

딥러닝 기반 운전자 이상행동 탐지 모델 성능 비교에 관한 연구

임다빈, 윤수연*
국민대학교, *국민대학교

dabinim09@kookmin.ac.kr, *1104py@kookmin.ac.kr

A Study on the comparative performance of deep learning-based driver abnormal behavior detection models

Lim Da Bin, Yoon Soo Yeon*
Kookmin Univ., *Kookmin Univ.

요약

본 연구는 프레임 단위 운전자 이상행동 모니터링 환경에서 ResNet50 과 YOLO11n-cls 모델의 성능과 적용 가능성을 통일된 데이터 전처리 및 파이프라인과 일관된 평가 지표 하에 구현하고 비교 분석하였다. ResNet50 은 YOLO11n-cls 에 비해 정확도면에서 소폭 우세하였으나 YOLO11n-cls 는 연산 효율면에서 크게 앞서 실시간 이상행동 탐지에 적합함을 확인하였다. 본 연구는 실시간 운전자 모니터링 시스템 설계에서 모델 선정시 가이드라인을 제시한 연구로서 향후 실시간 환경에 적합한 모델에 대한 추가적 연구를 통해 다양한 분야에서 사고 예방과 운영 비용 효율화에 기여할 것으로 기대된다.

I. 서론

경찰청이 발표한 통계에 따르면 최근 6 년 동안 (2018 년 ~ 2023 년) 교통사고의 주요 원인으로 안전운전 불이행이 꾸준히 높은 비율을 차지한다. [1] 이에 해당하는 유형으로는 졸음운전, 전방 주시태만, 휴대전화 사용, 차내 장치 조작 등이 있으며 교통사고의 직접 원인이자 교통안전을 위협하는 심각한 과제이다. [2]

이런 문제를 해결하기 위해 다양한 이상행동 모니터링 시스템 연구가 진행되어왔다. [3] 기존의 운전자 이상행동 모니터링 방법 중 프레임 기반 기법은 카메라로부터 입력된 개별 이미지를 분석하여 얼굴 표정, 시선 방향, 손 동작 등을 실시간으로 처리할 수 있으며, 2D CNN 기반의 분류 네트워크와 객체 탐지 네트워크, Vision Transformer 등이 제안되었다.

그러나 다양한 연구 간 성능 비교는 각기 다른 네트워크 구조와 전처리 방식, 평가 지표를 사용함으로써 동일한 조건에서의 공정한 비교 및 적합한 모델을 판별하기 어려운 문제가 있다. 실시간 운용 시 복잡한 딥러닝 모델의 연산 지연 문제는 안전 보조 시스템에 즉각 대응에도 한계가 있다. [4]

이에 본 연구에서는 프레임 기반 이상행동 탐지 모델을 통일된 데이터 전처리 및 학습 파이프라인과 일관된 평가 지표 하에 구현하고 비교함으로써 모델간 비교의 공정성을 확보하고 연산 지연 문제를 평가, 비교하여 실시간 운전자 모니터링 시스템 적용에 적합한 모델을 선정하고자 한다. 본 연구를 통해 운전자 이상행동 탐지 분야에서 객관적인 모델 비교 근거 마련 및 모델 선정 가이드라인을 제시하고 운전 보조 시스템의 상용화에 기여하고자 한다.

II. 관련연구

2.1. 딥러닝 기반 이상행동 탐지 모델

2.1.1. ResNet50

ResNet50 은 50 개의 레이어로 구성된 네트워크로 깊어질수록 발생하기 쉬운 기울기 소실 문제를 잔차 학습 구조를 도입하여 완화한다. 각 블록마다 스킵 연결을 통해 이전 출력이 다음 블록으로 직접 전달되어 학습 안정성과 성능이 뛰어나다. [5] 운전자의 얼굴 표정 변화나 손동작 같은 정적 특징을 프레임 단위로 정확히 분류할 수 있다.

2.1.2. YOLO11n-cls

YOLO11n-cls 는 하나의 전역 특징 맵 위에서 바운딩 박스 좌표와 클래스 확률을 동시에 예측하여 높은 처리 속도와 우수한 검출 성능을 달성하는 객체 탐지 모델 YOLO11n 을 분류 버전으로 경량화한 모델이다. [6] YOLO11n 의 경량 백본을 공유되 바운딩 박스 헤드를 제거하고 분류 헤드를 연결한 설계로 운전 중 휴대전화 사용이나 핸들 조작과 같은 이상행동 프레임을 지연 없이 포착할 수 있다.

