

주행 시 행동 인식을 위한 딥러닝 기반 비선형 전처리 기법

백한결, 하유정, 유민재, 정소이, 김중헌

고려대학교 전기전자공학과

67back@korea.ac.kr , annahal7@korea.ac.kr , mj7015@korea.ac.kr , jungsoyi@korea.ac.kr ,
joongheon@korea.ac.kr

Neural Architectural Nonlinear Pre-Processing for mmWave Radar-based Human Gesture Perception in On-Driving Scenarios

Hankyul Baek, Yoo Jeong Ha, Minjae Yoo, Soyi Jung, and Joongheon Kim

Korea Univeristy, Department of Electrical and Computer Engineering

요약

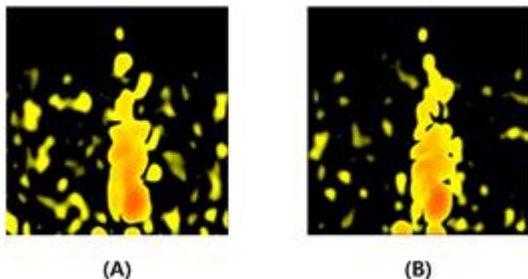
본 논문은 CNN을 활용한 두가지 딥러닝 모델인 U-Net과 EfficientNet을 활용하여 mmWave Radar를 통하여 측정된 Doppler Range map 이미지 안의 노이즈를 제거 및 동작을 인식하는 방법을 제시하였다. 또한 이를 통하여 다양한 설정 환경에서의 mmWave레이더 데이터 통합 전처리 방식을 제안한다.

I. 서론

본 논문에서는 최근 자율 주행 자동차, 손동작 인식 등의 분야에서 활용 가치가 높은 mmWave 레이더 이미지의 딥러닝 모델을 통한 전처리 및 물체 인식 방법을 제시한다. 간단한 손동작 인식에서부터 자율 주행 차량의 앞 뒤 차량 인식과 같은 오차가 주요한 이슈에 이르기까지 다양한 분야에서 mmWave 레이더가 주목받게 되면서 mmWave 레이더의 노이즈를 최소화하고 이를 통하여 정확도를 최대화하려는 연구가 주목받고 있다 [1]-[6]. 특히 다양한 산업 현장에 mmWave 레이더 센서를 적용하기 위해 기기의 오차 최소화, 센싱 임계 값의 최적화 등의 기술들이 연구되고 이에 맞추어 본 논문에서는 CNN에 기반한 딥러닝 모델을 사용한 노이즈 제거 및 물체 인식 알고리즘을 통하여 실제 산업 현장에서 중요한 이슈들로 부각 받고 있는 mmWave 레이더 기기간의 오차를 최소화하고 더불어 센싱 임계 값의 최적화를 이루어 낼 수 있는 알고리즘을 제안한다.

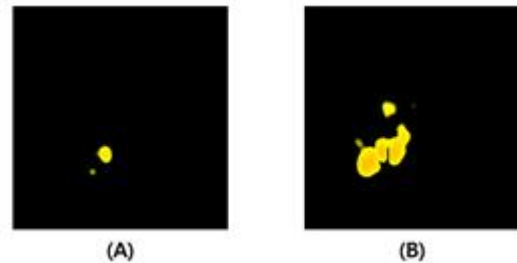
본 논문에서는 mmWave 레이더를 통한 물체 인식 문제를 수행하기 위하여 mmWave Radar로 측정된 신호를 Range Doppler Map으로 구성하였다. mmWave Radar를 사용하여 동작을 인식할 때 다음과 같은 주요 개선점을 발견하였다.

1. 동일 신호라도 측정 센서에 따라 측정되는 노이즈의 세기가 상이함
2. 환경 및 목적에 맞는 측정 임계 값 설정이 필요함



[그림 1] 서로 다른 두 안테나로 측정된 동일한 손동작 신호의 Range Doppler Map

[그림 1]에서 볼 수 있는 것처럼 동일한 환경에서 동일한 핸드 제스처를 취했을 때에도 센싱 안테나마다 노이즈를 측정하는 정도가 다를 수 있다.



[그림 2] 서로 다른 Threshold를 통해 측정된 동일 손동작 신호의 Range Doppler Map, 왼쪽부터 (Threshold(A) : -70dB, Threshold(B) : -85dB)

또한 [그림 2]에서 볼 수 있는 것처럼 노이즈를 최소화하고자 임계 값을 과도하게 높이면 본래 신호가 훼손되어 실제 Signal의 의미를 파악하지 못할 수 있다. 이러한 개선점들을 포착하여 딥러닝을 활용한 영상처리 기법을 차용하여 mmWave radar 센서의 기기 간 편차를 줄이고 이를 통해 실제 동작을 인식하는 과정에 있어서 범용성을 확보하고자 하였다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 모델은 노이즈가 없는 손동작의 도플러 range map 이미지를 얻기 위하여 노이즈가 존재하는 이미지를 Pretrained 된 U-Net에 적용시키면 나오게 되는 Denoised 된 이미지를 CNN을 기반으로 훈련된 Classification 모델에 넣어 동작을 인식하게 한다. 위와 같은 모델 적용 시 노이즈가 상당 수 제거된 이미지가 Classification 모델 안으로 들어가게 되어 동작 인식의 정확도를 보장함과 동시에 과도한 임계 값 설정으로 인해 신호가 훼손되는 현상을 막을 수 있다.

