

# 자율주행을 위한 실패 인지 학습 기반 다중 컨볼루션 신경망 제어기

이창우, 정기석\*

한양대학교

[cwl30@hanyang.ac.kr](mailto:cwl30@hanyang.ac.kr), \*[kchung@hanyang.ac.kr](mailto:kchung@hanyang.ac.kr)

## Ensemble Convolutional Neural Network Controller based on Failure-aware Training for Autonomous Driving

Chang Woo Lee, Ki-Seok Chung\*

Hanyang University, Seoul, Korea

### 요약

본 논문은 실패 인지 학습이 가능한 다중 컨볼루션 신경망의 제어기를 제안한다. 자율주행 시스템에서는 안전을 위해 여러 개의 컨볼루션 신경망을 사용할 수 있는데, 높은 확률로 에러가 발생하는 환경에서는 다중 컨볼루션 신경망을 사용하여도 불안정한 특성을 보인다. 이를 극복하기 위해 본 논문에서 제안하는 제어기는 인공신경망의 형태로서, 심각한 에러가 발생하는 환경에서도 전체적인 시스템이 안정적으로 작동하도록 학습한다. CIFAR-10 데이터셋을 이용하여 연산기와 센서의 오작동이 일어나는 가상의 상황에서 실험을 진행할 때, 제안하는 제어기는 84.1%의 안정적인 정확도 보인다.

### I. 서론

컨볼루션 신경망 (Convolutional Neural Networks, CNNs)은 물체 인식이나 이미지 분류 등 다양한 영상 처리 문제를 해결하는데 있어 비약적인 발전을 거듭해오면서, 자율주행 기술을 구현하는데 있어 큰 역할을 하고 있다 [1][2]. CNN이 사용되는 많은 어플리케이션 중 자율주행은 안전성을 보장하는 것이 중요하다. 특히 완전한 자율주행을 구현하기 위해서 차량은 다양한 돌발 상황이 발생하여도 인간이 개입되지 않은 채 기계 스스로 센서를 통해 들어온 정보를 통해 안전하게 주행을 수행하는 능력을 갖추어야 한다.

하지만 CNN 기반 객체 인식 등의 기계학습은 이러한 안전성을 측정하고 검증하는데 있어 부적합한 특성을 가지고 있다. 먼저 기계학습이 아닌 소프트웨어는 ISO 26262 [4] 와 같은 안전 표준에 의해 위험 인자를 예측하고 이를 검증할 수 있다. 기계학습용으로 구현된 소프트웨어의 경우 내부적인 요소에 대해 사람이 파악할 수 없기 때문에 이러한 설계와 검증이 어렵다. 따라서 CNN 기반 소프트웨어는 기존의 경우 다양한 상황에 대해 학습하고, 학습에 사용되지 않은 데이터를 기반으로 성능을 검증하는 방식을 주로 택한다.

CNN 기반 소프트웨어의 다른 문제점은 하드웨어의 오류로 인해 잘못된 값이 입력으로 주어질 경우 예측하지 못한 결과를 초래할 수 있다. 예를 들어 잘 학습된 네트워크가 먼지나 비에 의해 입력이 왜곡될 경우 정확도가 매우 감소할 수 있다. 또한 하드웨어 장치가 오작동을 할 경우, CNN 기반 자율주행 차량은 매우 치명적인 실패 (failure)로 이어질 수 있다. 따라서 안정성을 보장하기 위해 서로 다른 여러 개의 네트워크를 묶어서 사용할 수 있다 [6]. 이러한 묶음 네트워크 (Ensemble Network)는 하나의 네트워크에 비해 성능이 더 우수할 뿐만 아니라, 센서의 인식 오류나 하드웨어 장치의 오류에 조금 더 유연한 대처가 가능하다.

서로 다른 여러 개의 네트워크를 제어하는 기법으로는 크게 각 네트워크에서 예측한 결과를 통한 투표 방식 (voting) 과 평균 합산 방식

(averaging)이 있다. 하지만, 본 논문에서 진행한 실험의 결과를 볼 때, 이러한 방식은 오류의 발생 확률이 급격히 증가하는 상황에서 시스템 전체의 실패로 이어질 가능성이 있다.

