

투명 페트병 재활용을 위한 스마트 키오스크

김도한, 임희주, 이진욱, 박예원, 박주찬, 강민철, 김수민*
한국공학대학교 전자공학부

E-mail: nanadh@naver.com, {swrkdalscjf, *suminkim}@tukorea.ac.kr

A Smart Kiosk for Recycling Transparent Plastic Bottles

Do Han Kim, Hee Ju Lim, Jin Uk Lee, Ye Won Park, Ju Chan Park, Min Chul Kang, and
Su Min Kim*

Dept. Electronics Engineering, Tech University of Korea

요약

본 논문은 정부에서 시행한 '투명 페트병 분리배출 정책'의 이행율을 높이기 위한 페트병 재활용 키오스크 구현에 관한 연구이다. 구체적으로, 사용자가 키오스크 화면에 개인 정보를 입력하고 투입구에 페트병을 투입할 경우, YOLOv5 객체 인식을 통해 페트병에 부착된 라벨 유무를 확인하고 필요 시 라벨 제거 동작을 수행하는 시스템을 개발한다. 재활용 가능한 페트병이 수거가 되면 포인트를 지급하여 사용자가 보상도 선택할 수 있도록 설계하여 투명 페트병 재활용율을 높이고 환경 보호에 기여할 수 있도록 하였다.

I. 서론

2021년 정부에서는 환경오염을 줄이고 재활용 가능한 자원의 수거율을 높이고자 투명 페트병 분리배출 제도를 시행하였다. 하지만 고품질 원료로 재활용되는 비율은 10%대에 불과하다. 이처럼 고품질 섬유로 재활용되는 비율이 낮은 이유는 선별 작업이 제대로 이뤄지지 않아 라벨 또는 이물질이 많기 때문이다 [1]. 또한, 한국소비자원 조사 결과에 따르면, 투명 페트병 분리배출 과정에서 라벨 제거가 불편하다는 응답이 70.6%, 페트병에 부착된 이물질 또는 내용물 세척이 힘들다는 응답이 64.7%로 소비자 10명 중 7명이 라벨을 제거하기 힘들다는 점을 꼽았다 [2].

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 기계학습 기반 영상처리 기법을 활용하여 키오스크 내부로 투입되는 페트병의 라벨 유무를 판별하고 필요시 사용자 대신 라벨을 제거해 주는 프로세스를 통해 사용자의 편의성을 보장한다. 또한, 프로세스가 종료되면 사용자에게 보상을 지급하여 페트병 재활용 참여율을 더욱 높여 제도 이행율을 높이는 키오스크를 제안한다.

II. 본론

그림 1과 같이 전체 시스템은 (1) 회원 정보 저장 및 관리부, (2) 시스템 제어부, (3) 라벨 제거 장치부로 구성된다.

회원 정보 저장 및 관리부는 JPanel 라이브러리 [3]를 통하여 User에게 인터페이스를 제공하고 UI를 통하여 입력 받은 데이터를 Spring 프레임워크로 설계한 Restful API 서버를 통하여 Database에 저장한다. 이때, Jackson 라이브러리를 이용하여 데이터 객체를 JSON 형태로 변환한다. 그리고 User가 데이터를 필요로 한다면, HTTP 요청을 통하여 Database에서 API를 통해 데이터를 받도록 한다. 이 때도 역시 JSON 형태의

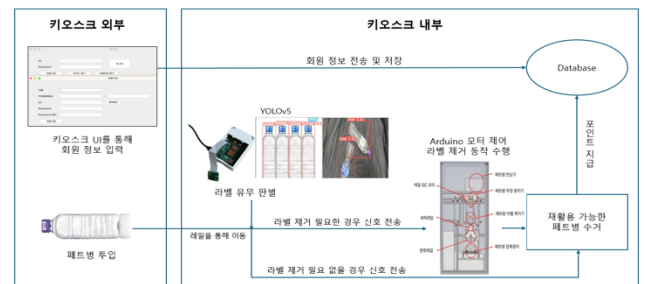


그림 1. 시스템 구성도

데이터를 객체로 변환하는 과정을 거친다.

