

AI 기반 쓰레기 분리수거 자동화 시스템 설계 및 구현에 관한 연구

권준혁, 김승현

수원대학교 정보통신공학과

wnsgur5529@naver.com, shun05@naver.com

A Study on the Design and Implementation of AI-based Waste Recycling Automation System

Jun-Hyuk Kwon, Seung-Hyun Kim

Dept. of Information and Communication Engineering, University of Suwon

요 약

현재 사회적 문제로 잘못된 자원 재활용 방법 및 경비 노동자 근로 환경 개선 필요성이 지속해서 대두되고 있으며, 최근 발생한 코로나바이러스로 인하여 배달 음식의 수요가 증가하여 각 가정에서 배출되는 쓰레기의 양이 매우 증가하였다. 이러한 사회적 문제를 효율적으로 대처하기 위하여 본 논문에서는 분리수거가 가능한 사물을 인식하여 AI 모듈로 객체 정보를 전송하고 전송된 정보에 따라 적절한 분리수거를 수행하는 스마트 분리수거 자동화 시스템을 개발하였다. 본 연구에서는 잘못된 객체 정보 전송을 최소화하고, 객체 인식률의 정확도를 높이기 위하여 많은 종류의 Custom dataset을 Yolo_Mark, Scaling Annoter Tool을 이용하여 직접 라벨링 하였으며 K-means Clustering 알고리즘을 적용하여 더욱 정확한 분리수거 자동화 시스템을 구현하였다. 본 연구를 바탕으로 불필요한 자원과 인력 낭비를 줄일 수 있으며, 인간이 아닌 시스템에 의해 통제되므로 더욱 정확한 분리수거가 가능하다.

1. 서론

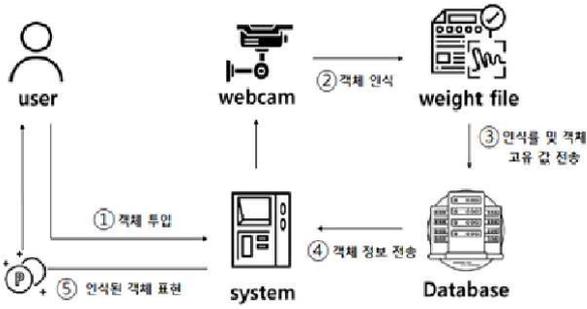
현재 사회적 문제로 잘못된 자원 재활용 방법 및 경비 노동자 근로 환경 개선 필요성이 지속해서 대두되고 있으며, 최근 발생한 코로나바이러스로 인하여 배달 음식의 수요가 증가하여 각 가정에서 배출되는 쓰레기의 양이 매우 증가하였다. 잘못된 분리배출로 인하여 분리수거 과정에서 다중 Filtering 과정을 거쳐야 하며 이로 인해 낭비되는 인적, 물적 자원은 매우 심각한 수준이며 분리수거 과정에서 재활용이 가능한 쓰레기가 재활용이 불가능한 쓰레기로 변하는 일도 있고, 이러한 쓰레기는 매립 또는 소각되어 심각한 환경 문제를 초래한다. 최근 분리수고력(분리수거+사고력) 테스트가 존재할 정도로 사람의 판단으로 분리수거는 쉽지 않지만[1], 올바른 쓰레기 분리수거는 사회 문제, 환경 문제 개선에 도움이 될 것으로 판단하며, 올바른 쓰레기 분리수거의 중요성을 생각하여 AI 기반 쓰레기 분리수거 자동화 시스템 개발을 고안하였다.

쓰레기 분리수거 자동화 시스템에서 중요한 점은 다양한 쓰레기 분류 클래스 내에서(플라스틱, 유리, 캔, 의류, 스티로폼, 비닐, 나무, 고철) 목표 객체를 빠르고 정확하게 인식하고 분류하는 것이다. 최근에는 객체를 인식하는 딥러닝 기술의 성장 속도가 매우 빨라졌으며, 딥러닝 모델의 종류도 굉장히 다양해졌기 때문에 AI 기술이 접목된 시스템은 사람이 행동하는 것보다 훨씬 빠르고 높은 정확성을 보인다. 따라서, 사람의 판단으로 쉽지 않은 분리수거에 사람이 아닌 AI 기반 자동화 분리수거 시스템을 적용한다면 더욱 정확한 분리수거가 가능하다.

