

PCB 결함 탐지 프로토타입 개발 연구

이동호, 전우성, 황준화, 서동준*
경북대학교

{mom105, msjws0511, jhhwang1907, *dongjunsuh}@knu.ac.kr

A Study on the Development of PCB Defect Detection Prototype

Dongho Lee, Woosung Jeun, Junhwa Hwang, Dongjun Suh*
Kyungpook National University

요약

4 차 산업 혁명의 시작으로 공정 자동화 기술이 빠르게 발전하고 있다. 본 논문에서는 자동 PCB 결함 탐지기의 프로토타입을 개발하였다. 프로토타입 제작을 위해 컴퓨터 비전의 객체 탐지 및 이미지 분류 기술을 사용하였다. 실험 결과 본 프로토타입은 PCB 결함 탐지에 F1 score 0.83 에서 0.847 로 우수한 성능인 것을 확인하였다. 본 프로토타입을 통한 PCB 결함 탐지는 생산성 향상, 비용 감소 등 다양한 경제적 이득을 취할 수 있을 것으로 기대된다.

I. 서론

4 차 산업의 혁명과 더불어 제조 경쟁력을 강화할 수 있는 공정 자동화 기술이 빠르게 발전하고 있다. 공정 자동화의 도입은 생산성 향상, 비용 절감, 오류 감소 등의 이득을 취할 수 있다 [1]. PCB 를 비롯하여 많은 제조 현장에서는 대부분 인력에 의한 품질 검사가 진행되고 있다. 인력에 의한 품질 검사는 효율성, 안정성, 신뢰성 등의 측면에서 많은 한계점을 지닌다 [2]. 인공지능의 도입을 통한 PCB 결함 탐지 자동화는 소요 시간 단축, 인건비 절감, 결함률 감소 등의 경제적 이득을 취할 수 있다. 본 논문에서는 결함 탐지 자동화를 위해 컴퓨터 비전 및 Arduino 기반 PCB 결함 탐지기의 프로토타입을 제작하였다.

II. 본론

본 논문에서는 컨베이어 벨트, DC 모터, L298n 모터 드라이버, Arduino Uno, 카메라를 통한 PCB 인식과 결함 탐지 모델을 사용하여 PCB 결함 탐지기의 프로토타입을 제작하였다. 그림 1 은 PCB 결함 탐지기 프로토타입의 프레임워크를 나타낸 것이다. 컨베이어 벨트와 DC모터는

PCB 의 이동을 위해 사용되었으며, 컨베이어 벨트는 3D 프린팅을 활용하여 출력하였다. L298n 모터 드라이버와 Arduino Uno 는 DC 모터의 제어를 위해 사용하였다. 카메라는 PCB 실시간 이미지 캡처 및 2 가지 딥러닝 모델 적용을 위해 사용하였다. 딥러닝 모델은 CNN 과 YOLOv7 으로 구성하였으며 PCB 인식, 결함 탐지 및 분류 역할을 담당하였다. YOLOv7 모델은 객체 검출을 위해 개발된 모델로 컴퓨터 비전 분야에서 널리 사용되는 모델 중 하나이다 [3].

PCB 결함 탐지를 위한 2 가지 딥러닝 모델의 학습은 Kaggle 에서 제공하는 PCB Defects 데이터셋을 수집하여 사용하였다 [4]. PCB Defects 데이터셋의 PCB 결함 유형에는 Missing Hole, Mouse Bite, Open Circuit, Short, Spur, Spurious Copper 로 6 종류이며, 총 693 장의 결함이 존재하는 PCB 이미지가 포함 되어있다. Image Crop 을 통한 Data Augmentation 을 진행하여, 총 1,560 장의 이미지 데이터를 확보하였다. 학습 데이터로 1,000 장, 테스트 데이터로 560 장으로 사용하였다. 표 1 은 증강된 데이터셋에 포함된 결함 유형 별 데이터 및 개수를 정리한 것이다. YOLOv7 모델의 하이퍼파라미터는 batch size 16, epoch 100, CNN 모델은 batch size 16, epoch 50 을 설정하였다.

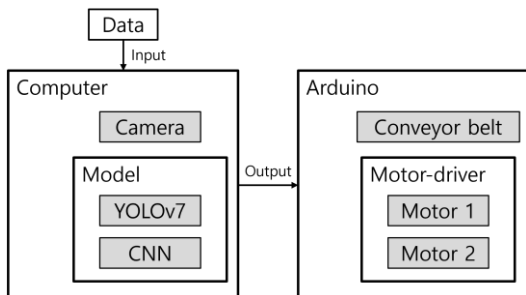


그림 1. Prototype Framework

표 1. Properties of Dataset

	Purpose	Train	Test
Defects			
Missing-Hole		838	466
Mouse-Bite		854	455
Open-Circuit		800	476
Short		815	444
Spur		840	468
Spurious-Copper		853	491

