

딥러닝을 이용한 보급형 페트병 분리수거 시스템

김규한¹, 박상철¹, 신민석¹, 서승현²

¹한양대학교 ERICA 해양융합공학과

²한양대학교 ERICA 전자공학부

kuhan0205@hanyang.ac.kr, ssc9713@hanyang.ac.kr, ddengkka@hanyang.ac.kr,

seosh77@hanyang.ac.kr

Low-end PET Waste Sorting System Using Deep Learning

Ku-Han kim¹, Sang-Chul Park¹, Min-Seok Shin¹, Seung-Hyun Seo²

¹Dept. of Marine Science and Convergence Engineering, Hanyang University

²School of Electrical Engineering, Hanyang University

요 약

2021년에 발표된 재활용 가능 자원의 분리수거 관한 정부 지침으로 투명 페트병은 유색 플라스틱과 구분되어 분리배출하는 것이 의무화되었다. 그러나 제도가 시행된 지 반년이 지났지만, 혼합 배출률이 크게 줄지 않았고 아파트에서는 미화원들이 일일이 투명 페트병을 분리하고 있는 등 주민들의 불편함은 커지고 있다. 본 논문에서는 기존 분리수거장에 쉽게 설치 가능한 보급형 페트병 분리수거 시스템을 개발하여 분리수거 효율성을 높이고자 한다. 우리는 AlexNet, GoogleNet 알고리즘을 이용하여 딥러닝 모델을 이용하고 자체 제작한 데이터셋으로 학습시켜 하드웨어에 적용함으로써 보급형 페트병 분리수거 시스템을 설계하였다.

1. 서론

현재 과도한 플라스틱과 일회용품 사용으로 미세 플라스틱, 토양오염, 수질오염 등 여러 환경문제가 발생하고 있다. 특히 플라스틱은 2017년 기준 약 7961천 톤이 생산되었지만, 24만 톤이 회수되었다. 하지만 이중 1812천 톤(22.7%)의 투명 페트병 만이 실제 재활용이 되었다[1]. 2021년 정부에서는 환경오염을 줄이고 재활용 가능한 자원의 수거율을 높이고자 플라스틱을 투명 페트병과 유색 플라스틱으로 구분하여 수거하는 정책[2]을 시행하였다. 정부에서 정한 투명 페트병 분리 방법에 따르면 투명 페트병을 별도 분리수거함에 넣을 경우에 내용물을 모두 비우고 라벨지는 깨끗하게 떼어내야 한다. 투명페트병의 분리배출은 고품질의 플라스틱으로 재활용 및 의류 원단으로 재가공이 가능하며, 연 7.8 만톤의 페트병 및 재생원료 수입 비중을 낮출 수 있다[3]. 유색 페트병 또는 라벨지가 붙어있는 페트병과의 혼합배출은 재활용이 불가능하여 지양해야 한다.

현재 올바르게 않은 플라스틱 배출로 인해 쓰레기 선별장에서 쓰레기 분류 노동자들이 수작업으로 라벨지를 제거하고 재활용 가능한 페트병을 선별하

고 있는 상황이다. 선별작업 후 발생된 폐기물을 처리하기 위해 운송비, 소각비 등의 이중 비용이 추가로 소요되고 있다.

본 논문에서는 가정에서 쓰레기를 배출하는 단계부터 투명 페트병 분리배출이 올바르게 이뤄지기 위해 보급형 페트병의 분리수거 시스템을 제안한다. 이를 위해, 우리는 딥러닝을 활용한 보급형 페트병의 분리수거 시스템의 알고리즘을 제안하고, 기존 분리수거장에 쉽게 설치 가능한 하드웨어 프로토타입을 설계하였다. 제안하는 페트병 분리수거 시스템은 딥러닝을 활용하여 페트병의 배출 규정에 맞는 페트병과 아닌 페트병을 구분하고, 배출 기준에 부합하지 않는 페트병은 분리배출 요령을 안내하여 문제점을 고칠 수 있도록 유도한다.

2. 관련 연구

쓰레기 분리배출 알고리즘과 상용화된 제품은 각각 “ECOOMON”, “네프론”이 있다. “ECOOMON”은 구글의 “Teacherable machine”을 이용하여 자동적으로 PET, CAN, PAPER 등의 종류를 분류하는 서비스를 구현하였다. 이미지 인식 정확도는 높으나 소프트웨어 단계까지만 제작이 되어 실제 분리수거

장에는 사용이 불가능하다. “네프론”은 재활용 가능한 쓰레기만 수거하고, 사용자들에게 캐시백 서비스를 제공한다. 실제로 몇몇 지자체에서 사용하고 있지만 고가의 제품으로 보급화에 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 라벨지, 내용물의 유무와 같이 혼동하기 쉬운 품목에 대해 사용자들에게 배출 방법을 안내하는 알고리즘과 저가형 제품 제작에 초점을 맞춘다.

