

Teachable Machine 기반의 라벨 유무 판별 PET병 자동 분류 시스템 설계

정경권, 김용중*

부천대학교, *한국폴리텍대학교 춘천캠퍼스
kkjung@bc.ac.kr, *kyj11111@kopo.ac.kr

Design of Automatic PET Bottle Sorting System based on Label Detection using Teachable Machine

Kyung Kwon Jung, YongJoong Kim*
Bucheon Univ., *Korea Polytechnics Chuncheon-Campus

요약

본 논문에서는 딥러닝 기술을 활용하여 폐트병의 라벨 부착 여부를 실시간으로 판별하고, 이를 물리적으로 자동 분류하는 저비용의 지능형 분류 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 구글의 티처블 머신(Teachable Machine)을 이용하여 '라벨없음(Labelless)', '라벨있음(Labeled)', '유색(Colored)', '대기(Ready)'의 네 가지 클래스를 학습한 이미지 분류 모델을 기반으로 한다. 시스템은 웹캠을 통해 폐트병 영상을 입력받아 파이썬 환경에서 추론을 수행하며, 그 결과를シリ얼 통신을 통해 아두이노로 전송한다. 아두이노는 수신된 클래스 정보에 따라 서보모터를 제어하여, 라벨이 제거된 병은 수거함으로 이동시키고, 라벨이 부착된 병은 배출구로 반환한다. 라벨이 부착된 병을 사용자에게 되돌려줌으로써 사용자가 직접 라벨을 제거한 후 다시 투입하게 유도하여 올바른 분리배출 습관을 학습할 수 있도록 설계하였다.

I. 서 론

전 세계적으로 플라스틱 폐기물로 인한 환경 오염 문제가 심각해짐에 따라, 지속 가능한 자원 순환 체계 구축이 필수적인 과제로 대두되고 있다. 그중 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)는 재활용 시 의류, 시트 등으로 재단생할 수 있는 고부가가치 자원이다. 하지만 이물질이 혼입되거나 라벨과 같은 다른 재질이 섞일 경우 재생 원료의 품질이 급격히 저하된다 [1].

환경부는 고품질의 재활용 원료를 확보하기 위해 2020년부터 '투명 폐트병 별도 분리배출' 제도를 시행하고 있다[2]. 이 제도의 핵심은 사용자가 투명 폐트병의 내용물을 비우고, 곁면에 부착된 인쇄 비닐 라벨(Label)을 제거한 뒤, 씨그니처 뚜껑을 닫아 배출하는 것이다. 그러나 이러한 과정은 전적으로 배출자의 자발적인 노력과 의지에 의존하고 있다. 실제 분리배출 현장에서는 라벨을 제거하지 않고 그대로 배출하는 사례가 빈번 하며, 이는 수거 후 선별장에서 추가적인 인력과 비용을 투입하여 라벨을 제거하거나 선별하는 과정을 거치게 만든다. 또한 선별 과정에서 놓친 라벨 부착 병은 재생 공정 중 불순물로 작용하여 전체 재생 칩(Chip)의 순도를 떨어뜨리는 주요 원인이 된다.

기존의 폐트병 선별 기술은 주로 대형 재활용 센터에서 사용되는 근적 외선(NIR) 분광 분석기나 광학 선별기에 의존해 왔다. 이러한 산업용 장비는 처리 속도가 빠르고 정확도가 높으나, 장비의 크기가 크고 가격이 매우 비싸 소규모 거점이나 가정, 학교 등에 설치하기에는 부적합하다. 최근에는 소형화된 IoT 기반의 스마트 수거함이 연구되고 있으나, 대부분 바코드 인식 방식이나 단순 무게 센서를 활용하는 경우가 많다[3].

본 논문에서는 딥러닝 기반의 영상 인식 기술을 활용하여 폐트병의 라벨 부착 여부를 실시간으로 판별하고, 이에 따라 물리적인 제어를 수행하는 지능형 PET 병 분류 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 구글의 Teachable Machine을 활용하여 누구나 쉽게 학습 모델을 구축할 수 있는 접근성을 가지며[4], 아두이노와 같은 저비용 오픈소스 하드웨어를 사용

하여 경제성을 확보할 수 있도록 설계한다.

