

# 자율주행 센서의 고장대응 방안에 관한 연구

이정은\*, 김병우\*\*

\*울산대학교 전기전자컴퓨터공학과

\*\*울산대학교 전기공학부

e-mail:rotnn429@naver.com

## A Study on Implementing an Autonomous Vehicle Response to Sensor Failure

Jung-Eun Lee\*, Byeong-Woo Kim\*\*

\*Dept. of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan

\*\*Dept. of Electrical Engineering, University of Ulsan

### 요약

Weather or collisions can cause unpredictable situations, such as malfunction of environmental sensors or disconnection of cables. In addition, safety from environmental sensors is an important factor for the development of fully autonomous vehicles. Therefore, this paper aims to develop a fail operational system in preparation for sensor failure in an autonomous driving system. The proposed fail operational system consists of fault diagnosis and signal generation for cameras and LiDAR sensors. First, sensor fault diagnosis is implemented based on fault codes. Second, the signal consists of object recognition and relative distance estimation. The performance of the proposed system was analyzed through system integration, and it was confirmed that it operates robustly at a speed of about 25 FPS even in the event of a failure.

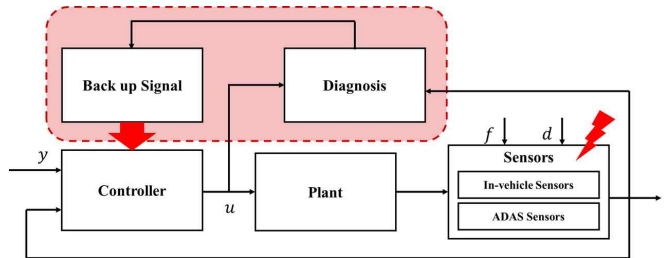
### 1. 서론

자율주행의 편리성과 사용 가치가 널리 인식됨에 따라, 자율주행은 자동차 분야에서 큰 이슈가 되었다.[1] 운전자의 개입 없는 자율주행을 위해서는 주행 안전성 유지가 매우 중요하다. 국제자동차기술협회(SAE, Society of Automotive Engineers) J3016에 따르면 자율주행 시스템 레벨 2와 3은 주행 중 시스템 고장 발생시 운전자에게 제어권 전환을 요청하여 주행 안전성을 유지해야 한다. 더 나아가 레벨 4와 5 수준의 시스템에서는 운전자의 개입 없이도 시스템 안전성을 유지해야 한다.[2]

자율주행 자동차는 일반적으로 인지, 판단, 제어 기술로 이루어진다. 대부분의 자율주행 자동차는 환경 인지 센서를 통해 주변을 인식하고 판단하기 때문에, 환경 인지 센서는 정밀한 상황 인지 및 판단을 위한 중요한 요소이다. 그러나 주행 중 날씨 및 충돌 등에 의해 센서의 오동작이나 케이블 단절과 같은 예상치 못한 상황이 발생할 수 있다.[4] 따라서, 완전 자율주행 자동차로 발전됨에 따라 환경 인지 센서에 대한 안전성을 확보하는 것이 점점 더 중요하게 되었다. 이에 본 논문은 자율주행 시스템의 센서 고장에 대비한 Fail Operational 시스템 개발을 목표로 한다.

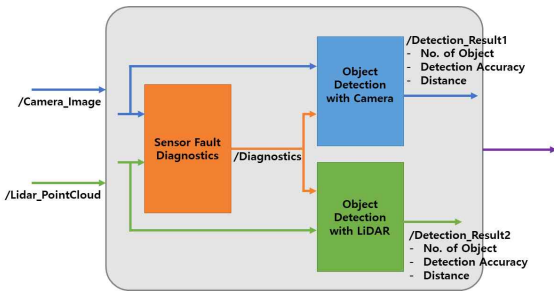
### 2. 시스템 구성

자율주행 시스템의 센서 고장에 대비한 Fail Operational 시스템을 그림 1과 같이 구성된다. 센서에 고장이 발생하였을 때, 이에 대한 고장진단을 하고, 고장대응 신호를 생성한다.



[그림 1] 자율주행 Fail Operation 시스템

본 논문에서는 환경 인지 센서에 대한 Fail Operation을 위하여 그림 2와 같이 시스템 구성도를 상세화하였다. 카메라와 라이다 센서 데이터를 받았을 때, 고장 코드를 기반으로 고장 진단을 한다. 또한, 해당 고장진단 결과에 따라 나머지 인지 센서를 이용하여 객체 인지를 한다. 자율주행의 종방향 주행 안전도를 판단이 중요하고, 이를 위하여 객체의 상대거리를 추가로 추정하였다.



