

자율운항선박의 운항 경로 예측 및 운항 해역 항적 정보 기반의 비상상황인식 프레임워크 설계

박정홍* · 최진우* · 김채원** · 홍성훈** · † 김혜진

*,† 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소, **계명대학교 로봇공학전공

요 약 : 본 논문에서는 자율운항선박의 예측 가능한 운항 경로 상에 잠재된 비상상황을 인식하기 위하여 운항 해역의 항적 정보를 활용한 방안과 이를 기반으로 충돌 위험과 같은 비상위험을 식별하는 프레임워크를 설계하였다. 설계한 프레임워크는 크게 항적 특성 분석 모듈, 항로 예측 모듈, 위험 식별 모듈로 구성된다. 항적 특성 분석 모듈에서는 자율운항선박의 운항 해역에 관한 선박들의 항적 정보를 활용하기 위하여, 대상 VTS 관제 영역 내에서 취합된 누적 선박자동식별장치(AIS) 데이터를 이용하여 선박의 항적 특성을 분석하여 데이터베이스(DB)를 생성하였다. 그리고 운항 경로 예측 모듈에서는 누적된 항적 정보와 자율운항선박의 현재 운항 정보를 기반으로 특정 시간 동안의 운항 경로를 예측하기 위한 학습 네트워크 모델을 구성하였다. 마지막으로, 위험 식별 모듈에서는 예측한 운항 경로 상에 최근접점과 최근접점 거리 정보를 이용하여 충돌 위험 가능성이 있는 충돌위험영역을 식별하였다. 설계한 프레임워크는 자율운항선박의 육상 관제소에서 원격 제어를 통해 위험 상황을 인지하고 회피할 수 있는 정보를 제공할 수 있음을 실제 항적 데이터를 활용하여 그 결과를 검증하였다.

핵심용어 : 자율운항선박, 선박자동식별장치(AIS) 항적 특성 분석, 항로 예측, 위험 식별, 충돌위험영역

1. 서 론

원격 관제소에서 자율운항선박을 원격으로 운용하는 과정에서 발생할 수 있는 이상 운항 및 충돌 상황과 같은 비상상황에 대한 정보를 신속하게 원격 운용자에게 제공하기 위해 비상상황인식 프레임워크가 필요하다. 특정 해역을 주기적으로 운항하는 선박들은 고유의 운항 특성들이 있으므로, 누적된 항적 정보를 토대로 항로 이탈, 이상 운항 등의 운항에 관한 이상 여부를 식별하는데 활용이 가능하다. 또한, 충돌과 같은 예기치 못한 상황을 피하기 위해서는 자율운항선박의 예측 항로 상에 잠재된 위험 요소의 식별이 요구되며, 이를 위해서는 자선 외에 인접한 타선들의 운항 항로를 정확하게 예측해야만 한다(최진우, 2022). 그리고 원격 운용자의 신속한 판단과 대응을 위해 충돌 위험 가능성이 잠재된 영역을 가시적인 정보로 제공하는 기능 구현이 요구된다(박정홍, 2021).

본 논문에서는 자율운항선박의 예측한 운항 경로 상에 잠재된 비상상황을 식별하기 위하여 운항 해역의 선박 항적 정보를 활용하는 방안과 충돌 위험과 같은 예기치 못한 사고를 대응하기 위한 위험 정보를 산출하는 프레임워크를 설계하였다. 자율운항선박이 운항하는 특정 영역에서 누적된 항적 정보들을 토대로 타선들의 이상 운항 여부를 식별하기 위해 확률모델을 이용한 항적 특성을 분석하였다(김채원, 2022). 그리고 이전 항적 정보와 현재의 운항 정보를 토대로 일정 시간 동안 선박의 운항 경로를 예측함과 동시에 위험 요소를 식별하기 위한 최근접점(CPA, Closest Point of Approach), 최근접점 거리(DCPA, Distance to CPA) 및 최근접점 시간(TCPA, Time to CPA)과 같이 잠재적 위험 요인을 의미하는 정보들을 산출

하였다. 마지막으로, 임의의 조건에 부합되는 최근접점들의 집합으로 충돌위험영역(CRZ, Collision Risk Zone)을 정의하고, 예측 운항 경로 상에 표기할 수 있는 가시적 정보를 제공하였다. 비상상황인식 프레임워크를 체계적으로 설계하고 구조를 정립하여, 원격 운용자의 신속한 판단을 지원할 수 있는 보조적 수단의 의사결정 시스템으로 활용 가능성을 입증하였다.

