

ToF 이미지 및 클러스터링 기반 라벨링 효율적인 재실인원 계수 센서

정재익, 구태연, 박완기

한국전자통신연구원

jaeik1210@etri.re.kr, kutai@etri.re.kr, wkpark@etri.re.kr

ToF Image and Clustering-based Labeling-free Occupancy Counting Sensor

Jaek Jeong, Tai-Yeon Ku, Wan-Ki Park

Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

재실인원 계수는 건물 에너지 관리를 위한 필수적 요소이다. 본 논문에서는 출입구에서 촬영된 ToF 이미지에 클러스터링 알고리즘을 적용하여 재실인원을 계수하는 방법에 대해 연구하였다. 비식별 영상인 ToF 이미지는 개인정보보호에 도움을 줄 수 있으며, 비지도학습 방법 중 하나인 클러스터링 알고리즘은 라벨링을 요구하지 않아 재실인원 계수 모델 구축에 매우 효율적이다. 실험 결과 재실자의 출입만 있는 상황에서는 ToF 이미지와 클러스터링 알고리즘으로 높은 수준의 객체 검출이 가능함을 확인하였다.

I. 서론

건물분야에서의 에너지 소비량은 전체 에너지 소비량의 20% 정도를 차지하고 있기 때문에 최근 중요시되는 기후변화 대응 및 탄소중립 달성을 위해서는 건물분야의 에너지 절감을 이루는 것이 필수적이다 [1]. 재실 정보는 건물의 에너지 사용량을 결정하는 주된 요인 중 하나이기 때문에 재실인원 계수는 건물 에너지 관리를 위한 필수적 요소이다 [2,3]. 최근 영상 카메라를 활용하여 내부 공간을 촬영하고, 객체 검출 알고리즘인 YOLO를 활용하여 영상에서 재실인원 수를 파악하는 방법이 주로 연구되었다. 그러나 영상 카메라로 촬영하는 것은 재실자의 얼굴 인식 및 식별 가능성을 높여 개인정보가 노출될 가능성이 있고, 카메라가 사적인 영역이나 공공장소에서 촬영할 때 개인들의 사생활에 대한 침해 우려가 있다 [2]. 또한 YOLO는 지도학습 방식으로 작동하며, 새로운 환경에 적용할 때는 해당 환경에 맞게 객체의 종류와 경계 상자를 새로 라벨링한 이미지로 다시 학습을 해야하기 때문에 많은 이미지 데이터에 재실인원을 일일이 라벨링해야 해서 굉장히 비효율적이다. 최근 Labeling과 같은 프로그램이나 웹 라벨링 툴을 통해 라벨링의 어려움이 많이 해소되었으나, 여전히 이미지 별로 수작업 라벨링을 해야하는 문제점은 존재한다 [4].

본 논문에서는 이 두 가지 문제를 해결한 재실인원 계수 센서에 대해서 연구하였다. 먼저 개인정보보호 문제 해결을 위해 영상 카메라로 내부 공간 전체를 촬영하는 것 대신 출입구에서 ToF 카메라로 재실자의 출입만 확인하였다. ToF는 Time of Flight의 약자로 빛이 대상까지 이동하고 돌아오기까지 걸리는 시간을 측정하는 방식이다. 따라서 물체의 형상과 거리 정보에 중점을 두기 때문에 개인의 특성이 이미지에 잘 나타나지 않아 비식별 영상으로서 활용할 수 있다 [2]. 또한 내부 공간 전체를 촬영하는 대신 출입구에서만 촬영하고 재실자의 출입만 확인하여 개인들의 사생활 침해 우려 역시 방지하였다.

또한 새로운 환경에서 일일이 라벨링을 해야하는 YOLO 알고리즘 대신 라벨링을 필요로 하지 않는 비지도학습 방식인 클러스터링 알고리즘으로 재실인원 수를 파악하였다. 이미지를 라벨링하기 위해서는 재실자 출입의 수많은 상황을 재현해야 하고 이로 만들어진 이미지 안의 객체들에 종류와 경계 상자를 일일이 라벨링해야하기 때문에 굉장히 비효율적이다. 그

러나 비지도학습 방식은 라벨링을 요구하지 않기 때문에 효율적으로 모델을 구축할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 비지도학습 중 클러스터링에 기반한 방법을 사용하였다. ToF 이미지에서 재실자의 형태를 확인하고 클러스터링하게 한 뒤 클러스터링 개수를 출력하는 재실인원 수로 파악하는 것이다. 이를 위해 사전에 클러스터링 개수를 정의해야 하는 알고리즘이 아닌 클러스터링 개수까지 학습하게 하는 알고리즘을 사용해야 한다. 또한 클러스터링 별 중심 좌표를 통해 이미지에서 재실자의 위치까지도 파악할 수 있다.

