

# 멀티모달 거대언어모델 기반 손상 도로 환경에서의 자율주행 의사결정

지도교수 : 조민호 교수님

2020270672 최재혁

## 개발 배경 :

자율주행 기술은 발전을 이루고 있으며 다양한 실도로 상황에 대응할 수 있는 알고리즘이 연구되고 있으나,

- 실도로 환경에서는 포트홀, 균열, 차선 미비, 비포장 구간 등 **손상된 요소**들이 자주 등장
- 기존의 자율주행 알고리즘은 도로 환경을 전제로 학습된 경우가 많음
- 고로 **예외적인 손상 상황**에 대한 **대응 능력이 떨어지고 사고 위험이 증가**
- 노후화된 도로, 예측 불가능한 도로 손상은 차량의 센서 오류나 경로 판단 실패를 유발
- **사고 위험 증가와 주행 효율 저하**로 이어짐

## 목적 :

- 도로 손상을 시각 센서로 **인식**하여,
- **YOLOv9** 모델을 통해 손상을 **인지**하고,
- 차량 상태를 기반으로 **LLM**이 상황을 **파악**하여,
- **LLM**이 **주행 전략**을 자동 생성하는 **대응 시스템**을 구현

## 주요 특징 :

### 손상 인지 정밀도 향상을 위한 전처리

- **Canny Edge Detection**을 적용해 균열 등 미세 손상을 강조
- RGB 이미지에 결합해 **4채널 입력**으로 변환
- Augmentation을 통해 데이터 불균형 문제를 해소

### YOLOv9 기반 손상 탐지 및 세부 분류 구조

- **YOLOv9**를 사용해 손상의 위치 및 종류를 동시에 탐지
- CNN 기반 분류기를 연계하여 세부 특성 분석이 **필요한 경우 보완**
- 탐지 + 분류 이중 구조를 통해 실시간성과 정확도를 동시에 확보함

### LLM 기반 자율주행 의사결정 시스템

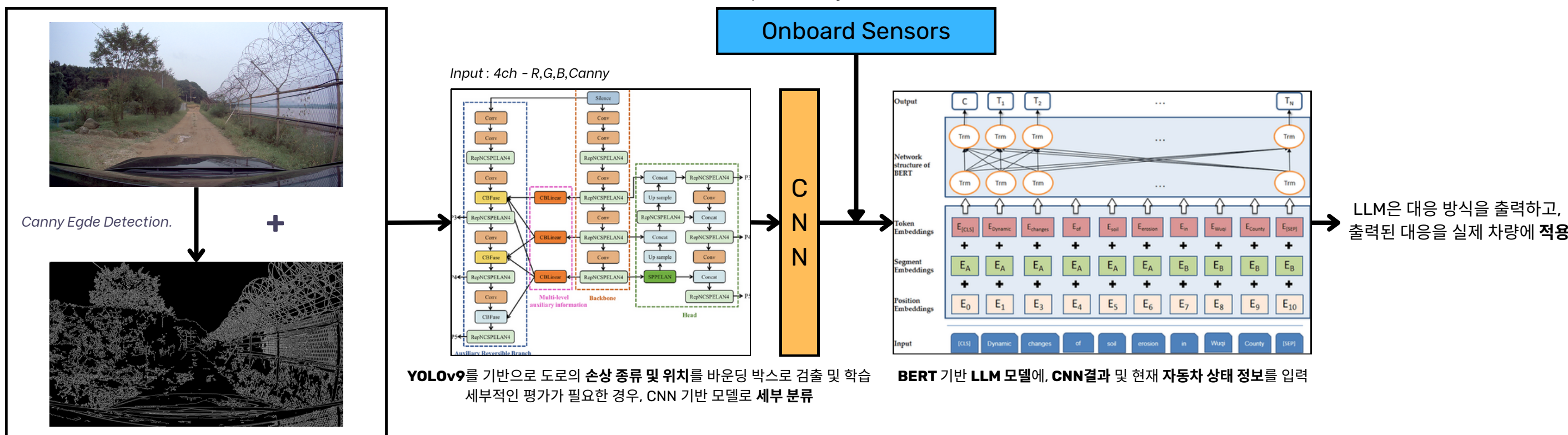
- BERT 기반 언어모델에 **탐지 결과 + 차량 상태 정보**를 통합 입력
- 상황 요약 없이도 LLM이 문맥을 파악하고, 대응 방안을 **자연어**로 출력
- 자율주행 판단의 근거를 설명 가능하게 만들어, 사용자 신뢰성과 해석 가능성을 확보

### 탐지 → 판단 → 주행으로 이어지는 통합형 구조

- 탐지 결과는 그대로 판단 모듈로 넘어가며, **추가 가공 없이 대응이 가능한 구조** 설계
- 생성된 대응 문장은 차량 시스템에 전달되어, **실제 주행 전략으로 반영**
- **End-to-End 자율주행 대응 시스템**의 초기 구현 기반을 제시

## 구현 방법 :

수집된 데이터를 **Canny Edge Detection**를 통해 도로 손상 강조  
RGB 이미지와 Canny Edge를 Binary Mask로 사용 - **4ch 이미지**로 변환



## 사용한 모델:

### Canny Edge Detection

- 미세한 도로 손상을 강조하기 위해 사용
- YOLO/CNN 등의 탐지 모델의 인식 성능 보조
- 데이터가 부족할 때도 효과적
- 사전 필터링, ROI 설정에 도움

### YOLOv9

- 객체 탐지 성능이 우수하고, 실시간 응답이 가능하여
- 손상된 도로 부위의 위치와 유형을 빠르게 인식하는 데 적합
- 전 버전과 비교하여 소형 객체 인식 성능 향상
- 유연한 구조 및 다양한 Backbone 지원

### BERT

- 복합 입력에 대한 문맥 기반 이해
- 추론 가능성과 Chain-of-Thought 대응력
- Fine-tuning 및 Task Adaptation 용이
- 멀티모달 확장에 유리한 구조

## 활용방안 :

- 자율주행 시스템 내 **의사결정 보조 모듈**로 활용
- 도로 유지보수 및 사고 예방 시스템에 **연계** 가능
- 다양한 멀티모달 입력을 처리할 수 있는 **범용 AI 플랫폼**으로 확장 가능

## 향후 계획 :

- 실도로 환경에서의 실시간 **주행 테스트** 확대
- 모델 경량화 및 실시간 적용 **최적화**
- 다양한 도로 상황에 대한 **범용성 향상**
- 사용자 피드백을 반영한 **판단 설명 시스템** 고도화