2. 비상상황인식 프레임워크

본 논문에서 제안한 자율운항선박의 비상상황인식 프레임워크의 구조는 그림 1과 같다. 전체적으로 3개의 모듈로 구성하였으며, 첫 번째 모듈에서는 특정 운항 해역의 과거 항적 정보를 기반으로 항적의 특성을 분석하는 모듈이며, 두 번째 모듈에서는 자선과 인접한 타선의 운항 경로를 일정 시간 동안 예측하는 모듈이다. 마지막 모듈은 자선과 타선의 운항 교통 정보를 산출하여 충돌 및 이상 운항 등의 자선 입장에서 위험 가능성이 있는 요소들을 식별하는 모듈로 구성되어 있다.

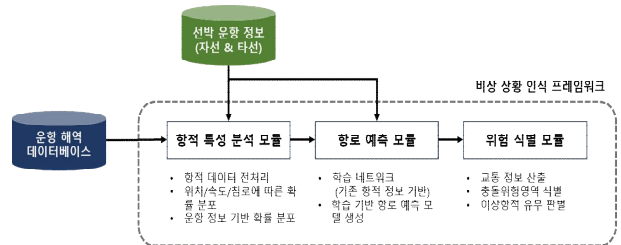


그림. 1 자율운항선박 비상상황인식 프레임워크 구조

2.1 항적 특성 분석 모듈

일부 해역에서 주기적으로 운항하는 선박들은 대부분 일정한 항로를 따라 운항하는 항적 특성을 갖고 있다. 본 모듈에서는 과거부터 누적하여 취합된 AIS 기반 항적 데이터에 커널밀도 추정(KDE, Kernel Density Estimation) 방법을 적용하여 2차원 공간에서 위치 확률분포를 추정하였다(김채원, 2022). 항적 특성 분석을 위한 확률분포의 생성 절차는 그림 2와 같으며, 확률분포의 특성을 통해, 주기적으로 운항하는 선박의 이상 운항 여부에 관하여 정량적인 지표로 나타낼 수 있다. 특히, 현재 운항하는 선박의 운항 정보가 과거 항적 대비 이상 및 비상상황 정도를 식별하는데 중요한 지표로 활용하게 된다.

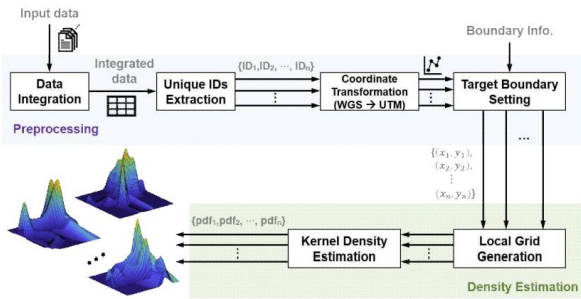


그림 2 항적 데이터 기반 위치 확률분포 생성 절차

2.2 항로 예측 모듈

주기적 운항 특성이 있는 선박의 누적된 항적 정보를 기반으로 향후 운항 항로를 일정 시간 동안 예측하기 위하여 시계열 상에서의 정보 흐름 분석을 통해 정보 예측이 필요하다. 이에, 시계열 정보 예측에 적합한 LSTM(Long Short-Term Memory) 기반의 학습 네트워크 모델을 구축하였다. 또한, AIS 정보에는 과거 및 현재의 운항 정보를 포함하고 있으나, 선박에 따라 수신된 AIS 정보에는 누락된 운항 정보가 있다. 따라서, 항로 예측 모듈의 초기 정보에서 누락된 정보에 대한 보간을 위해 추적필터를 적용하였으며, 보간된 정보를 토대로 재귀적 방법으로 선박의 운항 항로를 예측하였다.

2.3 위험 식별 모듈

본 모듈에서는 항로 예측 모듈에서 예측한 운항 정보를 바탕으로 자선과 타선 간의 예측 시점별 최근접점, 최근접점거리 및 최근접점시간 정보를 산출한다. 최근접점거리 및 최근접점시간이 임의의 조건에 부합하는 최근접점들의 집합을 누적하고, 이 집합의 최외각 점들을 다각형으로 표현하고 이를 충돌위험영역으로 정의하였다. 정의된 충돌위험영역은 항로 정보의 예측 주기에 따라 업데이트되며, 선박 관제사나 원격 운용자의 입장에서 자선과 타선 간의 운항 경로 상에 잠재된 위험 요소를 신속하게 식별하고, 대응하는데 지원하기 위한 용도로 활용 가능하다. 그림 3은 항로 예측 모듈과 위험 식별 모듈 간의 전체적 흐름을 보여주며, 임의의 조건 및 운항 예측 시간 등은 선박 관제

사 및 원격 운용자가 상황에 따라 설정 및 조정할 수 있다.