3. 제안하는 시스템의 데이터 셋 수집방안

< 데이터 분류 기준 >

- 1) 투명 페트병과 유색 페트병의 분류
 - 투명 페트병 : 생수, 음료수병 등 무색 페트병
 - 유색 페트병 : 반투명, 불투명, 유색 페트병
- 2) 페트병 라벨지의 유무
 - 페트병 재질과 다른 PP, PE 재질 등의 라벨지
- 3) 내용물의 유무
 - 페트병 내의 청결도, 세척 정도, 이물질 유무

< 데이터셋 제작 환경 >

제안하는 시스템에서 사용하는 딥러닝 알고리즘의 학습용 데이터 셋을 생성하기 위해 데이터를 8가지의 분류 카테고리로 나누었다. 데이터 셋 생성을 위해 구글에서 제공하는 “Teachable machine” 프로그램을 이용하여 배경을 통일시키지 않은 페트병 사진 100장을 임시로 학습을 시켜보았고, 라벨지가 있는 경우에서 정확도가 높음을 확인할 수 있었다. 반면 라벨지가 없고 내용물이 있는 경우 내용물을 라벨지로 인식하여 오차가 많이 발생하였다. 같은 조건에서 단색 배경으로 통일시켰을 때도 시험해 본 결과 통일되지 않았을 때 정확도가 상대적으로 낮았다. 그러므로 흰색 배경의 30*30*45[Cm³] 촬영 부스를 제작하여 부스 내에서 촬영하였다. 16개의 투명 페트병 사진 약 2000장과 7개의 유색 페트병 사진 약 500장을 찍어 데이터 셋을 만들었다.

4. 제안하는 보급형 페트병 분리수거 시스템

4.1 제안하는 페트병 분류 알고리즘

- 1) AlexNet을 기반으로 한 알고리즘

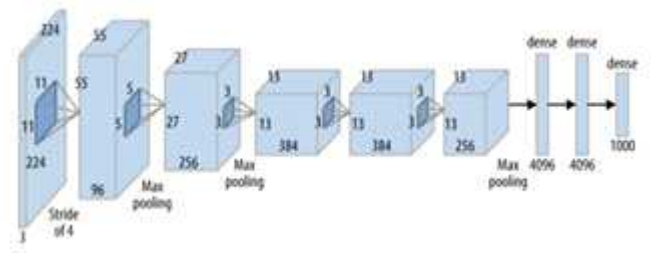


그림 1 AlexNet의 구조도

AlexNet은 8개의 레이어로 구성되어 있다. 5개의 컨볼루션 레이어와 3개의 full-connected 레이어로 구성되어 있다. 두 번째, 네 번째, 다섯 번째 컨볼루션 레이어들은 전 단계의 같은 채널의 특성 맵들과만 연결되어 있는 반면, 세 번째 컨볼루션 레이어는 전 단계의 두 채널의 특성 맵들과 모두 연결되어 있다. 활성화 함수로 Relu 함수를 사용하고 있으며 tanh 함수, sigmoid 함수를 사용한 다른 CNN 알고리즘보다 학습 속도가 빠르다.

제안하는 시스템에서 최적화된 알고리즘을 찾기 위해 AlexNet의 기본 레이어를 기반으로 Pooling과 가중치 함수를 변형시켰다. AlexNet의 Max Pooling을 Average Pooling으로, Relu 함수 대신 tanh 함수로 바꾼 알고리즘에 대한 비교를 진행했다.

- 1) Googlenet을 기반으로 한 알고리즘

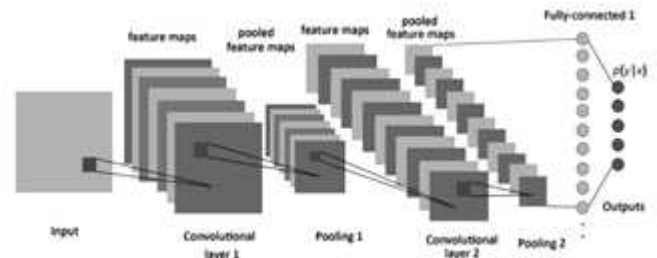


그림 2 GoogleNet의 구조도

GoogleNet은 9개의 인셉션 모듈로 구성되어 있다. 각각 4개의 컨볼루션 레이어와 Pooling을 수행하며 채널방향으로 합쳐진다. 1*1 컨볼루션 레이어가 채널을 줄였다가 다시 확장시키며 연산량을 크게 줄인다. AlexNet에 비해 GoogleNet은 최대 1/(10~12) 수준의 파라미터 개수를 가지게 된다.

