

문제 정의서 (연구개발계획서)

프로젝트명	해상교통 빅데이터 분석 및 머신러닝을 활용한 선박 이동 예측 모델 개발
-------	---

조	2 조
지도교수	김경섭 교수님 (서명)
조원	202000826 김연범 202102925 이한을 201802124 이동원 (종합설계 기수강자)

I. 연구개발의 배경 및 필요성

1. 연구개발의 배경

해상교통은 세계 무역의 90% 이상을 차지하는 중요한 물류 수단으로, 선박 이동의 안정성과 효율성 확보는 필수적이다. 최근 글로벌 해운 산업은 디지털 전환을 가속화하고 있으며, 특히 AIS 데이터를 활용한 해상교통 빅데이터 분석이 활발히 이루어지고 있다[1, 2].

국내외적으로 선박 이동 예측 및 충돌 방지를 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 특히 국외에서는 해상교통 데이터 분석을 통해 항로 최적화 및 해양 사고 예방을 위한 모델 개발이 활발하다[3]. 국내에서도 해양수산부 및 한국해양교통안전공단(KOMSA) 등에서 관련 연구를 수행하고 있으나[4], 딥러닝 모델 및 머신러닝을 활용한 실시간 선박 이동 예측 및 충돌 방지 시스템은 아직 연구 초기 단계에 머물러 있다. 현재 선박의 경로 예측은 통계적 모델이나 단순 규칙 기반의 접근법이 주를 이루며, 실시간 변동성을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다.

구체적인 사례로 선박운항자의 경우 선박 운항에서의 실시간 항로 변경 및 위험예측의 어려움을 겪고 있고, 항만 관제사의 경우 AIS 기반 예측의 신뢰성이 높지 않아 실시간으로 대응하고 통제하는 데 어려움을 겪고 있다[5].

2. 연구개발의 필요성

기존의 선박 경로 예측 방법은 정적인 해양 환경을 기반으로 하거나[6], 단순한 회귀 모델을 사용하는 경우가 많아 복잡한 해상교통 환경에서의 실시간 의사결정을 지원하기 어렵다. 특히, 해양 사고의 주요 원인 중 하나인 선박 간 충돌은 예측의 정확성과 신속성이 핵심이며, 이를 위해서는 대량의 AIS 데이터를 효과적으로 분석하고 딥러닝 모델을 기반으로 선박의 이동 경로를 예측하는 기술이 필수적이다.

본 연구개발을 통해 트랜스포머 기반 딥러닝 모델을 활용한 선박 이동 예측 모델을 개발함으로써, 해양 안전성 향상 및 선박 운항 효율 개선을 도모할 수 있다. 또한, 대규모 해상교통 데이터를 활용하여 실시간으로 선박의 이동을 예측하고, 머신러닝 기법을 활용한 선박 간 충돌 위험을 사전에 감지하는 시스템을 구현함으로써 해양사고를 효과적으로 방지할 수 있다. 이는 해운 산업의 경쟁력을 높이는 동시에 환경 보호 및 경제적 손실 감소에도 기여할 것이다.

따라서, 본 연구개발 과제는 기존 선박 이동 예측 모델의 한계를 극복하고, 해상교통의 안전성과 효율성을 극대화하기 위해 반드시 필요한 연구이며, 해양 빅데이터 분석과 머신러닝 기술의 융합을 통해 해양산업의 디지털 혁신을 주도할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 연구개발의 목표 및 내용

1. 연구개발 목표

본 연구의 궁극적인 목표는 AIS(Automatic Identification System) 데이터를 실시간으로 수집 및 분석하고, 이를 기반으로 즉각적인 예측과 대응이 가능한 인공지능(AI) 항로 예측 및 충돌 회피 시스템을 개발하는 것이다.

이 시스템은 '실시간성'을 핵심 가치로 설계되며, 선박 운항 전뿐 아니라 항해 중에도 실시간으로 변화하는 해상 상황에 따라 동적으로 대응할 수 있도록 구성된다.

