

차량용 이미징 레이더를 이용한 포인트 클라우드 데이터 기반 타깃 분류 기법

임소희, 정재훈, 홍성민, 이병호, 김성철

서울대학교 전기정보공학부, 뉴미디어통신공동연구소

{gml0488, jay623, smhongok, bhlee, sckim}@maxwell.snu.ac.kr

Target classification based on point cloud data using automotive imaging radar

Sohee Lim, Jaehoon Jung, Seongmin Hong, Byeong-ho Lee, Seong-Cheol Kim

Department of Electrical and Computer Engineering and INMC,
Seoul National University

요약

본 논문은 차량용 이미징 레이더를 통해 얻어진 포인트 클라우드 데이터를 이용하여 감지된 타깃의 종류를 분류하는 기법을 제안한다. 주차장 내에 사람, 자전거를 탄 사람, 자동차가 정지해 있는 상황에서 거리와 방향을 변화시키며 데이터를 취득하였다. 감지된 포인트 클라우드 데이터에 신호 처리 과정을 거친 뒤 결정 트리 기반 기계학습 알고리즘을 분류기로 사용한 결과 세 종류의 타깃을 91.25%의 정확도로 분류할 수 있었다.

I. 서론

레이더 센서는 자율주행을 위한 차량용 센서 중 필수적인 센서로 자리 잡고 있다 [1]. 최근에는 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 레이더 칩을 캐스케이드하여 방위각 및 고도각 분해능을 크게 향상시킨 이미징 레이더가 각광을 받고 있다 [2]. 특히 속도, 거리, 방위각, 고도각의 4차원 데이터를 제공하는 4D 이미징 레이더를 통해 포인트 클라우드를 형성하여 타깃의 형태를 이미지로 추출할 수 있게 되어 시각적으로 면밀한 분석이 가능해졌다.

본 논문에서는 차량용 이미징 레이더를 통해 얻어진 포인트 클라우드 데이터 기반으로 타깃을 분류하는 기법을 제안한다. 주차장에서 사람, 자전거를 탄 사람, 자동차가 정지해 있는 환경에서 실험을 진행한다. 이때, 타깃의 거리를 바꾸어 가며 타깃이 정면을 향한 경우와 측면을 향한 경우를 모두 고려한다. 수신된 포인트 클라우드 데이터를 거리에 따른 원도형 및 DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) 알고리즘에 적용하여 타깃의 성분을 추출한다. 가공된 데이터를 분석하여 특성 파라미터를 추출한 뒤 기계 학습 알고리즘에 적용하여 타깃의 분류 정확도를 비교한다.

II. 본론

가. 이미징 레이더를 이용한 포인트 클라우드 데이터

FMCW(Frequency-Modulated Continuous-Wave) 레이더는 주파수가 시간에 따라 증가하는 선형 주파수 변조 방식을 사용한다. 송신된 신호와 수신된 신호 사이의 시간 지연과 도플러 주파수 천이를 이용하여 레이더와 타깃 사이의 거리와 상대속도를 추정할 수 있다. 또한, 타깃의 각도는 다중 안테나에서 안테나 간격에 의해 발생하는 위상 차이를 통해 추정할 수 있다.

이미징 레이더는 MIMO FMCW 레이더 칩을 캐스케이드하여 방위각 및 고도각 분해능을 크게 향상시킨 레이더이다. 한 번의 스캔을 통해 취득한 포인트 클라우드 데이터는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$d_n = [v_n, P_n, x_n, y_n, z_n] \quad (n = 1, 2, \dots, N_t) \quad (1)$$

이때 N_t 는 취득한 포인트의 개수를 뜻하며, v_n 과 P_n 은 n 번째 포인트의 속도 및 수신세기에 해당하고 x_n, y_n, z_n 은 n 번째 포인트와 레이더 사이의 상대적 좌표를 나타낸다. 이미징 레이더를 사용하면 하나의 타깃에 대해서도 여러 개의 포인트로 구성된 포인트 클라우드 데이터를 얻을 수 있기 때문에 타깃의 형태를 명확하게 인식할 수 있다.