이를 위해 본 논문에서는 쓰레기 분리수거 자동화 시스템 설계 및 구현에 관하여 연구하였다. 기존의 분리수거 자동화 시스템은 손상된 객체에 대한 인식률이 매우 낮기에, 본 연구에서는 이러한 부분을 개선하는 데 중점을 두고 연구를 진행하였다. 실용성을 위하여 최대한 여러 가지의 클래스를 대량의 Dataset을 이용하여 학습시켰으며, 카메라로 쓰레기를 인식하여 클래스에 맞게 분리수거가 가능하도록 설계하였다.

2. 본론

2-1. 시스템 개요



(그림 1) 시스템 흐름도

(그림 1)은 AI 기반 쓰레기 분리수거 자동화 시스템의 흐름도를 도식화하여 나타낸 것이다. 각 단계를 설명하면 다음과 같다: 1. 사용자가 객체를 시스템에 투입하면 시스템 내부의 카메라를 이용하여 투입된 객체를 확인한다. 2. 시스템은 카메라를 이용하여 객체를 인식하고 인식된 객체 정보를 AI 모듈로 전송한다. 3. 기존에 학습된 웨이트 파일을 기반으로 전송받은 객체 정보 값을 비교하며 비교한 결과를 DB에 전송한다. 4. DB는 웨이트 파일과 전송받은 객체 정보를 비교한 결과 가장 유사한 값을 시스템으로 전송한다. 5. 시스템은 DB로부터 받은 정보들을 통해 분류된 클래스에 따라 지정된 위치로 분리수거를 진행하며, 분리수거 된 객체의 종류를 사용자에게 전달하며 시스템은 종료된다.

2-2. K-means clustering

K-means clustering은 분리형 군집화 알고리즘으로 실제 분리수거 환경에서 객체는 손상되거나, 오염되었을 가능성이 매우 크다. 따라서 본 연구에서는 전송받은 객체 정보의 신뢰성을 높이기 위하여 K-means clustering 알고리즘을 적용하였다[2]. 클래스별로 군집을 분류하고 여러 가지의 클래스로 인식되거나 실제 클래스와 다른 객체는 목적 객체와의 오차를 줄여나가기 위하여 따로 확인하여 클래스를 지정해주었다. (그림 2)는 같은 객체에 K-means clustering 알고리즘을 적용한 전, 후 비교결과이다. 이는 정확한 학습으로 객체 정보의 신뢰도를 높이며 더욱 효과적인 분리수거 자동화 시스템을 구현한다.



(그림 2) K-means clustering 적용 전, 후 비교결과

3. 구현 결과

3-1. 구현환경

본 연구는 Windows 11 OS, Raspberrypi OS 환경에서 진행하였으며, 객체 학습에 사용된 GPU는 NVIDIA RTX A4000 D6 16GB *4, 객체 학습과 인식은 Darknet, YOLOv4, 라벨링 도구는 Scaling Annoter Tool, Yolo_Mark, 시스템 구현은 Raspberrypi OS 내에서 구현하였다. <표 1>은 각 Open data, Crawling data, Custom data 등 Dataset 수집 정보를 나타내며 데이터 증폭을 위하여 모든 이미지를 45°(0~315°)씩 회전과 좌우 반전한 이미지로 구성하였다. <표 2>의 Dataset 개수를 확인해보면, 클래스별로 약 17000장의 이미지를 사용하여 학습하였으며, 그중에서 클래스별로 오염, 손상된 객체의 이미지를 5000장 정도 사용하였다. 각 클래스는 플라스틱, 유리, 캔, 의류, 스티로폼, 비닐, 종이, 고철로 이루어져 있으며 수집된 데이터는 총 153,454개이다. 이 중 약 140,000개의 데이터는 학습 데이터로 사용하였고 test에 사용된 이미지는 약 10,000장이다. Labeling은 Yolo_mark, Scaling Annoter Tool을 사용하여 Bounding Box Type의 Labeling 작업을 진행하였으며, 테스트 도중 인식이 떨어지는 이미지는 따로 polygon Labeling 작업을 통해 더욱 정확하게 다시 학습시켰다[3].

