

인쇄 회로 기판(PCB) 결함 탐지 및 분류 딥러닝 모델 비교*

최동현^{1O}, 전제성¹, 이수안¹세명대학교 컴퓨터학부¹

svc2017@naver.com, jasonjun1121@gmail.com, suanlee@semyung.ac.kr

Comparison of Printed Circuit Board (PCB) Fault Detection and
Classification Deep Learning ModelsDonghyun Choi^{1O}, Jae-Sung Jun¹, Suan Lee¹¹School of Computer Science, Semyung University

요 약

최근 일상생활에서의 전자제품 대중화로 인하여 인쇄 회로 기판(Printed Circuit Board; PCB)의 수요와 공급도 늘어나고 있다. PCB의 생산량이 늘어남에 따라 전자 제품 생산 회사 및 공장에서는 결함을 가진 PCB를 사전에 탐지하기 위해 많은 인력과 설비를 사용하고 큰 비용을 지출한다. 본 논문에서는 객체 탐지 모델인 YOLOv5, EfficientDet 2개의 모델을 사용하여 PCB 결함 탐지 작업에 대해 성능을 측정하고, 각 모델의 실험 결과를 토대로 비교 분석하였다.

1. 서 론

현대인들의 일상생활에서 전자제품은 필수품이 되어 있다. 개인이 들고 다니는 소형 전자기기가 늘어났고, 가전 제품, 노트북, 컴퓨터, 모니터, 스마트 워치, 무선 이어폰 등과 같은 크고 작은 전자제품들이 시중에 널리 공급되고 있다. 이러한 전자제품들에는 인쇄 회로 기판(Printed Circuit Board; PCB)이 들어가기 때문에 PCB의 생산량도 늘어나고 있다. PCB의 생산량에 비례하여 생산된 PCB 중 결함이 존재하는 PCB도 늘어났다. 따라서 전자제품 생산 회사와 공장에서는 이러한 불량 PCB를 제품 출하 전에 탐지하기 위하여, 많은 인력과 설비를 사용하고 큰 비용을 지출한다.

기존에 PCB 결함을 검출하기 위해서 YOLO/CNN 모델을 이용한 연구[1]와 객체 탐지 모델인 Faster-RCNN을 이용한 연구[2]가 있었다. 그리고 PCB 결함 탐지에 경량화된 CNN 모델을 사용한 연구[3], 컨볼루션 오토인코더를 사용한 연구[4], 비용에 민감한 ResNet 모델을 사용한 연구[5], YOLOv4를 사용한 연구[6]가 있었다.

본 논문에서 우리는 적은 비용으로도 PCB의 결함을 탐지할 수 있는 딥러닝 모델을 제안한다. PCB의 결함을 7개의 타입으로 분류하고 객체 탐지 모델을 사용하여

PCB의 사진만을 사용하여 결함 탐지 실험을 진행하였다. 본 논문의 실험에서는 EfficientDet[7]과 YOLOv5[8] 두가지 모델을 사용하였다.

2. 이미지 분류 모델

딥러닝 모델은 대부분 추론과 학습에 큰 연산 비용이 소모된다. 실제 공장에서 주로 사용되는 임베디드 장비에서는 이러한 연산 비용이 큰 딥러닝 모델을 사용하지 못한다. 본 연구에서는 공장에서 사용하는 임베디드 장비에서도 모델이 원활하게 사용할 수 있도록 입력 이미지의 해상도를 재조정하여 모델을 학습시켰다.

YOLO는 객체 탐지 분야에서 널리 사용되는 딥러닝 모델이다. YOLO 계열 객체 탐지 모델은 다른 계열의 모델들과 다르게 추론 속도가 매우 빠르다는 것이 특징이다. YOLO는 One-stage 객체 탐지 모델로, 이전의 모델들이 가지던 Two-stage 구조와 비교하였을 때 하나의 이미지를 처리하기에 필요한 연산량이 현저히 적다는 특징을 가진다. 기존의 Two-stage 구조를 사용하는 모델은 Region Proposal과정과 분류 과정이 따로 진행되는 데에 반해, One-stage 구조를 사용하는 모델은 Region Proposal 과정과 분류 과정이 동시에 진행된다. 이는 속도가 빠르다는 장점이 있지만, 정확도가 비교적 낮다는 단점도 존재한다. YOLOv5 모델은 {n, s, m, l, x} 5가지의 모델이 존재하며, n에서 x로 갈수록 모델의 크기가 커진다. 본 실험에서는 YOLOv5s 모델을 사용하였다.

