

포인트 클라우드 데이터 기반 투명 물질 투과성 실험 및 분석 연구

김서영, 김영은, 김준영
성신여자대학교

20221333@sungshin.ac.kr, 220246037@sungshin.ac.kr, jkim@sungshin.ac.kr

A Study on the Experimental Analysis of Transparent Object Transmittance Based on Point Cloud Data

Seo Young Kim, Young Eun Kim, Joon Young Kim
Sungshin Women's University

요 약

본 논문은 자율주행 적용 센서중 하나인 적외선 카메라에 대한 투명도 인식에 대한 분석 연구를 진행한다. 이를 위해서 Intel RealSense D415 내 적외선 카메라를 사용하였으며 투명도 측정을 통해 셀로판지 기반하여 두께에 따른 적외선 투과율과 depth 값 변화를 분석하고 이론적 값과 실제 측정된 depth 값 비교 분석도 병행한다.

I. 서 론

최근 포인트 클라우드 데이터를 활용한 연구가 다양한 산업에서 활발히 진행되고 있다. 포인트 클라우드는 3D 공간에서 물체의 위치와 형태를 표현할 수 있다는 점에서 자율주행, 로봇 공학, 의료 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. [1] 그 중 적외선 기반 센서는 스테레오 비전 방식으로 깊이(depth) 정보 취득이 가능하며 이를 통해 물체 형태 및 깊이 값 연관성 파악이 가능하다 [2]. 다만 잔존하는 투명 물체 인식 이슈의 경우 투명도에 따른 투과 및 객체 인식 분석 등이 필요한 상황이다.

본 논문에서는 투명 혹은 반투명 물체 대상 적외선 패턴 현상 분석 및 적용 연구를 진행하고자 한다. 이를 위해 Intel RealSense D415 내 적외선 카메라 기반으로 투과율을 측정하며 이를 측정하기 위해서 활용하는 셀로판지의 적외선 투과성을 수치적으로 분석하는 것을 목표로 한다. 특히 다중 셀로판지 중첩시 depth 값의 정량적 분석 및 적외선(IR) 패턴과 투과율의 상관관계도 동시에 수치화가 가능하다.[3]

II. 시스템 구성 및 실험 분석



그림 1: Intel RealSense D415 적외선 카메라를 이용한 셀로판지 투과성 실험환경

본 실험에서는 셀로판지의 적외선 투과율 변화가 depth 데이터에 미치는 영향을 분석하기 위해 Intel RealSense D415 적외선(IR) 카메라를 사용해 포인트 클라우드 3D 데이터를 획득했다. IR 파장은 850nm로 설정하였으며 실험은 0.3mm 두께의 셀로판지를 20 장

겹친 상태에서부터 시작해 한 장씩 제거하면서 각 장수에 따른 depth 값을 측정하는 방식으로 진행했다.[4]

실험 환경은 그림 1과 같으며 두께 0.3mm, 투과율 80%인 셀로판지를 카메라로부터 500mm 떨어진 지점에 수평으로 고정된 상태에서 실험을 진행했다. [5]



그림 2: 셀로판지 20 장 RGB(왼), Depth(오)

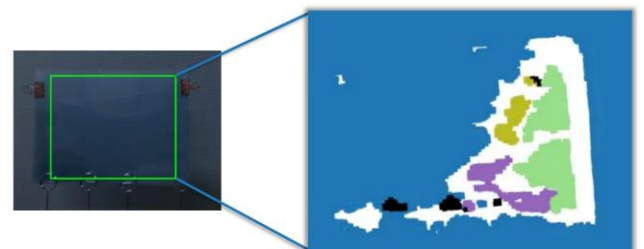


그림 3: 셀로판지 5 장, RGB(왼), Depth(오)