Method	Resources	Number of Classes	Number of Objects
Open data	Naver, Google, Bing	8	39,435
Crawling data	Kaggle, WaDaba, AiHub	8	104,985
Custom data	-	8	9,034

<표 1> Dataset 수집

Class	Original object	Damaged object	test	total
plastic	13,194	4,961	1,203	19,358
glass	12,831	5,015	1,182	19,028
can	12,849	5,186	1,040	19,075
clothing	12,865	4,814	1,349	19,028
styrofoam	12,910	4,950	1,207	19,067
vinyl	13,005	4,811	1,285	19,101
paper	12,953	5,103	1,390	19,446
scrap metal	13,111	4,984	1,256	19,351

<표 2> Dataset 개수

3-2. 인식률

Darknet과 Yolov4를 이용하여 실제 재활용 쓰레기를 인식하였다[4]. 캡을 통해 객체를 인식하고 객체 정보 값을 Raspberry Pi로 전송하여 서보모터가 작동하는 방식으로 자동 분리수거 시스템을 구현하였다. <표 3>은 클래스당 테스트를 위한 이미지 약 1200개, 총 10,000장을 테스트한 결과를 보여주고 있다. 표의 용어는 각각 AP(average precision), TP(true positive), FP(false positive)를 나타낸다. (그림 3)은 실제 분리수거 쓰레기를 인식한 결과를 나타낸다. 평균 90% 이상의 인식률을 보여주고 있으며, 손상된 객체 또한 K-means clustering 알고리즘을 적용하여 더욱 정밀하게 인식하는 것을 보여준다.



(그림 3) 쓰레기 인식과 분류 결과

class	Original object			Damaged object			total
	AP(%)	TP	FP	AP(%)	TP	FP	
plastic	96.10231	789	32	91.88482	351	31	1203
glass	91.6129	710	65	80.34398	327	80	1182
can	97.14693	681	20	93.80531	318	21	1040
clothing	92.95612	805	61	82.19462	397	86	1349
styrofoam	95.00978	971	51	92.97297	172	13	1207
vinyl	93.60406	922	63	81	243	57	1285
paper	96.61017	912	32	83.18386	371	75	1390
scrap metal	93.56984	844	58	83.05085	294	60	1256

<표 3> 원본 객체와 오염된 객체의 인식 정확도

4. 결론

본 논문에서는 Darknet, YOLOv4를 이용하여 8개의 클래스, 140,000장의 DataSet, 각도와 좌우 반전을 통한 데이터 증강, 30,000번의 학습을 통해 Weight 파일을 생성하여 자동으로 쓰레기를 분리수거하는 시스템을 구현하였다. 또한, 쓰레기 인식 정확도를 높이기 위하여 K-means clustering 알고리즘을 적용하여 손상되거나 오염된 쓰레기 분류에서도 평균 90%에 가까운 정확도를 보였다. 추후, 각 가정 혹은 기관 등 시스템이 실생활에 보급되기 위해서는 쓰레기 분리수거 자동화 시스템의 센서, 모터 등 하드웨어적인 한계점을 보완하고 시스템을 더욱 완성도 있게 제작해야 할 필요가 있다. 본 시스템을 실생활에 적용한다면 많은 사람에게 편의성을 제공하며, 시스템에 의해 통제되는 정확한 분리수거로 인해 사용되는 사회적인 비용을 절약할 수 있고, 불필요한 자원과 인력 낭비를 줄일 수 있으며 환경 문제 개선에 이바지할 수 있다고 기대한다.

- 본 논문은 과학기술정보통신부 정보통신창의인재 양성사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다 -

참고문헌

[1] Misuk Lee, Younmo Koo “Empirical Analysis on Inconvenience of Environmentally Friendly Behavior” 한국환경정책학회 학술대회논문집, 41-42, 2015

[2] Khan, S. S., Ahmad, A. “Cluster center initialization algorithm for K-means clustering” Pattern recognition letters, Vol. 25 No. 11, 2004

[3] Wu, Xiangyu, Liu, Bo, Zhang, Lijia, Mao, Yaya, Xu “A probabilistic shaping method based on intrinsic bit-level labeling and asymmetric polygon modulation for optical interconnects” Optics communications, Vol. 444, 2019

[4] Xianwen Chu, Xiaowei Chen, Adele Lu Jia “Dissecting Darknets: Measurement and Performance Analysis” ACM New York, NY, USA, 2014