나. 실험 환경

본 논문에서는 그림 1에 나타나 있는 스마트레이더시스템 사의 Ultra-Short Range 모드 RETINA 4F 레이더를 사용하였다. 중심 주파수는 77-81 GHz이며, 대역폭은 최대 3.8 GHz를 사용한다. 송신 안테나와 수신 안테나의 수는 각각 12개와 16개로 192개의 가상 채널을 형성한다. 최대 탐지 거리는 사람의 경우 15.5m이며 거리 분해능은 0.085m, 최대 탐지 속도는 $\pm 4.2\text{km/h}$, 속도 분해능은 0.13km/h이다. 방위각의 시야각(FOV)은 $\pm 45^\circ$, 분해능은 2° , 그리고 고도각의 시야는 $\pm 12^\circ$, 분해능은 4.7° 이다. 해당 제품은 1초당 10번의 스캔 데이터를 취득할 수 있으며 하나의 스캔은 식 (1)의 포인트 클라우드 데이터로 이루어져있다.

그림 2와 같이 주차장 내의 전방 12m, 좌우 8m의 공간에서 사람, 자전거를 탄 사람, 자동차를 대상으로 실험을 진행하였다. 각 타깃의 위치를 변화시켜가며 정면을 향해 있는 경우, 측면을 향해 있는 경우를 고려하여 총 49번의 측정을 진행하였다.



그림 1. RETINA 4F 레이더

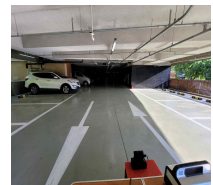


그림 2. 실험 환경

다. 데이터 가공 및 특성 파라미터 추출

공터가 아닌 실제 주차장에서 측정을 진행하였기 때문에 전방의 타깃뿐만 아니라 배경 구조물로 인한 클러터들이 많이 검출되었다. 배경 신호

는 제거하고 탐지하고자 하는 타깃의 데이터만을 추출하기 위해서 타깃이 위치한 거리를 중심으로 윈도잉을 적용하였다. 또한, 고스트 타깃 및 노이즈 성분을 제거하기 위해 타깃의 거리 값들을 DBSCAN 알고리즘에 적용하여 타깃을 클러스터의 형태로 검출하였다. 사람, 자전거를 탄 사람, 그리고 자동차에 대해 검출된 결과를 그림 3, 4, 5에 나타냈다.

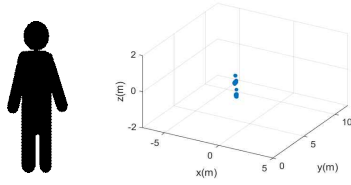


그림 3. 사람이 정면을 향한 경우

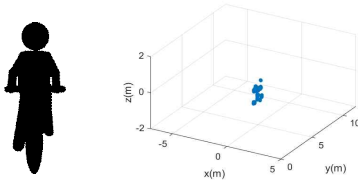


그림 4. 자전거를 탄 사람이 정면을 향한 경우

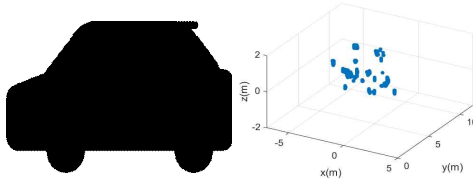


그림 5. 자동차가 측면을 향한 경우

사람의 경우 서 있는 방향과 관계없이 포인트들이 z 축으로는 넓게, x 축과 y 축으로는 적게 퍼져있음을 알 수 있었다. 자전거를 탄 사람의 경우 포인트들이 사람에 비해 z 축으로 적게 퍼져있지만, 향하는 방향에 따라 x 축 혹은 y 축 방향으로 넓게 퍼져있었다. 차량의 경우 사람, 자전거를 탄 사람보다 감지된 포인트의 수가 많았으며 각 축으로 넓게 퍼져있었다. 따라서 분류를 위한 특성 파라미터로 감지된 포인트의 개수와 x 축, y 축, z 축으로의 분산을 이용하였다.

