒューマンエラーに起因する事故を大幅に削減できることが期待できる。

多対多の状況下で船舶の自動衝突回避を実現する手法の1つとして分散確率的探索アルゴリズム (Distributed Stochastic Search Algorithm (DSSA)) [2] が提案されている。DSSAでは、自動船舶識別装置 (AIS) を搭載し一定速度で航行する船舶同士が、次に選択する針路 (舵角) を互いの意図として事前に交換することにより協力的に針路を決定する。一方、近年、可変ピッチプロペラ等により船舶の速度制御が比較的容易になったことから、衝突回避の際に針路変更だけでなく速度変更も選択肢として検討することは現実的であり、また、より効率的な自動衝突回避につながると期待できる。

本稿では、針路変更だけでなく速度変更を考慮に入れた新しい分散船舶衝突回避アルゴリズム DSSA+を提案し、その性能を評価する。

2. 分散船舶衝突回避

船舶衝突回避は、海上輸送の分野で古くから研究されており、法的あるいは技術的な多数の支援策が提案されている。近年、船舶衝突回避を分散最適化問題として定式化し、分散船舶衝突回避アルゴリズムを用いて解決する試みが提案されている[1][2]。

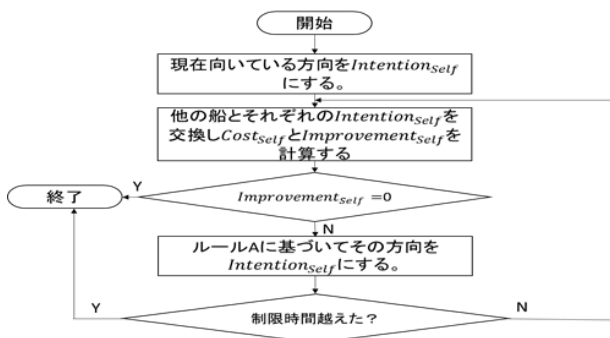
分散船舶衝突回避アルゴリズムは制御過程と探索過程の2つの過程で構成される。制御過程では、船舶は次の位置に進むかどうかを決定する。各船舶の現在位置からある一定の検知範囲内に他の船舶が存在しない場合、その船舶は次の位置に進む。一方、存在する場合は探索過程に移行する。探索過程では、船舶は分散アルゴリズムを実行し、衝突を回避できかつ効率的である最適な針路 (舵角) を求める。検知範囲内の全船舶が最適な針路を見つけた場合、または一定

の探索時間を越えた場合、求めた針路に基づいて次の位置を決定し、その位置まで進む。以上、全ての船舶が目標位置に到着するまで制御過程と探索過程を繰り返す。

3. アルゴリズム

3.1 DSSA

DSSAでは、前節の探索過程の分散アルゴリズムに図1の手続きを使用する[2]。なお、DSSAでは、コスト関数である $Cost_{self}$ の値は、船舶 $self$ について、その舵角の可能な値 $crs \in \{-45^\circ, \dots, -5^\circ, 0^\circ, +5^\circ, \dots, +45^\circ\}$ についてのみ計算されるが、提案アルゴリズムである DSSA+では、このコスト関数 $Cost_{self}$ の定義が 3.2 節に示す通り速度変化 spc を含めたものに拡張される。



ルールA: $Improvement_{self} > 0$ の時、一定の確率 P で $Improvement_{self}$ の $Intention_{self}$ に変更する。
 $1-P$ の確率で $Intention_{self}$ を変更せず維持

図1 DSSA の手続き

3.2 DSSA+

DSSA+では、船舶 $self$ について、その検知範囲内に存在する全ての他船舶 (集合 N とする) の針路と速度から、次に進むべき針路 (舵角) crs と速度変化 spc を決定する。その際、以下で定義するコスト関数の値を最小にする舵角と速度変化のペアを基本的には採用する。

$$Cost_{self}(crs, spc) \equiv \sum_{j \in N} CR_{self}(crs, spc, j) + EF_{self}(crs, spc) \quad (1)$$

(1)式の右辺第1項は、他船と衝突しないようにするための衝突危険性 (Collision Risk) を求める。具体的には他船 j との TCPA (衝突地点までの所要時間) の逆数の総和 (に係数として $self$ の時間窓の大きさ TW を掛けたもの) であり次式で計算される。

$$CR_{self}(crs, spc, j) \equiv \begin{cases} \frac{TW}{TCPA(crs, spc, j)}, & j \text{ と衝突する場合} \\ 0, & j \text{ と衝突しない場合} \end{cases}$$