II. 시스템 구성

시스템은 크게 영상 데이터를 획득하고 분석하는 '영상 처리 및 추론 모듈'과 물리적인 분류를 수행하는 '제어 및 구동 모듈'로 구성된다.

제안하는 시스템은 사용자가 폐트병을 투입하면, 카메라가 이를 촬영하고 PC 기반의 딥러닝 모델이 라벨 유무를 판단한 뒤, 그 결과에 따라 아두이노가 서보모터를 제어하여 병을 분류하는 폐루프 구조를 가진다.

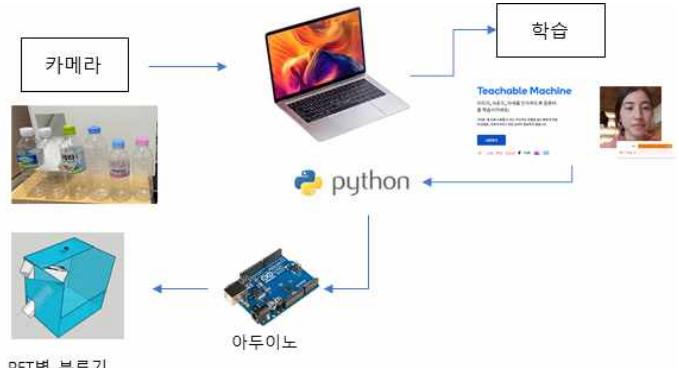


그림 1. 시스템 구성

분류기 상단에 위치한 웹캠이 투입구 통로 영역을 실시간으로 촬영하여 PC로 영상을 전송한다. PC에서 실행되는 파이썬 애플리케이션이 Teachable Machine으로 학습된 모델을 로드하여 입력된 영상의 클래스(Class)를 확률적으로 계산한다. 이때, 가장 높은 신뢰도를 가진 클래스를 최종 결과로 선택한다. 분류된 결과값(Class ID: 1, 2, 3, 4)은 파이썬에서シリ얼 통신으로 아두이노 보드에 전송된다. 아두이노는 수신된 데이터에 따라 2개의 서보모터를 제어하여 배출구 또는 저장소 게이트를 개폐한다.

설계한 PET병 분류장치는 그림 2와 같다.

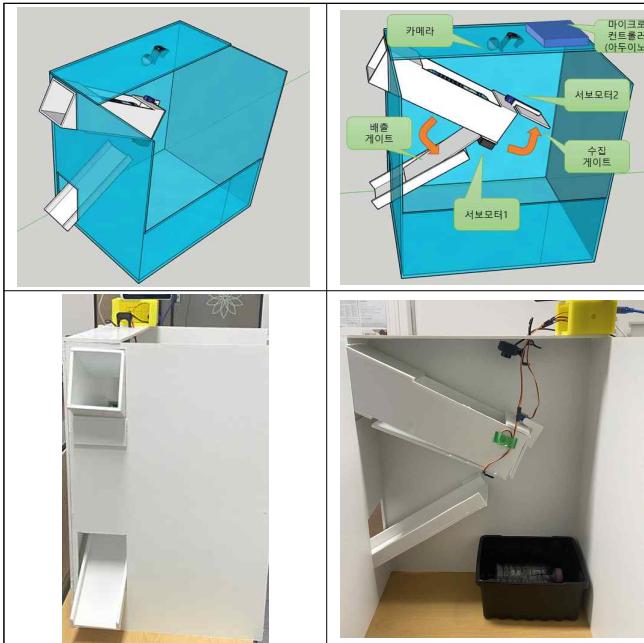


그림 2. 제작한 PET병 분류장치

구글의 Teachable Machine 플랫폼을 이용하여 MobileNet 기반의 사전 학습된 모델(Pre-trained Model) 위에 커스텀 레이어를 추가하여 미세 조정(Fine-tuning)을 수행하였다[4-5]

안정적인 분류 성능을 확보하기 위해 다양한 환경 변수를 고려하여 이미지 데이터를 수집하였다. 데이터셋은 총 4개의 클래스로 구성되며, 표 1과 같이 각 클래스당 약 50~100장이상의 이미지를 학습에 사용하였다.