그림 2, 3은 각각 셀로판지가 20 장일 때와 5 장일 때의 RGB 이미지와 Depth 이미지를 나타내며 육안으로는 왼쪽의 RGB 이미지처럼 보이지만 IR 센서로 측정한 결과는 오른쪽 Depth 이미지로 확인할 수 있다. 셀로판지가 20 장일 때(그림 2) 적외선 투과율이 매우 낮아 대부분의 적외선이 셀로판지에 의해 차단되므로 뒤쪽 물체가 인식되지 않는다. 반면 셀로판지가 5 장일 때(그림 3)는 물질의 두께가 얇아 짐에 따라 적외선 투과율이 증가하여 뒤쪽 물체의 일부가 인식되기 시작한다. 적외선이 일부 투과하며 깊이 정보를 얻을 수 있게 되어 Depth 이미지에서 여러 색으로 나뉜 영역이 보인다. 실험에서는 카메라가 촬영한 셀로판지 영역만을 관심영역(ROI)으로 지정하

며 지정된 영역의 깊이 값만 추출하여 분석했다.

그림 4는 셀로판지 두께 0.3mm에서 6.0mm까지 각 두께에서 측정된 depth 값을 시각적으로 보여주는 그래프이며 셀로판지 두께가 6.0mm로 증가할수록 depth 값이 감소하며 실제 거리 500mm과 오차가 60mm임을 보여준다. 이를 통해 셀로판지의 두께가 적외선에 영향을 미치며 카메라의 깊이 인식에 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

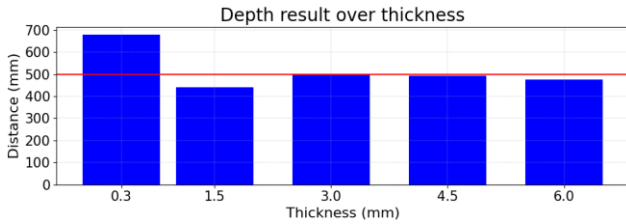


그림 4: 0.3~6.0mm 두께에 대한 Depth

실험 측정 결과를 그림 5와 같이 그래프로 시각화했다. 총 15회의 실험을 진행했고 그래프에서 x축은 셀로판지 두께를, y축은 측정된 거리의 평균을 나타낸다. 실험 데이터를 분석한 결과 셀로판지 특정 두께 이하로 감소할 때 투과율이 급격하게 변하는 현상을 Thickness로 확인했다.

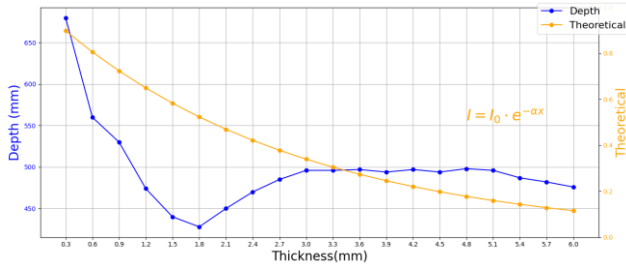


그림 5: 셀로판지 두께에 따른 Depth 변화 그래프

셀로판지 한 장의 두께는 0.3mm로 이 두께에 따라 셀로판지의 총 두께를 계산할 수 있고 적외선 투과 특성을 세 구간으로 나누어 설명한다.

- 1) 0~1.8mm 구간에서는 적외선이 대부분 셀로판지를 투과해 depth 값이 급격히 증가하며 카메라가 뒤쪽 물체를 명확히 인식하게 된다. 셀로판지의 두께가 감소할수록 depth 값이 뒤쪽 벽까지의 실제 거리에 가까워지는 것을 확인할 수 있다.
- 2) 2.7~6.0mm 구간에서는 적외선 투과율이 낮아 대부분의 적외선이 셀로판지에 의해 차단되며 이 구간에서는 뒤쪽 물체가 거의 인식되지 않기 때문에 이 구간에서는 약 500mm의 depth 값을 유지한다.
- 3) 1.8mm~2.7mm 구간에서는 셀로판지 두께가 감소하면서 적외선 투과율이 증가해 depth 값이 점차 감소하는 현상이 나타났다. 셀로판지 두께가 줄어들면서 일부 적외선이 셀로판지를 통과하며 적외선 강도가 감소하고 뒤쪽 물체에서 반사된 신호도 상대적으로 약하게 들어오기 때문에 카메라는 물체를 실제보다 더 가까이 있는 것으로 인식한다.[6] 이로 인해 이 구간에서 depth 값이 감소하는 형태를 보인다.