(1)式の右辺第2項は、船舶 $self$ にとっての舵角 crs と速度変化 spc の効率性 (Efficiency) を求めるもので次式により計算される。

$$EF_{self}(crs, spc) \equiv \alpha \frac{|\theta_{dest} - \theta(crs)|}{180} + \beta \frac{|\min\{\max\{CurSPD + spc, MinSPD\}, MaxSPD\} - RefSPD|}{MaxSPD}$$

効率性の式の第1項は舵角 crs の絶対角度 $\theta(crs)$ が目標位置への絶対角度 θ_{dest} に近い場合、また第2項は現在速度を spc だけ変化させた結果、基準速度 $RefSPD$ に近い場合に小さくなる。なお、 $CurSPD$ は船舶 $self$ の現在速度、 $MinSPD$ と $MaxSPD$ はそれぞれ設定可能な最低速度と最高速度である。また、 α と β は、衝突回避の際にそれぞれ針路変更あるいは速度変更のうちどちらの手段を重視するかを設定する重みパラメータであり、相対的に α を大きくすると衝突回避手段として速度変更が選ばれやすくなり、逆に β を大きくすると針路変更が選ばれやすくなる。

一般に DSSA+では、針路変更だけでなく速度変更をも手段として考慮するため、従来の DSSA に比べて探索空間は大きくなる。しかしながら、次節の実験で示す通り、各船舶がたどる軌跡の質は多くの場合において劇的に改善される。

4. 評価実験

図2のように16隻の船舶をそれぞれ上下左右に4隻ずつ相対して配置し、上の4隻は下、下の4隻は上、左の4隻は右、右の4隻は左方向に向かって進ませて、中央付近で互いに交差する状況を設定し、DSSA および DSSA+で各船舶がたどった初期位置から目標位置までの軌跡を求めた。図2は実行例の1つである。また、乱数の初期値を変えてそれぞれを50回ずつ試行し、総移動距離 (total length of paths)、各船舶の移動所要時間 (travel time of each ship)、各船舶の実際の移動距離/最短距離 (detour rate of each ship) の平均値および成功率 (衝突のない試行の割合) (success rate) を求めた。結果を表1に示す。

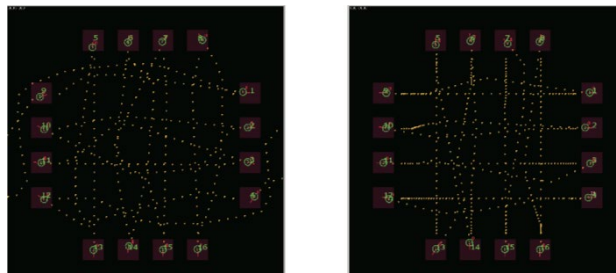


図2 DSSA と DSSA+による軌跡の一例

表1 50回の試行での実験結果

	DSSA	DSSA+
total length of paths	9833.6	8693.4
travel time of each ship	24.6	33.2
detour rate of each ship	1.14	1.01
success rate (#trialsWithNoCollision/#trials)	32/50	50/50

なお、DSSA+では α の値を10、 β の値1に設定し、針路変更よりも速度変更による選択を重視させた。速度変化 spc の可能な値は $spc \in \{-8, \dots, -2, 0, +2, \dots, +8\}$ とし、 $MaxSPD = 25$ 、 $MinSPD = 1$ 、 $RefSPD = 25$ に設定した。実験環境に関するその他の設定はDSSAとDSSA+で共通である。

図2より、DSSAでは、衝突を避けるために一部の船舶が大きく遠回りするところがあるが、DSSA+では、速度を調整することによりどの船舶もあまり遠回りすることなく衝突を回避できる様子が伺える。表1の結果からも、DSSA+では、移動所要時間は増加するが、より短い経路で互いに衝突することなく各船舶がそれぞれの目的位置に到達できることがわかる。

5. まとめと今後の課題

本稿では、針路変更だけでなく速度変更を考慮に入れた新しい分散船舶衝突回避アルゴリズム DSSA+を提案した。今後の課題は、より多様な設定で評価実験を行うことである。

参考文献

[1] Kim, D.G., Hirayama, K., Park, G.K.: Collision Avoidance in Multiple-Ship Situations by Distributed Local Search, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.18, No.5, pp.839-848 (2014)
 [2] Kim, D.G., Hirayama, K., Okimoto, T.: Distributed Stochastic Search Algorithm for Multi-ship Encounter Situations, Journal of Navigation, Vol.70, Issue 4, pp.699-718 (2017)