시스템 제어부는 임베디드 플랫폼인 Raspberry Pi 5 [4]를 사용한다. Raspberry Pi 5는 라벨 유무 판별 YOLOv5 모델 [5]을 내장하여 카메라를 통해 인식하고 판별한다. 객체 인식 모델의 경우, 투입되는 페트병의 라벨을 검출하기 위해 YOLOv5 모델을 활용하였다. 약 1,000개의 이미지를 라벨 유무에 따른 labeling을 통해 dataset을 생성한 후, Google Colab의 GPU(Graphic Processing Unit)를 활용하여 YOLOv5 모델 학습 및 테스트를 진행하였다. 여러 번의 테스트를 거쳐 학습 결과가 가장 좋은 라벨 유무 판별 모델을 이용하여 키오스크 내부로 투입되는 페트병의 라벨 유무를 정확하게 확인할 수 있다. 또한, Client와 Socket 통신을 하여 데이터를 송,수신하고 USB Serial 통신을 통해 라벨 유무 판별 결과에 따른 동작 제어 신호를 라벨 제거부인 Arduino Mega에 전송한다.

라벨 제거 장치부는 Arduino Mega 플랫폼을 통해 구현하였다. 투입된 페트병의 이동 및 라벨 제거의 모터 제어를 담당한다. 라벨 제거 및 수거에 컨베이어 벨트와

리니어 가이드를 사용한다. 두 개의 컨베이어 벨트를 V 자 형태로 하여 투입되는 페트병이 안정적으로 이동할 수 있도록 설계하였다. Arduino Mega 플랫폼은 라벨 유무를 판별하는 Raspberry Pi 와의 USB Serial 통신을 통해 판별 결과에 따른 제어 신호를 받는다. 라벨이 존재하여 제거가 필요한 경우, 컨베이어 벨트의 모터를 동작하여 라벨 제거를 담당하는 리니어 가이드 하단에 위치시킨다. 칼날이 부착된 리니어 가이드가 수직으로 내려오고 수평으로 움직이며 라벨을 제거한다. 제거가 완료되면, 리니어 가이드가 초기 상태로 돌아가고 컨베이어 벨트가 다시 동작하여 라벨이 제거가 된 페트병을 수거함으로 이동시킨다. 라벨이 없는 경우, 컨베이어 벨트만 동작하여 페트병을 수거하게 된다. 모든 동작이 완료되면 사용자가 입력한 정보를 기반으로 Database 에 포인트를 지급한다.

III. 시스템 구현 결과



그림 2. 라벨 유무 판별 모델 학습 결과

그림 2 는 라벨 유무 판별 모델 학습 결과를 보여준다. 약 1,000 개의 이미지를 활용하여 Dataset 을 생성한 후, Google Colab 환경에서 YOLOv5 를 학습해 라벨 유무 판별 모델을 생성하였다. 테스트 결과, 페트병의 라벨 유무를 0.9 이상의 높은 정확도로 판별하는 것을 확인하였다.