2. 연구개발 내용

본 연구는 실시간 AIS(Automatic Identification System) 데이터를 활용하여, 해상에서 운항 중인 선박의 향후 이동 경로를 예측하고, 주변 선박과의 충돌 위험을 사전에 감지 및 회피하기 위한 트랜스포머 기반 인공지능 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다. 본 연구는 데이터 중심·모델 중심의 기술적 접근을 통해 실시간 항로 예측과 위험 회피를 하나의 머신러닝 기반 파이프라인으로 통합하고자 한다.

① 데이터 구성 및 전처리 전략

연구에 사용되는 데이터는 약 1년간 수집된 대규모 AIS 시계열 데이터로, 이에선 선박 고유 식별자(MMSI), 시간(timestamp), 위치(위도/경도), 속도(SOG), 방향(COG/Heading) 등의 항목이 포함된다. 데이터는 선박별로 그룹화되며, 출발지-도착지 구간 단위로 시퀀스를 구성한다. 입력 시퀀스는 과거 10분의 데이터를 기반으로 하며, 출력 시퀀스는 예측하고자 하는 다음 1분의 항로(위도, 경도, SOG, COG)로 구성된다. 각 시퀀스는 1분 간격의 리샘플링을 통해 정규화되며, 결측치나 이상치는 보간(interpolation), 클리핑(clipping), 필터링 등의 방법으로 처리된다.

특히 본 연구에서는 출력 시퀀스를 단일 스텝(1분)으로 구성한 후, 이를 자기회귀 방식(auto-regressive approach)으로 반복 적용하여 전체 예상 경로를 생성하는 방식을 채택한다. 즉, 모델은 현재 시점에서 다음 1분 후의 상태를 예측하며, 이 예측 결과를 입력 시퀀스의 마지막 시점에 덧붙여 새로운 입력 시퀀스를 구성하고, 이를 기반으로 다시 다음 1분을 예측하는 과정을 반복한다. 이러한 자기회귀 구조를 통해 도착지까지의 전체 항로를 점진적으로 확장할 수 있으며, 이는 실시간 환경에서의 점진적 경로 개선 및 위험예측에 유리하다.

② 트랜스포머 기반 경로 예측 모델 설계

기존 LSTM, GRU 모델이 가지는 순차적 처리 한계를 극복하기 위해 본 연구는 트랜스포머 모델을 중심으로 경로 예측 모델을 설계한다. 트랜스포머는 attention mechanism을 통해 입력 시퀀스 내 시점 간의 관계를 동적으로 학습할 수 있으며, 긴 시계열에서도 병렬 학습이 가능하다는 이점을 가진다.

모델 입력은 다변량 시계열 시퀀스(위도, 경도, SOG, COG, 목적지 좌표 포함)로 구성되며, 이를 positional encoding을 통해 시점 정보를 보존한 후 encoder-decoder 구조로 학습한다. 출력은 향후 일정 시간 간격의 선박 상태를 예측하는 시퀀스로, 회귀 문제로 구성된다. 손실 함수는 Huber Loss 또는 Smooth L1 Loss를 사용하여 급격한 경로 변화나 outlier에 안정적으로 대응할 수 있도록 한다.

③ 충돌 위험 평가 및 강화학습 기반 회피 전략

경로 예측 결과는 후속 단계인 충돌 위험도 평가에 활용된다. 예측된 경로와 주변 선박들의 예측 경로 간의 거리, 상대 방향, 속도 등을 고려해 DCPA(최단 거리), TCPA(충돌까지 시간)를 계산하고, 이를 통해 충돌 확률을 산출한다. 이때 학습 기반 위험도 평가 모델도 추가적으로 적용될 수 있으며, 위험도 점수는 0~1 범위로 정규화되어 경고 임계값 설정에 사용된다.

위험도가 기준치를 초과할 경우, 시스템은 강화학습 기반 대체 경로 생성 모듈을 활성화한다. 이 모듈은 선박의 현재 상태(state)와 가능한 조작(action: 속도, 방향) 공간을 정의하고, 충돌 회피를 보상(reward)으로 설정하여 에이전트가 안전한 항로를 선택하도록 학습된다. 초기에는 Dueling DQN 또는 PPO(Proximal Policy Optimization)과 같은 정책 기반 강화학습 알고리즘을 적용하고, 이후 실제 충돌 회피 성공률을 기반으로 reward shaping을 수행한다.

