딥러닝 기반 카메라 고장 검출 알고리즘

김준영, 성재호, 김태형, 김봉섭*

*지능형자동차부품진흥원

kwnsdud@kiapi.or.kr, wogh3569@kiapi.or.kr

thkim@kiapi.or.kr, *bskim@kiapi.or.kr

Deep Learning-Based Camera Failure Detection Algorithrm

Kim Jun Yeong, Seong Jae Ho, Kim Tae Hyeong, Kim Bong Seob*

*Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute (KIAPI)

요 약

본 논문은 자율주행 자동차의 오류 및 한계상황에 대처가능한 딥러닝 기반의 카메라 고장검출 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 ResNet-18 기반의 네트워크로 Leaky Relu와 배치정규화를 사용하여 폐색을 더욱 정밀하게 분류한다. 또한 폐색의 위험도를 평가하기 위해서 폐색뿐만 아니라 폐색된 영역의 최소크기를 정의하여 검출한다. 실험은 KITTI 데이터셋을 이용하여 진행을 하였으며 알고리즘은 평균 정확도 0.984를 달성하였다.

Ⅰ. 서 론

21세기의 기술 혁신 중에서도 자율주행 자동차의 발전은 특히 주목할 만하다. 자동차 산업의 미래를 재정의하며, 운전의 개념 자체를 변화시키고 있는 이 기술은, 레벨 3 이상의 고도화된 자율주행 기능을 통해 차량이 스스로 운전환경을 인식하고 결정을 내릴 수 있도록 발전하고 있다. 하지만, 이러한 기술의 발전에도 불구하고 아직 많은 도전 과제가 존재한다. 인프라 부족, 기술적 한계, 그리고 예기치 못한 상황에서의 대응 능력 등이 그것이다.

특히, 카메라, 레이더, GPS 등 다양한 센서 기술이 복합적으로 사용되고 있지만, 이 중 카메라 센서는 주변 환경 인식에 있어 핵심적인 역할을 하고 있다. 저렴한 비용과 높은 정확성으로 널리 사용되고 있는 카메라 센서는 렌즈의 오염이나 폐색과 같은 문제에 취약할 수 있으며, 이는 자율주행 기능의 신뢰성에 심각한 영향을 줄 수 있다. 따라서, 이러한 문제를 효과적으로 감지하고 해결할 수 있는 기술의 개발이 필수적이다.

기존의 연구에서는 이미지의 품질분석[1]이나 기계학습을 통한 방법[2]으로 카메라의 비정상적인 출력을 구분하였지만 복잡한 패턴이나 예상치 못한 고장 유형에 대해서는 대처가 어렵기 때문에 CNN을 이용한 방법이 대두되고 있다. 본 논문에서는 자율주행 자동차의 안정성을 강화하기 위해 필요한 폐색 검출 기술과 이를 위한 인공지능 기반의 알고리즘을 제안한다. 특히, 고도화된 기계 학습 기법인 CNN(합성곱 신경망)을 활용하여 카메라 센서가 직면할 수 있는 폐색 문제를 해결하고자 하는 접근 방법을 제안하고, 실제 자동차에서 이 기술들이 어떻게 적용될 수 있는지를 분석한다.

Ⅱ. 본론

본 논문에서는 그림 1과 같이 딥러닝을 기반으로 한 카메라 폐색 검출 알고리즘을 제안한다. 입력으로 사용되는 RGB 이미지에 대해 사전에 훈련된 ResNet-18 네트워크의 합성곱 레이어를 활용하며, 기존의 ReLU 활성화 함수 대신 Leaky ReLU를[3] 사용하여 비활성화 노드에서도 그래디언트가 소실되는 것을 방지한다. 이러한 접근 방식은 관련 특징을 처음부터 학습하는 데 소요되는 시간을 줄이고, 모델의 일반화 성능을 향상시킨다. 네트워크의 모든 합성곱 레이어 후에는 배치 정규화(BatchNorm)를 적용하여 내부 공변량 변화를 감소시키고, 학습 과정을 더욱 안정화한다.

