

# 基于 YOLOv5 的 PCB 缺陷检测算法研究

王自强 吴婕萍\* 王俊陵

成都工业学院 自动化与电气工程学院

DOI: 10.12238/jpm.v5i1.6501

**[摘要]** PCB 在电气自动化中扮演着重要的角色, 其质量对整个电力网络的性能和安全至关重要。因此, 对 PCB 的质量检测具有重要意义。然而, 目前存在一些问题, 如 PCB 缺陷识别算法的准确率较低、识别速度较慢等。为了解决这些问题, YOLOv5 作为 YOLO 系列的第五代算法应运而生。相比前几代算法, YOLOv5 改进了模型的缺点, 提高了识别精度和速度, 并且对机器性能的要求也较低。本文利用 YOLOv5 算法实现了对 PCB 板缺陷的自动识别。首先, 通过图像分割对图像进行预处理, 然后利用深度卷积和池化采样提取出图像的特征信息。接下来, 将特征信息映射回原始图像, 并通过比较多个预选框找出最匹配的缺陷信息。实验结果表明, 该方法在 PCB 缺陷识别方面的准确率可以达到 99.6%, 具有一定的适用性。这为实现电气工程自动化提供了理论基础。

**[关键词]** PCB 缺陷; YOLOv5; 卷积神经网络; 机器视觉; 图像识别

## Research on the PCB defect detection algorithm based on YOLOv5

Wang Ziqiang, Wu Jieping\*, Wang Junling

School of Automation and Electrical Engineering, Chengdu Institute of Technology

PCB plays an important role in electrical automation, and its quality is crucial to the performance and security of the whole power network. Therefore, it is important for the quality detection of PCB. However, there are some problems, such as the low accuracy and slow recognition speed of the PCB defect recognition algorithm. To address these problems, YOLOv5 emerged as the fifth generation algorithm of the YOLO series. Compared with previous generations of algorithms, YOLOv5 improves the shortcomings of the model, improves the recognition accuracy and speed, and also has lower requirements on machine performance. In this paper, we realize the automatic identification of the PCB board defects by using the YOLOv5 algorithm. First, the image is preprocessed by image segmentation, and then the feature information is extracted using deep convolution and pooling sampling. Next, the feature information is mapped back to the original image and the most matching defect information is found by comparing multiple preselection boxes. Experimental results show that the proposed method in PCB defect identification can achieve 99.6% accuracy, with some applicability. This provides a theoretical basis for realizing the automation of electrical engineering.

Keywords PCB defects; YOLOv5; Convolutional neural network; machine vision; image recognition

### 引言

PCB 板在电力行业中扮演着多重角色。它被广泛应用于控制系统, 负责监测和调节电力设备的运行状态, 以及保护电力

系统的正常运行。同时, 在通信系统中, PCB 板用于数据传输、信号处理和远程监控, 实现电力设备之间的信息交换和互联互通, 方便管理和监控。此外, PCB 板还在电力转换与调节领域发挥着重要作用, 用于实现电能的有效转换和调节, 确保电力

系统的稳定供电<sup>[1]</sup>。

由于生产过程中的工艺技术原因,可能会出现一些缺陷问题,导致电路板的质量和合格率下降。PCB的质量与电子产品的正常运行和使用寿命息息相关。即使微小的缺陷也可能使组装后的电子产品无法正常运行,严重影响用户体验。作为电力电子产品的核心部件,PCB的质量检测在工业生产中扮演着重要的角色。随着PCB层数和复杂程度的增加,如果在最后的检测过程中才发现中间环节造成的缺陷,将直接导致产品报废。因此,在生产过程中,必须加强对PCB板的质量控制和检测,确保其符合设计要求和标准。

利用深度学习算法对图像视频进行分析,计算机视觉检测技术可以有效地实现自动化监督任务,结合人工智能技术,可以进一步提高处理效率和精确度。YOLO算法是一种基于深度神经网络的目标检测算法,其主要特点是快速且准确率高<sup>[2][3]</sup>。YOLOV1-YOLOV3虽然识别速度快及能实现实时检测,但其精确度非常低,基本不能满足现在的需求。对比YOLOV4,YOLOV5具有更小的模型尺寸比YOLOV4小近90%,且更高效的目标检测速度,YOLOv5可以达到高达140FPS的识别速度,引入depth\_multiple和width\_multiple系数,能够得到不同大小的模型,模型部署非常灵活,同时还使用了mosaic增强提升小物体检测性能,在相同的精确率下,YOLOv5的速度远远大于YOLOv4。这种算法更适合于对PC板的精确快速检测<sup>[4]</sup>。