④ 모델 학습 및 평가 전략

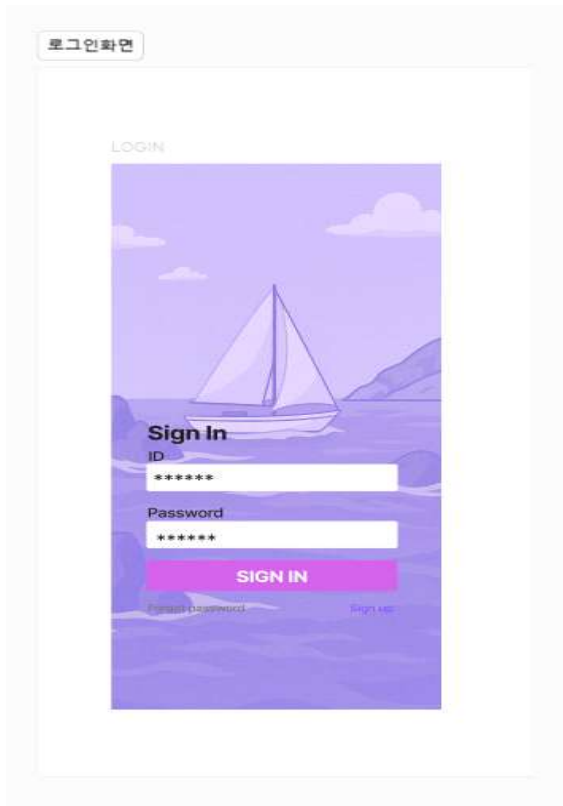
모델 성능 평가는 다음과 같은 다중 지표로 구성된다:

- 항로 예측 정확도: RMSE, MAE (과거 경로 데이터 기준)
- 충돌 예측 정확도: Precision, Recall, F1-score
- 회피 경로 안전도: 경로 간 최소 거리, 실제 충돌 회피 비율
- 실행 효율성: 추론 시간(초당 처리 건수), 시스템 지연 시간(latency)

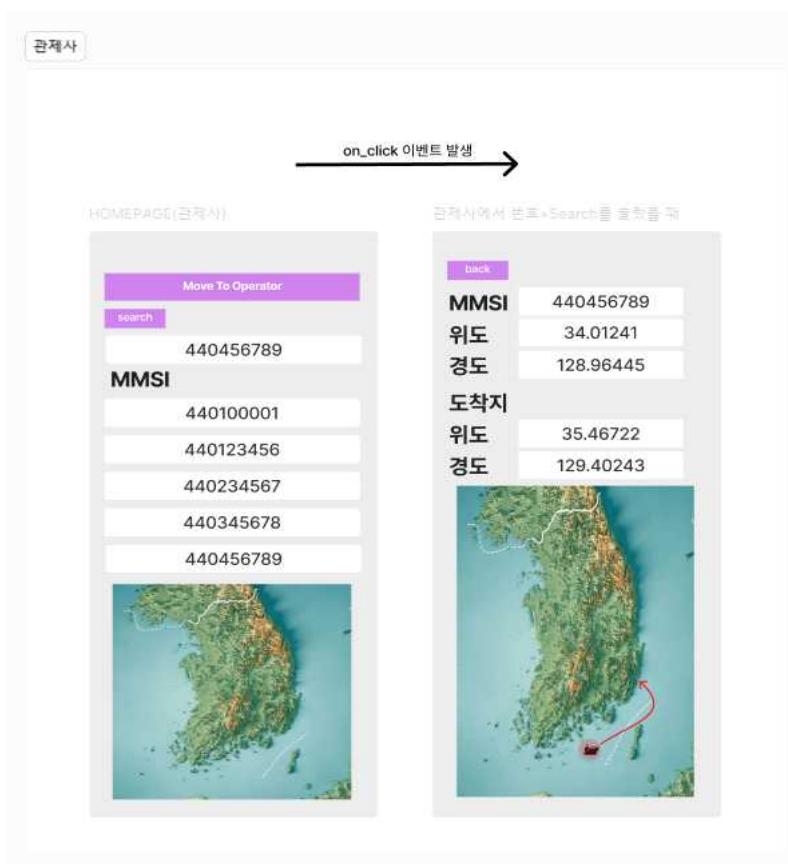
또한 모델의 실효성 검증을 위해 실데이터 기반 시뮬레이션을 수행하고, 해상 실제 항로와의 비교 분석을 통해 오차율을 산정한다. 시스템의 실시간성을 확보하기 위해 모델 추론 시간은 10초 이내로 제한하며, 이를 위해 모델 경량화를 적용한다.

