

基于机器视觉的管材表面缺陷检测技术研究

袁海忠

浙江新拓管业有限公司，浙江丽水，323000；

摘要：本文研究了基于机器视觉的管材表面缺陷检测技术，旨在提高管材质量检测的精度和效率。通过介绍机器视觉技术的原理，分析了其在管材表面缺陷检测中的应用现状，并探讨了存在的技术难点。文章详细阐述了检测系统的硬件组成、图像处理算法以及缺陷识别方法，并通过实验验证了所提方法的有效性。研究结果表明，基于机器视觉的管材表面缺陷检测技术能够实现对管材表面缺陷的高精度、高效率检测，为管材质量控制提供了有力支持。

关键词：机器视觉；管材表面缺陷检测；图像处理；缺陷识别

DOI：10.69979/3041-0673.25.06.033

引言

管材作为重要的工业原材料，广泛应用于石油、化工、电力、船舶、汽车等多个领域。管材表面缺陷的存在不仅影响产品的外观质量，还可能降低产品的抗腐蚀性、耐磨性和疲劳强度等性能，进而威胁到设备的安全运行。因此，对管材表面缺陷进行准确、高效的检测具有重要意义。传统的管材表面缺陷检测方法主要依赖人工检测，但这种方法存在效率低、易受环境影响、劳动强度大、易产生漏检和误检等问题。随着计算机技术和人工智能的快速发展，机器视觉技术逐渐应用于管材表面缺陷检测领域，为提高检测精度和效率提供了新的解决方案。

1 机器视觉技术概述

1.1 机器视觉技术原理

机器视觉技术是一种利用计算机视觉技术实现对物体表面缺陷进行检测与识别的方法。其基本原理是通过图像采集设备（如相机、镜头等）获取物体的图像信息，然后利用图像处理算法对图像进行分析和处理，提取出能够描述物体表面特征的信息，最后根据这些信息对物体表面的缺陷进行检测、分类和识别。

机器视觉系统通常包括图像采集、图像处理、特征提取和缺陷识别等几个关键步骤。在图像采集阶段，需要选择合适的照明系统和相机参数，以确保获取到清晰、准确的图像。图像处理阶段则是对采集到的图像进行预处理，如去噪、增强、二值化等操作，以提高图像的质量和可处理性。特征提取阶段是从处理后的图像中提取

出能够描述物体表面特征的信息，如形状、纹理、颜色等。最后，在缺陷识别阶段，利用机器学习或深度学习算法对提取的特征进行分类和识别，判断物体表面是否存在缺陷以及缺陷的类型和位置^[1]。

机器视觉技术具有非接触、高精度、高效率等优点。非接触检测可以避免对物体表面的损伤和污染，适用于对检测环境要求较高的场合。高精度检测可以实现对微小缺陷的准确识别，提高产品质量。高效率检测则可以大大提高生产效率和降低检测成本，适用于大规模生产线的在线检测。

1.2 机器视觉技术在管材表面缺陷检测中的应用现状

近年来，机器视觉技术在管材表面缺陷检测领域取得了显著进展。国内外研究者针对不同类型的管材（如钢管、铝管、塑料管等）和不同的缺陷类型（如划痕、裂纹、孔洞、夹杂等）进行了大量研究，并提出了多种基于机器视觉的检测方法^[2]。

在硬件方面，随着相机、镜头、照明系统等设备的不断发展和完善，机器视觉系统的性能和稳定性得到了显著提高。例如，高分辨率、高帧率的相机可以获取到更加清晰、准确的图像；高性能的镜头可以实现对物体表面的高精度成像；合理的照明系统可以确保图像采集的质量和一致性。

在软件方面，图像处理算法和缺陷识别算法的不断优化和创新，使得机器视觉系统的检测精度和效率得到了大幅提升。例如，基于深度学习的缺陷识别算法可以自动学习和提取图像中的特征，实现对复杂缺陷的准确

识别；基于多传感器融合的检测方法可以综合利用不同传感器的信息，提高检测的准确性和可靠性。

目前，机器视觉技术已经在管材生产的各个环节得到了广泛应用，如原材料检验、生产过程监控、成品质量检测等。通过实时在线检测，可以及时发现并处理管材表面的缺陷，提高产品质量和生产效率，降低生产成本和废品率^[3]。

1.3 机器视觉技术在管材表面缺陷检测中的技术难点与挑战

尽管机器视觉技术在管材表面缺陷检测领域取得了显著进展，但仍存在一些技术难点和挑战。

缺陷类型多样、形态复杂：管材表面的缺陷类型多样，形态复杂，且分布和大小不具规律性。这使得缺陷特征的提取和识别变得困难，需要研究更加有效的图像处理算法和缺陷识别算法。**光照不均问题：**管材的几何结构特点（如弧形外表面）易导致光照不均现象，影响图像采集和处理的准确性。需要研究合适的光照系统和图像处理方法，以消除光照不均对检测结果的影响。

动态检测难度大：在实现动态检测时，光源照射区域与相机视野区域的重合性会降低，进而造成光照分布不均，影响检测效果。同时，动态检测还需要考虑物体的运动速度和相机的帧率等因素，以确保检测的实时性和准确性。**算法选择与优化：**如何选择合适的图像处理算法和缺陷识别算法，以提高检测精度和效率，也是当前研究的重要课题。需要综合考虑算法的准确性、鲁棒性、实时性等因素，进行算法的选择和优化^[4]。