本文计划采用YOLOV5替代YOLOV4来改进PCB缺陷检测。首先,在pycharm软件中建立python虚拟环境,并创建一个用于机器学习的PCB缺陷训练模型。接下来,根据YOLOV5开源算法训练自己的模型,并通过多次重复训练来提高准确度。最后,利用训练好的模型进行实时PCB检测。该方法有望在识别速度、准确度和适应复杂环境等方面取得较大改进,为工业生产中的PCB质量控制提供更可靠的技术支持。

## 1.基于YOLOv5的PCB缺陷检测算法

### 1.1 YOLOv5网络模型

YOLOv5算法结构可以分为三个主要部分:Backbone、Neck和Head。首先是Backbone部分,它由四个卷积结构组成,用于提取图像中的特征。这些卷积层可以有效地捕捉不同尺度的特征,从而更好地理解图像内容。接下来是Neck部分,它是一个串行卷积结构,用于进一步处理从Backbone部分提取的特征。Neck部分可以通过跨层连接和上采样操作来融合不同尺度的特征信息,以便更好地适应目标检测任务。最后是Head部分,它对经过Neck部分处理后的特征进行进一步处理,并输出最终的检测结果。Head部分通常采用正反两次FPN(Feature Pyramid Networks)处理,以获得不同尺度的特征

图。这样可以在不同感受野下进行目标检测,并提高检测的准确性和稳定性。通过这样的结构设计,YOLOv5算法能够充分利用图像中的特征信息,并在保持较高的检测速度的同时,取得较好的检测性能。这使得YOLOv5在实时目标检测任务中表现出色,广泛应用于各个领域<sup>[5]</sup>。

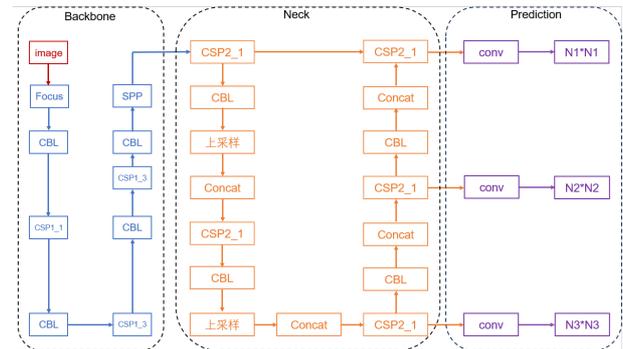


图1 YOLOv5的网络结构模型

### 1.2 基于YOLOv5的PCB缺陷检测算法

YOLOv5是一种目标检测算法,它采用了CSPDarknet53主干网络结构来进行多尺度特征提取和特征融合。通过CSP模块和空间金字塔池化模块(SPP),YOLOv5实现了对不同尺度特征的有效整合。然后,YOLOv5使用特征金字塔结构(FPN)来融合不同尺度的特征,以充分利用多尺度的目标特征。此外,YOLOv5还采用了GIOU损失函数来优化目标定位的准确性。

## 2.基于YOLOv5的PCB缺陷识别方法

### 2.1 网络训练

本实验采用操作平台为Windows10,CPU为Intel(R)Core(TM)i7-7700HQ,GPU为NVIDIA GeForce RTX1060,显存6G,系统运行内存为16G。一次读取8张图片,一共87份,整个过程设置100遍,即整个过程将训练69000张PCB缺陷图片,理论上训练循环次数越多,模型的精确率越高。YOLOv5的训练是一种有监督的学习过程,其中通过不断的反馈来矫正网络模型。在这个过程中,输入X对应着真实值Y,神经网络的输出Y与真实值Y之间的损失Loss会被用于网络的反向传播。整个网络的训练过程旨在不断减小损失Loss的数值,以使其逐渐收敛。主要反映如下:

$$Loss = \sum_{i=1}^n (y_i - (wx_i + b))^2 \quad \text{公式 (3.1)}$$

$$Loss = \sum_{i=1}^n (x_i^2 w^2 + b^2 + 2x_i w b - 2y_i b - 2x_i y_i w + y_i^2) \quad \text{公式 (3.2)}$$

$x_i$ 与 $y_i$ 为常数,未知数是w与b,为了让Loss最小,网络需要找出最佳的w和b。Loss与精确率P值具有相对性,Loss值越小则P值越大,前者越小越好,后者约接近于1越好。



