

# 심층 강화학습 기반의 선박 항로계획 수립

이형탁\* · 양현\*\* · † 조익순

\*한국해양과학기술원 해양위성센터 선임연구원, \*\*한국해양대학교 해사인공지능·보안학부 부교수,  
† 한국해양대학교 해사인공지능·보안학부 교수

## Generation of ship's passage plan based on deep reinforcement learning

Hyeong-Tak Lee\* · Hyun Yang\*\* · † Ik-Soon Cho

\*Senior Research Scientist, Korea Ocean Satellite Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Korea  
\*\*Associate Professor, Division of Maritime AI & Cyber Security, National Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea  
† Professor, Division of Maritime AI & Cyber Security, National Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

**요 약** : 본 연구는 선박의 항해계획을 자동으로 수립하기 위한 심층 강화학습 기반 알고리즘을 제안한다. 먼저 부산항과 광양항을 대상지역으로 선정하고, 대상 선박으로 흘수 16m의 컨테이너선을 지정하였다. 실험 결과는 심층 강화학습을 사용하여 수립한 항해계획이 선행연구에서 활용한 Q-learning기반의 알고리즘보다 더 효율적인 것으로 분석되었다. 본 알고리즘은 선박의 항해계획을 자동으로 수립하는 방법을 제시하며, 해상 안전 및 효율성 향상에 기여할 수 있다.

**핵심용어** : 항해계획, 심층 강화학습, 선박

**Abstract** : This study proposes a deep reinforcement learning-based algorithm to automatically generate a ship's passage plan. First, Busan Port and Gwangyang Port were selected as target areas, and a container ship with a draft of 16m was designated as the target vessel. The experimental results showed that the ship's passage plan generated using deep reinforcement learning was more efficient than the Q-learning-based algorithm used in previous research. This algorithm presents a method to generate a ship's passage plan automatically and can contribute to improving maritime safety and efficiency.

**Key words** : Ship's passage plan, Deep reinforcement learning, Ship

## 1. 서 론

선박의 항해계획은 항해 안전성을 확보하고, 시간과 연료소모를 최소화하는 방안으로 수립한다 (Kim and Lee, 2023). 현재 선박에서는 선장과 항해사들의 항해지식과 경험으로 항해계획을 수립하고 있다. 하지만 자율운항 기술의 개발로 인해 항해계획 수립의 자동화에 대한 필요성이 증대하였고, 연구가 활발히 수행되고 있다 (Lee et al., 2022).

본 연구는 항해계획 수립 시 고려하여야 하는 수심, 장애물, 항해 규칙 등을 반영한 환경을 설정하고 심층 강화학습 알고리즘을 통해 항해계획 생성을 자동화하였다. Dijkstra, A\*으로 대표되는 전역 경로 계획(global path-planning) 알고리즘은 항해계획을 수정할 때 시간이 많이 소요되고, 고정된 장애물을 회피하는 데 유리하다 (Lee and Choi, 2023). 하지만 심층 강화학습을 기반으로 항해계획을 수립하면, 선박 항해 중 항해계획을 변경할 수 있으므로 전역 경로 계획의 한계를 보완할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 강화학습 알고리

즘인 Q-learning과 심층 강화학습인 Deep Q Network를 활용한 항해계획 수립 알고리즘을 비교 및 분석하고, 성능이 좋은 알고리즘을 제안하고자 한다.

## 2. 실험 환경

본 연구의 목적은 부산항에서 출발하여 광양항에 도착하는 항로를 계획하는 것이므로, 대상 지역은 부산항과 광양항 인근으로 지정하였다. 대상 선박은 총톤수 약 15만톤에 해당하는 컨테이너 선박으로서, 흘수 16m에 해당하는 UKC(Under Keel Clearance)를 계산하고 전자해도의 Safety Confour 개념에 의해 30m로 설정하였다. 수심데이터는 GEBCO(GEneral Bathymetric Chart of the Oceans)의 자료를 활용하였다. 격자의 크기는 선박의 전장(365.5m)를 고려하여 400x400m의 크기로 지정하였다.

그리고 전자해도 S-57 정보를 실험환경에 입력하였다. 교통분리방식 정보와 항만의 입출항 수로를 포함하여, 부두 및 항만

† 교신저자 : 종신회원, ischo@kmou.ac.kr

\* 정회원, htlee@kiost.ac.kr

정보 디자인, 부이 및 장애물 데이터를 모두 고려하여 Fig. 1.과 같이 최종 실험환경을 설정하였다.