3. 프로토타입

① 로그인 화면



② 관제사 화면



③ 선박 운항자 화면



Ⅲ. 연구개발의 추진전략 및 방법

1. 연구개발 추진전략

본 연구개발은 해상교통 빅데이터와 딥러닝/머신러닝 기술을 결합하여 실시간 선박 이동 예측 및 이를 활용한 충돌 방지 시스템을 구축하는 것을 목표로 한다.

① 단계별 개발 전략

가. 데이터 인프라 구축 및 정제

- AIS 데이터 수집 및 전처리 자동화
- 이상치 탐지 및 데이터 정제 프로세스 구축

나. 트랜스포머 기반 선박 이동 예측 모델 개발

- 딥러닝 모델을 활용한 경로 예측 모델링
- 실시간 데이터 스트리밍을 고려한 모델 최적화

다. 충돌 위험 감지 시스템 개발

- 선박 이동 예측 모델 및 머신러닝 기법을 활용한 충돌 가능성 평가모델 개발
- 실시간 환경 변수 반영 연구

라. 실증 테스트 및 시스템 통합

- 실제 해상 데이터 기반 테스트 및 평가
- 대시보드 및 시각화 시스템 개발
- API 제공

② 핵심 기술 개발 전략

가. 데이터 수집 및 처리 최적화: 대용량 AIS 데이터 처리 및 이상치 제거 알고리즘 개발

나. 딥러닝 모델 고도화: 다양한 딥러닝 모델 비교 및 최적화

다. 강화학습 적용: 학습된 딥러닝 모델에 강화학습 기법을 적용하여 충돌 위험 감지 시스템 개발

라. 실시간 데이터 반영: 스트리밍 데이터 처리 및 예측 모델 업데이트

2. 연구개발 방법

본 연구는 다음과 같은 연구개발 방법을 적용해 목표를 달성하고자 한다.

① 데이터 수집 및 분석

- PostgreSQL 기반 RDBMS를 활용해 AIS 데이터 저장 및 관리
- 데이터 전처리: 결측치 처리, 이상치 탐지, 정규화
- 선박 이동 패턴 분석 및 데이터 전처리를 위한 EDA 수행

② 모델 개발

- 딥러닝 모델 개발: 트랜스포머 기반의 딥러닝 모델 개발
- 강화학습 모델 적용: 머신러닝 기법 적용을 통한 딥러닝 모델 강화학습 진행

③ 시스템 구현 및 검증

- 대시보드를 통해 예측 결과 및 충돌 위험도 시각화
- 실제 해상 데이터를 활용한 성능 검증 및 모델 튜닝
- API 개발 및 배포

본 연구개발을 통해 실시간 해상교통 관리 및 선박 이동 예측 기술의 실효성을 검증하고, 실질적인 해양 안전성 향상에 기여하고자 한다.

IV. 연구개발 팀의 구성 및 프로젝트 추진 일정

1. 업무 분배

- ① 데이터 인프라 구축 및 정제
 - 서버 관리: 김연범
 - EDA: 김연범, 이한을, 이동원
 - 데이터 정제(전처리): 김연범, 이한을, 이동원
 - 분석할 데이터 범위 추출: 이동원
 - 진행 사항 정리: 이한을
- ② 머신러닝 기반 선박 이동 예측 모델 개발
 - 선행연구 하드코딩: 김연범, 이한을
 - 모델 개발: 김연범, 이한을
 - 모델 성능 향상(최적화작업): 이동원
- ③ 충돌 위험 감지 시스템 개발
 - 충돌 위험 경고 기준 수립: 이동원
 - 충돌 위험 경고 시스템 개발(Backend): 김연범
 - 충돌 위험 경고 시스템 개발(Frontend): 이한을
- ④ 실증 테스트 및 시스템 통합
 - 실제 해상 데이터 기반 테스트 및 평가: 김연범
 - 대시보드 및 시각화 시스템 개발: 이한을
 - API 제공 및 배포: 이동원