위 제안하는 기본 모델을 구현할 때 한가지 문제가 발생한다. 하나의 안테나를 사용하여 도플러 렌지 맵의 이미지의 노이즈를 제거할 때, Ground Truth로 설정할 이미지와 노이즈 제거를 할 이미지를 동시에 추출할 수 없다는 것이다. 2개 이상의 안테나를 사용할 경우 동작이 같다고 하여도

도플러 이미지간 편차가 존재하기 때문에 노이즈 제거 모델의 결과물로 나온 Output의 진위여부를 확신할 수 없다.

따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위해 Ground Truth로 설정할 이미지와 동작이 없는 상태에서 측정되는 노이즈 이미지를 결합하여 Synthetic Noisy 이미지를 생성한 후 이를 노이즈 제거 모델에 학습시키는 방법을 사용하였다. 특정 Noise에만 작동하는 것을 방지하고자 각자 다른 임계 값 두 가지로 측정한 3,000 장의 노이즈 이미지를 랜덤하게 섞어주고 이중 하나를 추출하여 Ground Truth 이미지로 설정한 Range Doppler Map 이미지와 결합하여 Synthetic Noisy Image를 생성하는 방법을 적용하였다.

III. 실험

제안하는 알고리즘의 효용성을 확인하기 위하여 실험은 다음과 같이 구성되었다. mmWave Radar로는 Inferion 사의 BGT60TR13C 모델을 사용하였다. mmWave Radar의 임계 값을 -95dB, -100dB로 설정하여 각각 10,000 개의 노이즈 이미지를 추출하였다. mmWave Radar를 사용하여 4 방향의 손동작을 구분하여 데이터셋을 각각 3,000 장씩 만들었다. 이후 Synthetic Noise Generation 방법을 사용하여 랜덤하게 추출된 Noise 이미지와 4가지 방향 손동작 신호의 Range Doppler Map을 결합하여 Synthetic Noise 이미지를 생성하였다. 이후 U-Net을 결과로 Noise가 제거된 이미지를 입력값으로 하여 EfficientNet을 통해 4가지 방향의 손동작을 Classification하였다. 이를 통하여 제안하는 알고리즘을 통하여 mmWave Radar기반 분류를 수행할 시에 90%의 분류 성능을 보임을 확인하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 차량 응용 분야에 사용하기 위하여 mmWave 레이더를 기반으로 한 동작 인식 알고리즘을 제안한다. 그 중에서도 딥러닝 기반으로 전처리기를 설계하였으며 그에 대한 성능평가는 실제 환경을 고려한 실측 데이터를 기반으로 수행하였다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by National Research Foundation of Korea (2019R1A2C4070663).

참 고 문 헌

- [1] J. Kim, S. Kwon, G. Choi, Performance of video streaming in infrastructure-to-vehicle telematic platforms with 60-GHz radiation and IEEE 802.11ad baseband, IEEE Transactions on Vehicular Technology 65 (12) (2016) 10111 - 10115.
- [2] J. Kim, A. F. Molisch, Fast millimeter-wave beam training with receive beamforming, Journal of Communications and Networks 16 (5) (2014) 512 - 522.doi:10.1109/JCN.2014.000090.
- [3] R. Zhang, S. Cao, Real-time human motion behavior detection via CNN using mmWave radar, IEEE Sensors Letters 3 (2)(2019) 1 - 4.doi:10.1109/LSSENS.2018.2889060.
- [4] Y. Almalioglu, M. Turan, C. X. Lu, N. Trigoni, A. Markham, Milli-RIO: Egomotion estimation with low-cost millimetre-wave radar, IEEE Sensors Journal 21 (3) (2021) 3314 - 3323.doi:10.1109/JSEN.2020.3023243.

- [5] Z. Zhao, Y. Song, F. Cui, J. Zhu, C. Song, Z. Xu, K. Ding, Point cloud features-based kernel SVM for human-vehicle classification in millimeter wave radar, IEEE Access 8 (2020) 26012 - 26021.doi:10.1109/ACCESS.2020.2970533.
- [6] A. Sengupta, F. Jin, R. Zhang, S. Cao, mm-Pose: Real-time human skeletal posture estimation using mmWave radars and CNNs, IEEE Sensors Journal 20 (17) (2020) 10032 - 10044.doi:10.1109/JSEN.2020.2991