

형태학 연산 기반의 실내 레이더 포인트 클라우드 경량 클러스터링 기법

여리은, *이성주

세종대학교 반도체시스템공학과 및 메타버스융합전공,

*세종대학교 AI 융합전자공학과 및 지능형드론융합전공

rieun@itsoc.sejong.ac.kr, *seongjoo@sejong.ac.kr

Lightweight Clustering Method for indoor Radar Point Clouds Based on Morphological Operations

Rieun Yeo, *Seongjoo Lee

Dept. of Semiconductor Systems Engineering and Convergence Engineering for Metaverse Sejong Univ., * Dept. of AI Convergence Electronic Engineering and Convergence Engineering for Intelligent Drone, Sejong Univ.

요 약

본 논문은 화재 현장과 같은 악조건에서도 효과적인 객체 인식을 위해, 레이더 포인트 클라우드를 대상으로 2D 투영, 형태학적 연산(Open), DBSCAN 클러스터링을 결합한 경량화 된 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법은 형태학적 연산을 통해 노이즈를 효율적으로 제거하고 데이터 처리량을 줄임으로써, 기존 알고리즘 대비 약 30% 향상된 클러스터링 정확도와 뛰어난 실시간성을 보였다. 이는 스마트 소방 헬멧과 같은 임베디드 환경에 적합한 알고리즘임을 입증한다.

I. 서 론

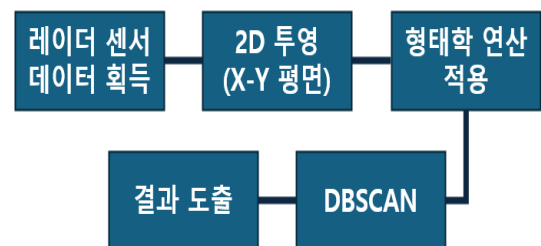
화재 현장에서 소방관들은 연기와 어둠 등으로 인해 정확한 객체 인식과 상황 파악에 어려움을 겪는다. 기존 광학 센서는 이러한 악조건 속에서 성능이 크게 저하되기 때문에 최근에는 레이더 센서가 주목받고 있다. 그러나 레이더 포인트 클라우드 데이터는 라이다(LiDAR)에 비해 포인트 수가 적고 산발적인 노이즈가 많아, 기존 클러스터링 방법 적용 시 정확도가 낮아지는 문제가 있다. 기존의 레이더 클러스터링 연구는 주로 3D 나 4D 데이터를 직접 활용하거나, 간단한 2D 투영 후 DBSCAN 알고리즘을 적용한 방식이었지만, 잔존 노이즈로 인해 정확도에 한계가 있었다[1]. 일부 연구에서 형태학적 연산을 활용한 사례가 있었으나 도로 경계선 추출과 같은 특정한 목적으로만 제한적으로 활용되었을 뿐 객체 인식의 일반적 목적과는 차이가 있다[2]. 따라서 본 논문에서는 레이더 포인트 클라우드를 활용한 객체 인식 분야에서 최초로 2D 투영, 형태학적 연산 및 DBSCAN 을 결합한 경량화 된 클러스터링 방법을 제안하여, 정확도와 실시간성을 동시에 확보하고자 하였다.

II. 본론

2.1 알고리즘 전체 개요

본 논문에서 제안한 알고리즘은 레이더로 측정한 3D 포인트 클라우드를 효율적으로 처리하기 위한 경량화 된

방법으로, 크게 2D 투영, 형태학적 연산, DBSCAN 클러스터링의 세 단계로 구성된다.



2.2 2D 투영을 통한 경량화

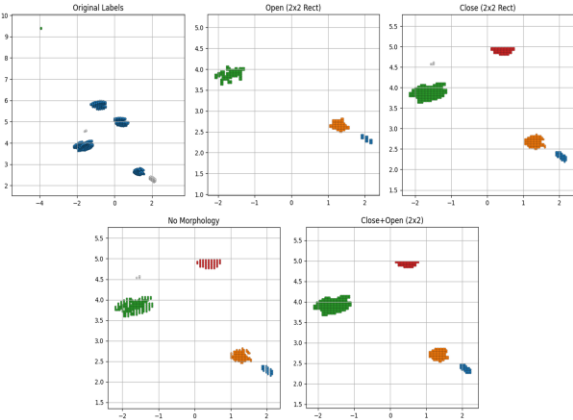
본 연구에서는 레이더로 획득한 3D 포인트 클라우드를 X-Y 평면으로 2D 투영하여 데이터 처리를 경량화하였다. 소방 환경에서는 객체의 높이(Z 축) 정보보다 위치(X, Y)가 중요하므로, 이를 기반으로 연산량을 크게 줄이고 실시간 처리가 가능하도록 하였다. 또한, 동일 X, Y 좌표에 산발적인 Z 축 노이즈가 많지 않아 2D 투영만으로도 데이터의 노이즈가 효과적으로 억제되었다.

