

# 자율운항선박의 항계 내 계층적 경로 생성 프레임워크에 관한 기초 연구

박정홍\* · 강민주\*\* · 윤원근\*\*\* · † 김혜진

\*,\*\*,† 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소  
\*\*\*충남대학교 자율운항시스템공학과

**요 약** : 본 연구에서는 자율운항선박이 복잡한 항계 내에서 다양한 해상 객체와의 충돌을 회피하기 위하여 계층적 경로 생성 기법을 연계하는 프레임워크를 제안한다. 항계 내에는 항로를 항행하는 선박 외에도 정박 영역 내 정박 또는 묘박 중인 선박뿐만 아니라 항로 표지나 부표와 같은 정적 객체들이 다양하게 분포되어 있다. 자율운항선박의 효율적 운항을 위해서는 운항 중에 조우하게 되는 객체의 정적/동적 속성에 따라 경로 생성 기법이 달리 적용되어야 한다. 본 연구에서 제안한 경로 생성 프레임워크는 항계 내의 정적 객체나 항행 가항 영역 및 항행 불가항 영역 등에 대한 위치 정보들은 사전적 정보로 활용 가능하므로, 샘플링 기반의 전역 경로 생성 기법을 적용하여, 초기 출발지에서 최종 목적지까지의 예상 경로를 생성한다. 그리고 생성된 전역 경로를 추종하며 운항하는 과정에서 조우하게 되는 동적 객체들과의 조우 상황별 국제해상 충돌예방규칙(COLREGs)을 고려한 지역 경로를 생성한다. 샘플링 기반의 전역 경로와 국소 영역에서의 충돌 회피를 위한 지역 경로를 연계하기 위한 계층적 경로 생성 프레임워크를 설계하고, 수치 시뮬레이션을 통해 제안한 프레임워크의 유용성을 검증하였다.

**핵심용어** : 자율운항선박, 계층적 경로 생성 프레임워크, 샘플링 기반 경로 생성, DWA 기반 경로 생성

## 1. 서 론

최근 스마트 항만의 자율화를 통하여 항만 운용의 효율을 증대시키고, 항만 내에서 보다 안전한 항행을 지원하기 위해 항만과 자율운항선박 간의 유기적 연계를 고려한 자율운항 및 협력 연계 기술들이 개발되고 있다. 개발 중인 기술들은 사람의 의사결정을 보조하고 지원하는 수단으로 활용하는 것을 목표로하나, 궁극적인 목표는 사람의 개입없이 완전한 자율화이다. 그러나 실질적으로 사람의 역할을 완전히 대체할 기술 구현까지는 상당히 많은 시간이 소요될 것이다. 특히, 자율운항선박과 스마트 항만의 자율화 기술 개발에도 불구하고, 항만 내에서는 단시일 내 완전 자율운항이 가능한 선박이 운항하기 보다는 원격으로 관제되고 제어되는 선박들과 기존 유인 선박들이 동시 운항되는 상황이 일정기간 동안 유지될 가능성이 높다(박정홍, 2021). 따라서, 항행 밀집도가 높은 항계 내에서 유인 선박들과 혼재된 상황에서도 안전한 항해를 지원하기 위한 고신뢰성의 자율운항 시스템 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 자율운항선박이 항행 선박들과 해상 객체들의 밀집도가 높은 복잡한 항계 내에서 안전한 운항 경로를 생성하는 전역 및 지역 경로 생성 프레임워크를 제안한다. 제안한 프레임워크는 항계 내에서 가용 가능한 사전적 정보들을 활용하여 초기 출발지에서 최종 목적지까지의 예상 운항 경로를 생성하는 모듈, 운항하는 과정에서 선박과 조우하는 상황에

따라 국제해상충돌예방규칙(COLREGs)을 준수하며 충돌을 회피하는 경로를 주기적으로 생성하는 모듈, 이를 추종하기 위한 제어 명령을 유도하는 모듈로 구성하였다. 그리고 개발 프레임워크의 적용 가능성과 타당성을 검증하기 위하여 수치 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과를 기술하였다.

## 2. 경로 생성 프레임워크

자율운항선박의 경로 생성 프레임워크의 기본 모듈 구성도는 그림 1과 같다. 경로 생성 프레임워크의 입력 정보로는 운항 해역에 대한 주요 인프라의 위치 등과 같은 공간적 정보와 주변 근접 선박을 포함한 정적/동적 객체의 운항 정보들 간의 상관관계 분석을 통한 데이터 융합 정보가 필요하다. 융합된 정보 내에서 정적 객체와 항행 가항/불가항 영역에 대한 사전적 정보를 활용하여 샘플링 기반의 전역 경로를 일차적으로 생성한다. 그리고 지역 경로 생성 모듈에서는 이전 모듈에서 산출된 정보들을 토대로 접근하는 선박이나 객체 간의 충돌 위험도를 정량적으로 산출하여, 피항 개시 시점을 결정함과 동시에 회피 대상 선박과의 상대 운항 정보 및 항행 수칙을 고려한 DWA(Dynamic Window Approach)기반의 충돌 회피 경로를 생성한다(박정홍, 2022). 이처럼 전역 경로 및 지역 경로 연계하여 생성하기 위해 계층적 형태의 프레임워크로 구성하였다.

