

특장차량용 AI 기반 스마트 선스크린의 시스템 설계 및 제어 최적화에 관한 연구

송제호*, 서중석**

*전북대학교 융합기술공학부(IT응용시스템공학)

**전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on the System Design and Control Optimization of an AI-Based Smart Sunscreen for Special Purpose Vehicles

Je-Ho Song*, Joong-Seok Seo**

*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering), Jeonbuk National University

**Dpet. of IT Applied System Engineering, Jeonbuk National University

요약

본 논문은 건설기계 및 대형 화물차와 같은 특장차량 운전자의 안전 확보를 위한 AI 기반 능동형 스마트 선스크린 시스템의 아키텍처를 제안하고, 제어 알고리즘의 최적화 방안에 대해 연구하였다. 기존의 수동 조작 방식 선스크린은 주행 중 전방 주시 태만을 유발하여 사고 위험을 증가시키는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 본 연구에서는 고해상도 카메라와 복합 조도 센서를 활용하여 운전자의 안전과 태양광 입사각을 실시간으로 추적하는 시스템을 설계하였다. 딥러닝 기반의 비전 인식 알고리즘을 통해 그림자의 경계선을 연산하고, 이를 바탕으로 모터 기반의 롤러 블라인드를 PID 제어로 자동 구동하는 폐루프(Closed-loop) 제어 시스템의 초기 모델을 구축하였다. 또한, 실제 차량 운행 시 발생할 수 있는 급격한 조도 변화와 극한의 진동 환경에 대응하기 위해 이동 평균 필터 적용 및 내진 설계 기법을 제안하고 그 구현 가능성을 검토하였다. 본 연구는 선스크린 시스템의 초기 검증을 통해 특장차량 운전자의 전방 주시율 향상 및 안구 피로도 저감 등 능동형 안전 시스템으로서의 높은 개발 타당성을 시사한다.

차량 운전자가 직사광선 및 난반사에 노출되는 물리적 범위가 훨씬 광범위함을 시사한다.

1. 서론

1-1 직사광선으로 인한 주행 안전성 저해 요인

차량 주행 중 발생하는 직사광선은 운전자의 시각적 인지 능력을 저하시켜 교통사고를 유발하는 주요 외인 중 하나이다. 특히 일출 및 일몰 시간대나 도로의 선형이 급격히 변하는 구간에서는 태양광의 입사각이 실시간으로 변화하며, 이는 운전자의 전방 주시를 방해하고 일시적인 시야 결손을 초래한다. 현재 대부분의 차량에 적용된 수동형 햇빛가리개는 운전자가 주행 중 직접 조작해야 하는 구조적 한계가 있으며, 이러한 조작 행위는 전방 주시 태만을 유발하여 2차 사고의 위험성을 가중시킨다.

1-2 차량 제원에 따른 광 노출 면적 분석

특히 차종에 따른 전면 유리의 물리적 면적 차이는 직사광선 노출 정도와 그에 따른 위험도에 직접적인 영향을 미친다. 측정 결과에 따르면, 대형 특장차량의 전면 유리 가로 폭은 승용차 대비 약 1.5배, 세로 높이는 약 2배에 달한다. 이를 전체 면적 수치로 환산할 경우 대형 차량의 광 유입 면적은 승용차 대비 최소 3배 이상 넓은 것으로 분석된다. 이는 대형

1-3 특장차량의 사고 취약성 및 연구 필요성

건설기계 및 대형 화물차와 같은 특장차량은 차체 질량으로 인해 일반 승용차보다 훨씬 긴 제동 거리를 필요로 한다. 이러한 차량의 특성상, 넓은 전면 유리를 통해 유입되는 직사광선에 의한 찰나의 시야 상실은 인명 피해를 동반한 대형 추돌 사고로 직결될 가능성이 매우 높다.

따라서 주행 환경의 변화에 따라 능동적으로 대응할 수 있고, 특히 넓은 유리 면적을 효과적으로 제어할 수 있는 지능형 자동 차광 시스템에 관한 연구는 대형 차량의 안전 주행 환경 확보를 위해 필수적이다.