III. 실험 설계

3.1 데이터셋 구성 및 실험환경

3.1.1 데이터셋 구성

본 연구에서 사용된 데이터는 AI-Hub 의 “운전자 및 탑승자 상태 및 이상행동 모니터링” 데이터로, 초당 30 프레임의 영상과 영상에서 추출된 5 개의 프레임 이미지에 각각 운전자의 29 가지 행동이 맵핑 되어 있으며 이 중 연구에서 분류한 주요 이상상태에 대한 행동 유형으로서 표 1 과 같이 정리하였다.

표 1. 운전자 이상행동 유형 분류

이상상태	행동 유형
졸음운전	꾸벅꾸벅졸다, 하품, 몸뭇가누기
휴대전화 사용	핸드폰끼기, 핸드폰끼에대기
전방 주시태만	허리굽히다
차내 장치 조작	중앙으로손을뻗다

또한 학습 데이터 분포를 균일하게 하기 위해 각 행동별로 15,000 개의 데이터로 다운샘플링 하여 학습을 진행하였으며 학습, 검증, 테스트 데이터는 각각 8:1:1 의 비율로 분할하였다.

3.1.2 실험환경

본 연구에서는 모델간 비교의 공정성을 달성하기 위해 표 2 에서 정리된 것과 같이 통일된 하이퍼파라미터 및 학습 파이프라인을 구성하였다.

표 2. 하이퍼파라미터 및 학습 파이프라인 구성

설정	값
Random Seed	42 (Python, numpy, dataloader, deterministic)
Image HxW	224 x 224
Epochs	100
Early stop patience	5
Learning Rate	1E-04
Optimizer	AdamW
Train augmentation	Rotation 10 -> ResizedCrop 0.5 -> Perspective 0.05 -> HorizontalFlip 0.5
Val augmentation	Resize (256/224) -> CenterCrop
Weight decay	0.2

IV. 실험 결과 및 성능 평가 비교 분석

4.1. ResNet50 모델 실험 결과

그림 1 의 ResNet50 모델 실험 결과에서 학습은 epoch 84 에서 5 번 이상 정확도 향상이 이루어지지 않아 조기 종료되었으며 종료 시 검증 정확도는 91.9%로 측정되었다. 테스트 데이터셋을 이용해 실제 데이터의 클래스와 모델이 예측한 클래스로 혼동행렬을 구성한 결과 모델이 올바르게 예측한 클래스는 11,012 개로 전반적으로 분류가 잘 되고 있음을 확인하였다.

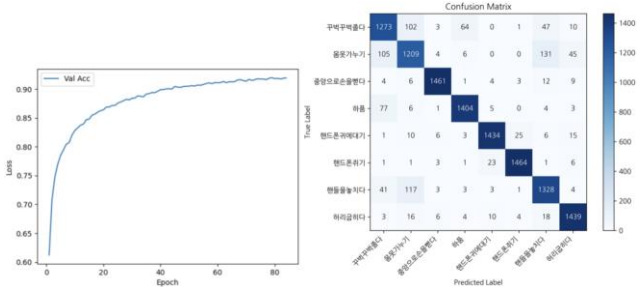


그림 1. ResNet50 학습 결과 (에포크별 정확도 <왼쪽>, 혼동행렬 <오른쪽>)

4.2. YOLO11n-cls 모델 실험 결과

그림 2 의 YOLO11n-cls 모델 실험 결과 또한 동일하게 epoch 84 에서 학습이 조기 종료되었으며 검증 정확도는 91.1%로 측정되었다. 혼동행렬을 구성한 결과 모델이 올바르게 예측한 클래스는 10,903 개로 ResNet50 모델에 비해 올바르게 예측한 클래스가 100 개 정도 적지만 YOLO 모델 또한 전반적으로 분류가 잘 되고 있음을 확인하였다.