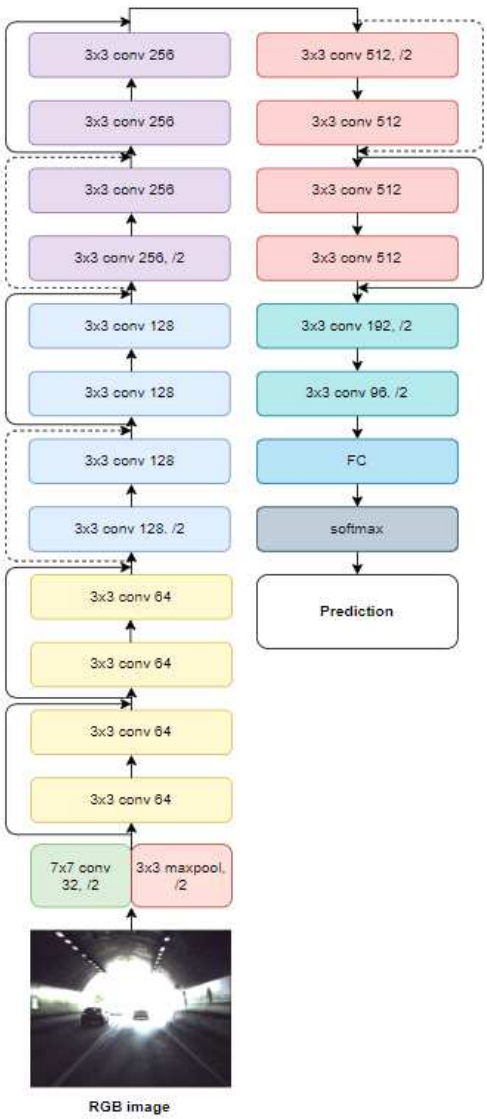

그림 1. 제안하는 네트워크 아키텍처

ResNet 네트워크는 비정형 객체에 대한 검출 능력이 뛰어나며, 추가된 정규화 과정을 통해 폐색 이미지에 대한 반응성을 더욱 높인다. 이를 통해 원본 이미지에 포함된 폐색을 보다 정교하게 탐지할 수 있다.

딥러닝 모델의 특징맵 검출 후, 3x3 합성곱 연산을 수행하여 고차원 특징을 추출한다. 이를 통해 입력 이미지에서 추출된 저수준 특징들을 결합하고 의미있는 특징을 도출한다. 그리고 완전 연결 레이어(Fully Connected Layer)와 소프트맥스(Softmax) 함수를 통해 최종적으로 폐색 이미지를 검출한다. 완전 연결 레이어는 이전 단계에서 추출된 특징들을 받아들여 각 특징들이 가중치를 학습하여 최종적으로 폐색 여부를 결정하는데 활용된다. 소프트맥스 함수는 각 폐색 정도에 따른 범위에 대한 확률 분포를 생성하여 입력 이미지가 각 클래스에 속할 확률을 추정한다. 폐색된 이미지는 폐색 정도에 따라 10%, 20%, 30%, 40%, 50%의 범주로 분류되어, 각 상황에 맞는 정밀한 대응이 가능하게 한다.

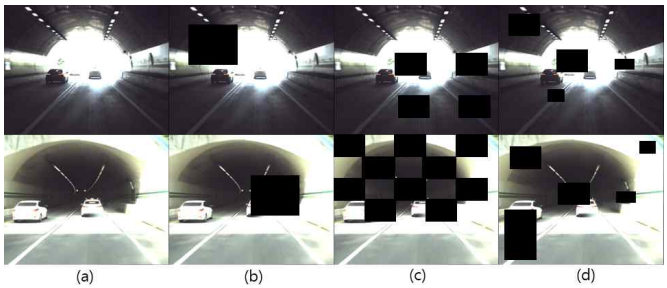

그림 2. 카메라 폐색 영상; (a)원본 영상, (b)랜덤 삭제, (c)그리드 마스크, (d)그리드 컷

그러나, 단순히 폐색률만으로는 화면 폐색의 위험도를 정확히 평가하기 어려울 수 있다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 화면 폐색에는 다양한 종류가 있으며, 이는 주로 카메라 렌즈에 먼지, 물방울, 혹은 기타 물체가 달라붙거나 덮이는 것으로 발생한다. 폐색의 심각성은 그 크기와 위치에 따라 달라지며, 자율주행 차량에는 특히 중앙에 위치한 폐색이나 넓은 폐색이 전방의 장애물을 감지하는 데에 큰 영향을 미칠 수 있다.