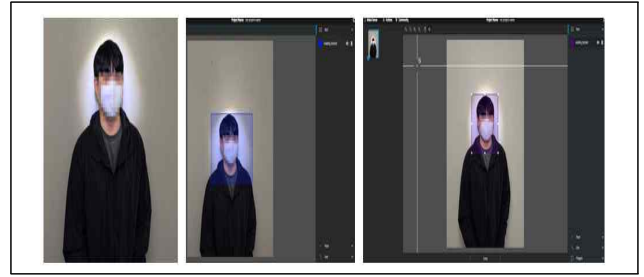
2. 시스템 모델 및 조건

본 연구에서 제안하는 시스템은 실시간 데이터 수집, AI 판단, 물리적 구동이 결합된 폐루프 제어 시스템으로 구성된다.

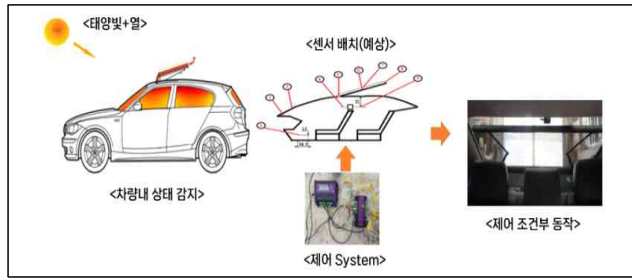
2.1 하드웨어 아키텍처

초기 프로토타입의 메인 제어 보드로는 실시간 비전 연산 처리

를 위해 NVIDIA Jetson Orin Nano (8GB)를 채택하여 테스트 환경을 구축하였다. 운전자의 안면을 안정적으로 추적하기 위해 주야간 및 다양한 조도 환경에 대응할 수 있는 고해상도 카메라를 적용할 계획이며, 차량 내외부의 광량 및 태양 입사각을 감지하기 위해 High Dynamic Range 처리가 가능한 TSL2591 조도 센서를 융합하였다. 물리적 차광을 수행하는 구동부는 특장차량 특유의 가혹 환경을 고려하여 방진/방수 성능을 확보한 모터와 저소음 풀러 블라인드 메커니즘으로 기구 설계를 진행 중이다.



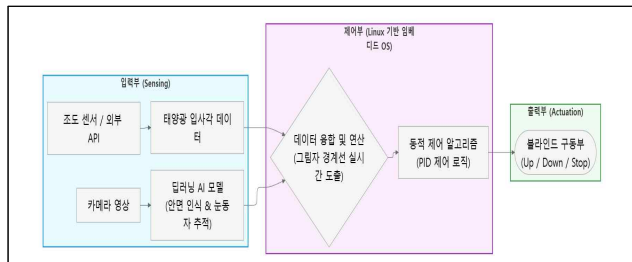
[그림 3] 인식을 확보를 위한 초기 모델 학습



[그림 1] AI를 활용한 자동화 선스크린 동작 구성

2.2 소프트웨어 및 제어 로직

실시간 제어와 AI 구동을 보장하기 위해 Linux 기반 임베디드 OS 환경을 기반으로 시스템을 구성하였다. 딥러닝 기반의 안면 인식 및 눈동자 위치 추적 모델과 태양광 입사각 데이터를 융합하여, 운전자의 시야(눈) 위로 떨어지는 그림자의 경계선을 실시간으로 연산하는 로직을 고안하였다. 도출된 그림자 경계선 데이터는 동적 제어 알고리즘으로 전달되며, 목표 위치에 가장 빠르고 부드럽게 도달할 수 있도록 PID 제어 로직을 통해 블라인드의 Up/Down/Stop 동작을 제어하도록 설계하였다.



[그림 2] 시스템 블록다이어그램(데이터 흐름도)

3. 검증 및 제어 최적화 방안

3.1 센서 융합 및 알고리즘 고도화 방향

시스템의 인식을 확보를 위해 초기 모델 학습을 진행하여 그 가능성을 확인하였으며, 향후 다양한 인종, 체형, 안경 및 선글라스 착용 여부 등을 반영한 대규모 AI 모델 학습을 통해 로직을 고도화할 계획이다. 또한, 조명 변화가 심한 터널 진출입 등의 가상 환경 모사 실험을 통해 알고리즘의 응답속도 최적화 및 모터 구동의 부드러움을 지속적으로 튜닝하고 있다.

