

分散最適化アルゴリズムによる自律編成型艦隊制御に関する一考察

塩田 知広[†] 宮家 昂希[‡] 平山 勝敏[‡] 沖本 天太[‡]
神戸大学海事科学部[†] 神戸大学大学院海事科学研究科[‡]

1. はじめに

艦隊制御とは、複数の船舶からなる船団に対し、各船舶の現在位置や目標位置および速度等を適切に設定するタスクと見なすことができる。通常の艦隊制御では、旗艦あるいは地上の司令部等の司令拠点から与えられた指令をもとに、指令された編隊を組むべく各船舶が自身の動作を制御する。しかし、この場合、司令拠点による詳細な指示が不可欠であり、仮に司令拠点との通信に障害が生じた場合には編隊を正しく組むことができないことや、臨機応変な編隊の制御ができないという問題点がある。この問題点に対し、各船舶に与える司令を最小限にし、どの船舶がどの場所にどのように行くべきかについては、分散最適化アルゴリズムを用いて自律的に船舶自身が決定する自律編成型艦隊制御という枠組みを提案する。

2. 自律編成型艦隊制御

本研究では、移動体（船舶）をエージェントと見なし、分散環境における複数のエージェントが互いに通信することにより、自律的に最適な目標位置を決定し、さらに現在位置から目標位置まで互いに衝突のない経路を決定することを自律編成型艦隊制御（Self-Organizing Fleet Control (SOFC)）とよび、これを実現する一つの解法を提案する。

SOFC では、それぞれが自律的に動作する複数のエージェントに対し、目標位置の候補となる集合を入力として与え、各エージェントは自身の目標位置とその目標位置までの経路を出力する。本稿では、エージェントの現在位置集合と目標位置集合間のマッチング問題を分散環境で解く分散ラグランジュ緩和プロトコル[1]を用いて各エージェントの目標位置を決め、その後、分散船舶衝突回避アルゴリズム[3]を用いて各エージェントの目標位置までの経路を決定する2段階の分散解法を提案する。

2・1. 分散マッチング

汎用的な分散最適化問題として一般化相互割当問題（Generalized Mutual Assignment Problem (GMAP)）が提案されている[1]。GMAPの目的は、各エージェントの保有する「財」の総量がエージェントごとに指定された容量を越えないという制約条件（ナップサック制約）のもとで割当てに伴うコストの総和（割当てに伴う効用の総和）が最小（最大）となるような「財」の割当てを求めることである。

SOFCにおけるエージェントの現在位置集合と目標位置集合間のマッチング問題は、目標位置を「財」と見なすことにより、各エージェントの現在位置から各目標位置までの移動コストを割当てコスト、各エージェントの容量を1としたGMAPとして容易に定式化することができる。

GMAPとして定式化されたこのマッチング問題を分散環境で解く解法として分散ラグランジュ緩和プロトコル[1]を利用する。この解法では、各エージェントは、近傍内のエージェントと目標位置についての暫定的な割当て情報を交換し、エージェントごとの局所的なコストに影響を与えるラグランジュ乗数と呼ばれるパラメータを単純なルールに基づいて更新しながら、目標位置を繰り返し変更することで大域最適解を探索する。この分散ラグランジュ緩和プロトコルにより、エージェント間の局所的な通信のみで分散環境におけるマッチング問題の大域的な最適解あるいは準最適解を求めることができる。

2・2. 分散船舶衝突回避

各エージェントが割当てられた目的位置まで移動する際、同時刻で経路が交差（衝突）したり、危険な距離まで接近する可能性が生じる。この課題は、船舶衝突回避の問題として定式化し分散環境で解決することが可能である。

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[2][3].

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。

なお、次節の実験においては、探索過程の分散アルゴリズムとして、分散確率的探索アルゴリズム (Distributed Stochastic Search Algorithm (DSSA)) を使用した。

3. シミュレーション実験

シミュレータ上で分散ラグランジュ緩和プロトコルと分散衝突回避アルゴリズムを組み合わせた2段階の分散最適化アルゴリズムを実装し、その動作を確認する。本シミュレータでは、各エージェントに現在位置と目標位置の集合を与えると、エージェントは必要に応じて関連するエージェントと繰り返し情報交換を行い、最終的には、それぞれのエージェントに割り当てられた目標位置、および、現在位置からその目標位置までの経路が出力される。

実行結果の一例を図1に示す。今回のアルゴリズムでは、各エージェントの現在位置から目標位置 (target) までの直線距離を GMAP における割当てコストとして用いた。図1では、各エージェントが割り当てられた目標位置まで針路を変更することなく直進している。すなわち、この場合は GMAP における割当てコスト (直線距離) と実際の移動コスト (実際に移動した距離) は一致する。



図1 GMAP の割当てコストと実際の移動コストが一致する場合

一方、GMAP における割当てコスト (直線距離) と実際の移動コスト (実際に移動した距離) との間に差が生じる場合もある。その一例を図2に示す。図2では衝突回避のためエージェントの針路変更を伴うが、そのため実際の移動距離が直線距離から大きく乖離する。従って、1段階目のマッチング問題の最適解が実際には最適解とはならない点に注意すべきである。

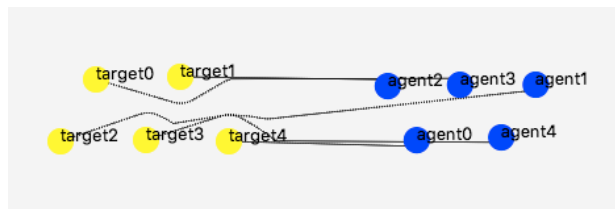


図2 GMAP の割当てコストと実際の移動コストが一致しない場合

4. まとめと今後の課題

本稿では、自律編成型艦隊制御 (SOFC) の基本アイデアと分散ラグランジュ緩和プロトコルと分散船舶衝突回避アルゴリズムを用いた2段階の分散解法を提案した。

2段階目の衝突回避によって針路変更が起きた場合、マッチング時に利用する GMAP の割当てコストである目標位置までの直線距離と実際の移動距離との間に大きな差が生じる可能性がある。そのため、1段階目のマッチング問題の最適解が実際には最適解とはならない場合がある。この問題への一つの解決策として、エージェントの移動に伴い目標位置の割当てを動的に変更するアルゴリズムを開発することが今後の課題である。

参考文献

- [1] Hirayama, K., Matsui, T., Yokoo, M.: Adaptive Price Update in Distributed Lagrangian Relaxation Protocol, AAMAS-2009, pp.1033-1040 (2009)
- [2] 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)
- [3] 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)