

멀티모달 영상 융합 기반의 유리 검출 알고리즘

김정원*, 이승민**, 이희성***

*국립한국교통대학교 철도융합시스템학과

**국립한국교통대학교 AI교통융합학과

***국립한국교통대학교 철도전기정보공학과

e-mail:hslee0717@ut.ac.kr

Multimodal Image Fusion-Based Glass Detection Algorithm

Jeongwon Kim*, Seungmin Lee**, Heesung Lee***

*Dept. of Railroad Convergence System,
Korea National University of Transportation

**Dept. of AI Transportation Convergence,
Korea National University of Transportation

***Dept. of Railroad Electrical and Information Engineering,
Korea National University of Transportation

요약

본 연구는 투명 및 반사 특성을 갖는 유리 객체의 검출 성능 저하 문제를 해결하기 위해 RGB 영상과 열화상 영상을 결합한 멀티모달 영상 융합 기반 객체 검출 및 분리 기법을 제안한다. 일반적인 RGB 기반 객체 검출 모델은 유리라 같이 경계가 불명확한 객체에 대해 다수 객체를 하나로 인식하거나 일부 객체를 검출하지 못하는 한계를 가진다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 YOLO 기반 객체 검출을 통해 유리 객체를 1차적으로 검출한 후, 열화상 영상으로부터 추출한 온도 분포 기반 경계 정보를 활용하여 객체 간 분리를 수행한다. 또한 RGB와 열화상 영상 간 정합을 기반으로 decision-level 융합을 적용하여 기존 검출 결과를 보정함으로써 검출 정확도를 향상시키고자 한다. 제안 기법은 별도의 모델 구조 변경 없이 후처리 단계에서 적용 가능하여 계산 효율성이 높으며, 산업 현장에서 실시간 적용이 가능한 유리 객체 검출 기술로 활용될 수 있다.

1. 서론

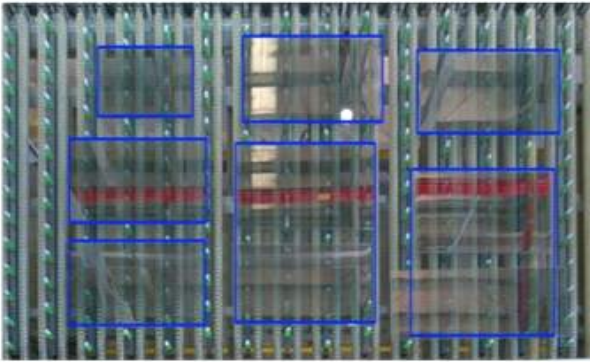
최근 스마트 제조 및 철도 산업의 발전에 따라 생산 공정의 자동화 및 지능화를 위한 영상 기반 객체 검출 기술의 중요성이 크게 증가하고 있다[1]. 특히 컨베이어 기반 생산 환경에서는 객체를 정확하게 검출하는 기술이 검사, 추적, 계수와 같은 후속 공정의 성능을 결정짓는 핵심 요소로 작용한다. 따라서 실제 산업 환경에서 안정적으로 동작할 수 있는 강건한 객체 검출 알고리즘의 필요성이 더욱 강조되고 있다. 딥러닝 기반 객체 검출 기술은 최근 비약적인 성능 향상을 이루었으나, 유리와 같이 투명하거나 반사 특성을 갖는 객체에 대해서는 여전히 한계를 보인다[2]. 유리 객체는 배경을 투과하거나 주변 환경을 반사하는 특성으로 인해 영상 내에서 경계가 명확하게 드러나지 않으며, 이로 인해 다수의 객체가 하나로 검출되는 객체 병합 현상이나 객체가 검출되지 않는 미검출 문제가 빈번하게 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 depth, infrared, thermal 영상 등 다양한 센서를 결합한 멀티모달 기반 객체 인식 연구가 활발히 진행되고

있다[3]. 특히 열화상 영상은 온도 분포 정보를 기반으로 객체 간 경계를 표현할 수 있어, RGB 영상에서 구분이 어려운 객체를 보완하는 데 효과적이다. 그러나 기존의 멀티모달 융합 방식은 feature-level 기반의 복잡한 네트워크 구조를 요구하는 경우가 많아 계산 비용이 증가하고, 실시간 처리가 요구되는 산업 환경에 적용하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 RGB 영상과 열화상 영상을 결합한 멀티모달 영상 융합 기반 유리 객체 검출 알고리즘을 제안한다. 제안 방법은 RGB 영상에서 YOLO 기반 객체 검출[4]을 수행한 후, 열화상 영상에서 추출된 경계 정보를 활용하여 검출 결과를 보정하는 decision-level 융합 방식을 적용한다. 이를 통해 기존 검출 모델의 구조를 변경하지 않으면서도 객체 분리 성능을 향상시키고, 계산 효율성을 유지할 수 있다. 본 연구의 주요 목적은 투명 객체 검출의 한계를 극복하면서 산업 현장에서 실시간으로 적용할 수 있는 경량의 멀티모달 객체 검출 시스템을 제시하는 데 있다.