4.2 제안하는 시스템의 구동 및 디자인

제안하는 시스템의 하드웨어는 라즈베리파이 4를 기본 컨트롤러로 사용했으며, 웹캠, TT-DC모터,

ICT-01 캐터필러를 사용했다. 본 시스템은 캐터필러를 기준으로 양쪽에 투명 및 유색 페트병 쓰레기통 설치를 필요로 하며 조명이 있는 분리수거장에서 사용할 수 있도록 설계했다. 페트병을 캐터필러 위에 올려놓으면 시스템에 설치된 웹캠이 페트병 투입을 자동으로 감지하고 흰색 배경 판 안에서 페트병 사진을 촬영한다. 이후 웹캠과 연결된 라즈베리파이에서 페트병 사진을 딥러닝 모델로 분류하며 결과값에 따라 기어 모터를 제어해 연결된 “ICT-01 캐터필러”가 시계방향 혹은 반시계 방향으로 회전한다. 기존 학습시킨 8가지 분류 카테고리 중 분리수거에 적합한 투명색 페트병 유색 무색 페트병 카테고리에 해당되었을 때, 페트병을 캐터필러로 투입시키고 이동하는 시스템을 라즈베리파이에 설치하였다. 이때 무색 페트병이면 연결된 캐터필러 모터에 의해 왼쪽 쓰레기통으로, 유색 페트병이면 오른쪽 쓰레기통으로 이동한다.

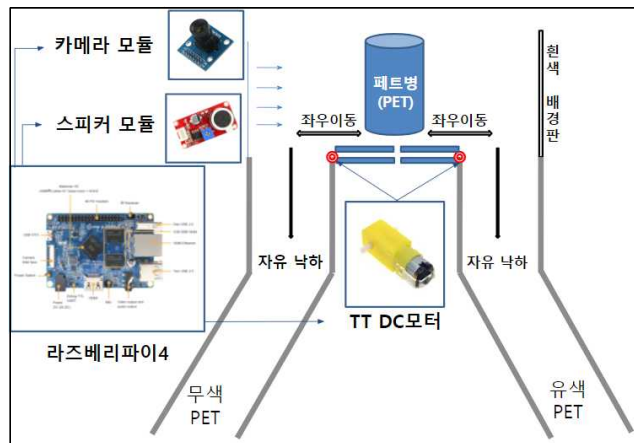


그림 3 보급형 페트병 분리수거 시스템 설계

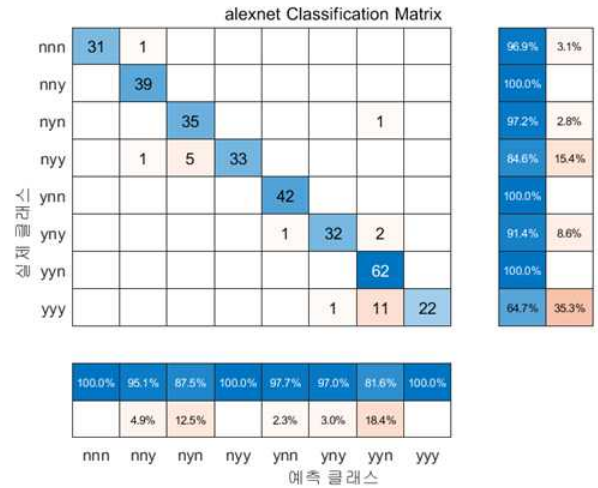
4. 실험결과

같은 데이터 셋을 AlexNet, GoogleNet, emotion_Alexavg(AlexNet 기반 Average Pooling), emotion_Alextanh(AlexNet 기반 tanh 사용) 총 4가지 모델로 학습해 보았다. <표 1>는 반복회수 444 회로 통일시킨 후 여러 가지 모델의 정확도와 연산 시간을 비교한 것이다.