2. 프로젝트 추진 일정

[간트차트]

구분	3월				4월				5월				6월		
	1주	2주	3주	4주	1주	2주	3주	4주	1주	2주	3주	4주	1주	2주	3주
문제정의															
데이터 인프라 구축															
제안서 작성															
해상네트워크 공부															
데이터EDA															
데이터 전처리															
선행연구 하드코딩															
모델 개발															
모델 성능 향상															
스토어 구현															
충돌위험 경고기준 수립															
충돌위험 경고기능 개발															
시스템 테스트 및 평가															
대시보드&시각화시스템 제작															
API 제공 및 배포															

- 참고문헌(References)

- [1] 황선일, 박상원, 이경미 그리고 박민정, AIS 데이터 기반 해상교통 안전 평가모델 개발 연구, *한국해양수산개발원*, 2024.
- [2] 김상우, 임연희, 조현희 그리고 이길중, AIS 데이터 분석을 통한 선박 안전향로 딥러닝 모듈 개발, *ACK 2024 학술발표대회 논문집*, vol. 31, no. 2, pp. 1012-1013, 2024.
- [3]Samuele Capobianco and Leonardo M. Millefiori etc, Deep Learning Methods for Vessel Trajectory Prediction based on Recurrent Neural Netwroks, *arXiv preprint*, arXiv: 2101.02486, 2021.
- [4] 이상엽 그리고 박호상 외, 한국해양교통안전공단(KOMSA), 인공지능(AI)으로 해상 교통량 예측한다, *한국해양교통안전공단 보도자료*, 2023.
- [5] 김재원 그리고 정민, AIS 데이터 신뢰성 개선에 관한 기초 연구:해상교통관제사를 중심으로, *한국해양경찰학회보*, vol. 11, no. 4, pp. 49-68, 2021.
- [6] 오재용, 김혜진 그리고 박세길, AIS 데이터 분석을 통한 이상 거동 선박의 식별에 관한 연구, *한국항해항만학회지*, vol. 42, no. 4, pp. 277-282, 2018.

- 별첨 1 : 컨셉 시트

[컨셉 시트]

아이디어명	AIS 기반 항로예측	슬로건	데이터로 안전한 바다를 미리 그리다
목표고객	선박 운항자, 항만 관제사, 해양 안전 관리 기간	가치	예측 가능한 해상교통, 충돌 위험 감소, 해상교통사고 예방
아이디어 이미지	<div><p>Use case</p><p>AIS 기반 항로 예측</p><pre>graph TD; User[선박운항자] --> Start([출발지/도착지 입력]); Start --> System[시스템]; System --> Process([모델이 최적 항로 계산]); Process --> End([예상 항로 및 도착 시간 제공]); End --> User;</pre></div> <div><p>Use case</p><p>충돌 위험경고 시스템</p><pre>graph TD; User[선박운항자] --> Start([일정 거리 이내 다른 선박 or 위험요소(암초, 부이) 탐지]); Start --> System[시스템]; System --> Process1([진행 방향/속도 기반 충돌 가능성 계산]); Process1 --> Process2([경고 메시지 전송]); Process2 --> User; Process2 --> Controller[관제사]; Process2 --> System; System --> Process3([모델이 대체 항로 계산]); Process3 --> End([대체 항로 및 도착 시간 제공]); End --> User;</pre></div>		

<p>주요기능</p>	<p>[코어기능]</p> <ul style="list-style-type: none"> • AIS 데이터 기반 실시간 선박 이동 경로 예측, 시각화 • 충돌 위험 경고 기능 <p>[부가기능]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 충돌 위험에 대처하는 대체항로 계산, 시각화
<p>사용자 인사이트</p>	<p>[Pain]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 기존 해상교통 시스템의 실시간 대응이 어렵다. • 충돌 방지 시스템의 정밀도가 부족해서 안전한 운행이 힘들다. <p>[Needs]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 운항할 때 안전하게 항해하고 싶다. • 실시간 데이터 기반 예측 정밀도가 향상돼서 신뢰성 있는 예측모델을 가지고 정확하게 선박운항을 통제하고 싶다.