2.3 형태학적 연산을 활용한 노이즈 제거

투영된 2D 포인트 데이터에는 여전히 산발적인 노이즈가 존재하므로, 본 연구에서는 형태학적 연산(morphological operations)을 추가적으로 적용하였다. 형태학적 연산은 영상처리 분야에서 흔히 사용되는 노이즈 제거 기법으로, 침식(erosion)과 팽창(dilation)의 조합을 통해 노이즈를 효과적으로 제거한다. 본 연구는 침식 후 팽창(Open 연산)을 중심으로 사용하여 고립된 작은 노이즈 포인트를

* 교신저자 : 이성주

제거하고 객체 형태를 명확히 하였으며, Close 연산 및 Open + Close 연산과의 성능 비교도 수행하였다.



2.4 DBSCAN 을 활용한 클러스터링

형태학적으로 전처리 된 데이터를 밀도 기반 클러스터링 알고리즘인 DBSCAN 으로 처리하였다. DBSCAN 은 특정 반경 (ϵ) 내 최소 이웃 포인트 (minPts)를 기준으로 밀집된 데이터를 클러스터로 정의하며, 형태가 불규칙하고 노이즈가 존재하는 레이더 데이터에 효과적이다. 특히, 형태학적 전처리 덕분에 DBSCAN 의 핵심 파라미터 (ϵ , minPts)를 보다 효율적으로 설정할 수 있었

3.1 실험 환경 및 결과 분석

실험은 스마트 소방 헬멧의 실제 사용 환경과 유사한 조건을 모사한 10m×10m 크기의 실내 공간에서 수행하였다. 사람 최대 4 명과 물체 최대 2 개를 배치하여 일반 환경과 악조건 환경(연기 및 어두움)을 구성하였다. 알고리즘의 성능 평가는 Adjusted Rand Index(ARI), Silhouette 점수, 노이즈 제거 비율, 실제 클러스터 일치율을 이용하여 기존의 대표적인 클러스터링 알고리즘인 MeanShift, HDBSCAN, OPTICS 와 비교하였다.

Alg.	ARI	Sil	Noi	Clu	Time	Mem
DBSCAN+ 2D,open	0.78	0.93	80.0	94.1	3.3	9.92
DBSCAN+ 2D,both	0.78	0.93	77.4	94.1	3.3	9.92
DBSCAN+ 2D, Close	0.61	0.82	45.2	88.8	3.3	9.92
DBSCAN	0.6	0.71	0.0	85.8	3.3	9.92
MeanShift	0.6	0.71	0.0	85.7	1.13 (sec)	16.24
HDBSCAN	0.501	0.679	0.0	78.6	0.0139	111.79
OPTICS	0.193	0.002	0.0	63.5	0.6745	48.11

결과적으로, 제안한 DBSCAN + 2D,Open 알고리즘이 ARI(0.784), Silhouette(0.927), 노이즈 제거율(80%), 실제 클러스터 일치율(94.1%)에서 모두 최상의 성능을 보였으며, 가장 복잡한 데이터셋 기준으로 실행 시간(0.0033 초)과 메모리 사용량(9.92KB)도 압도적으로 우수해 임베디드 환경에 적합함을 입증하였다.

결과를 통해 2D 투영이 정확도를 크게 낮추지 않았으며, 형태학 연산이 효과적으로 노이즈를 제거하고, 포인트를 응집하였다는 것을 알 수 있다. 또한 기존 3D 포인트 클라우드에 적용한 알고리즘과 비교해 보았을 때에도 훨씬 높은 정확도가 도출되었다.

III. 결론

본 논문에서는 레이더 기반 객체 인식 분야에서 최초로 2D 투영과 형태학적 연산, DBSCAN 을 결합한 경량화 된 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 형태학적 연산을 통한 노이즈 제거 및 데이터 경량화를 통해 클러스터링 정확도와 처리 효율성을 모두 확보하였다. 특히 Open 연산이 노이즈 제거에 탁월했으며, Z 축을 제외한 2D 투영 방식은 연산량을 크게 감소시켜 스마트 소방 헬멧과 같은 임베디드 환경에서도 우수한 성능을 보였다. 향후 연구로는 제한적으로 Z 축 정보를 활용하여 정확도를 추가로 높이고, DBSCAN 외 다양한 최신 클러스터링 알고리즘과의 성능 비교 분석을 수행할 예정이다. 제안된 알고리즘은 소방 환경 뿐 아니라 유사한 악조건 환경에서 다양한 응용이 가능할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 정보통신방송혁신인재양성(메타버스융합대학원) 사업(IITP-2024-RS-2023-00254529)과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2023R1A2C1006340)을 받아 수행되었으며, 검증을 위한 EDA 관련 툴은 IDEC 의 지원을 받았음.

참 고 문 헌

- [1] Y. Liu, Y. Chen, and C. Liu, "Laser radar data registration algorithm based on DBSCAN clustering," Electronics, vol. 12, no. 6, pp. 1373, Mar. 2023.
- [2] D. González-Aguilera, J. Gómez-Lahoz, and P. Rodríguez-Gonzálvez, "Morphological operations to extract urban curbs in 3D MLS point clouds," ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 5, no. 6, pp. 93, June 2016.
- [3] J. P. Ra and H. J. Park, "Development of AI-based embedded system for victim search by firefighters," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering (J. KIICE), vol. 24, no. 12, pp. 1612-1617, Dec. 2020.