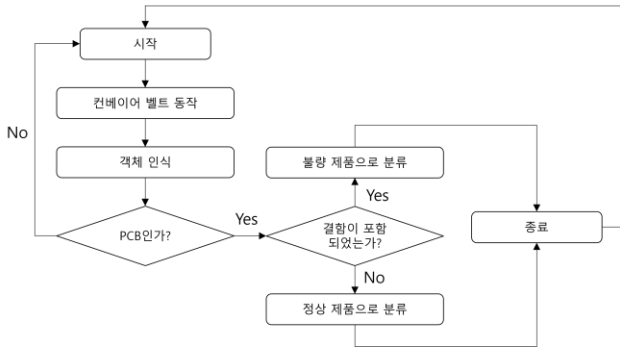


그림 2. Flowchart of Computer Vision

본 논문에서 제시한 프로토타입은 카메라의 실시간 촬영, 컨베이어 벨트의 동작, CNN 모델의 PCB 인식으로 시작한다. 그림 2 는 객체 탐지 및 결함 탐지 모델의 흐름도이다. 컨베이어 벨트의 동작과 함께 컨베이어 벨트 위의 PCB 가 카메라의 촬영 범위로 이동한다. CNN 모델이 촬영 범위 내에 PCB 를 인식한다면, 시리얼 통신을 통해 컨베이어 벨트를 제어한다. PCB 가 감지될 경우 YOLOv7 모델은 컨베이어 벨트 위의 PCB 결함 탐지 및 분류를 진행한다. PCB 결함 탐지 모델의 PCB 결함 탐지의 종료 또는 PCB 객체 탐지 여부에 따라 컨베이어 벨트는 다시 동작하고 위의 과정을 반복한다.

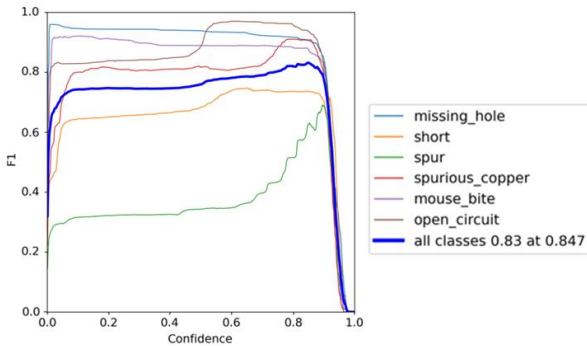
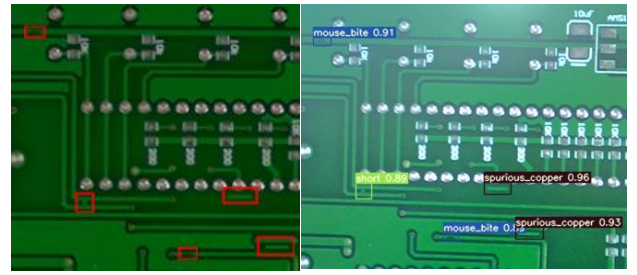


그림 3. F1 score of PCB Defects Classification Model

F1 score 성능지표를 사용하여 PCB 결함 탐지 성능을 평가하였다. F1 score 는 분류 모델 성능을 평가할 때 사용하는 평가 방법이다. F1 score 는 전체 정확도가 아닌 각 클래스 별 정확도를 자세히 측정할 수 있는 방법이다. 모델이 양성으로 예측한 샘플 중에서 실제로 양성인 샘플의 비율인 Precision 값과 실제로 양성인 샘플 중에서 모델이 양성으로 정확히 예측한 샘플의 비율인 Recall 의 조화 평균을 통해 계산한다 [5]. 그림 3 은 결함 탐지 모델의 분류 성능 결과를 나타낸 것이다. YOLOv7 모델의 각 결함에 대한 F1 score 는 0.83 에서 0.847 사이의 우수한 성능인 것을 확인하였다. 식 1 은 F1 score 의 계산식이다.

$$F1\ score = \frac{Recall \times Precision}{Recall + Precision} \quad (1)$$

그림 4 는 실험 결과를 나타낸 것이다. 그림 4 의 (a)는 정답 이미지이고, (b)는 카메라를 통해 실시간으로 PCB 의 결함을 탐지한 이미지이다.



(a) Label (b) Prediction

그림 4. Image of Detection result

정답 이미지에 존재하는 PCB 의 결함에 대한 탐지 및 분류 모두 정확히 예측한 것을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 PCB Defects 데이터셋을 사용하여 YOLOv7 모델과 CNN 모델의 학습을 진행하였고, 컴퓨터 비전 및 Arduino 기반 PCB 결함 분류기의 프로토타입을 제작하였다.

본 프로토타입의 PCB 결함 탐지 성능은 F1 score 0.83 에서 0.847 사이로 우수한 것을 확인하였으며, 실험 결과, 카메라를 통한 실시간 결함 탐지에도 성능이 우수한 것을 확인하였다. 이를 활용한 PCB 결함 탐지는 생산성 향상, 비용 절감, 결함률 감소 등 다양한 효과를 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구에서는 경계 검출, 명암 조절 등 다양한 데이터 전처리와 모델 최적화를 통해 성능을 발전시키고, 실제 PCB 결함 탐지 과정과 유사한 환경을 조성하여 실험할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음 (과제번호: 2021R1A5A8033165, 2021R1I1A3049503)

참고 문헌

- [1] 김태형, 오승일 “식재료 분류 및 소포장 공정 로봇-자동화 시스템 디지털전환 공정 표준화 모델 개발”, 한국산학기술학회 논문지(2023)
- [2] 배태겸, 안정민, 문성현, 이주연 “PCB 커넥터의 치수 데이터 기반 형상복원 및 품질분류 모델 개발”, 한국 CDE 학회 논문집(2023)
- [3] 서민수, 임승유, 이규성, 김의진 “드론 영상 기반 차량검지 및 추적을 위한 YOLO 모형 학습전략”, 대한교통학회 & 대한국토도시계획학회 공동학술대회 (2023).
- [4] PCB Defects dataset, <http://www.kaggle.com/datasets/akhatova/pcb-defects>
- [5] F1 score in Machine Learning: Intro & Calculation, <https://www.v7labs.com/blog/f1-score-guide>