예를 들어, 그림 2.(b)에서 볼 수 있는 것처럼, 폐색률은 약 10%로 비교적 낮지만, 폐색된 영역이 중앙에 위치하고 넓기 때문에 전방의 차량을 감지하는 데에 어려움을 겪을 수 있다. 반면에, 그림 2.(c)에서는 폐색률이 약 40%로 높지만, 폐색된 영역이 작고 각각이 개별적으로 분포되어 있어 전방 차량을 감지하는 데에는 비교적 어려움이 적다.

특히, 자율주행 차량의 경우에는 최대 60km/h의 속도로 주행하며, 안전한 운행을 위해서는 제동거리를 고려해야 한다. 일반적으로, 50m의 제동거리를 확보해야 하며, 이를 기준으로 50m 거리의 일반적인 객체의 크기를 기준으로 폐색 넓이의 최소 크기를 정의했다.

Ⅲ. 실험방법 및 결과

본 장에서는 실험에 사용된 테스트 셋과 실험 결과에 대하여 설명한다. 카메라는 거리에 따라 이미지 내에서 객체가 차지하는 비율이 달라지기 때문에 폐색률을 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% 총 6개의 단계에 클래스는 나누어 검출한다. 실험에 사용된 데이터셋은 자율주행 차량을 위한 공개 데이터인 KITTI 데이터 셋으로, 총 7,481장의 이미지 중 80%인 5,984장을 학습 데이터로, 나머지 20%인 1,497장을 테스트 데이터로 사용하였다. 학습데이터는 각 클래스 별로 동일한 비율로 데이터를 생성 했으며 폐색상자와 폐색 위치는 가우시안 랜덤변수를 생성하여 데이터 셋을 구성하였다.

표 1. 제안한 알고리즘 성능평가 결과

	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Ours	0.992	0.984	0.981	0.981	0.982	0.985

검출된 결과에 대해서는 F-measure의 지표에 대해서 평가를 진행하였으며, 표 1은 제안한 알고리즘에 대해서 평가한 결과를 나타낸다. 제안한 알고리즘은 평균 0.984의 분류 정확도를 갖는다.

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 카메라 폐색 검출을 위한 딥러닝 기반의 분류모델을 구현하고 성능평가를 진행했다. 고도화된 ResNet-18 네트워크와 Leaky Relu 활성화 함수를 통해 폐색 문제를 효과적으로 감지하고 분류했다. 제안된 알고리즘은 높은 분류 정확도를 보여 자율주행 차량의 신뢰성 있는 운행에 기여할 수 있는 가능성을 확인 하였다. 추후 연구에서는 더욱 다양한 환경과 조건에서 검증하고 폐색률에 대한 위험단계를 정의할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정보통신기획평가원 자율주행 기술개발 혁신사업(과제번호: RS-2023-00229833)의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제명: 클라우드 기반 자율주행 차량 오류 및 한계 상황 지능형 원격지원 기술 개발)

참 고 문 헌

[1] Zongbiao. W. "Review: A Survey on Objective Evaluation of Sharpness," Appl. Sci, 13(4), 2652, 2023.

[2] Joon-Yong, J. “Multiple Pedestrians Tracking using Histogram of Orientend Gradient and Occlusion Detection," KCI, pp 812-820, 2012.

[3] Shamir, A. "Online Camera-LiDAR Calibration with Sensor Semantic Information," ICRA, pp. 4970-4976, Aug, 2020.