

비전 인공지능 기반 생활폐기물 선별에서 성능최적화를 위한 감독학습 기법

박상희*, 이쁜별*, 정중은*

*수퍼빈 주식회사 로보틱스 연구소

estherp@naver.com, bblee@superbin.co.kr, jejung@superbin.co.kr

A Method of Supervised Learning for Optimized Household Waste Detection based on Vision AI

Sang-Hee Park*, Bbun-Byul Lee*, Joong-Eun Jung*

*Robotics Laboratory, SuperBin Co., Ltd.

요 약

인공지능 기반의 생활폐기물의 인식 및 선별에서, 선별 정확도의 저하는 인식 대상의 형태적 다양성과 학습데이터 부족 및 불균등성에 기인한다. 본 연구에서는 비전 인공지능 기반의 효과적인 폐기물 선별을 위한 인식 시스템 및 감독학습 기반의 인공지능 학습 기법을 제안한다. 생활폐기물 중 순환자원적 가치가 높은 CAN, PET, 그리고 이와 형상적으로 유사한 폐기물에 대해 본 연구에서 제안된 시스템에서 물체원형 및 훼손된 형태의 총 18종 이미지 데이터를 대상으로, 감독학습기반의 인공지능 모델 제작에서 최적의 데이터 레이블링을 위한 분류체계를 제시한다.

1. 서론

최근 생활 폐기물의 재활용 분야에서, 선별 수집 단계에서의 노무환경 개선 및 재활용 소재의 생산성 향상을 위해 인공지능을 도입한 무인 선별 연구가 활발히 연구되고 있다[1-4]. 기존 연구에서는 형상 인식 기반의 폐기물 분류기법을 제안하였는데, 두 가지 면에서 실용적 한계가 있었다. 첫째는 폐기물의 형상적 특성상 물체원형은 물론 다양한 훼손된 형태의 형상 인식에 대한 고려가 부족했고, 둘째는 선별 시스템의 구현 측면에서의 폐기물 학습데이터 부족으로 인해 영상획득 환경에 국한된 데이터가 아닌 자유 환경에서 획득한 영상으로 실험 및 결과를 보였다. 정의된 시스템에서 데이터를 획득하고 데이터 불균등 문제를 해결할 수 있다면, 보다 실용화 단계에 가까운 결과를 보일 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 생활 폐기물 중 순환자원적 가치가 높은 알루미늄/철 CAN 과 PET 소재의 플라스틱 용기를 효과적으로 선별하기 위한 비전 인공지능 기반의 폐기물 자동 인식 알고리즘을 제안한다. 생활폐기물을 투입하여 선별결과를 확인 가능한 시스템을 제작하고, 인공지능 학습용 데이터 구축에서 실험을 통해 인공지능의 학습에 최적화된 데이터 레이블링 기법을 제시한다.

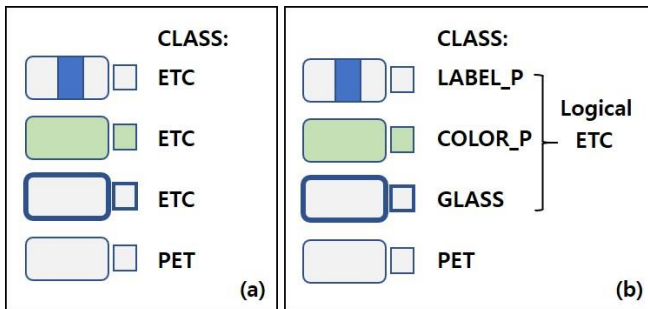
2. 제안 시스템 및 기법

본 연구에서는 그림 1 과 같이 이미지 획득 시스템을 구현하고 인공지능 학습데이터를 확보하였다. 비전 인공지능 기반 선별에서, 이미지 획득을 위한 시스템을 정의하고 특정 형태로 입력을 제한시킬 수 있다면, 보다 효과적인 학습데이터 확보 및 판별 알고리즘 설계가 가능할 것이다. 본 연구에서 제안한 시스템은 직경 20 cm 의 투입구로부터 물체입력 후 촬영지점까지 컨베이어벨트 이송, 40 cm 상부에서 카메라를 통해 영상을 획득하고 판별결과에 따라 물체를 정방, 또는 역방향으로 이송하는 구조를 가진다. 입력 대상은 원형이 보존된, 또는 훼손된 용기류로 밀넓이 $20\pi\text{ cm}^2$, 길이 50 cm 이하의 물체로 제한한다.