* 본 과제(결과물)는 2022년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2021RIS-001)

EfficientDet은 EfficientNet을 백본으로 사용하는 객체 탐지 모델이다. 백본으로 사용된 EfficientNet은 딥러닝 모델의 크기는 최소화하고, 성능을 최대한 높이기 위한 방법론을 연구하는 과정에서 제안된 이미지 분류 모델이다. EfficientNet은 복합 스케일링(Compound Scaling)을 사용하여 망의 깊이, 채널 폭, 입력 이미지의 해상도 세 가지 요소에 대해 Grid Search 방법을 적용하여 최적의 하이퍼 파라미터 값을 찾아내어, 모델의 크기는 최소화하는 동시에 모델 성능은 비약적으로 향상시켰다. 또한, 이미지 안에서 다양한 크기를 가지고 있는 객체를 잘 탐지하기 위해 제안된 Feature Pyramid Network(FPN)을 발전시킨 Weighted Bi-directional Feature Pyramid Network(BiFPN)을 사용하여 모델 성능을 높였다. EfficientDet은 모델 크기에 따라 D{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 7x}로 나뉘며, 0에서 7로 갈수록 모델의 크기가 커지지만 정확도가 증가한다.

3. 실험

3.1 데이터 셋

실험 데이터 셋은 북경 대학의 PCB 결함 데이터셋[3]을 증강하여 사용하였다. 데이터셋은 그림 1과 같이 missing hole, mouse bite, open circuit, short, spur, spurious copper, 총 6가지 결함 종류를 포함하며, 하나의 이미지는 여러 개의 결함을 포함할 수 있다. 증강된 데이터셋은 표 1과 같이 총 10,668개의 PCB 이미지와 레이블 정보를 포함하고 있다.

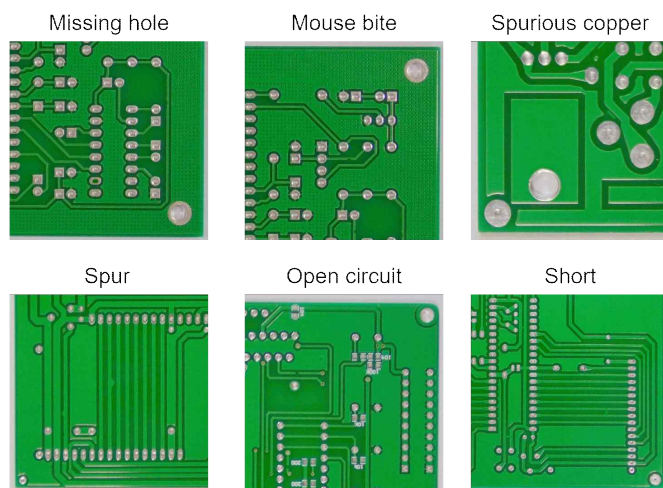


그림 1 PCB 결함 데이터셋 예

표 1 증강된 PCB 데이터셋 정보

결함 종류	이미지 수	결함 수
Missing hole	1832	3612
Mouse bite	1852	3684
Open Circuit	1740	3548
Short	1732	3508
Spur	1752	3636
Spurious Copper	1760	3676
합계	10,668	21,664

3.2 실험 결과

본 연구에서 학습한 모델을 이용하여 PCB 결함을 탐지한 결과는 그림 2와 같다. 실험 결과의 평가지표는 mAP 0.5, mAP 0.5:0.95를 사용하였다. EfficientDet의 파라미터수가 더 적음에도 불구하고, 모델의 평가지표는 EfficientDet이 YOLOv5s 모델에 비해 뛰어났다. 이는 EfficientDet이 더욱 적은 연산량으로 뛰어난 결과를 보여줄 수 있다는 의미로 해석할 수 있다. EfficientDet에서 백본으로 사용되는 EfficientNet의 구조중, BiFPN 구조가 PCB 결함 탐지 작업에서의 EfficientDet 성능에 크게 작용하는 것으로 보인다. BiFPN 구조는 이미지를 여러 해상도로 나누어 각층의 예측 결과를 사용하여 최종 예측 결과를 출력하는데, 이러한 특성 덕분에 EfficientNet은 이미지 내에 존재하는 작은 객체 또한 효과적으로 검출할 수 있다. 따라서 EfficientNet을 백본으로 사용하는 EfficientDet이 작은 객체를 탐지해내야 하는 PCB 결함 탐지 작업에서 YOLOv5s 모델에 비해 뛰어난 성능을 보여준 것으로 보인다.