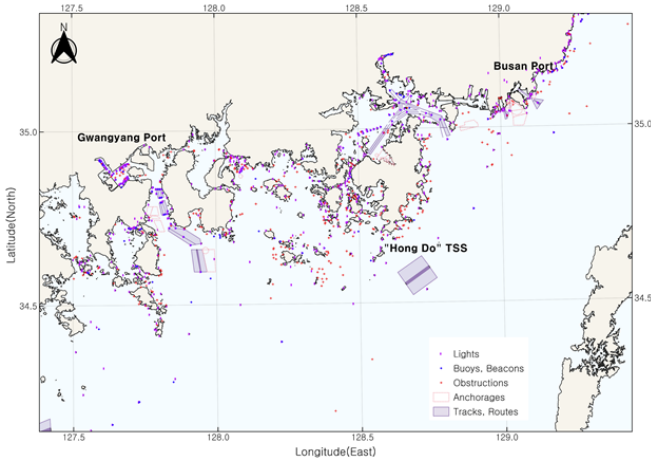


Fig. 1. Experiment environment of study

### 3. 심층 강화학습 알고리즘 적용

본 연구에서 활용한 Q-learning 알고리즘은 환경 모델링에 의존하지 않는 대표적인 model-free 강화학습 알고리즘으로서 Q-함수를 찾고 모든 Q-값을 Q-테이블에 저장하기 위해 가능한 모든 상태-행동 조합을 표로 만드는 과정을 거친다. 반면, Deep Q Network는 Q-learning을 신경망에 연결하여 고차원 데이터로부터 제어 전략을 직접 학습할 수 있다. 그리고 신경망과 Replay buffer를 통해 Q-값을 결정하게 된다 (Fig. 2). 두 알고리즘 모두 각 상태에 대한 Q-값을 통해 행동하고, 가장 큰 Q-값을 얻은 결과를 선택하게 된다.

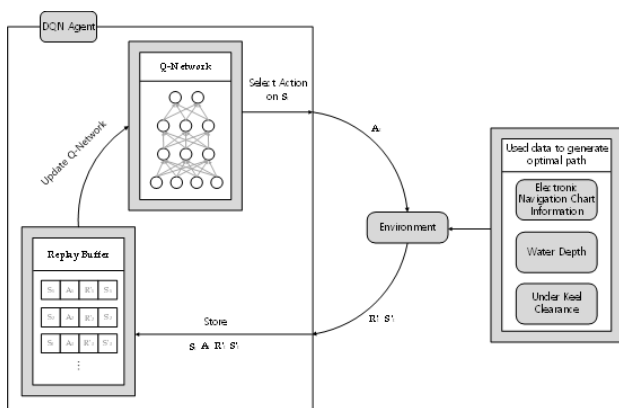


Fig. 2. Deep Q Network method in this study

### 4. 실험 결과

본 연구에서 제안한 강화학습 알고리즘으로 경로를 생성하면, 불필요한 변침점이 많이 생성된다. 따라서 경로를 단순화하는 과정이 필요하며, 본 연구에서는 Douglas-Peucker 알고리즘을 활용하였다. 실험 결과를 정리한 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. Results of distance and the number of waypoints

Algorithm	Route	Distance(km)	The number of waypoints
Q-learning	Initial	217.792	246
	Final	188.839	9
Deep Q Network	Initial	213.300	225
	Final	186.495	9

## 5. 결 론

본 연구에서 제안한 심층 강화학습 기반 알고리즘은 연안 해역이라는 복잡한 환경에서 최적의 선박의 항해계획을 자동으로 수립하는 방법을 제시하였다. 실험 결과, Q-learning 기반 알고리즘보다 Deep Q Network를 활용하였을 때, 더 효율적인 결과를 얻을 수 있었다. 이를 통해 자율운항선박의 항해계획 알고리즘 개발에 기여할 수 있을 것이다. 하지만 초기 단계에서 다수 생성되는 변침점을 후처리 없이 단순화할 수 있는 알고리즘 개발이 필요하며, D\*lite 등과 같은 최신 경로 탐색 기법을 추가로 적용해 볼 필요가 있다.

## 사 사

이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1C1C2010897).

## 참 고 문 헌

[1] Kim, M. K. and Lee, H. T.(2023), "A Study on Ship Route Generation with Deep Q Network and Route Following Control", J. Navig. Port Res., Vol. 47, No. 2, pp. 75-84.

[2] Lee, H. T. and Choi, H. M.(2023), "Passage Planning in Coastal Waters for Maritime Autonomous Surface Ships using the D\* Algorithm", J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf., Vol. 29, No. 3, pp. 281-287.

[3] Lee, H. T., Choi, H. M., Lee, J. S., Yang, H. and Cho, I. S.(2022), "Generation of Ship's Passage Plan Using Data-Driven Shortest Path Algorithm", IEEE Access, Vol. 10, pp. 126217-126231.