II. 본론

비지도학습 클러스터링 알고리즘은 대표적으로 K-평균 군집화, GMM, DBSCAN, 평균이동 총 4가지를 들 수 있다. 여기서 K-평균 군집화와 GMM은 사전에 클러스터링 개수를 정의해주고, 이 개수를 바탕으로 클러스터링을 수행하는 알고리즘이다. 그러나 본 연구에서는 클러스터링 개수가 출력하는 재실인원 수가 되기 때문에 사전에 클러스터링 개수를 정의해야 하는 알고리즘은 부적합하다. 따라서 클러스터링 개수까지 학습할 수 있는 DBSCAN, 평균이동이 본 연구에 적용하기에 적합하다. 본 연구에서는 평균이동 기반 클러스터링 알고리즘을 사용하였다. ToF 이미지에서 재실자의 형태는 가우시안 함수 형태로 모델링하기 좋기 때문에 가우시안 함수를 커널 함수로 사용할 수 있는 평균 이동 방식이 적합하기 때문이다.

평균 이동 기반 클러스터링은 주어진 데이터셋에서 데이터의 밀도가 높은 지역을 찾아내어 클러스터를 형성하는 방식이다. 각 데이터 포인트는 주변의 데이터 포인트들의 평균으로 이동하면서 밀도가 높은 지역으로 이동하게 된다. 이 과정을 반복하면서 수렴 지점에 도달하면 해당 지점을 클러스터의 중심으로 간주하고, 같은 클러스터에 속한 데이터 포인트들을 묶어서 하나의 클러스터로 정의한다. 데이터가 많이 모여있을수록 데이터의 밀도가 높아지며, 이를 모델링하기 위해 확률 밀도 함수를 사용한다.

일반적으로 확률 밀도 함수를 찾기 위해 KDE를 이용한다. KDE는 커널 함수를 통해 밀도를 추정하는 방식으로 평균 이동 알고리즘을 적용할 때 밀도가 높은 지역을 찾기에 유용하다. KDE의 주요 아이디어는 각 데이터 포인트를 중심으로 하는 커널 함수를 사용하여 전체 데이터의 분포를 근

사화하는 것이다. 각 데이터 포인트 별로 존재하는 커널 함수를 전체 면적이 1인 확률 밀도 함수라고 보면, 모든 커널 함수를 더한 뒤 데이터 포인트의 개수로 나누어 전체 확률 밀도 함수를 얻을 수 있게 된다. 이를 수식적으로 표현하면 아래와 같다.

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$$

여기서 $\hat{f}(x)$ 는 확률 밀도 함수의 추정값, n 은 데이터 포인트의 개수, x_i 는 각 데이터 포인트의 위치, K 는 커널 함수, h 는 대역폭을 의미한다. KDE를 적용하기 전 사전에 결정해야 하는 부분은 어떤 커널 함수를 사용할 것인지와 대역폭을 어느 정도로 할 것인지이다. 먼저 커널 함수로는 가우시안 함수가 일반적으로 사용된다. 각 데이터 포인트들을 중심(평균)으로 하는 가우시안 함수들을 생성하고 이들을 모두 더한 뒤 데이터 포인트 개수로 나누면 하나의 확률 밀도 함수를 만들어낼 수 있다. 대역폭은 KDE에서 중요한 매개변수로, 작은 대역폭은 좁은 확률 분포를, 큰 대역폭은 넓은 확률 분포를 생성한다. 커널 함수가 가우시안 함수일 때 대역폭은 가우시안 함수의 표준편차와 관련있게 된다. 대역폭이 작을수록 추정된 밀도 함수가 데이터셋의 변동성에 민감해지고, 대역폭이 클수록 부드러운 추정이 이루어진다. 너무 작은 대역폭은 과대적합을, 너무 큰 대역폭은 과소적합을 일으킬 수 있기 때문에 적절한 대역폭 값을 설정하는 것이 중요하다. 대역폭의 경우 실험적으로 정할 수 있다.

그림 1은 ToF 이미지에서 평균이동 클러스터링을 적용하여 출입구에서의 재실인원 계수의 예시이다. 먼저 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 라벨링 과정이 없어 YOLO에서와 같이 객체의 종류를 식별하는 기능이 없기 때문에 ToF 카메라에는 재실자만이 촬영된다고 가정한다. ToF 카메라에서 촬영된 이미지에서 출입구 근처만 잘라내면 재실자만이 촬영될 수 있으며, 큰 물체가 출입하는 것과 같은 특이 사항은 본 연구 범위에서는 고려하지 않는다. 그림 1의 왼쪽은 한 명의 재실자가 방을 나가는 모습을 나타낸다. 먼저 출입구 근처의 이미지만 잘라내면 이미지 상에 재실자만이 나타나게 된다. 한 명이기 때문에 데이터 포인트들이 한 곳을 중심으로 몰려있게 되고, 이미지를 x축에 사영한 뒤 KDE를 적용하면 하나의 가우시안 함수 형태로 나타나게 된다. 데이터의 밀도가 높은 부분이 한 곳(가우시안 함수의 극값)이기 때문에 클러스터 개수는 1개로 결정된다. 그림 1의 오른쪽은 두 명의 재실자가 방에 들어오는 모습을 나타낸다. 이 경우 이미지를 x축에 사영한 뒤 KDE를 적용하면 두 개의 가우시안 함수 형태가 나타난다. 밀도가 높은 부분이 두 곳이기 때문에 클러스터 개수가 2개로 결정된다. 클러스터 개수는 이미지 상에서 재실인원 수를 나타내게 된다.