[그림 2] 센서 고장대응 시스템 구성도

### 3. 센서 고장 진단

자율주행에서 전방에 대한 객체와 환경 감지에 사용되는 센서는 통상적으로 라이다, 레이더, 카메라 등이 사용된다. 본 논문에서는 차량 센서의 용도를 표 1과 같이 정의하였다.

대상 차량의 센서 고장 코드(DTC, Diagnostic Trouble code)를 분석한 결과는 표2와 같이 분류된다. 분석된 고장 코드를 통해 환경 인지 센서의 고장을 진단하였다.

[표 1] 자율주행 센서의 종류 및 용도

센서	용도
카메라(Camera)	전방 객체(차량, 보행자, 표지판, 차선, 신호등 등) 감지
라이다(LiDAR)	전/후/측 방향 객체 감지

[표 2] 자율주행 센서의 고장 분류

고장	비고
단선/단락	전원 및 통신 히로 단선/단락
접촉 불량	커넥터 연결 불량
센서 결함	부품 결함, 부품 파손등

### 4. 고장대응 신호 생성

#### 4.1 객체 인식

객체 인식은 자율주행을 구현을 위한 중요한 요소기술이다. 이에 따라 Darknet과 같은 객체 인식 프레임워크가 활발하게 개발되고 있으며, 이들은 주로 카메라 한 대에 초점을 맞추어 개발하고 있다.[5] 하지만 카메라가 고장 발생 시, 시스템은 멈추고 시스템 안전성에 치명적인 문제를 야기한다. 따라서 본 논문에서는 다중 환경 인지 센서를 이용하여 시스템 안전성을 보완하였다.

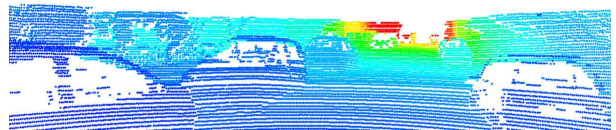
자동차는 고속 주행하기 때문에 객체 인식 결과에 지연이 발생시 큰 인명 피해가 발생한다. 따라서, 객체 인식은 신속하고 정확하게 이루어져야 한다. 객체 인식의 발전을 위하여 여러 객체 인식 알고리즘이 개발되었다. 특히 Yolo와 그 프레임워크인 Darknet은 높은 정확성과 빠른 속도 때문에 많은 자율주행 시스템에

서 이용되고 있다.[6] 따라서, 본 논문에서는 YoloV3 기준으로 카메라 기반 객체 인식을 진행하였다.

라이다는 3차원 공간에 대한 정보를 포함하는 Point Cloud 형식의 데이터 취득된다. 특히 거리에 대한 센서 정확도가 높아 자율주행에서 많이 사용되는 추세이다. 라이다 기반의 객체 알고리즘인 PointNet은 Point Cloud를 별도의 전처리 없이 입력으로 바로 사용 가능하여 주목을 받고 있다. 그러나 해당 방법은 연산량이 크고 속도가 느리다는 한계점을 갖고 있다. 따라서, 본 논문에서는 그림 3의 (b)와 같이 Point Cloud를 투영시킨 Projection Image로 변환 후, 카메라와 동일한 YoloV3를 이용하여 객체를 인식하였다.[7]



(a) 카메라 이미지(원본)



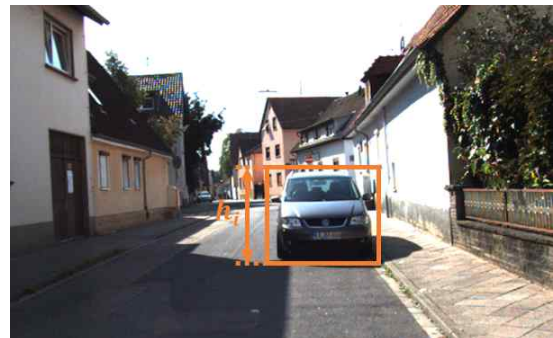
(b) 라이다 이미지

[그림 3] 객체 인지 데이터셋 예시

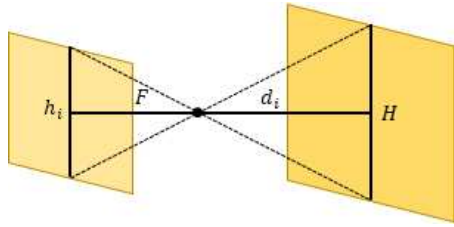
#### 4.2 객체 거리 추정

자율주행에서 충돌 위험도 평가를 위하여 객체의 상대거리는 중요한 파라미터이다. 본 논문에서는 인지된 객체 중 관심 영역에 있는 차량에 대하여 상대거리를 계산하였다.