이와 같은 현상은 Beer-Lambert 법칙으로 설명이 가능하다[7]. 다중 셀로판지 중첩 시 적외선이 통과하는 경로가 길어짐에 따른 적외선도 열화되며 투과 세기(I)가 물질의 두께(x)와 흡수계수(α)에 비례하여 지수적으로 감소하게 된다. 이 법칙은 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (1)$$

여기서 I_0 는 초기 입사 빛의 세기이고 셀로판지 한 장의 두께가 0.3mm이므로 n장 겹쳤을 때 두께는 $n \cdot 0.3\text{mm}$ 가 된다. 셀로판지의 반사율이 0.097, 투과율이 0.8이고 에너지 보존법칙으로 흡수율은 0.103이 된다. [8] Beer-Lambert 법칙에 따라 흡수계수 α 는 0.36으로 계산된다. 여기서 I_0 는 1로 설정하여 계산했다.

실제 실험 결과 두께가 0mm에서 1.8mm 때 적외선 투과율이 급격히 증가하는 현상이 관찰되며 이 과정에서 뒤쪽 물체를 인식하게 되어 depth 값이 점차적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이론적으로 셀로판지 두께에 따라 적외선 투과율이 지수적으로 감소하며 실제 실험 데이터 경우도 유사한 경향을 보이고 있다. 다만 1.8mm~2.7mm 구간에서 카메라가 실제보다 더 가까이 인식하는 급 변동 현상을 관찰할 수 있었으며 이는 셀로판지 투명도에 따른 일시적인 현상으로 볼 수 있다. 이러한 실제 실험 결과를 기반으로 하여 투명한 물체를 다룰 때 다양한 실질적 변수들을 고려하여서 투명 물체 인식 작업이 진행되어야 할 것으로 고려된다.

III. 결론

본 논문은 셀로판지의 두께에 따른 적외선 투과율 변화가 depth 데이터에 미치는 영향을 분석하는 연구를 진행했다. 적외선 센서가 투명 물체를 인식할 때 발생 한계와 오차를 확인했으며 투명 물체가 적외선 신호에 미치는 실질적 영향에 대해 해석 가능성을 보였다.

투명한 물체를 다룰 때 다양한 환경적인 변수와 요인들을 고려해야 해야 하는 바 향후 다양한 투명 물질에 대한 추가 실험을 통해 적외선 센서의 인식 성능을 개선하고 투명 물체 인식의 한계를 보완할 수 있는 방법을 모색할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Camuffo Elena, Daniele Mari, Simone Milani, "Recent Advancements in Learning Algorithms for Point Clouds: An Updated Overview," Sensors 22, no. 4, pp. 1357, 2022.
- [2] M. D. Moghari et al, " Characterization of the Intel RealSense D415 Stereo Depth Camera for Motion-Corrected CT Imaging," IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), Manchester, UK, pp. 1-3, 2019.
- [3] Zhang D, Sun H, Wang D, Liu J, Chen C, "Modified two-point correction method for wide-spectrum LWIR detection system," Sensors, vol. 23, no. 4, p. 2054, 2023.
- [4] Intel® RealSense™ Camera 400 Series (DS5) Product Family Datasheet
- [5] 홍동혁, 김석원, "셀로판 필터를 이용한 빛의 선택적 투과와 합성 실험," 한국화상학회지, 제 17 권 제 1 호, pp.1-6, 2011.
- [6] Z. Zhang, "Microsoft Kinect Sensor and Its Effect," in IEEE MultiMedia, vol. 19, no. 2, pp. 4-10, Feb. 2012.
- [7] Wolfgang Demtröder, "Experimental Techniques in Atomic and Molecular Physics" in Atoms, Molecules and Photons, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [8] Gregory Linteris, Mauro Zammarano, Boris Wilthan, Leonard Hanssen, "Absorption and reflection of infrared radiation by polymers in fire-like environment," Fire and Materials, Vol. 36, no.7, pp.537-553, 2011.