라. 타깃 분류 및 결과

결정 트리 알고리즘은 간단한 기계학습 알고리즘 중 하나로써 과적합이 일어나기 쉬워 데이터셋에 따라 성능이 민감하다는 단점이 있다. 배킹 및 부스팅 알고리즘은 이러한 단점을 보완하기 위해 여러 개의 결정 트리를 사용하는 방식이다. 배킹 알고리즘은 여러 개의 결정 트리를 병렬적으로 학습한 뒤 각각의 정확도를 평균 내는 방식이다. 부스팅 알고리즘은 순차적인 결정 트리를 사용하여 이전 결정 트리에서 발생한 오차를 통해 가중치를 조정하고 다음 결정 트리에 영향을 주는 방식이다.

본 논문에서는 단일 결정 트리, 배킹, 부스팅 알고리즘을 분류기로 사용하여 분류정확도를 비교하였다. 입력 벡터로는 한 스캔에서 추출한 4×1 의 특성 파라미터 벡터를 사용하였다. 이때 사용된 총 데이터의 개수는 4719개였으며, 5겹 교차 검증을 진행하여 분류정확도를 계산하였다.

각 분류기에 대한 분류 정확도는 표 1과 같다. 배킹 알고리즘을 사용했을 때 타깃 분류 성능이 91.25%로 제일 높은 것을 확인하였다. 배킹 알고리즘의 경우 다중 결정 트리에서 학습한 결과를 평균냄으로써 성능이 안정적이고 데이터의 분포에 강건하기 때문에 높은 분류 성능을 보였다.

표 1. 결정 트리 기반 기계학습 알고리즘의 분류 결과

분류기	결정 트리	배킹	부스팅
분류 정확도	87.78%	91.25%	87.60%

배킹 알고리즘을 사용하였을 때의 타깃별 분류 결과는 표 2와 같다. 자동차의 경우 분류 정확도가 가장 높았으며, 사람, 자전거를 탄 사람이 그 뒤를 이었다. 자동차가 가장 높은 정확도로 분류된 것은 사람이나 자전거를 탄 사람에 비해 레이더 유효 반사 면적이 커서 밀집한 포인트 클라운드를 형성하므로 제한한 특성 파라미터가 효과적으로 추출되었기 때문으로 추정된다. 또한, 사람과 자전거를 탄 사람의 경우 감지되는 포인트의 수 및 데이터가 거리 축으로 퍼진 정도가 상대적으로 유사하였기 때문에 분류 정확도가 상대적으로 낮게 나타났다.

표 2. 배킹 알고리즘의 타깃별 분류 결과

추정 결과 실제	사람	자전거	자동차
사람	91.30%	8.65%	0.05%
자전거	10.65%	87.64%	1.24%
자동차	0	3.19%	97.66%

III. 결론

차량용 이미징 레이더를 통해 얻은 포인트 클라운드를 기반으로 사람, 자전거를 탄 사람, 자동차를 분류하는 기법을 제안하였다. 주차장 내에서 타깃의 종류, 거리, 방향을 변화시켜가며 데이터를 취득하였으며 데이터를 가공하고 특성 파라미터를 추출한 뒤 다양한 기계학습 알고리즘에 적용하여 분류 성능을 분석하였다. 분류 결과 배경 신호들이 많은 환경이었음에도 불구하고 타깃의 종류를 높은 정확도로 구분할 수 있었다. 추후 연구로는 타깃이 움직이는 상황을 고려할 수 있다. 이때 여러 스캔에서의 데이터를 누적한 뒤 속도 데이터를 활용하고 딥러닝 기반 알고리즘을 적용한다면 안정적이면서도 높은 성능이 나올 것이라 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C2086621).

참 고 문 헌

- [1] S. Sun, A. P. Petropulu, and H. V. Poor, "MIMO Radar for Advanced Driver-Assistance Systems and Autonomous Driving: Advantages and Challenges," *IEEE Signal Processing Magazine* vol. 37, no. 4, pp. 98-117, July 2020..
- [2] Y. Kim, A. Alnujaim, and D. Oh, "Human activity classification based on point clouds model measured by millimeter wave MIMO radar with deep recurrent neural networks," *IEEE Sensors Journal*, Mar. 2021. (Early Access).