(그림 1) 생활폐기물 이미지 획득 시스템

감독학습방식의 인공지능 모델 생성에서, 인식 대상에 대한 분류체계 및 데이터 레이블링 방식은 성능 정확도에 영향을 미칠 수 있다. 폐기물의 분류 목적성과 형태적 특성을 고려하여 그림 2 와 같은 인식 기법을 제안할 수 있다. 그림 2(a)는 분류 목적성만 고려된 분류체계로써, 형태적으로 유사하나 서로 다르게 분류되어야 할 물체들의 선별에서 정확도 저하를 초래할 수 있다. 본 연구에서는 그림 2(b)와 같이 1 차적으로 형태적 특성을 기반으로 물체를 정확히 인식 후, 논리 설계를 통해 2 차적으로 분류 목적성을 달성하는 선별 기법을 제안한다.



(그림 2) 학습데이터 레이블링 방식 비교 (a)분류 목적성만 고려된 분류 (b)목적성과 형태적 특성이 고려된 분류

3. 실험 결과

본 연구에서 제안한 기법의 검증을 위하여, 그림 3 과 같이 CAN, PET, 그 외 물체에 대한 총 3 종 폐기물에 대해 3 개 대표 샘플을 선정하고, 원형이 보존된 입력과 훼손상태의 입력을 가정하여 총 18 종의 입력 패턴에 대해 각 150 장의 원천 이미지 데이터를 사용하였다. 인공지능의 학습에서는 Data Augmentation 을 통해 원천데이터를 10 배씩 증폭시켰다.



(그림 3) 실험 검증용 생활폐기물 이미지(총 18 종)

표 1 은 본 연구에서 사용한 인공지능 모델 및 모델 별 분류체계를 보인다. 분류체계에 따른 인공지능 모델은 총 3 종으로, 분류 목적성만 고려된 3 종 분류, 물체단위까지 분류된 9 종 분류, 형태적 단위까지 분류된 18 종 분류체계를 적용한 모델 간의 성능 정확도를 비교하였다. 모든 모델은 동일한 학습 데이터 셋으로 학습하였다. 즉, 18 종 분류체계를 가진 모델은 클래스당 150 장의 원천데이터로 학습하는 반면, 9 종 분류 체계를 가진 모델은 클래스당 450 장, 3 종 분류 체계를 가진 모델은 클래스당 1,350 장의 원천데이터로 학습함으로써 분류 클래스의 세분화 효과를 비교 분석하였다. 검증데이터는 각 18 종 입력에 대해 학습에 사용되지 않은 이미지 100 장씩 별도 확보하였다.

본 실험에서 인공지능 모델은 Faster-RCNN 으로 Backbone Network 는 VGG-16 을 사용하였다[5]. 모델의 학습에서는 세 가지 모델에 동일하게 배치 크기 1 과 반복 횟수 14 만 회를 적용하였다.

<표 1> 인공지능 모델 별 학습데이터 구성

	분류 모델			DATA			
	CLASS3	CLASS9	CLASS18	학습용	테스트용		
1	CAN	음료 원통	탄산캔	원형유지 150	100		
2			짜그리짐	150	100		
3			원형유지	150	100		
4		음료 단지형	커피캔	짜그리짐	150	100	
5			원형유지	150	100		
6			통조림캔	짜그리짐	150	100	
7	PET	생수통	원형유지	150	100		
8			짜그리짐	150	100		
9			원형유지	150	100		
10		무색투명	카페컵	짜그리짐	150	100	
11			원형유지	150	100		
12			음료수통	짜그리짐	150	100	
13	REJECT	PET	라벨	원형유지	150	100	
14			짜그리짐	150	100		
15			원형유지	150	100		
16		유색	짜그리짐	150	100		
17			유리	음료병	드링크	150	100
18				주류	150	100	

표 2 는 본 실험에서 분류체계에 따른 인공지능 모델을 비교 분석한 결과를 보인다. 시스템의 구현 측면에서, CAN, PET, 그 외 물체를 선별하는 정확도를 측정하였고 재현율, 정밀도, 정확도 지표로 선별 성능을 산출하였다. 표에서 NONE 은 이미지 상으로 물체가 있지만 인공지능이 아무 물체도 감지하지 못한 경우를 의미한다. 실험 결과, 재현율과 정밀도는 폐기물 종류에 따라 각 모델에서 다양한 양상으로 나타났고 정확도는 9 종 분류체제로 학습한 모델이 가장 높았다. 반면 18 종 분류체제로 학습한 모델은 3 종 분류체제로 학습한 모델보다 더 낮은 정확도를 보였는데, 이는 데이터 셋을 더 세분화할수록 클래스당 확보된 학습데이터 수는 감소되므로, 학습데이터 규모에 따라 클래스 분화효과가 반감될 수도 있음을 보인다.

