

# 해도 정보를 이용한 선박의 최적 항로 생성

김민규\* · 김종화\*\* · † 양현

\*한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 박사과정생, \*\*한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 교수  
† 한국해양대학교 해사인공지능 · 보안학부 부교수

## Optimal Route Generation of Ships using Navigation Chart Information

Min-Kyu Kim\* · Jong-Hwa Kim\*\* · † Hyun Yang

\*Graduate Student, Ocean Science and Technology School, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea  
\*\*Professor, Ocean Science and Technology School, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea  
† Associate professor, Division of Maritime AI & Cyber Security, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

**요 약** : 최근 자율 운항 선박에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks) 프로젝트를 계기로 자율 운항 선박에 대한 개발과 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 국제해사기구 IMO는 자율 운항 선박 시대에 대응하기 위해 자율 선박을 MASS (Maritime Autonomous Surface Ship)라 정의하고 선박 자율화 정도에 따라 4단계 등급을 제시하고 있다. 완전한 자율 운항 선박에 대한 요구조건을 만족하기 위해서는 항로 결정과 제어기술이 필수적이다. 본 연구에서는 여러 가지 기술 중 선박의 최적경로를 생성하는 기법을 다룬다. 기존에 최적항로를 생성하기 위한 방법으로는  $A^*$ , Dijkstra와 같은 알고리즘들이 주로 사용되었다. 그러나 이와 같은 알고리즘은 섬이나 육지에 대한 충돌 회피는 고려하고 있지만 수심 및 연안 선박에 대한 규정들은 고려하지 않고 있어 실제로 적용하기에는 한계점이 있다. 따라서 본 연구에서는 안전을 위해 선박의 선저 여유 수심과, 해도에 규정되어 있는 선박 운항에 대한 여러 규정들을 반영하여 최적 항로를 생성하고자 한다. 최적 항로를 생성하기 위한 알고리즘으로는 강화학습 기반의 Q-learning 알고리즘을 적용하였다.

**핵심용어** : 자율 운항 선박, 해도, 최적 항로, 강화학습, Q-learning

### 1. 서 론

일반적으로 선박이 운항함에 있어 연료 소모량 또는 항해 시간을 최소화 하는 방향으로 항로가 결정된다. 기존에는 최적의 경로를 결정하기 위해서 항해사의 전문적인 지식이 요구되었지만, 4차 산업 혁명과 인공지능의 등장으로 인해 항해사의 전문적인 지식 보다는 선박이 스스로 다양한 주변 환경을 고려하여 자율적으로 항로를 생성하는 기법에 대한 요구가 증가하고 있다.

넓은 대양을 운항하는 선박은 깊은 수심과 넓은 항해 공간으로 인해 선박 운항 규정 및 선저 여유수심은 큰 요소로 작용하지 않는다. 그러나 연안을 운항하는 선박의 경우, 수많은 인근 섬을 피해야 하며 침몰을 방지하기 위해 선저 여유 수심을 고려하여 한다. 특히 항해 공간이 좁기 때문에 연안 선박 규정을 지키면서 운항하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 실제 해도 정보와 수심을 고려하여 최적항로를 생성하는 것을 목표로 하였고, 최적 항로를 생성하기 위해서 강화학습 알고리즘 중 Q-learning을 적용하였다.

### 2. 최적 항로 생성 방법론

본 연구에서 부산항에서 출발하여 감천항에 도착하는 경우에 대해 최적항로를 생성하고자 하였다. 최적 항로를 생성하기 위해 선저 여유 수심과 해도정보를 활용하였다.

#### 2.1 선저 여유 수심

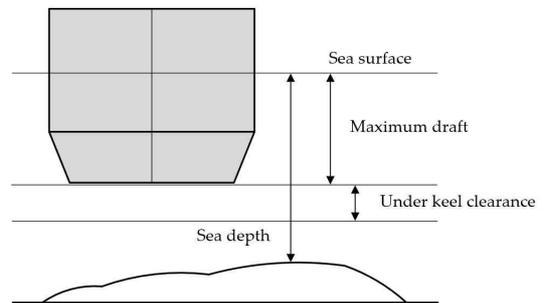


Fig. 1 Definition of the under keel clearance

$$H - T_{max} > UKC, \quad UKC = \beta T_{max} \tag{1}$$

† 교신저자 : yanghyun@kmou.ac.kr  
\* mu2773@hanmail.net \*\* kimjh@kmou.ac.kr

여기서,  $H, T_{max}, UKC$  그리고  $\beta$ 는 각각 바다의 수심, 선박의 최대 흘수, 선저 여유 수심, 선저 여유 수심에 대한 계수이다.  $\beta$ 는 일반적으로 파도의 영향이 적은 해안인 경우 0.1~0.15, 파도의 영향이 큰 해안인 경우 0.3으로 선정한다. 본 연구에서는 선정된 선저여유수심은 11m이다.

