

AI-Agent 기반 실시간 재활용 쓰레기 자동 분류 시스템

이민솔¹, 김성민¹, 김정규¹, 박창진¹, 최일준², 이정일³

¹한국폴리텍대학 정수캠퍼스 인공지능소프트웨어과 하이테크 과정

²엔에스웍스(주) 이사

³한국폴리텍대학 정수캠퍼스 인공지능소프트웨어과 교수

migoyo992@gmail.com¹, ksm6832@naver.com¹, maddux0782@gmail.com¹,

pwh1011@naver.com¹, cij0319@ut.ac.kr², ain@kopo.ac.kr³

AI-Agent Based Real-Time Automated Recycling Waste Classification System

Min-Sol Lee¹, Seong-Min Kim¹, Jeong-Gyu Kim¹, Chang-Jin Park¹

Il-Jun Choi², Jeong-Il Lee³

^{1,3}Dept. of Artificial Intelligence & Software Seoul Jungsu Campus of Korea Polytechnic

²NSworks Co., Ltd, Seoul, Republic of Korea, Executive Director

요 약

본 연구는 공공시설의 재활용 분리배출 문제를 해결하기 위해 AI 기반 자동 분류 시스템을 제안한다. 기존 시스템의 한계를 극복하고자 한국 환경에 최적화된 자체 학습 AI 모델과 레이저 투과 기술을 활용한 이중 검증 방식을 도입한다. 투명 유리, 플라스틱, 캔 등의 투명/반투명 재질에 대해서는 레이저 투과를 통해 객체 인식 정확도를 향상시키고, 카메라 기반 객체 인식과 라벨 OCR 인식을 통한 정확한 재질 판별을 구현한다. 본 시스템은 사용자 편의성과 분류 정확도를 동시에 향상시킬 것으로 기대되며, 향후 공공시설의 재활용 분리배출 효율화에 기여할 수 있을 것이다.

1. 서론

현대 사회에서 환경 보호에 대한 관심이 높아지면서 재활용의 중요성이 부각되고 있다. 하지만 공공 시설에서는 다양한 사용자가 배출하는 재활용품의 분리배출 오류로 인해 재활용 효율성이 크게 저하되는 문제가 발생하고 있다. 기존의 수동적인 분리배출 방식은 사용자의 환경 인식 수준에 의존하여 높은 오분류율을 보이며, 이는 후처리 과정에서 추가적인 인력과 비용을 요구한다.

최근 인공지능과 컴퓨터 비전 기술의 발전에도 불구하고, 기존 범용 AI 모델들은 한국 재활용품 특성을 충분히 반영하지 못하며, 특히 투명한 플라스틱이나 유리와 같은 재질의 인식에 어려움을 보인다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 한국 환경에 최적화된 AI 모델과 레이저 투과 기술을 결합한 스마트 재활용 분리배출 시스템을 제안한다.

본 연구에서 제안하는 시스템은 AI-Agent 기반으로 설계되었다. AI-Agent는 환경을 인식하고 자율적으로 의사결정을 수행하는 지능형 시스템으로, 본 시스템에서는 재활용품의 재질을 판단하고 분류 결정을 내리는 역할을 수행한다. 이러한 Agent 구조를 통해 실시간 자동 분류가 가능하다.

2. 관련 연구

재활용품 분류를 위한 기존 연구들은 크게 물리적 특성 기반 방법과 분광학적 방법으로 나뉜다.

물리적 특성 기반 분류 방법은 비중선별, 자력선별 등이 있으나 분류 가능한 재질이 제한적이고 정확도가 낮다. 영상 기반 방법은 환경적 요인에 의해 분류 결과가 불안정한 문제점을 가진다.

근적외선분광법(NIRS)과 적외선분광법(IRS)은 반사 및 흡수 스펙트럼을 이용하여 재질을 구별하지만, 시료 표면 오염물질의 영향으로 전처리가 필요하며 투명 재질 구분에 한계가 있다[1].

레이저 유도 붕괴 분광법(LIBS)은 시료의 원소 조성을 기반으로 분류하는 기술로, 환경 조건이나 시료의 색상, 형태에 영향받지 않으며 별도의 전처리 과정이 불필요하다는 장점을 가진다[2]. Park et al.(2017)은 LIBS 기술을 활용하여 흑색 플라스틱의 재질별 자동선별 시스템을 개발하였으며, 94% 이상의 인식률을 달성했다[3]. Yang et al.(2023)은 LIBS와 머신러닝을 결합하여 플라스틱, 유리, 금속 등 다양한 재활용품을 분류하는 시스템을 제안하였으며, 100%의 분류 정확도를 보고했다[4].