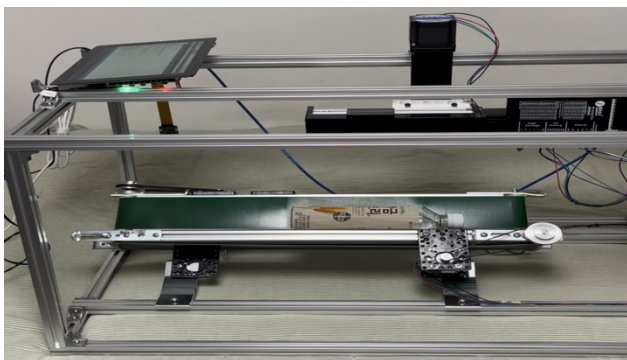


그림 3. 시스템 구현 결과

그림 3 은 투명 페트병 재활용 키오스크를 구현한 결과이다. 시스템 전면에 위치한 Touch LCD 를 통해 사용자가 정보를 입력 받고, 서버에 데이터를 저장한다. 클라이언트는 시스템 제어부인 Raspberry Pi 5 와 Socket 라이브러리를 이용하여 3-way-handshaking 방식으로 TCP 접속을 한다. 연결이 되면, Raspberry Pi 5 의 카메라가 켜지며 투입된 페트병의 라벨 유무를 판별한다. 라벨 유무에 따른 각기 다른 제어 신호를 라벨 제거부에 전송하게 된다. 라벨 제거부는 수신한 신호에 따라 라벨을 이동시키는 컨베이어 벨트와 라벨을 제거하는 리니어 가이드의 모터를 제어하여 재활용 가능한 투명 페트병을 수거한다.

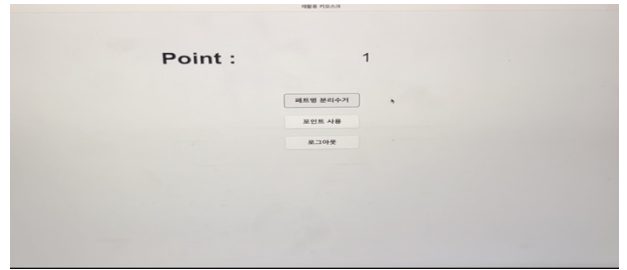


그림 4. 시스템 동작 후, 포인트 지급 확인 결과

그림 4 는 보상 포인트 지급 화면이다. 모든 시스템이 동작을 완료하면 수거된 재활용 페트병의 개수에 따라 포인트 데이터를 생성하고 Raspberry Pi 5 는 Socket 통신을 통해 Client 에게 데이터를 전송한다. Client 는 전송받은 데이터를 서버에 전달하고 데이터를 업데이트 한다. 업데이트된 포인트는 Touch LCD 에 표현된 UI 를 통해 확인할 수 있다. 사용자는 지급된 포인트를 통해 보상을 선택할 수 있도록 설계하였다. 사용자의 참여율을 더욱 높이기 위해 이러한 보상 제도를 고안하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 정부에서 시행한 투명 페트병 분리배출 제도 이행율을 높이기 위해 사용자에게 편의성을 제공하고 보상을 통해 재활용 참여율을 높일 수 있는 스마트 키오스크를 제안하고 구현하였다. 제안 키오스크는 입력된 사용자의 정보를 저장하고 투입된 페트병의 라벨 유무를 YOLOv5 모델을 통해 인식한다. 라벨 존재 시, 라벨 제거부를 통해 라벨을 제거하고 수거함으로 이동시켜 수거된 투명 페트병이 재활용 가능하도록 한다. 성공적인 수거 후에는 사용자에게 포인트를 지급하여 보상을 선택할 수 있도록 한다. 제안 키오스크를 통해 사용자가 라벨을 직접 제거해야 하는 불편함을 해소하고 보상을 통해 참여율을 증가시켜 투명 페트병 분리배출 제도 이행율을 높이고 환경 보호에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원·학·석사연계 ICT 핵심인재양성의 지원 (IITP-2024-RS-2022-00156326, 50)과 한국연구재단의 지원 (No. 2022R1F1A1074556)을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] 투명 페트병 고품질 재활용율 14% 불과, TBC 뉴스, 2022.09. Online: <https://www.tbc.co.kr/news/view?c1=%EC%A7%91%EC%A4%91%EC%B7%A8%EC%9E%AC&c2=&pno=20220913102525AE00386&id=172628>
- [2] 소비자 70%, 투명페트병 분리배출 시 라벨 제거 불편, 뉴스시스, 2021.12. Online: https://www.newsis.com/view/NISX20211223_0001699152
- [3] JPanel Library v0.2.0, Online: <https://jperezov.github.io/jpanel>
- [4] Raspberry Pi 홈페이지. Online: <https://www.raspberrypi.com>
- [5] R. Khanam and M. Hussain, "What is YOLOv5: A deep look into the internal features of the popular object detector," arXiv:2407.20892v1, July 2024. Online: <https://arxiv.org/html/2407.20892v1>