객체 중심 신뢰 점수를 통한 도심 자율주행 위험 예측 시스템

지도교수 : 조민호 교수님 **2020270641 박준서**

선정 배경

도심 혼잡 환경의 복잡성

- 다수의 차량과 보행자가 좁은 공간에서 상호작용하며, 급정거·급가속·진로 변경 등 예측하기 어려운 행동이 자주 발생함

기존 위험도 판단 방식의 한계

- 충돌 지표, 장기 관찰, 지도·신호·차로 구조 등 외부 문맥에 크게 의존하여, 계산 비용이 크고 즉각적인 대응이 어려움

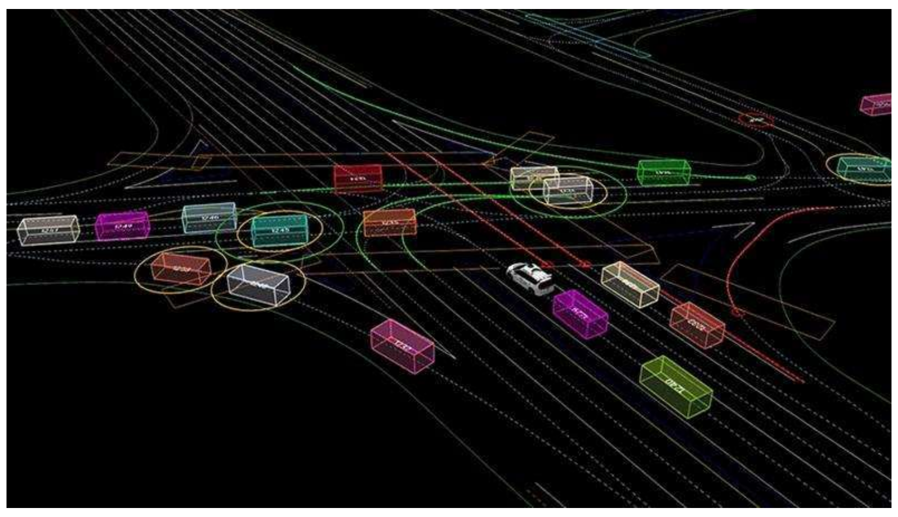
짧은 관찰로도 가능한 경량 평가 필요

- 실제 자율주행 시스템에서는 몇 초 이내의 짧은 관찰만으로도 위험 객체를 빠르게 걸러내는, 가벼운 지표 체계가 요구됨

목적

- 짧은 시계열 신호만으로도 위험 객체를 식별할 수 있는 객체 중심 '신뢰 점수'를 정의함
- 위치·속도·헤딩 등 객체의 기본적인 동적 신호만으로 계산 가능한 경량 지표 체계를 구축함
- 도심 환경에서 위험 객체를 조기에 식별하여 자율주행차의 보수적인 경로 선택 및 안전성 향상에 기여함

구현



Waymo Open motion Dataset

- 실제 도로 주행 데이터를 기반으로 차량의 미래 이동 경로예측을 위한 대규모 데이터셋
- 총 103,354개의 시나리오와 9초간의 객체 경로

⇨ Scenario 형태의 Dataset에서 지표 추출 ⇨

시계열 기반 지표
- Δ속도(Δv)
- Δ가속도(Δa)
- Yaw Rate 변화량
- 속도 평균
- 진행 방향 변화율
- 중심선 이탈도

⇨ **LightGBM** 모델 위험도점수 **G(x)**를 산출 ⇩

r(x)
$= \sigma(G(x)) = \frac{1}{1+e^{-G(x)}}$

$T(\mathbf{x})$ 신뢰점수
$= 1 - r(\mathbf{x})$

⇦

신뢰 점수 $T(x)$에 따라
$T(x) \geq 0.8$:**High Trust (안전)**
$0.3 \leq T(x) < 0.8$:**Medium (주의/관찰)**
$T(x) < 0.3$:**Low Trust (위험)**

구현 단계

- Waymo 시나리오 데이터에서 객체의 위치·속도·헤딩 정보를 추출함
- Δv, Δa, yaw 변화량, 진행 방향 변화율, 중심선 이탈도 등 시계열 기반 지표를 계산함
- 계산된 지표 벡터를 단조 제약이 적용된 LightGBM 모델에 입력하여 Raw Score $G(x)$를 산출함
- $G(x)$는 시그모이드 함수를 통해 위험도 확률 $r(x)$로 변환되고, 신뢰 점수는 $T(x) = 1 - r(x)$로 정의됨
- 산출된 신뢰 점수를 High / Medium / Low로 분류하여 객체의 안전한 정도를 평가함

$$G(\mathbf{x}) = g_{\Delta v}(f_{\Delta v}) + g_{\Delta a}(f_{\Delta a}) + g_{\text{yaw}}(f_{\text{yaw_var}}) + g_{\text{speed}}\left(f_{\text{speed_mean}}\right) + g_{\text{head}}(f_{\text{heading}}) + g_{\text{lane}}(f_{\text{laneoffset}})$$

$$r(x) = \sigma(G(x)) = \frac{1}{1+e^{-G(x)}}$$

$$T(\mathbf{x}) = 1 - r(\mathbf{x})$$

사용 모델

- **LightGBM**

시계열 기반 지표처럼 사전 계산된 특징 벡터를 효율적으로 처리하며, 단조 제약을 통해 물리적으로 일관된 위험도 증가 방향을 보장할 수 있어 LightGBM을 채택함

기대효과

- 위험 행동을 보일 가능성이 높은 객체를 조기에 탐지하여 사고 가능성을 효과적으로 낮춤
- 신뢰 점수 기반의 위험 분류로 자율주행 시스템의 의사결정 정확도를 높여 전체 주행 안정성을 향상함

추후 계획

다양한 주행 시나리오를 활용해 신뢰 점수의 안정성과 신뢰성을 추가 검증할 예정임
다른 모델(XGBoost, RandomForest)과 비교하여 최적의 신뢰점수 산출 구조를 탐색함