

멀티 에이전트 강화학습 시나리오를 위한 해상교통환경 고려요소 도출에 관한 기초 연구

김니은* · 김소라** · 이명기*** · 김대원**** · † 박영수

*한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 박사과정, **한국해양대학교 일반대학원 석사과정,
한국해양대학교 연구교수, *,† 한국해양대학교 항해융합학부 교수

요 약 : 최근 전세계적으로 자율운항선박(Maritime Autonomous Surface Ship, 이하 MASS)의 기술 개발 및 시험 항해가 본격적으로 추진되고 있다. 하지만 MASS의 출현과 별개로 운항 방식, 제어 방식, 관제 방식 등 명확한 지침은 부재한 상태이다. 육상에서는 머신 러닝을 통하여 자율주행차에 대한 다양한 제어 방식을 연구하고 있으며, 이에 따라서 MASS도 제어 또는 통항 방식에 대한 기초 틀을 마련할 필요성이 있다. 하지만 육상과 달리 해상은 기상, 조종성능, 수심, 장애물 등 다양한 변수들이 존재하고 있어 접근 방식이 복잡하여, 머신 러닝을 적용할 때 환경에 대한 요소를 적절하게 설정해야 한다. 따라서 본 연구는 멀티 에이전트 강화학습을 통하여 MASS의 자율적인 통항 방식을 제안하기 위하여 강화학습의 해상교통환경 설정을 위한 요소를 도출하고자 하였다.

핵심용어 : 머신 러닝, 제어, 멀티 에이전트 강화학습, 해상교통환경, 요소, 자율운항선박, 통항 방식

서론

- 최근 우리나라를 비롯해 해운 강국들을 중심으로 자율운항선박(Maritime Autonomous Surface Ship, MASS) 기술 개발 및 시험 항해가 본격적으로 추진되고 있음
 - 대우조선해양(자율화 선박), 현대중공업(스마트십), 삼성중공업(무인화선박) 등 국내 자율운항선박 기술 개발이 꾸준히 이뤄지고 있음
- 육상에서는 머신러닝을 통하여 자율주행차에 대한 다양한 제어 방식을 연구하고 있음. 이에 따라 자율운항선박도 제어 또는 통항 방식에 대한 기초 틀을 마련할 필요성이 있음
- 하지만 해상은 육상과 달리 다양한 변수들이 존재하고 있어서 접근 방식이 보다 복잡함. 따라서 본 연구는 멀티 에이전트 강화학습을 통하여 자율운항선박의 통항 방식에 대해 제안하기 위하여 강화학습의 해상교통환경 설정을 위한 요소를 도출하고자 하였음

강화학습 개요

- 강화학습이란 환경과 상호작용하면서 스스로 학습하는 방식을 말함

```

    graph TD
        Agent[AGENT] -- Action --> Environment[Environment]
        Environment -- State --> Agent
        Environment -- Reward --> Agent
    
```

멀티 에이전트 강화학습 개요

- 일반적인 강화학습은 하나의 에이전트를 주체로 하고, 나머지 에이전트들을 환경으로 구분하는 반면, 멀티 에이전트 기반의 강화학습은 다수의 에이전트들을 모두 주체로 본다는 점이 차이

```

    graph TD
        subgraph Agents
            A1[AGENT 1]
            An[AGENT n-1]
            An2[AGENT n]
        end
        Environment[Environment]
        A1 -- Action --> Environment
        An -- Action --> Environment
        An2 -- Action --> Environment
        Environment -- State --> A1
        Environment -- State --> An
        Environment -- State --> An2
        Environment -- Reward --> A1
        Environment -- Reward --> An
        Environment -- Reward --> An2
    
```

강화학습 선행연구 분석

논문 제목	저자 및 연도	참고
시간 및 온집도를 고려한 멀티 에이전트 강화학습 기반 대피 경로 산출 프레임워크	김80이 (2017)	<ul style="list-style-type: none"> - 대피모형은 탈출하고자 하는 공간을 셀 분할하여 각 에이전트 상태를 기술 - 일반적인 게임이론 기반의 멀티에이전트 학습을 위하여 기존 연구들과 같이 셀 분할하고 이를 각 에이전트의 상태로 표현 - 다수의 탈출 주체를 대상으로 시간과 온집도를 동시에 고려하는 효율적 경로 모색
강화학습을 이용한 무인 자율주행 차량의 지역경로 생성 기법	김 외 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> - 직선도로에서는 무인차를 쉽게 주행시킬 수 있지만 급커브 구간이나 돌발 상황 발생 시 안전 주행이 힘들. 따라서 차선의 종양과 일치하게 기도록 하는 강화학습 연구 - 보상값 : 최적 경로를 생성해서 해당 경로를 따르는지 - 실제 적용되기 위해서 동적 장애물 추가, 실 도로의 복잡성 반영, X, 센서의 부정확함과 센서의 비용