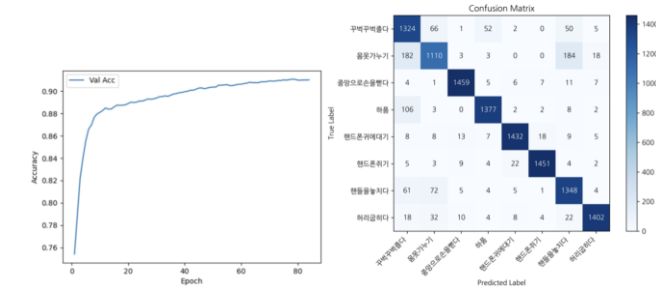


그림 2. YOLO11n-cls 학습 결과 (에포크별 정확도 <왼쪽>, 혼동행렬 <오른쪽>)

4.3. 모델 성능 평가 및 비교 분석

두 모델 간 성능 평가 및 비교 분석을 위해 분류 성능 지표로는 모델이 올바르게 예측한 비율을 나타내는 Accuracy 와 정밀도와 재현율 간의 균형을 고려한 F1-Score 수치를 비교하였으며 두 수치 모두 ResNet50 모델이 YOLO11n-cls 모델보다 약 1% 정도 높게 나타나 분류 성능 면에서는 소폭 우세한 것을 확인할 수 있다. 표 3 에서 이를 정리하였다.

표 3. 분류 성능 지표 비교

Metrics	ResNet50	YOLO11n-cls
Accuracy	0.9177	0.9086
F1-Score	0.9177	0.9088

또한, 실시간 적용 가능성 분석을 위한 연산 효율 지표로는 초당 분류 프레임 수(FPS), 프레임당 분류 시간(Latency) 그리고 파라미터 수를 비교하였으며 높은 gpu 자원을 활용하기 어려운 차량 내 상황을 고려하여 cpu 환경에서 측정하였다. ResNet50 모델은 초당 3 개 정도의 프레임을 분류할 수 있으며 파라미터 수가 23M 인 것에 비해 YOLO11n-cls 모델은 초당 59 개의 프레임의 분류가 가능하며 파라미터 수도 1.5M 으로 비교적 경량화 된 모델임을 증명한다. 표 4 에서 이를 정리하였다.

표 4. 연산 효율 지표(cpu)

Metrics	ResNet50	YOLO11n-cls
FPS	3.79 img/s	59.1 img/s
Avg Latency	263.54ms	16.92ms
Median Latency	265.81ms	15.15ms
파라미터 수	약 23M	약 1.5M

V. 결론 및 시사점

본 연구에서는 통일된 조건에서 ResNet50 과 YOLO11n-cls 모델을 공정하게 비교한 결과 YOLO11n-cls 모델이 경량화 된 모델로서 실시간 운전자 이상행동 모니터링 시스템에 더 적합함을 입증하였다. 경량화된 모델 선정을 통해 차량 내 엣지 디바이스에서 즉각적인 경고를 가능케 해 교통사고를 예방할 수 있고 유지관리 및 업데이트에 소요되는 비용을 절감할 수 있다. 이외에도 산업 현장에서 작업자의 피로 및 부주의 상태를 탐지하여 안정성을 확보할 수 있으며 의료현장에서는 환자의 낙상 및 급격한 자세 변화를 조기에 포착하여 응급 대응 시간을 대폭 단축할 수 있다. 로봇틱스 및 드론 분야에서는 주변환경 탐지를 통한 충돌 회피 등에 사용될 수 있다. 이처럼 본 연구에서 확인한 실시간 환경에 적합한 경량화된 이상행동 탐지 모델은 다양한 분야에서 실시간 위험 알림과 자동 제어 기능을 통해 사고 예방과 운영 비용 효율화에 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 경찰청 2024 교통사고통계
- [2] 한국도로교통공단 신호등
- [3] 고병철, “자율주행차량 운전자 모니터링 연구 동향” 전자통신동향분석, 대한전자공학회, 2022
- [4] 유민우, 차대웅, 윤영진 외 3 인, 임베디드 환경에서 딥러닝을 이용한 실시간 운전자 모니터링 시스템, 한국통신학회, 2022
- [5] K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun, “Deep Residual Learning for Image Recognition,” CVPR, 2016.
- [6] Khanam, R., & Hussain, M. (2024). YOLOv11: An Overview of the Key Architectural Enhancements. arXiv:2410.17725.