

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.01.013

基于 Inception-V3 模型的金属板材 表面缺陷检测系统

蔡汉明, 刘 明

(青岛科技大学机电工程学院, 山东 青岛 266100)

摘 要:针对传统检测设备对金属板材凹凸表面、边缘面等特殊部位缺陷检测困难、识别率低等问题,课题组提出并设计了金属板材表面缺陷自动检测系统。通过 CCD 相机获取待检测部位图片,使用以 Inception-V3 模型为主的迁移学习算法实现对缺陷的检测。实验结果表明该系统能够准确、高效地检测出金属板材一般及特殊表面缺陷,能够满足工业生产需求。

关 键 词:表面缺陷检测;迁移学习算法;Inception-V3 模型;CCD 相机

中图分类号:TH164;TP274

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2020)01-0071-04

Surface Defect Inspection Equipment for Sheet Metal Based on Inception-V3 Model

CAI Hanming, LIU Ming

(College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao, Shandong 266100, China)

Abstract: Aiming at the problems that the traditional detection equipment has low recognition rate of defects in special parts such as uneven surface and edge of sheet metal, an automatic intelligent detection device for surface defects of metal sheets was proposed and designed. The CCD camera was used to obtain the image of the part to be detected, and the transfer learning algorithm based on the improved Inception-V3 model was adopted to detect the defect. The experimental results show that the device can accurately and efficiently detect the general and special surface defects of metal sheets, which can meet the requirements of industrial production.

Keywords: surface defect inspection; transfer learning algorithm; Inception-V3 model; CCD camera

金属板材在制造和加工过程中一些板材表面会产生不可控的缺陷,缺陷会降低金属板材表面质量,影响使用性能。金属板材表面缺陷可分为:变形、划伤、擦花、起坑和脏点等^[1]。检测方法就金属表面缺陷而言可分为:人工检测法、无损检测法和基于机器视觉技术的检测方法。人工检测法通常是随机抽取工件由人眼识别检测,该方法效率低且易受人为主观因素影响,已不能适用于现代化检测需求^[2]。无损检测法如涡流检测利用电磁感应原理通过测量被检测工件内感生涡流的变化实现缺陷有无的检测^[3]。但该方法只适用于导电材料或能够产生涡流效应的非金属材料检测,

对缺陷种类的定性较困难且检测不同工件时需要更换不同规格的线圈。基于机器视觉的检测方法融合了自动化、计算机、微电子和机械等学科领域是一种综合性的检测方法^[4],其检测流程大致分为:图像采集、图形分割、特征提取和缺陷分类^[5]。视觉检测法不受工件材料的限制,仅能检测某一特定单一类型表面缺陷,对其它类型表面缺陷无法保证检测的准确性。该方法会受检测原理的限制对图像有较高要求,而高质量图片又受到 CCD 相机精度、镜头型号、光照颜色、强度以及拍照时的角度等因素的限制,实际应用中还需要进行人工调试寻找最佳打光及拍摄方式。

收稿日期:2019-08-05;修回日期:2019-11-05

第一作者简介:蔡汉明(1960),男,湖北武汉人,教授,主要从事 CAD/CAM 集成系统的研究。通信作者:刘明(1992),男,山东枣庄人,硕士研究生,主要研究方向为图像处理、计算机视觉等。E-mail:1727318857@qq.com

为解决上述问题,课题组设计了基于 Inception-V3 模型的新型金属板材缺陷检测系统,该系统可实现对金属板材凹凸面、边缘、普通平面缺陷的检测,对待检测件图像无过高要求也无需过多预处理即可完成对缺陷准确、高效识别。

1 检测系统整体方案设计

基于迁移学习铝材表面缺陷检测系统主要由动力传输与控制系统、图像采集系统、缺陷检测识别算法和辅助装置组成。其中:动力传输与控制系统由伺服电机、伺服驱动器、光电传感器和 PLC 组成,主要实现动力的产生、传递以及系统的整体控制;图像采集系统由摄像装置和 LED 灯光等组成,主要负责图像的抓拍与传输。缺陷检测识别算法主要是以 Inception-V3 模型为主的算法,是整套系统的核心,主要实现对缺陷的识别与分类。辅助装置主要由减速器、V 带传动、皮带运输和各类支架等组成。

工作时将工件放置于皮带上随皮带一同运动,当传感装置检测到工件到达指定位置后,皮带运输暂停,相机对待检测工件进行抓拍并将获取的图片传输至上位机检测软件进行检测。皮带运输恢复运行,完成整个检测过程。