따라서 본 논문에서는 능동적으로 오류의 발생 상황에 대해 학습 가능한 Ensemble Network 제어기를 제안한다. 본 논문에서 사용하는 제어기는 기존의 Ensemble CNN 시스템의 최종 출력 직전에 위치하는 인공신경망의 한 형태로서, 각 CNN의 출력과 학습 가능한 가중치를 이용하여 최종 출력을 판단한다. 학습 가능한 가중치를 사용하면 각종 에러가 발생하는 환경에 대해 미리 학습을 하고, 이를 통해 어떠한 네트워크에서 에러가 발생하였는지 인지하여 능동적인 대처가 가능하다.

본 논문에서는 실패 인지 학습을 통한 Ensemble Network 제어의 효율성을 보이기 위해 연산 장치와 센서에서 실패가 발생하는 시뮬레이션 환경을 구성하고, ResNet-14 [3] 네트워크와 CIFAR-10 [5] 데이터셋을 사용하여 voting 및 averaging과 함께 비교하였다. 최종적으로 제안하는 네트워크 제어기는 실패가 많이 일어나는 환경에서 다른 제어 방법에 비해 보다 안정적인 정확도를 보였다.

### II. 본론

기계학습을 이용한 자율주행 시스템에서는 예상치 못한 오류를 방지하기 위해 다수의 서로 다른 네트워크를 여러 개 병렬로 연결하여 사용할 수 있다 [6]. 여기서 서로 다른 네트워크란 각자 독립적인 환경에서 서로 다른 변수로 초기화되어 학습된 네트워크를 의미한다. 또한 학습이 불충분하게 이루어져 생기는 오류 뿐 아니라 하드웨어 상의 문제로 인해 CNN이 전혀 다른 값을 도출하는 경우 또한 오류라고 볼 수 있다.

기존의 방법에서는 주로 각 CNN의 출력단에서 나오는 결과를 모아 투표를 통해 최종 출력을 결정하거나 (voting), 결과의 평균값을 이용한다 (averaging). 하지만 이러한 결정 방식은 오류가 급증하는 상황에서 효율성이 떨어질 수 있다 (표 1).

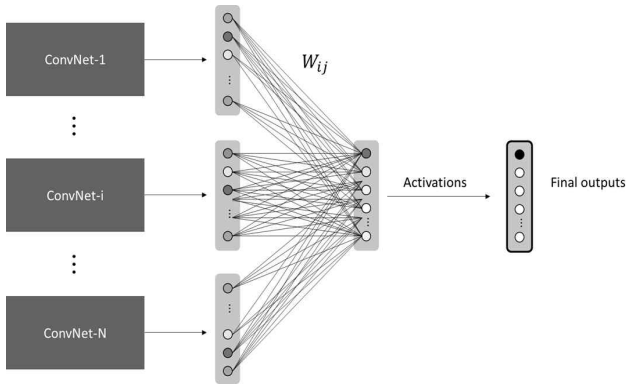


그림 1 학습 가능한 가중치 ( $W_{ij}$ )를 이용한 ensemble CNN 제어기.

따라서 본 논문에서는 미리 다양한 오류 상황에 대해 학습이 가능한 Ensemble System 제어 모듈을 제안한다. 본 논문에서는 각 CNN의 출력들을 모아 학습 가능한 가중치를 부여하는 방식으로 최종 출력을 결정한다. 먼저 하나의 Ensemble System에 N개의 서로 다른 네트워크가 각각 M개의 class를 분류할 때, 제어기의 입력은 총  $M \times N$  개의 1차원 벡터 ( $x_i \in [x_1, x_2, \dots, x_{M \times N}]$ )가 된다. 이를 최종적으로 M개의 class를 분류하는데 사용하기 위해, 학습 가능한  $(M \times N) \times M$ 개의 변수를 부여한다. 이는 기존의 CNN에서 사용하는 fully-connected layer의 형태로 나타낼 수 있다 (그림 1). 즉, j 번째 최종 출력은 다음의 형태로 나타낼 수 있다.

$$y_j = \sum_{i=1}^{M \times N} W_{ij} \times x_i .$$

위의 형태를 가진 제어기는 기존의 방식과는 다르게, 다른 클래스의 결과를 참고한다. 이를 통해 제어기는 어떠한 CNN에서 에러가 발생하는지 알 수 있다.

우리는 오류가 발생하는 상황을 크게 두 가지로 정의한다. 첫 번째는 입력 센서의 불완전한 작동으로 인한 오류 (noise)이며, 두 번째는 전체적인 연산 장치가 불완전하게 작동하여 생기는 문제 (shutdown)이다.