† 교신저자 : 종신회원, youngsoo@kmou.ac.kr
* 정회원, nieun1003@g.kmou.ac.kr

강화학습 선행연구 분석

논문 제목	저자 및 연도	참고
퍼지 추론 기반의 멀티에이전트 강화학습 모델	이 외 (2009)	- keeper의 목표는 최장시간 공을 점유하거나 유지, taker의 목표는 공을 뺏음 - keeper가 공을 뺏기거나 영역 밖으로 나갔을 때 하나 에피소드 - 수행할 수 있는 행동은 kick turn dash 3가지, 상위 매크로 행동 5가지(HoldBall, Passball, go to ball, get open, blockpass) - 다수의 자율적인 에이전트들이 팀을 이루어 축구를 함(퍼지기반 강화학습 모델, 효율적으로 행동하여 경기에 이기도록 함)
강화학습을 이용한 다중 에이전트 제어 전략	이영김 (2003)	- 격자 환경에서 4개의 에이전트와 1개의 막이, 동시남북으로 이동 가능하며 막이 움직일 수 없도록 표하는 것이 목표 - 성능 평가 기준은 막이 포획의 성공률, 각 에이전트 상태 전이 수, 에이전트들 간의 충돌 횟수

해상교통 위험도 모델 개요

✓ PARK model

- ✓ 한국 연안 지역 특성 및 선박운항자의 의식을 기반으로 한 해상교통 위험도 평가 모델
- ✓ 해기사를 대상으로 한 설문조사를 통하여 해상교통안전에 영향을 줄 수 있는 요소를 고려하여 구축
- ✓ 모델이 의해 계산된 위험도는 선박의 길이, CPA 및 TCPA에 의해 조정되며 최종 위험도는 계산된 위험도와 조정된 위험도 중 낮은 값을 채택

$$Risk = 5.081905 + (T_p + T_f + L_f + W_f + C_f + L_{of} + P_f) + (0.002517L + C_f + S_f + HI/0 + S_p - 9.994839S_d - 0.430710D)$$

내부 요소 : 선박 톤수, 선박 길이, 선박 넓이, 선박 유형, 운항자 직급, 운항자 면허, 운항자 경력
외부 요소 : Crossing factor, side factor, 밀개 내/외, 속력

해상교통 위험도 모델 개요

✓ ES Model

- ✓ 선박운항자에게 가해지는 부하의 정도를 정량화한 모델로, 본선을 둘러싼 주변환경을 조선환경과 교통환경으로 구분하여 선박운항자의 행동을 제약할 때 선박운항자에게 가해지는 부하의 크기를 조선 근린강에 기초하여 정량화함

$$SI_i = \alpha \times TTC + \beta$$

$$ES_i = \sum (SI_i)$$

$$i = -90 \sim +90$$

$$ES_i = \sum (SI_i)$$

$$i = -90 \sim +90$$

$$ES_i = \sum_{\sin(SI, SS)}$$

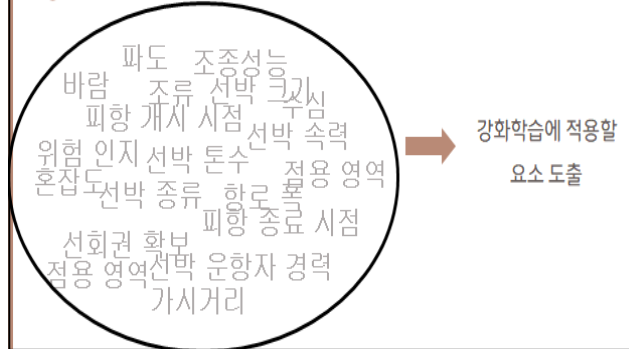
여기서, SI_i : 장애물에 대한 충돌 위험량
 SI_i : 타 선박과의 충돌 위험량
 TTC : 충돌까지의 시간
 α, β : 각 선박에 따른 계수



선박의 속력, 길이, 길이 범위, 경위도 좌표, 타선과의 관계 충돌까지의 시간, 조류, 바람 등

해상교통환경 고려요소 도출

- ✓ 선행연구 및 위험도 모델을 통하여 해상교통환경에서 고려해야할 요소를 다음과 같이 도출할 수 있음



결론 및 추후연구

- ✓ 본 연구는 멀티 에이전트 강화학습을 통하여 자율운항선박의 통행 방식에 대해 제한하기 위하여 강화학습의 해상교통환경 설정을 위한 요소를 도출하고자 하였음
- ✓ 이를 위하여 타 분야의 선행연구를 분석하여 해상교통 분야에서 적용할 요소 도출 및 기존 해상교통 위험도 평가 모델에서 평가 요소로 쓰이는 것을 도출하였음
- ✓ 본 연구를 기반으로 추후에는 환경설정을 위한 요소들에 대한 개별적인 연구가 필요할 것으로 사료되며, 추후 평가를 위한 기준이 마련되면 요소들을 기반으로 멀티 에이전트 강화학습을 실시하여 자율운항선박 항해의 지침이 마련될 수 있을 것으로 판단됨

[감사합니다 Q&A]