<표 2> 인공지능 모델 별 학습데이터 구성

(a) CLASS 18		AI 추정					
		CAN	PET	REJECT	NONE	실제 합계	RECALL
GROUND TRUTH	CAN	524	0	1	75	600	87.3%
	PET	0	508	23	69	600	84.7%
	REJECT	72	118	268	142	600	44.7%
	추정량 합계	596	626	292	286	샘플링 총계 1800	
	PRECISION	87.9%	81.2%	91.8%		정확도	72.2%
(b) CLASS 9		AI 추정					
		CAN	PET	REJECT	NONE	실제 합계	RECALL
GROUND TRUTH	CAN	573	0	0	27	600	95.5%
	PET	0	567	12	21	600	94.5%
	REJECT	84	133	291	92	600	48.5%
	추정량 합계	657	700	303	140	샘플링 총계 1800	
	PRECISION	87.2%	81.0%	96.0%		정확도	79.5%
(c) CLASS 3		AI 추정					
		CAN	PET	REJECT	NONE	실제 합계	RECALL
GROUND TRUTH	CAN	576	0	19	5	600	96.0%
	PET	4	275	307	14	600	45.8%
	REJECT	56	32	492	20	600	82.0%
	추정량 합계	636	307	818	39	샘플링 총계 1800	
	PRECISION	90.6%	89.6%	60.1%		정확도	74.6%

참고문헌

- [1] J. Y Nam, Christine Lee, A. A. Patankar, H. Wang, Y. Li and H. J. Moon, "Object classification for domestic waste based on Convolutional neural networks" Proceedings of the Korean Society of Broadcast Engineers Conference, pp.83-86, 2019
- [2] Chan Kang, K. N. You, J. U. Choi, J. W. Heo and J. J Kook "Design of Large Waste Classification System Using AI-Based Image Recognition Technology", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp.212-213, 2019
- [3] H. C. Song, S. H. Lee, M. S. Kim, S. H. Kim, Y. J. Jeon and S. W. Eom, "Research on waste PET robot selection technology using artificial intelligence technology for high value-added resource circulation", 2020 Autumn Conference of the Korea Society of Wasted Mangment, pp.20-20, 2020
- [4] T. J. Choi, E. K. Park, B. B. Jung, W. Z. Choi, S. K. Oh and B. G. Ryu, "Automatic Sorting Technology of Black Plastic from Used Small Household Appliances", Proceedings of the Korean Institute of Resources Recycling Conference, pp.96-96, 2018
- [5] Ren, Shaoqing, et al., "Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks.", Advances in neural information processing systems, 28, p.91-99, 2015

4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 비전 인공지능 기반의 폐기물 선별에서 순환자원적 가치가 높은 CAN, PET 재질 플라스틱을 대상으로, 실전적인 폐기물 인식에 효과적인 시스템 및 감독학습 기반의 학습데이터 구축 기법에 대해 제안하였다. 분리배출상의 목적성과 폐기물의 형태적 특성이 함께 고려된 분류체계를 제안하여 그 효과를 실험 검증하였다. 형태적 특성으로 세분화된 분류체계를 적용하는 것이 선별 정확도 성능 향상을 견인함과 함께, 원천데이터의 규모에 따라 적절한 분류체계를 가져야 함을 실험을 통해 보였다.

다만, 본 연구에서 인공지능 모델의 학습 및 테스트를 위해 준비된 원천데이터의 규모, 그리고 환경부 분리배출 가이드라인에 따른 폐기물 다양성 확보했는가에 대해서는 실험적 한계가 있었다. 또한 제안된 기법은 특정 시스템이나 촬영환경이 아닌 모바일 등의 범용적인 비전 선별 환경에서 즉시 활용하기는 어려운 알고리즘이라고 볼 수 있다.

향후 연구에서는 입력 대상 폐기물의 종류 및 형태적 다양성을 확장하고 원천데이터 확보 규모를 확대하는 한편, 여러 인공지능 모델들을 대상으로 각 모델의 신경망 구조에 따른 분류 성능을 함께 고려하여 분류체계 확장에 따른 성능변화를 분석하고자 한다. 또한, 분류체계상 동일한 클래스 수로도 분류 관점이 다르면 분류 성능에 영향을 미칠 수 있는 바, 폐기물 선별에서 최적의 분류체계에 대해 고찰하고자 한다.