오류를 인지할 수 있도록 제어기 내부의 인공지능망의 가중치를 학습시키기 위해, 본 논문에서는 의도적으로 연산 장치, 그리고 센서의 실패를 일으키는 시뮬레이션 환경에서 실험을 진행한다. 그리고 시뮬레이션 환경에서 발생시킨 오류가 담긴 Ensemble CNN의 출력을 제어기의 입력으로 사용하며 stochastic gradient descent [7] 방식을 통해 변수 최적화를 진행한다. 변수 최적화를 위한 목적 함수는 기존의 CNN에서 사용하는 다항 분류를 위한 목적 함수를 사용할 수 있다. 실험을 위해 Ensemble Network 제어 모듈은 noise의 경우 0.3의 확률, shutdown의 경우 0.01의 확률이 발생하는 환경에서 학습된다. 전자의 경우 Ensemble CNN의 입력 이미지에 salt-and-pepper 노이즈를 주었고, 후자의 경우 CNN의 출력을 (0, 1)의 random noise로 치환하였다. 실험은 노이즈가 전혀 없는 상황 (normal), noise, shutdown 그리고 noise와 shutdown (S+N)이 동시에 발생하는 상황을 가정하여 진행하였다.

본 논문에서는 총 3개의 ResNet-14 [3] 네트워크를 사용하며, 각각의 네트워크는 다른 환경에서 CIFAR-10 [5] 학습 데이터 50,000장으로 미리 학습되었다. 정확도 검증은 CIFAR-10 테스트 이미지 10,000장을 사용한다. 실험 결과 제안하는 ensemble 네트워크 제어기는 noise와 shutdown이 동시에 일어나는 환경에서 84.13%의 정확도를 보인다. 반면, averaging과 voting의 경우 각각 83.19%와 42.87%의 성능을 보인다 (표 1). 즉, 실패에 노출되어 그 상황을 미리 학습하는 경우, 제안하는 제어기를 사용하는 Ensemble Network는 더욱 안정적인 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

	Ours	Averaging	Voting
Normal	90.33	<b>92.51</b>	81.06
Shutdown	90.30	<b>92.49</b>	79.57
Noise	<b>83.31</b>	80.95	44.85
S+N	<b>84.13</b>	83.19	42.87
Baseline	90.51	90.51	90.51

표 1 제안하는 제어기와 averaging, voting의 정확도 비교 결과.

어떠한 에러도 일어나지 않는 환경 (normal)에서는 averaging 방법이 가장 높은 성능을 보이는데, 이는 여러 개의 네트워크가 각각 서로의 실수를 보완하기 때문이라고 해석할 수 있다. 하지만 제안하는 제어기는 기본 모델 (baseline)과 비교하였을 때 큰 성능 차이를 보이지 않기 때문에, 심각한 오류가 자주 발생하는 상황을 가정하였을 경우 합리적인 방법이다.

### III. 결론

본 논문에서는 자율주행을 위해 Ensemble 네트워크를 사용하는 과정에서, 보다 높은 안정성을 보장하기 위한 네트워크 제어기를 제안한다. 학습 가능한 가중치를 통해 네트워크의 출력 중 에러가 발생한 네트워크가 어떤 것인지 학습하기 때문에 제안하는 제어기는 기존의 방법에 비해 에러가 많이 발생하는 환경에서도 보다 안정적인 성능을 보인다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 산업통상자원부 ‘산업전문인력역량강화사업’의 재원으로 한국 산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임. (2018년 지능형반도체 전문인력 양성사업, 과제번호: N0001883)

### 참 고 문 헌

- [1] Krizhevsky, Alex, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton. "Imagenet classification with deep convolutional neural networks." *Advances in neural information processing systems*. 2012.
- [2] Long, Jonathan, Evan Shelhamer, and Trevor Darrell. "Fully convolutional networks for semantic segmentation." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2015.
- [3] He, Kaiming, et al. "Deep residual learning for image recognition." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2016.
- [4] ISO, ISO26262. "26262: Road vehicles-Functional safety." *International Standard ISO/FDIS 26262* (2011).
- [5] Krizhevsky, Alex, and Geoffrey Hinton. *Learning multiple layers of features from tiny images*. Vol. 1. No. 4. Technical report, University of Toronto, 2009.
- [6] Ribeiro, David, et al. "Multi-channel Convolutional Neural Network Ensemble for Pedestrian Detection." *Iberian Conference on Pattern Recognition and Image Analysis*. Springer, Cham, 2017.
- [7] Bottou, Léon. "Large-scale machine learning with stochastic gradient descent." *Proceedings of COMPSTAT'2010*. Physica-Verlag HD, 2010. 177-186.