2 控制系统及图像采集系统设计

2.1 控制系统设计

检测系统的控制系统主要以西门子 s7-1200 PLC 为主,负责与上位机检测软件进行信号交流、与光电式传感器进行信号传递、控制伺服电机运转等功能。

工作时工控机端检测软件启动,发送信号至 PLC; PLC 接收工控机信号并发送指令经伺服控制器,控制伺服电机运转;伺服电机经减速器、V 带传动驱动皮带运输工作;将待检测工件放置于皮带上随皮带一同运动,当光电式传感器检测到工件到达指定位置后发送相应信号至 PLC; PLC 接收信号控制伺服电机停止工作,同时发送信号至工控机端的检测软件;检测软件接收 PLC 信号后触发 CCD 相机进行图像的抓拍,获取图像后将图像传送至工控机端的检测软件开始进行缺陷检测;工控机端软件接收图像同时发送信号至 PLC,控制电机运转;上位机的检测软件会根据检测结果(OK、NG)记录并显示结果,完成整个检测。如此循环进行所有工件的检测。控制系统硬件如图 1 所示。

2.2 伺服电机控制

西门子 s7-1200 系列 PLC,灵敏度高、扩展性好适用于各种场合,集成了 PROFINET 接口,除支持开放以太网协议的第三方系统外还支持多达 16 个以太网连

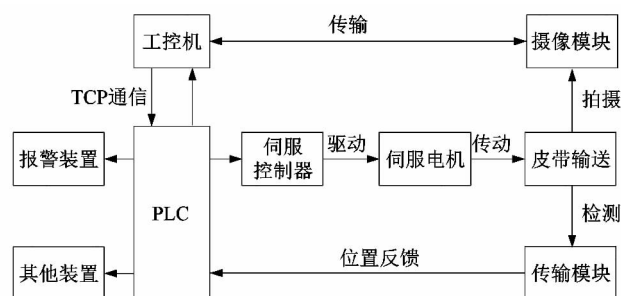


图 1 硬件示意图

Figure 1 Hardware schematic

接的 TCP/IP 和 S7 通信^[6]。本系统采用 PLC-伺服驱动器-伺服电机方式实现对伺服电机的控制。系统接线如图 2 所示。

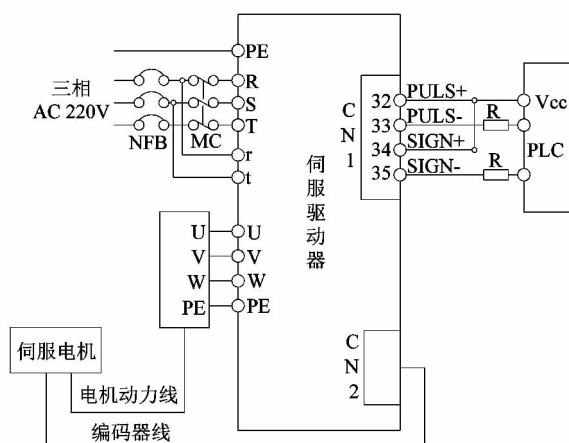


图 2 伺服电机控制接线

Figure 2 Servo motor control wiring diagram

2.3 图像采集模块设计

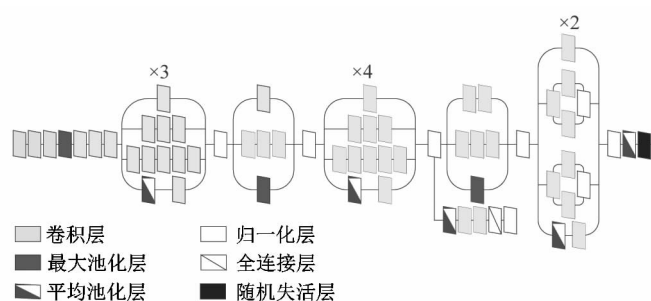
图像采集部分主要由摄像系统和辅助系统组成。选择巴斯勒 1 000 万像素 CCD 相机,25 mm 镜头为主要摄像系统^[7]。为保证抓拍时图像光线充足,配套使用条形 LED 灯。将 CCD 相机安装于支撑架上与皮带输送平面保持垂直,LED 灯安装于相机两侧^[8]。CCD 相机采用软件触发方式实现拍照,拍照命令由工控机端检测软件发出。