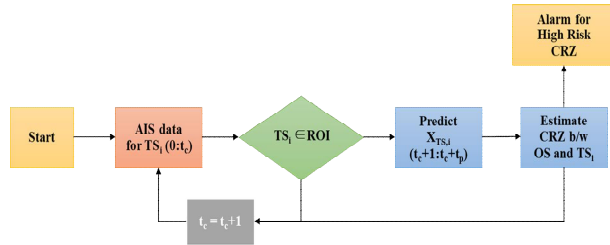


그림 3 실시간 항로 예측기반 충돌위험식별 절차

3. 항적 데이터 기반 적용 결과

본 논문에서 설계한 비상상황인식 프레임워크의 유용성을 입증하기 위해, 각 모듈에 울산항 VTS 센터에서 3일간 수집된 실제 AIS 데이터 셋을 적용하였다. 그림 4의 경우에는 울산항 해역 내에서 운항하는 선박 중 100m 미만 급 유조선들에 대한 항적 데이터를 분류하고, 격자공간 상에서 위치에 대한 확률분포를 추정한 결과를 보여주며, 모두 정규화된 값으로 표현한 결과이다. 실제 해역의 항로 상에서 운항 가능한 영역을 기준으로 확률분포가 추정되었음을 확인할 수 있었다. 항적 데이터 중 일부 데이터를 활용하여, 그림 5와 같이, 시계열 정보 흐름 분석을 위해 설계한 학습 네트워크를 이용하여 과거부터 현재까지 운항한 일정 운항 정보를 토대로 향후 20분 간의 운항 경로를 예측한 결과를 보여준다. 그리고 예측한 항로 상에서 충돌 위험 가능성이 높은 최근접점들을 산출하여 충돌위험영역으로 표기한 결과이다.

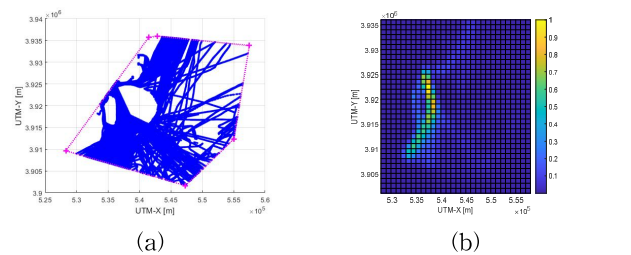


그림 4 항적 데이터 기반의 위치 확률분포 생성: (a) 100m 미만 급 유조선에 대한 항적 데이터; (b) 확률분포 추정 결과

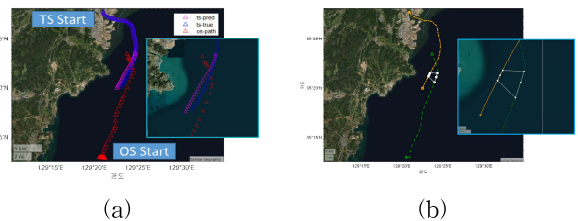


그림 5 항로 예측을 통한 충돌위험영역 식별 결과: (a) 자선 및 타선의 항로 예측 결과; (b) 충돌위험식별 결과

4. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 원격 관제소에서 원격으로 자율운항선박을 운영하는 과정에서 선박 관제사 및 원격 운용자에게 이상 운항 및 충돌 위험 등의 비상상황에 관한 정보를 제공하여, 신속한 의사를 결정할 수 있는 비상상황인식 프레임워크를 설계하였다. 제안한 프레임워크의 유용성을 검증하기 위해 실제 울산항 해역의 항적 정보를 활용하였으며, 그 결과를 기술하였다. 향후에는 모듈간의 데이터 연계를 고려하고, 예측 모델의 예측 불확실성 정보를 반영한 위험 식별 정보를 정량적 수치로 제공하는 연구를 추가 진행할 계획이다.

후 기

본 논문은 2022년도 해양수산부 및 해양수산과학기술진흥원 연구비 지원으로 수행된 '자율운항선박 기술개발사업(20200615, 자율운항선박 육상제어 기술개발)'의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 최진우(2022), 자율운항선박의 비상상황인식을 위한 경로 예측 기반의 충돌위험영역 식별 기술의 기초 연구, 한국항해항만학회 추계학술대회.
- [2] 박정홍(2021), AIS 항적 데이터 기반 선박의 충돌 위험 영역 예측에 관한 기초 연구, 한국항해항만학회 추계학술대회.
- [3] 김채원(2022), AIS 데이터를 이용한 선박 항적의 위치 확률분포 추정 기법 연구, 2022년 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 해양공학회.