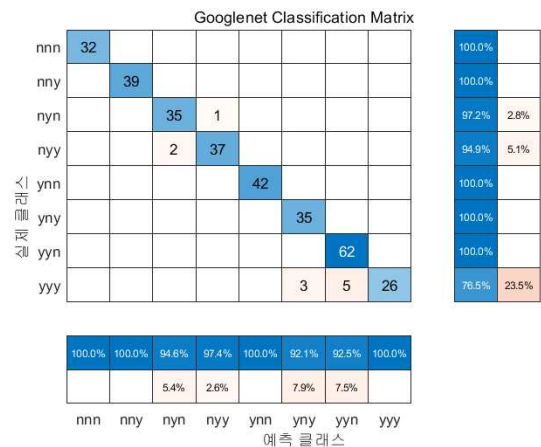
<표 1>

반복회수 444회 통일	정확도 (Accuracy)	연산시간 (Time rate)
Alexnet	92.79%	34m 27s
Googlenet	94.04%	9m 40s
emotion_Alexavg	61.13%	8m 52s
emotion_Alextanh	37.62%	8m 43s

<표 2>



<표 3>



<표 1>을 통해 알 수 있는 사실은 GoogleNet이 정확도에서 AlexNet에 비해 우위를 보이며 연산속도에서는 큰 우위를 가져간다. 다만, 데이터 셋의 비교 자료량이 충분하지 못하여 AlexNet의 검증 정확도 높게 나오지 못하였을 가능성도 있다. 그러므로 두 알고리즘을 병행하며 관찰할 필요가 있다.

<표 2>와 <표 3>를 통해 알 수 있는 것은 두 모델 모두 유색, 라벨지가 있고, 내용물이 있는 경우와 유색, 라벨지가 있고, 내용물이 없을 경우 분류

오차가 높아지는 것을 알 수 있다. 라벨지의 색과 내용물의 색이 비슷할 경우 분류를 하기 위한 파라미터가 부족해 오차가 많이 발생했을 가능성도 있다. 그러므로 카테고리의 세분화, 라벨지 RGB 값 등을 추가한 실험을 할 필요가 있다.

5. 결론 및 토의

본 논문에서는 딥러닝 모델 AlexNet, GoogleNet 등을 이용하여 보급형 페트병 분리수거 시스템을 설계했다. 분류 정확도가 높고, 간단한 설계로 기존의 분리수거 관련 제품들 대비 가격경쟁력이 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 분리수거장의 크기에 상관없이 설치도 간단하기 때문에 보급화가 쉬울 것으로 기대된다.

본 시스템의 한계점으론 하드웨어의 분류 및 물리적인 이동 과정에 필연적으로 지연이 발생한다. 한번 촬영에 한 개의 페트병만 분류시킬 수 있어 페트병 사용량이 많은 곳에서는 사람이 직접 쓰레기통에 넣는 분리수거 방법에 비해 소요 시간 증가가 불가피하기 때문이다. 향후 연구에서는 페트병 분류 모델의 정확도 향상, 여러 개의 페트병을 동시에 분류하는 소프트웨어 개발 작업이 필요하다. 또한 내용물 색, 라벨지 색 등의 요인을 추가한 카테고리도 세분화하여 특정 카테고리에 대한 오차율을 낮춰야 한다. 이에 따라 하드웨어 설계에서는 지연시간 최소화, 이동 거리 단축 등 최적의 하드웨어 디자인 설계로 현재의 분리수거 방법과 비슷한 시간으로 단축해야 한다.

참고문헌

- [1] 그린피스, 플라스틱 대한민국 일회용의 유혹, p.18
- [2] 재활용가능자원의 분리수거등에 관한 지침
- [3] 환경부, 고품질 폐트재생원료 10만톤 달성위해 유통업계동찰, 환경부 보도자료, 2021
- [4] Baiqiang Gan; Chi Zhang "Research on the algorithm of urban waste classification and recycling based on deep learning technology", 2020 International Conference on Computer Vision, Image and Deep Learning (CVIDL)
- [5] KirillAkhmetzyanov; Alexander Yuzhakov "Waste Sorting Neural Network Architecture Optimization", 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon),
DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867749
- [6] G. Rishma& R. Aarthi "Classification of Waste Objects Using Deep Convolutional Neural Networks", ICDSMLA 2020 pp 533 - 542, 2020
- [7] 남충현 외 2인 "딥러닝을 이용한 마스크 착용 여부검사시스템", 한국정보통신학회논문 vol.25 No50.1:44~49, 2021
- [8] 김소영 외 4인, "딥러닝 사진 분류기를 활용한 분리배출 가이드 안드로이드 응용", 한국컴퓨터정보학회 하계학술대회, 2021.7, P.99