图 3.1 精确率曲线

如图 3.1, 经历足够多的训练以后精确率 P 的大小达到了一个稳定的值且趋近于 1 (横坐标代表的是训练的次数, 纵坐标为精确率 P)。当训练在 100 左右时, 精确率 P 值已达到 0.989, Loss 值也接近于 0, 此时模型精确率 P 已经不再增加, 达到了网络训练的最大值。

## 2.2 模型测试

在实际应用中, 模型的参数是在较理想情况下通过计算机计算得出的, 但实际情况下可能无法达到理想效果。图片的大小、分辨率、清晰度, 以及缺陷的位置和大小都会对模型的识别结果产生影响。因此, 此实验中将置信度设置为 0.5, 将模型对 40 张不同的 PCB 缺陷图片测试的结果收集整理, 可以看到每种缺陷的数量, 得到模型对每一种缺陷的精确度、召回率和 mAP 值, 如下表:

表 3-1 测试结果

Class	Labels	P	R	mAP@0.5
all	176	0.996	0.996	0.993
spur	26	0.963	1	0.994
spurious copper	22	0.976	1	0.995
short	23	0.983	1	0.995
missing hole	42	0.993	1	0.995
bite	36	0.972	0.973	0.987
open circuit	27	0.909	1	0.995

表 3-1 中, 第一列为模型整体和 6 种缺陷名称, 第二列为缺陷标注总数, 第三列为模型对应的精确率, 第四列为模型对应的召回率。通过对上表的数据进行分析杂散、伪铜、短路、缺失孔和开路的召回率均为 1, 其精确率均大于 0.9, 最大为缺失孔的 0.993。咬伤的召回率为 0.973, 在 36 个缺陷标签中有一个缺陷没有识别出来, 这是由于此缺陷的位置在两个铜孔之间, 只有极短的线路, 缺陷特征不明显, 导致模型没有识别成功。

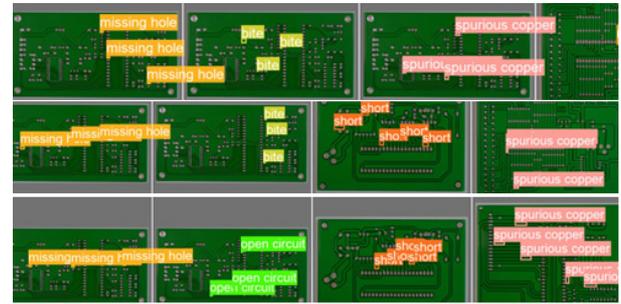


图 3.2 测试结果

图 3.2 为实验中部分 PCB 板的检测结果, 该模型将 PCB 板上的信息在对应的位置上进行了标注, 缺陷的全部特征都能包含在预测框内, 且信息类型也与实际的信息一一对应。通过本次测试, 此 PCB 缺陷检测模型能顺利的完成 PCB 板的缺陷检测、识别、缺陷分以及类标注。

## 3. 结束语

本文针对 PCB 板缺陷的检测, 提出一种基于 YOLOv5 的缺陷检测算法, 通过 YOLOv5 模型实现 PCB 板上缺陷的识别。实验结果表明, 所提出的方法的识别精度达到了 96%, 且具有良好的鲁棒性, PCB 缺陷识别速率可达到 40 毫秒/张。本文所提出的 PCB 板缺陷检测方法得到的模型精度更高, 体积更小, 能进行实时检测, 能更适用于实际生产。

## [参考文献]

- [1]王研.浅谈电力系统的安全运行控制技术[J].科技创新与应用, 2016(16): 179.
- [2]应苏蓉.基于多尺度渐进重建的图像超分辨率方法研究[D].哈尔滨工业大学, 2021.DOI: 10.27061/d.cnki.ghgdu.2021.0004249.
- [3]王春平, 韩子硕, 付强.深度学习下的快速 SAR 图像目标检测[J].陆军工程大学学报, 2022, 1(01): 8-15.
- [4]彭浩.基于 YOLOv5 的无人机巡检图像绝缘子检测技术的研究[D].中国矿业大学, 2021.DOI: 10.27623/d.cnki.gzkyu.2021.003019.
- [5]彭浩.基于 YOLOv5 的无人机巡检图像绝缘子检测技术的研究[D].中国矿业大学, 2022.DOI: 10.27623/d.cnki.gzkyu.2021.003019.

通讯作者: 吴婕萍 (1991-), 女, 四川荣县, 研究生, 研究方向: 机器视觉

作者简介: 王自强 (2002-), 男, 四川内江, 本科生; 王俊陵 (2003-), 男, 四川绵阳, 本科生。

基金项目: 四川省大学生创新训练项目 (S202311116088), 校级大学生创新创业训练计划 (QM2023036)。