3 检测算法的设计

3.1 检测模型选取

迁移学习是指将源领域中学习的模型应用到目标领域中,它强调的是模型在不同但相似领域之间的迁移应用^[9]。Inception-V3 是 Tensorflow 下的一个模型,由 ImageNet 训练而来,可以识别 1 000 个种类^[10]。该模型对原有深度学习算法进行了优化,使其性能有了大幅的提升,其 Top-5 识别错误率仅为 3.5%。该模型

能够在内存和计算能力受限的情况下也有很好的发挥,因此课题组选择 Inception-V3 模型来进行金属表面缺陷的检测。Inception-V3 整体结构如图 3 所示。



3.2 训练集测试

课题组选用工业现场采集的 2 100 张金属表面缺陷图像和 2 500 张无损图片组成的原始图像集,按照 8:1 比例选取 574 张图片组成测试集,其余图片进行缺陷的分类标记组成训练集。缺陷如图 4 所示,图片中的缺陷为起坑、变形、碰伤、脏点、凸粉和漏底等。

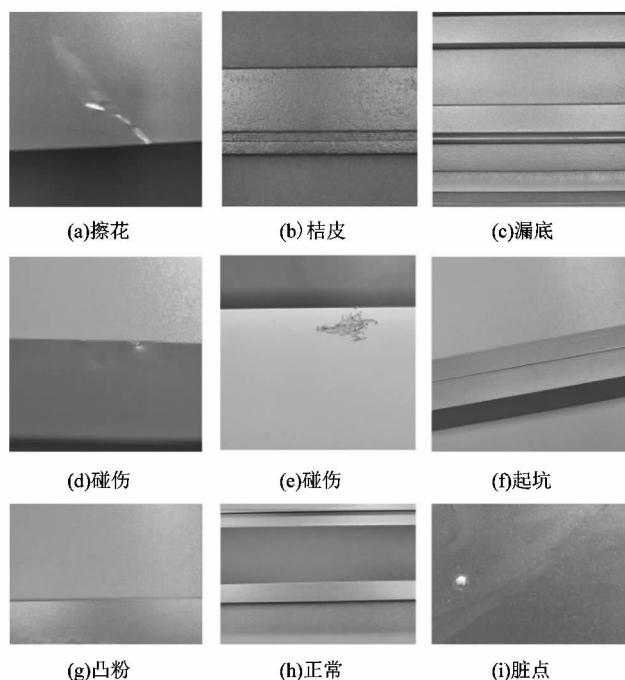


图 4 金属表面缺陷

Figure 4 Metal surface defect picture

所使用系统的配置为: GTX1070 显卡, Intel i5-4590 处理器, 8GB 内存, Win10 系统。软件为 Tensorflow1.13.1、cuda10.0, 使用 python 语言编写。训练时将最后的全连接层去除并保持各层神经网络权

重偏差等参数不变,输入新的数据集利用反向传播算法对网络进行训练。当训练完成后将结果输入新的全连接层。最后通过 softMax 层将全连接层的输出映射到 0~1 范围内的一个概率值,通过概率值大小就可以确定其属于哪一类别。经过训练测试后该算法可实现 9 类金属板材表面常见缺陷以及 1 类正常表面的识别。在实际检测时通过 CCD 相机捕获待检测检测图像并将图像传输至工控机端的检测软件进而实现缺陷的识别检测,整个检测过程无需对待检测图像进行过多预处理即可实现实时检测。检测过程如图 5 所示。

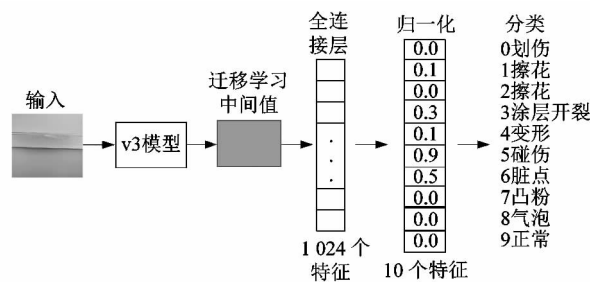


图 5 检测过程

Figure 5 Detection process

3.3 实验与结果分析

设置初始学习率为 0.01, 训练迭代过程中为加快收敛速度会对学习率进行相应调整。经过 3 500 次迭代后该系统对金属表面缺陷识别准确率如表 1 所示。

表 1 Inception-V3 识别准确率

Table 1 Inception-V3 recognition accuracy

	训练集数量	测试集数量	误检数量	识别准确率/%
正常图片	2 500	312	29	91.0
缺陷图片	2 100	262	25	90.5
合计	4 600	574	54	90.6

