

強化学習ベース多船航路探索法における回避開始点の明確化

木村 拓貴[†] 神尾 武司[†] 田中 隆博^{††} 三堀 邦彦^{†††} 藤坂 尚登[†]
[†] 広島市立大学 ^{††} 海上保安大学校 ^{†††} 拓殖大学

1. はじめに

我々は航法[1]の遵守を可能とした多船航路探索用マルチエージェント強化学習システム(MARLS)の開発に取り組んできた。しかし、航法は衝突回避のための2船間の取り決めであるが、回避開始タイミングを定めていない。そこで本研究では、回避開始点の明確化を前提とする多船航路探索用 MARLS を提案する。ここで、回避開始点とは他船を回避可能な限界点とする。

2. 目標航路を行動とする MARLS(TC-MARLS)[3]

従来 MARLS[2]の行動は舵角である。しかし、回避開始点の明確化という高度の要求を満たすには、舵角は原始的である。そこで、行動を舵角から図 1(a)のような目標航路に変更した TC-MARLS を提案した[3]。この方法では選択した目標航路に沿うようにトラッキング制御を用いて舵角を計算するが、回避開始点の明確化はできていない。

3. 回避開始点の明確化のための手法

そこで本研究では、他船との相対距離に応じて直進を選ぶ確率を制御することで、回避開始点の明確化を行う。各船舶に対して回避許可区間 $D(=[D_{min}, D_{max}])$ を与えたとき、自船と最も近い要回避船との相対距離 l (図 1(b))に基づいて、以下の式のように直進を選ぶ確率 p を得る。

$$p = \begin{cases} 0 & \text{if } l < L_{min} \\ (l - L_{min}) / (L_{max} - L_{min}) & \text{if } L_{min} \leq l \leq L_{max} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

D 内で回避することができないと判断した場合、船体長 L_s 分伸ばす(i.e. $L_{max} \leftarrow L_{max} + L_s$)。上記の方法により回避開始点の明確化が期待できると考えられる。

4. 計算機実験

テスト問題は $21 L_s \times 21 L_s$ の共通海域に 6 隻の船舶が存在する多船航路決定問題とした(総試行回数 25 回)。各パラメータは参考文献[3]を参照して設定した。

Table 1 に従来 MARLS(C.M.), TC-MARLS(T.M.), 提案 MARLS(P.M.)を比較した結果を示す。評価項目として学習成功試行回数(N_{SLT}), 学習成功時の平均エピソード数(N_{EPS}), 実際に使用した平均状態数(N_S), 獲得航路長(総航路長)の平均(L_{ave}), 最短(L_{min}), 最長(L_{max})を示す。Table 1 より、T.M.と P.M.の N_{EPS} がほぼ変わらないことから学習効率性は損なわれていないといえる。また、図 2(a)に T.M.と P.M.での獲得航路の一例を示す。マーカー(■)は各船舶の 60 秒ごとの位置、丸(○)は目標航路の切り替えタイミングを示している。第 5 船舶に注目すると、T.M.ではスタートしてすぐ回避を選ぶが、P.M.では長い区間を経て回避を選んでいることがわかる。

Table 1 学習結果

	N_{SLT}	N_{EPS}	N_S	$L_{ave}[m]$	$L_{min}[m]$	$L_{max}[m]$
従来MARLS(B.M.)	23	35569	12682	28437	28100	28767
TC-MARLS(T.M.)	24	26454	2318	27649	27483	28002
提案MARLS(P.M.)	25	30207	3772	27010	26767	27631

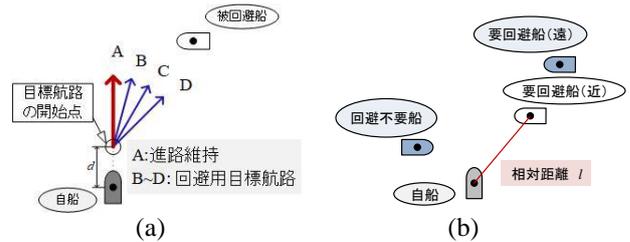


図 1 目標航路の例(a)と他船との相対距離(b)

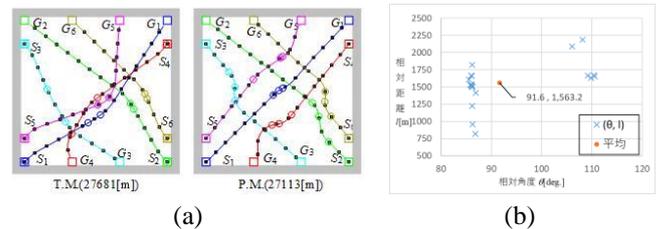


図 2 獲得航路の比較(a)と相対距離と相対角度の関係(b)

また、P.M.における第 5 船舶の回避開始点を他船との相対距離と相対角度によって評価する。

図 2(b)に第 5 船舶が回避用目標航路を選択したときの他船との相対距離と相対角度の関係を示す。図 2(b)より、ある相対角度に対する相対距離が 750m~1750m とばらついているが、多くの点が平均値付近に密集しているので、回避開始点をある程度明確化できたと考えられる。

5. まとめ

本研究では、回避開始点の明確化を前提とする多船航路探索法 MARLS を提案した。計算機実験の結果、航路効率性の向上が確認され、回避開始点もある程度明確化できた。今後の課題として、回避開始点のばらつきを抑えるよう改善することなどが挙げられる。

参考文献

[1] 海上保安庁警備救難部航行安全課(監修), 海上交通三法及び関係法令, 成山堂書店, 東京, 2003
 [2] T. Kamio, et al, "Effects of Prior Knowledge on Multi-Agent Reinforcement Learning System to Find Courses of Ships," Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems, vol.12, no.2, pp.18-23, 2010.
 [3] H.Kimura, et al, "A Reinforcement Learning Based Approach to Search Ships' Courses Using Tracking Control," Proc. of NOLTA, pp199-202, Nov.2020.