3.2 외란 대응 및 시스템 최적화 방안

실제 특장차량 운행 환경에서 발생할 수 있는 주요 리스크를 사전에 식별하고, 이에 대한 최적화 설계 방안을 도출하여 개발 단계에 반영하였다.

첫째, 터널 진출입이나 가로수 그늘 통과 등 초당 조도 변화량이 극심한 구간에서 모터의 과도한 반복 작동(헛팅) 현상을 예방하기 위해, 조도 센서의 원시 데이터에 소프트웨어적으로 이동 평균 필터 및 딜레이 로직을 적용하는 방안을 수립하였다.

둘째, 극한의 진동으로 인한 가이드 레일 이탈 및 소음 발생 가능성을 억제하기 위해, 일반 플라스틱 레일 대신 내진 설계가 반영된 가이드 레일을 채택하고 모터 마운트에 충격 흡수 기구를 추가하는 방안을 기구 설계에 반영하였다.

셋째, Edge AI 보드의 지속적인 연산으로 인한 발열 및 프레임 드랍 현상을 사전에 방지하기 위해 TensorRT를 적용한 AI 모델 경량화를 추진 중이며, 하드웨어적으로 액티브 쿨링 팬 및 대형 방열판을 장착하여 연산 지연 문제를 해결할 수 있는 기반을 마련하였다.

[표 1.] 특장차량용 AI 스마트 선스크린 최적화 설계 및 구현 방안

구분	최적화	구현 방안
급격한 조도 변화	이동 평균 필터 및 딜레이 로직 적용	Moving Average와 Hysteresis를 활용한 모터 제어 알고리즘 구현
진동 환경	내진 가이드 레일 및 충격 흡수 기구 추가	고강성 알루미늄 레일 및 EPDM 방진 댐퍼를 활용한 기구 설계
엣지 AI 연산 부하	TensorRT 모델 경량화 및 액티브 쿨링	TensorRT 양자화 적용 및 PWM 제어 기반 액티브 쿨링 시스템 구축

4. 결론

본 연구에서는 특장차량의 안전 운행을 획기적으로 지원하기 위한 AI 기반 스마트 선스크린의 하드웨어 및 소프트웨어 아키텍처를 설계하고, 초기 검증을 통해 시스템의 높은 구현 가능성을 확인하였다.

제한된 페루프 제어 시스템은 조도 센서와 카메라 데이터를 융합하여 정밀한 그림자 경계선 예측 모델을 제시하였으며, PID 제어를 통한 물리적 구동 제어의 타당성을 입증하였다. 더불어 현장에서 발생 가능한 조도 급변 및 극심한 진동 등의 외란 요소에 대응하기 위해 이동 평균 필터 및 내진 설계를 시스템 설계에 선제적으로 반영함으로써 제품의 신뢰성 확보 방안을 구체화하였다. 향후 추가적인 실차 테스트와 알고리즘 최적화가 완료되면,

본 시스템은 운전자의 전방 주시율 향상과 근로 환경 개선은 물론 특장차량의 교통사고 발생률을 실질적으로 감소시키는 핵심 안전 솔루션으로 자리 잡을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 윤희식, 박강령, “딥러닝 기반 운전자 시선 추적에 관한 기존 연구 분석”, 대한전자공학회 학술대회논문집, 제 1권 1호, pp. 502-503, 6월, 2019년.
- [2] 이성준, 금강현, 오태근, “카메라 센서와 딥러닝 모델을 활용한 운전자 졸음운전 및 부주의 방지 시스템”, 한국통신학회 학술대회논문집, 제 1권 1호, pp. 1,121-1,122, 1월, 2024년.
- [3] C. F. Caruntu, M. W. Mehdi, “A Novel Approach against Sun Glare to Enhance Driver Safety”, Applied Sciences, 제 10권 9호, pp. 3032-3045, 4월, 2020년.
- [4] 박상민, 최인호, 김용국, “CNN을 이용한 IR 영상으로부터의 운전자 시선 인식 기술”, 한국정보과학회 학술발표논문집, 제 1권 1호, pp. 899-901, 6월, 2018년.
- [5] 박상민, H. X. Phung, 김용국, “딥신경망 기반 야간 운전자 시선 영역 검출”, 한국HCI학회 학술대회논문집, 제 1권 1호, pp. 854-857, 2월, 2017년.