通过表 1 可以看出 Inception-V3 模型对金属表面缺陷的识别取得了较高的准确率,为 90.6%。同时也发现了一些不足,如实际生产中金属表面缺陷种类繁多,情况复杂,有些缺陷可能是多种缺陷的叠加形态,数据集中只是将实际生产中常见的缺陷分为了 9 类并未包含所有缺陷种类。其次,数据集中相比较于 10 个种类,每个类别包含的样本图片偏少并不能充分发挥网络的性能。样本种类偏多(10 类),而图片数量仅有 4 600 张,后续应该增加数据集图片数量以进一步增加识别的准确率。

为进一步验证 Inception-V3 网络的有效性。在硬件和数据集大小不变的条件下使用不同神经网络进行训练测试。试验结果如表 2 所示。

表2 各类模型识别率

Table 2 Recognition rates of various models

方法	识别率/%
VGG-16	86.3
SSD	83.8
Faster-R-CNN	82.9
Inception-V3	90.6

从表2可以看出在数据集和硬件受到限制的情况下 Inception-V3 识别率明显优于其它3种算法,符合我们的预期效果。

4 检测软件的设计

该系统主要用于实际生产中金属表面缺陷的检测,因此系统设计时主要从实际需求以及操作难易角度考虑。检测软件由4部分组成:PLC通信控制模块、CCD相机连接模块、检测算法模块和操作显示界面。PLC通信控制模块主要实现检测软件与PLC的通信,采用基于TCP/IP协议通信方式实现连接;CCD相机与检测软件连接为有线连接。检测算法主要实现缺陷的识别检测;操作显示界面主要包括基本信息、检测进度及检测结果的显示。其中CCD视频窗口主要用于实时显示视频信息;待检测图像框主要显示当前要检测图像;检测结果窗口主要用于显示检测结果图像。若检测无缺陷则原样显示,若为缺陷图则对缺陷进行标注后显示。并根据检测结果同步显示“OK”或“NG”,底部同步勾选待检测图像包含何种缺陷。统计窗口实现对检测结果的统计及显示。检测软件界面如图6所示。



图6 检测软件界面

Figure 6 Detection software interface

5 结语

迁移学习检测算法是基于神经网络训练实现对缺陷的分类、预测,是一种全新的缺陷检测识别方式,而传统的机器视觉检测只是在图像灰度、梯度层面上的检测,二者理论上存在本质的区别。实验中发现迁移学习检测方法能够解决传统机器视觉检测针对不同类型缺陷需要使用不同检测算法等问题,因此迁移学习算法能够实现更多种类缺陷的检测与识别。但同时实验时也发现针对一些出现频率较低的如轻微划伤、擦花缺陷,迁移学习算法也不能很好地进行检测识别。分析原因为该类型缺陷较其它类型缺陷特征不够明显且出现频率较低,导致样本数量偏少,得不到充分训练所致。后续研究主要包括以下2点:①进一步增加训练样本数量并重新训练以增加识别的准确率;②研究将该检测方法应用到其它材料如木材、塑料等需要进行表面缺陷检测的领域。

参考文献:

- [1] 罗菁,董婷婷,宋丹,等.表面缺陷检测综述[J].计算机科学与探索,2014(9):1041-1048.
- [2] 徐晓龙,张学武,赵沛然,等.一种金属带材表面缺陷检测方法[J].微处理机,2016,37(2):56-60.
- [3] 武新军,张卿,沈功田.脉冲涡流无损检测技术综述[J].仪器仪表学报,2016,37(8):1698-1712.
- [4] 许巧游.基于机器视觉系统的零件识别与检测的研究[D].南京:南京航空航天大学,2006:20-26.
- [5] 冈萨雷斯,伍兹.等.数字图像处理[M].3版.阮秋琦,阮宇智,译.北京:电子工业出版社,2011:407-412.
- [6] 黄淑琴.基于PLC的自动封塑灌装控制系统的设计[J].轻工机械,2014,32(6):63-65.
- [7] 刘栋铖.工业检测中的线阵CCD相机系统设计与研究[D].南京:南京理工大学,2013:30-39.
- [8] 胡海蕾.LED照明光学系统的设计及其阵列光照度分布研究[D].福州:福建师范大学,2005:31-34.
- [9] 徐一鸣,张娟,刘成成,等.迁移学习模式下基于GoogLeNet网络的风电机组视觉检测[J].计算机科学,2019,46(5):260-265.
- [10] 赵欣洋,蔡超鹏,王思,等.基于深度学习的规则特征识别检测技术[J].轻工机械,2019,37(3):60-65.