표 1. 데이터셋 구성

Class	설명	데이터 수
1 Labelless	라벨을 완전히 제거한 투명한 상태의 폐트병	100
2 Labeled	시중에서 판매되는 5종 이상의 음료수 병에 라벨(비닐)이 부착 된 상태	100
3 Colored	유색(불투명) 폐트병	50
4 Ready	폐트병이 투입되지 않은 빈 배경 (조명 및 그림자 변화 포함)	50

그림 3과 같이 Teachable Machine을 이용하여 학습을 진행하고, 학습은 85%의 샘플을 이용하고, 테스트는 15%의 샘플을 이용하였다. 학습된 결과는 다운로드를 받아서 OpenCV Keras 파이썬 코드를 이용하여 동작을 한다. 분류한 결과는 Serial 통신으로 아두이노에 전달되고 표 2와 같이 모터를 제어한다.

시스템의 기본 성능을 평가하기 위해 '라벨없음(Labelless)', '라벨있음(Labeled)', '유색(Colored)'의 상태에 대해 각각 100회씩 테스트를 수행하여 표 2과 같은 결과를 확인하였다.

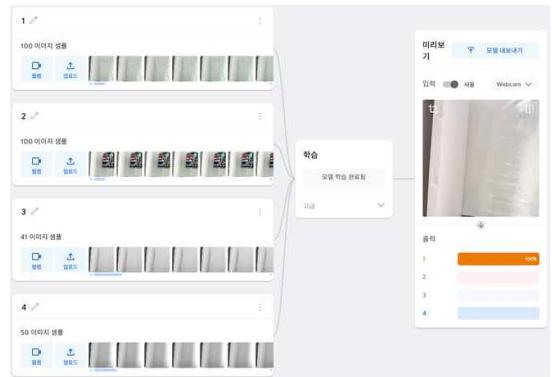


그림 3. Teachable Machine을 이용한 학습 진행

표 2. 동작결과

Class	서보모터 1 (배출)	서보모터 2 (수집)	동작 설명
1	Close	Open	라벨 제거 병 감지 -> 저장 상자로 이동
2	Open	Close	라벨 부착 병 감지 -> 배출구로 이동
3	Open	Close	유색 폐트병 감지 -> 배출구로 이동
4	Close	Close	대기 상태

표 3. 분류성능 결과

예측 실제	Labelless	Labeled	Colored	Ready	Total
Labelless	100	0	0	0	100
Labeled	0	98	2	0	100
Colored	0	1	97	2	100
Ready	0	0	0	100	100

III. 결론

본 논문에서는 딥러닝 기술과 오픈소스 하드웨어를 결합하여 폐트병의 라벨 유무를 자동으로 판별하고 분류하는 시스템을 설계하고 구현하였다. Teachable Machine을 이용한 효율적인 모델 학습과 아두이노 기반의 제어 시스템을 통해, 저비용으로도 98.75%의 높은 분류 정확도를 달성할 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made," *Science Advances*, vol. 3, no. 7, e1700782, 2017.
- [2] 환경부, "재활용품 분리배출 가이드라인," https://www.sejong.go.kr/bbs/R0071/view.do?nttId=B000000038959&Am8vF9d&mno=sub02_01
- [3] Asep Denih, et al., "Identification of plastic waste with unmanned aerial vehicle (UAV) using deep learning and internet of things (IoT)," *Journal of Hazardous Materials Advances*, Volume 18, 100622, 2025.
- [4] G. Thung and M. Yang, "Classification of trash for recyclability status," *Stanford University Reports*, vol. 2016, pp. 1-6, 2016.
- [5] A. G. Howard et al., "MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications," *arXiv:1704.04861*, 2017.