그림 4와 같이 이미지에서 N개의 객체 중 i번째 차량의 높이를  $h_i$ 라고 할 때, 실제 차량의 높이를 H라고 한다.  $h_i$ 는 픽셀 단위로 측정되며, 인치당 픽셀 수(PPI, Pixel per inch)는 5,462이다. 카메라의 초점 거리를 F, 카메라에서 i번째 차량까지의 거리를  $d_i$ 라고 하였다. 또한, 본 논문에서는 차량의 높이를 각각 Van 7 ft, SUV 6 ft, 승용차 4.7 ft로 가정하였다.



[그림 4] 이미지 상 차량의 높이



[그림 5] 삼각형의 닮음

삼각형의 닮음에 의해 식(1)과 같이 파라미터들 간의 관계를 나타낼 수 있다.[8] 이를 통해 관심대상인  $i$ 번째 차량의까지의 거리  $d_i$ 는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$d_i/H = F/h_i \quad (1)$$

$$d_i = HF/h_i \quad (2)$$

## 5. 시뮬레이션 결과

객체 인식의 학습과 검증에는 KITTI 데이터셋을 이용하였다. 7481개의 이미지를 80:20 비율로 나누어 각각 5986/1495개의 이미지를 학습/검증에 사용하였다. 또한, 환경 인지 센서의 소실을 통해 고장을 모사하였고, 이를 통해 고장대응 신호 생성 속도 및 정확도를 검증하였다.

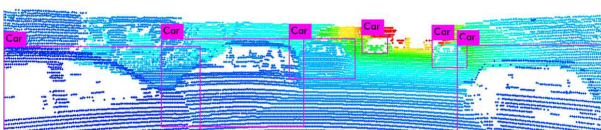
객체 인식의 성능을 평가하기 위해 mAP와 F1-score를 지표로 사용하였다. 해당 지표는 Recall과 Precision 간의 관계에서 정확도를 평가한다. 그림 6과 표 3은 고장대응 신호 생성 결과를 나타낸 것이다. 두 센서 모두에서 인지 정확도가 높은 것을 확인할 수 있다. 또한, 환경 인지 센서의 고장대응 신호 생성 속도는 약 25fps로 실시간 동작함을 확인하였다.

[표 3] 고장대응 신호 정확도

Accuracy \ tIoU	0.5	0.7
mAP	0.905	0.586
F1-score	0.94	0.79



(a) 카메라 기반 객체 인지



(b) 라이다 기반 객체 인지

[그림 4] 객체 인지 결과 예시

## 6. 결론

본 논문에서는 자율주행 자동차의 인지 센서의 고장에 대한 Fail Operation 시스템을 구성하였다. 먼저 고장 코드를 기반으로 환경 인지 센서의 고장을 진단하였다. 카메라와 라이다 센서 중 하나에 고장이 발생 하였을 때, 고장진단 결과에 따라 나머지 센서로 대응 신호를 생성하였다. 고장대응 신호로는 객체 인지와 상대거리 추정하였다. 객체 인식은 정확도와 연산 속도 향상을 위해 Yolov3를 이용하였다. Yolov3는 이미지를 입력으로 하기에 라이다 데이터는 전처리 통해 이미지로 변환하였다. 제안한 시스템 구성을 통해 인지 센서의 고장 상황에서도 강인하게 동작함을 확인하였다.

## 감사의 글

이 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원 (KEIT)과 한국산업기술진흥원(KIAT) 연구비 지원에 의한 연구임(20015831, P0015268)

## 참고문헌

- [1] Tech. AD, in Annual Conference on Automated Driving, Conference Proceedings, Berlin, Feb, 2015
- [2] SAE International, "Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems", SAE Standard J3016\_201806, pp. 1-35, June, 2018.
- [3] J. Wei, J. M. Snider, J. Kim, J. M. Dolan, R. Rajkumar and B. Litkouhi, "Towards a viable autonomous driving research platform," 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), pp. 763-770, June, 2013.
- [4] 황영서, 이명수, 이윤화, 김봉섭, 임태호, "자율주행 차량의 센서 고장으로 인한 Fallback 상황에서의 Minimal Risk Condition 달성에 관한 연구", 한국통신학회 학술대회논문집, Vol.2022 No.2, pp. 1011-1012, 2월, 2022년.
- [5] J. Redmon, "Darknet: Open source neural networks in c", 2013.
- [6] J. Redmon, A. Farhadi, "Yolov3: An incremental improvement," arXiv, April, 2018.
- [7] J. Lee, B. Kim, 2D Object Detection Method based on LiDAR Point Cloud, 2021년 한국산학기술학회 추계 학술발표논문집, pp. 505-507, 12월, 2021년.
- [8] M. M. Karim, Y. Li, R. Qin, Z. Yin, "A system of vision sensor based deep neural networks for complex driving scene analysis in support of crash risk assessment and prevention", arXiv, June, 2021.