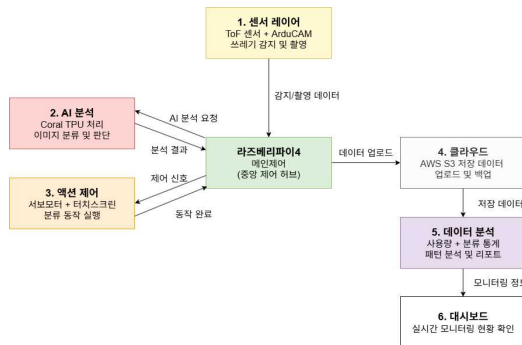
이러한 선행 연구들은 LIBS 기술의 재활용품 분류

적용 가능성을 보여주었으나, 투명 재질에 대한 레이저 투과 특성을 활용한 정확도 향상 방법에 대한 연구는 부족한 실정이다.

3. 제안 시스템

3.1 시스템 전체 구조

본 연구에서 제안하는 Smart-RT 시스템은 투입부, AI 분석부, 레이저 투과 검증부, 분류 이송부로 구성된다. 사용자가 재활용품을 투입하면 카메라 기반 객체 인식을 수행하고, 투명/반투명 재질의 경우 레이저 투과 기술로 2차 검증하여 해당 분류함으로 자동 이송한다.



(그림 1) Smart-RT 시스템 전체 구성도

3.2 한국형 AI 모델 및 레이저 투과 기법

한국 재활용품 특성을 반영한 자체 데이터셋으로 학습한 AI 모델을 적용한다. 투명 유리, 플라스틱, 캔 등에 대해 레이저 투과율 차이를 활용한 검증 시스템을 도입하여, 유리의 높은 투과율과 플라스틱의 상이한 투과 특성을 통해 정확한 구분이 가능하다.



(그림 2) 재질별 레이저 투과 실험

3.3 기대 효과

제안 시스템은 투명 재질 구분 능력 향상을 통해 분리배출 정확도 개선에 기여할 것으로 기대된다. 한국 환경 최적화 AI 모델과 레이저 투과 기술의 결합으로 재활용 효율성 증대와 환경 보호 효과를 달성할 수 있을 것이다.

기존 카메라 기반 시스템은 외형 정보만으로 판단하여 투명 유리병과 투명 플라스틱 용기의 구분이 어려운 한계가 있었다. 제안하는 시스템은 레이저

투과 정보를 추가로 활용함으로써 이러한 한계를 극복하였다. 특히 다양한 재활용품의 투과 패턴을 규격화하고 형태 정보와 융합하여 분류함으로써 기존 방식 대비 투명 재질 구분 정확도가 향상될 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는 공공시설의 재활용 분리배출 문제를 해결하기 위해 AI 기반 객체 인식과 레이저 투과 기술을 결합한 스마트 재활용 분리배출 시스템(Smart-RT)을 제안하였다. 기존 카메라 기반 시스템의 투명/반투명 재질 구분 한계를 극복하고자, 레이저 투과율 차이를 활용한 이중 검증 방식을 도입하였으며, 한국 환경에 최적화된 자체 학습 데이터셋을 구축하여 분류 정확도 향상을 도모하였다.

제안하는 시스템은 사용자 편의성과 분류 정확도를 동시에 향상시킬 수 있을 것으로 기대되며, 특히 투명 유리와 플라스틱 용기의 정확한 구분을 통해 재활용 효율성을 크게 개선할 수 있을 것이다. 향후 실제 시제품 제작 및 성능 검증을 통해 공공시설 현장 적용 가능성을 검토하고, 다양한 재질에 대한 레이저 투과 특성 데이터베이스를 확장하여 시스템의 범용성을 높일 예정이다.

본 논문은 과학기술정보통신부
대학디지털교육역량강화사업의 지원을 통해
수행한 한이음 드림업 프로젝트 결과물입니다.

참고문헌

- [1] 한원흠, 한지흠, 김지현, 정형식, 이문호, “공기-유리 계면에서 광학정보 전달에 미치는 불완전 반사 및 수분 효과,” 한국접착및계면학회지, 제13권, 제2호, pp.73-83, 2012.
- [2] 박은규, 정밤빛, 최우진, 오성권, “LIBS를 이용한 흑색 플라스틱의 자동선별 시스템 개발,” 한국폐기물자원순환학회지, 제26권, 제6호, pp.73-83, 2017.
- [3] Lei Yang, Yong Xiang, Yinchuan Li, Wenyi Bao, Feng Ji, Jingtao Dong, Jingjing Chen, Mengjie Xu, Rongsheng Lu, “Identification and classification of recyclable waste using laser-induced breakdown spectroscopy technology,” AIP Advances, Vol.13, No.7, Article No.075024, 2023.