III. 결론

본 논문에서는 ToF 이미지가 비식별 영상이라는 점과 클러스터링 알고리즘이 비지도학습 방식이라는 점을 통해 개인정보보호를 이루면서 라벨링 효율적인 재실인원 계수 방법을 제안하였다. 제안한 방법으로도 출입구에서 재실인원을 감지하는 데에 충분한 성능을 보인다는 점을 확인하여 비효율적인 라벨링 과정이 없이도 재실인원 계수를 할 수 있다는 가능성을 열어두었다. 제안한 방법이 실제로 활용되기 위해서는 두 가지 과제가 해결되어야 한다.

먼저 본 연구에서는 검출만이 이루어졌지만 재실자의 출입 여부를 확인하기 위해서는 추적까지도 이루어져야 한다. YOLO 기반으로 객체 검출을 했을 경우 객체 추적은 DeepSORT 알고리즘을 통해서 이루어진다. 객체가 프레임 간에 어떻게 이동하는지 추적하면 재실자가 어디로 어떻게 움직이는지 알 수 있기 때문에 재실인원의 카운팅이 가능해진다. 본 연구

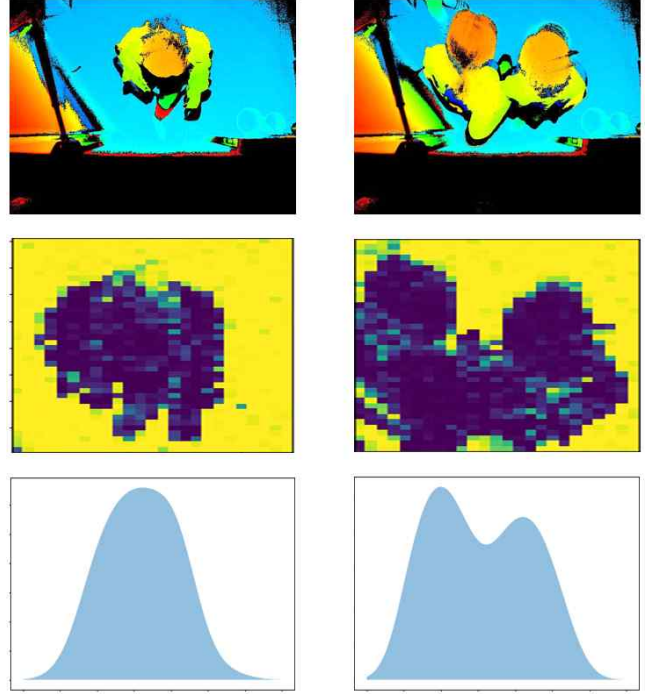


그림 1 ToF 이미지 및 평균이동 클러스터링 기반 출입구에서의 재실인원 계수 예시 (x축)

에서 제안한 재실인원 검출 알고리즘에도 추적 알고리즘을 추가하여 재실인원의 카운팅이 가능해지도록 해야 한다.

다음으로 본 연구에서는 출입구 근처에서 재실자만이 촬영되는 상황을 가정하였지만 큰 물체가 출입하는 것과 같은 특이상황도 고려해야 한다. 본 연구에서의 알고리즘을 그대로 적용하면 큰 물체 역시 재실자로 판단하여 카운팅할 수 있기 때문이다. 이를 위해 라벨링 없이 해당 객체가 재실자가 아니라고 판단하는 알고리즘도 추가로 적용할 필요도 있다. 대표적으로 비지도학습 기반 이상 탐지 알고리즘을 적용할 수 있다. 물체의 경우 이미지에서 재실자와는 표현되는 형태가 다르기 때문에 이상 탐지 알고리즘으로 재실자가 아닌 물체를 파악할 수 있다. 큰 물체 출입뿐만 아니라 다양한 이상 상황이 발생할 수 있기 때문에 재실인원 수 초기화, 소리와 같은 다른 센서와의 결합, 재실인원 수보다 재실여부 자체부터 정확히 파악 등의 방법도 같이 고려해볼 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2020200000010).

참고 문헌

- [1] 정연쾌, 한진수, 박완기, & 광노열 (2023). 건물에너지 사용 영향인자별 에너지 성능분석 도구 개발. 한국에너지학술대회.
- [2] 김명순, & 박완기 (2022). xEMS 제어신호 생성을 위한 재실 정보 추출 방법에 관한 연구. 한국에너지학술대회.
- [3] 김미림, & 손성용. (2022). AI 인체검출 기술을 이용한 재실 인원과 에너지소비 관계 연구. 한국통신학회 학술대회논문집, 1008-1009.
- [4] 이유성, 이나연, 김상준, & 박구만. (2023). 다양한 pose estimation 네트워크를 이용한 웹 기반 라벨링 툴. 한국방송미디어공학회 학술발표대회 논문집, 1044-1047.