† 교신저자 : 정희원, hjk@kriso.re.kr 042-866-3649  
\* 정희원, jeonghong@kriso.re.kr 042-866-3858, \*\* 정희원, mjkg@kriso.re.kr 042-866-3826  
\*\*\* 정희원, wkyoun@cnu.ac.kr 042-821-6622

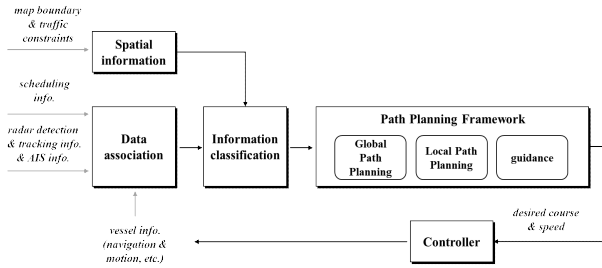


그림. 1 경로 생성 프레임워크의 모듈 구성도

## 2.1 샘플링 기반의 전역 경로 생성

샘플링 기반의 경로 생성 기법 중 Informed RRT\*가 적용되었으며, 이 기법은 기존 RRT(Rapidly-exploring Random Tree)에서 확장된 RRT\*의 최단 경로 수렴 속도를 개선하기 위해 제안한 방법이다. 초기 경로를 RRT\*와 동일한 방식으로 생성한 후에 수렴한 경로의 목적함수를 토대로 재탐색 영역을 타원 영역으로 재설정하고, 재샘플링하는 과정을 반복적으로 수행하며 최단 경로를 생성한다. 특히, 재샘플링하는 과정에서 생성되는 타원 영역의 크기는 초기 출발점과 최종 목표점과의 직선 거리와 수렴한 경로의 거리 정보를 토대로 설정하였다(배영우, 2022).

## 2.2 DWA 기반의 전역 경로 생성

DWA 기반의 경로 생성 기법은 접근한 객체와의 충돌을 회피하기 위한 대표적 반응(reactive) 경로 생성 기법으로, 자율운항선박의 현재 운동 정보를 토대로 선박의 최대/최소 선회 반경과 최대/최소 속도를 고려하여 DW(Dynamic Window)를 생성한다. 그리고 DW 범위 내에서 일정 시간 이후의 운항 경로를 예측하고, 선회반경, 속도, 목표 전역 경로로 향하는 침로 방향, 객체와의 상대적인 거리 정보로 구성된 목적함수의 최적화를 통해 운항하기 위해 필요한 최적의 선속도와 선수 각속도를 산출하는 기법이다. 특히, 목적함수의 연산 효율을 증대시키기 위해 하이브리드 타입(hybrid type)으로 구현 방식을 변경하였다. 근접 객체의 탐지 유무에 따라, 시선각(LOS: line-of-sight) 및 수선거리(cross-track) 유도 법칙을 적용하다가 탐지된 객체가 자율운항선박을 중심으로 일정 거리 내에 있을 경우에만 DWA 기법을 통한 경로가 생성되도록 구현하였다.

## 3. 시뮬레이션 검증

제안한 계층적 경로 생성 프레임워크의 적용 가능성과 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2와 같이, 제한된 공간에서 정적/동적 객체들을 모사하였으며, 조우 상황에 따른 충돌 회피 경로 생성 과정을 살펴보기 위해서 자율운항선박의 침로를 기준으로 세 가지 조우 상황(추월, 우현 접근, 전방 접근)이 발생하도록 시뮬레이션 환경을 모사하였다. 제안한 프레임워크에 따라, 정적 객체들을 대상으로 Informed

RRT\*를 적용하여 전역 경로에 해당하는 경유점들이 생성됨을 확인하였고, 이를 추종하는 과정에서 사전에 정의한 조우 상황에 대응하여 국제해상충돌예방규칙(COLREGs)을 준수하며 회피하는 결과를 확인하였다.

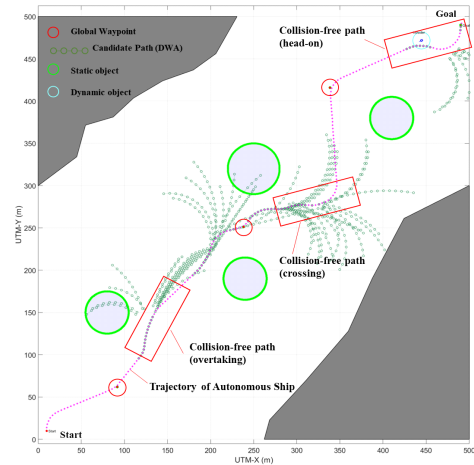


그림. 2 시뮬레이션 적용 결과

## 4. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 다양한 정적/동적 객체들이 밀집된 복잡한 항계 내에서 자율운항선박이 안전한 경로를 생성하기 위해 계층적 구조 형태의 경로 생성 프레임워크를 제안하였다. 그리고 제안한 프레임워크를 검증하기 위해 시뮬레이션 환경을 모사하여 적용 가능성과 타당성을 검증하였다. 추후에는 조류나 바람과 같은 환경 외란에 의한 영향을 고려한 경로 생성 기법으로 확장할 계획이다. 또한, 대상 선박이 운항하는 대표 운항영역을 모사하고, 항행 규칙 및 운항 수칙을 반영한 환경에서 제안한 경로 생성 프레임워크의 실제 적용 가능성과 타당성을 입증할 계획이다.

## 후 기

이 논문은 2022년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 시행된 연구임(스마트항만-자율운항선박연계 기술 개발-[PMS5640]).

## 참 고 문 헌

- [1] 박정홍(2021), AIS 항적 데이터 기반 선박의 충돌 위험 영역 예측에 관한 기초 연구, 한국해양항만학회 춘계학술대회.
- [2] 박정홍(2022), 자율운항선박의 입출항 항해 지원을 위한 경로 생성 알고리즘의 프레임워크 설계, 한국해양항만학회 춘계학술대회.
- [3] 배영우(2022), Informed-RRT\*기반 자율운항선박의 충돌 회피 경로 계획 알고리즘 개발, 제어로봇시스템학회 춘계학술대회.