2. 본론

본 연구에서는 RGB 영상과 열화상 영상을 결합한 멀티모달 영상 융합 기반 유리 객체 검출 알고리즘을 제안한다. 전체 시스템은 영상 취득, RGB 기반 객체 검출, 열화상 기반 경계 정보 추출, 영상 정합, 그리고 멀티모달 융합을 통한 객체 분리 단계로 구성된다. 유리 생산 라인 상부에 RGB 카메라와 열화상 카메라를 설치하여 동일 장면에 대한 영상을 동시에 취득한다. 두 센서는 고정된 위치에서 동일 시점의 영상 자료를 수집하도록 구성되며, 이를 통해 시간적 동기화를 확보한다. 취득된 RGB 영상은 색상 및 질감 정보를 포함하고 있으며, 열화상 영상은 온도 분포 정보를 제공한다.

RGB 영상에 대해서는 YOLO 기반 객체 검출 모델을 적용하여 유리 객체의 위치를 바운딩 박스 형태로 검출한다. 그림 1은 RGB 영상 기반 객체 검출 결과를 나타낸다.



[그림 1] RGB영상에서의 유리검출 결과

유리 객체의 경우 투명성과 반사 특성으로 인해 객체 간 경계가 명확하지 않으며, 인접한 객체들이 하나의 객체로 인식되는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 객체 병합 현상은 실제 산업 환경에서 검출 정확도를 떨어뜨리는 주요 원인이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 열화상 영상을 활용하여 객체 간 경계 정보를 추출한다. 열화상 영상에서는 객체 간의 미세한 온도 차이에 의해 경계가 상대적으로 뚜렷하게 나타나며, 이를 통해 RGB 영상에서 구분이 어려운 영역을 보완할 수 있다. RGB 영상과 열화상 영상은 서로 다른 센서에서 획득되므로, 두 영상 간의 좌표를 일치시키기 위한 정합 과정이 필요하다. 본 연구에서는 두 영상 간의 공간적 대응 관계를 설정하여 동일 위치의 정보를 통합할 수 있도록 구성하였다. 이 과정은 멀티모달 융합의 정확도를 좌우하는 중요한 단계이다. 이후 RGB 기반 객체 검출 결과에서 하나의 바운딩 박스로 검출된 영역 내부에 열화상 경계 정보를 적용하여 객체 분리를 수행한다. 열화상 영상에서 나타나는 경계 정보를 기반으로 하나의 영역을 여러 개의 객체로 분할함으로써, 기존 RGB 기반 검출에서 발생하는 객체 병합 문제를 해결할 수 있다.

본 연구에서는 객체 검출 이후 단계에서 결과를 보정하는

decision-level 융합 방식을 적용하였다. 이 방식은 기존 객체 검출 모델을 변경하지 않고 그대로 활용할 수 있으며, 추가적인 학습 과정 없이 적용할 수 있다. 또한 계산 복잡도가 낮아 실시간 처리에 적합하며, 산업 현장에서 적용성을 높일 수 있다는 장점이 있다.

3. 결론

투명 및 반사 특성을 갖는 유리 객체의 검출 한계를 극복하기 위해 RGB 영상과 열화상 영상을 결합한 멀티모달 영상 융합 기반 유리 객체 검출 알고리즘을 제안하였다. 기존 RGB 기반 객체 검출 방법에서 발생하는 객체 병합 및 미검출 문제를 해결하기 위해, 열화상 영상에서 추출된 경계 정보를 활용하여 객체 분리 성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. 본 연구는 객체 검출 모델 자체를 변경하지 않고, 검출 결과를 후처리 단계에서 보정하는 decision-level 융합 방식을 적용함으로써 계산 효율성과 적용 용이성을 동시에 확보하였다. 이를 통해 산업 현장에서 요구되는 실시간 처리 환경에서도 활용할 수 있는 실용적인 접근 방법을 제시하였다. 향후 연구에서는 실제 생산 환경에서 수집된 데이터를 기반으로 제안 알고리즘의 성능을 정량적으로 검증하고, 다양한 조명 조건 및 환경 변화에 대한 강건성을 확보하는 방향으로 확장할 예정이다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 충청북도의 재원으로 충북 RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다. (2026-RISE-11-004-02)

참고문헌

- [1] 이승민, 이희성, “딥러닝 기반 전기모터 부품 결합 오류 감지 시스템”, 한국산학기술학회 논문지, vol. 26, no. 4, pp. 1-6, April 2025.
- [1] S. Lee, B. Kim, and H. Lee, “Deep learning-based glass detection for smart glass manufacturing processes”, Computers, Materials & Continua, vol. 84, no. 1, pp. 1397-1415, June 2025.
- [3] 이동현, 정철우, 최준서, 김봉중, “열화상-RGB 카메라 융합 기반 실시간 객체 인식 시스템”, 대한기계학회 논문집 A권, vol. 50, no. 2, pp. 97-110, Feb. 2026.
- [4] 김주영, 이종혁, 이희성, “Vision transformer와 graph convolutional network를 이용한 넘어짐 검출 알고리즘”, 한국철도학회논문집, vol. 26, no. 4, pp. 251-259, April 2023.