## 2.2 해도 정보

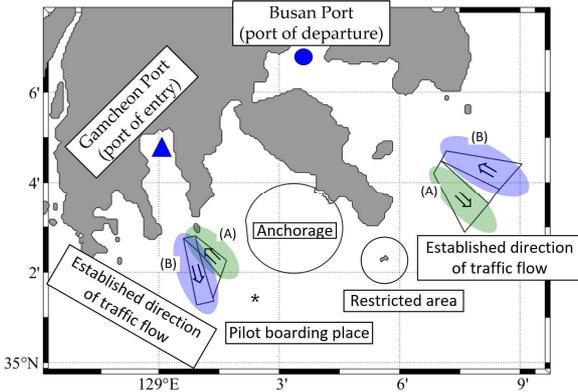
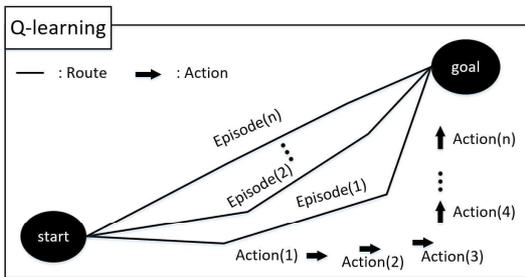


Fig. 2 Information of the navigation chart

그림 2는 부산항, 감천항 부근에 대해 해도 정보이다. 해도에 제시되어 있는 연안 선박 규정 중 본 연구에서는 교통 흐름의 확립된 방향, 섬 주위 안전을 위한 제한지역, 묘박지, 도선사 승선지점을 적용하였다. 최적 항로는 선박의 안전을 위해 묘박지, 제한지역을 거쳐서는 안 되며, 감천항에 입항하기 위해서는 도선사 승선지점은 반드시 거쳐야한다. 부산항에서 감천항으로 운항할 경우 (A) 지역을 반드시 거쳐야하며, (B) 지역을 거쳐서는 안 된다.

## 3. Q-learning 보상 알고리즘



Reward purpose	Algorithm
Shortest distance	If (Route distance of Episode (t) > Route distance of Episode (t+1)) -> reward
Minimal way point	If (Action(t) == Action(t+1)) -> reward

Fig. 3 Q-learning reward algorithm

항해 거리를 최소화 하도록 하기 위해 현재 에피소드 대비 다음 에피소드에서 생성된 항로의 거리가 작으면 보상을 주었다.

그리고 불필요한 변침점을 제거하기 위해 현재 에피소드에서 에이전트가 취하는 방향과 다음 에피소드에서 에이전트가 취하는 방향이 동일하면 보상을 주도록 하였다.

## 4. 시뮬레이션

### 4.1 시뮬레이션 조건

Table 1 Simulation conditions

Parameters			
$\epsilon$	0.2	learning rate	0.02
discount factor	0.9		
Reward			
장애물 및 육지	학습 종료	11m 이하의 수심	학습 종료
목적지 도착	10	최소한의 변침	20
최단거리 알고리즘	100	도선사 승선 지점	20
묘박지	-10	섬 주위 안전	-10
교통 흐름의 방향(A)	20	교통 흐름의 방향(B)	-20

### 4.2 시뮬레이션 결과

- : Optimal route ○ : Way point \* : Pilot boarding place

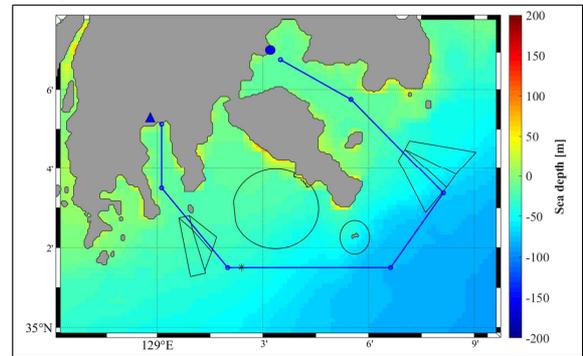


Fig. 4 Optimal route generated by Q-learning algorithm

Table 1의 조건에서 시뮬레이션을 실시한 결과는 그림 4와 같다. 선박이 거쳐서는 안 되는 묘박지, 섬 주위 안전 지역, 교통 흐름의 방향(B)에서 항로가 생성되지 않고, 선박이 반드시 거쳐야하는 도선사 승선지점, 교통 흐름의 방향 (A)에서 항로가 생성되는 것을 확인할 수 있다.

## 사 사

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이며(NRF-2021R1F1A1049246) 산업통상 자원부 해양과학 빅데이터 분석 서비스 통합 플랫폼 개발 사업의 지원과 그리고 해양수산과학기술진흥원 지원의 해양레저활동 맞춤형 인공지능기반 바다수온예보 서비스 시스템 개발의 지원을 받아 수행된 연구임.