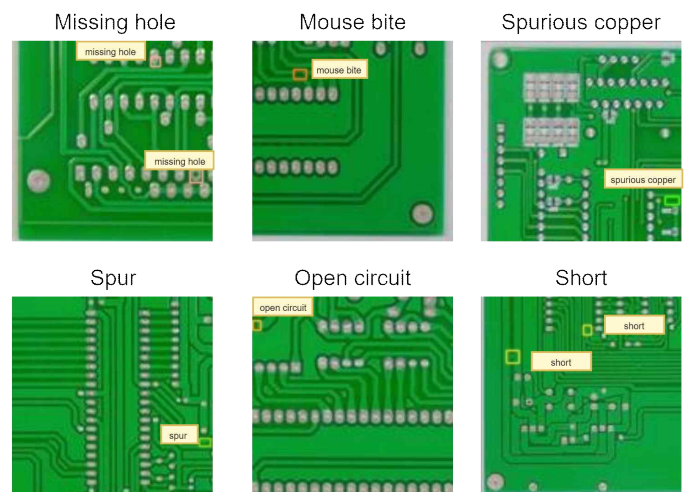


그림 2 PCB 결함 탐지 및 분류 결과

표 2 모델 실험 결과

모델	평가지표		파라미터 수
	mAP 0.5	mAP 0.5:0.95	
EfficientDet D0	83.7%	39.1%	3.83M
YOLOv5s	85.3%	37.0%	7,03M

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 YOLOv5와 EfficientDet 2가지 모델을 선정하여 PCB 결함 탐지 작업 성능 비교 연구를 진행하였다. 실험 결과 EfficientDet이 mAP 0.5에서는 YOLOv5에 비해 더욱 좋은 성능을 보였지만, mAP 0.95에서는 YOLOv5가 EfficientDet에 비해 더욱 좋은 성능을 보였다. 향후 연구에서는 산업 현장에서 사용되는 여러 종류의 임베디드 보드에서 더욱 다양한 경량화된 객체 탐지 모델을 활용하여 PCB 결함 탐지 작업 연구를 진행하고, 각 모델의 성능 차이에 대해 비교 분석 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] Adibhatla, V. A., Chih, H. C., Hsu, C. C., Cheng, J., Abbod, M. F., & Shieh, J. S. (2020). Defect detection in printed circuit boards using you-only-look-once convolutional neural networks. *Electronics*, 9(9), 1547.
- [2] Hu, B., & Wang, J. (2020). Detection of PCB surface defects with improved faster-RCNN and feature pyramid network. *Ieee Access*, 8, 108335-108345.
- [3] Shen, J., Liu, N., & Sun, H. (2020). Defect detection of printed circuit board based on lightweight deep convolution network. *IET Image Processing*, 14(15), 3932-3940.
- [4] Kim, J., Ko, J., Choi, H., & Kim, H. (2021). Printed circuit board defect detection using deep learning via a skip-connected convolutional autoencoder. *Sensors*, 21(15), 4968.
- [5] Zhang, H., Jiang, L., & Li, C. (2021). CS-ResNet: Cost-sensitive residual convolutional neural network for PCB cosmetic defect detection. *Expert Systems with Applications*, 185, 115673.
- [6] Liao, X., Lv, S., Li, D., Luo, Y., Zhu, Z., & Jiang, C. (2021). YOLOv4-MN3 for PCB Surface Defect Detection. *Applied Sciences*, 11(24), 11701.
- [7] Bochkovskiy, Alexey, Chien-Yao Wang, and Hong-Yuan Mark Liao. "Yolov4: Optimal speed

and accuracy of object detection." *arXiv preprint arXiv:2004.10934* (2020).

- [8] Tan, Mingxing, Ruoming Pang, and Quoc V. Le. "EfficientDet: Scalable and efficient object detection." *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*. 2020.