2 基于机器视觉的管材表面缺陷检测系统

2.1 系统硬件组成

基于机器视觉的管材表面缺陷检测系统主要由照明系统、图像采集系统、图像处理系统和缺陷识别系统四部分组成。

照明系统：照明系统是机器视觉检测系统的关键部分，直接影响图像采集的质量和后续图像处理的难度。在管材表面缺陷检测中，通常采用明场照明方式，该方式有益于管材表面缺陷和背景形成高对比度。照明系统的光源选择、相机与光源的位置关系等都需要根据管材的特性和检测要求进行精心设计。

图像采集系统：图像采集系统主要由相机和镜头组成，负责将管材表面的图像转换为数字信号，供后续图

像处理系统处理。相机选择方面，线阵相机主要分为CCD和CMOS两种类型。CMOS相机具有图像捕捉灵活、灵敏度高、动态范围宽、分辨率高、低功耗及优良的系统集成等优点，因此在机器视觉检测系统中得到了广泛应用。镜头选型方面，需要考虑镜头的焦距、成像靶面尺寸等参数，以保证与相机的合理搭配，提高成像质量。

图像处理系统：图像处理系统主要负责将采集到的数字图像进行预处理、特征提取和缺陷识别。预处理包括图像去噪、增强、二值化等操作，以提高图像的质量；特征提取是图像处理系统的关键步骤，需要从图像中提取出能够描述缺陷的特征；缺陷识别则是图像处理系统的最终目标，需要根据提取的特征向量，利用先进的算法对图像进行特征识别，并输出最终的缺陷结果。

缺陷识别系统：缺陷识别系统主要基于机器学习或深度学习算法，对提取的特征向量进行训练和分类，以实现管材表面缺陷的自动识别。常用的机器学习算法包括支持向量机（SVM）、随机森林（RF）、神经网络（NN）等；深度学习算法则包括卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）等。根据管材表面缺陷的特点和检测要求，选择合适的算法进行训练和分类。

2.2 图像处理算法

图像预处理：图像预处理是图像处理的第一步，主要目的是改善图像质量，减少干扰噪声。常用的图像预处理方法包括去噪、平滑、滤波等。去噪方法如中值滤波、均值滤波等，可以有效去除图像中的噪声；平滑方法如高斯平滑、双边滤波等，可以使图像更加平滑；滤波方法如高通滤波、低通滤波等，可以根据需要保留或去除图像中的某些频率成分。

特征提取：特征提取是图像处理的关键步骤，需要从图像中提取出能够描述缺陷的特征。对于管材表面的缺陷，常用的特征包括形状特征（如面积、周长、形状因子等）、纹理特征（如粗糙度、对比度、方向性等）和颜色特征（如色调、饱和度、亮度等）。特征提取的方法多种多样，如基于边缘检测的方法、基于区域分割的方法、基于纹理分析的方法等。

缺陷识别：缺陷识别是图像处理的最终目标，需要根据提取的特征向量，利用先进的算法对图像进行特征识别，并输出最终的缺陷结果。常用的缺陷识别方法包括基于分类器的方法、基于模板匹配的方法、基于深度学习的方法等。其中，基于分类器的方法如支持向量机

(SVM)、随机森林(RF)等,可以通过训练样本数据来构建分类模型,然后对新的图像进行分类识别;基于模板匹配的方法则是通过预先定义的模板与图像中的区域进行匹配,以识别出缺陷区域;基于深度学习的方法如卷积神经网络(CNN)等,则可以通过训练大量的样本数据来自动学习和识别图像中的特征,从而实现缺陷的自动识别和分类。

2.3 实验验证与结果分析

为了验证所提基于机器视觉的管材表面缺陷检测系统的有效性,我们进行了实验验证。实验选取了不同类型的管材(如钢管、铝管等)和不同的缺陷类型(如划痕、裂纹、孔洞等)作为测试对象,并采集了大量的图像数据作为训练样本和测试样本。

在实验过程中,我们首先利用照明系统和图像采集系统采集管材表面的图像数据,并进行预处理和特征提取。然后,利用缺陷识别系统对提取的特征向量进行训练和分类,以实现管材表面缺陷的自动识别。最后,我们对比了人工检测结果和机器视觉检测结果的准确性,以评估所提系统的性能。

实验结果表明,所提基于机器视觉的管材表面缺陷检测系统能够实现对管材表面缺陷的高精度、高效率检测。与人工检测相比,机器视觉检测具有更高的准确性和效率,能够及时发现并处理管材表面的缺陷,提高产品质量和生产效率。同时,该系统还能够降低人工检测的劳动强度,提高检测的实时性和准确性,为企业的智能化升级提供有力支持。

3 基于机器视觉的管材表面缺陷检测技术的发展趋势

3.1 高精度与高效率的持续提升

随着工业制造对产品质量要求的日益严格以及生产节奏的加快,基于机器视觉的管材表面缺陷检测技术正朝着更高精度和更高效率的方向发展。

在精度方面,未来的技术将致力于实现更细微缺陷的准确检测。一方面,硬件设备的性能将不断提升,例如相机将具备更高的分辨率和更低的噪声水平,能够捕捉到管材表面更微小的瑕疵。高分辨率相机可以获取更清晰的图像,使得一些微小的划痕、裂纹等缺陷在图像中更加明显,从而提高了缺陷检测的准确性。另一方面,图像处理算法也将不断优化。先进的算法能够更精确地

提取缺陷特征,减少误检和漏检的情况。例如,通过深度学习算法对大量的缺陷样本进行学习,模型可以学习到更丰富的缺陷特征表示,从而在检测过程中更准确地识别出各种类型的缺陷。

在效率方面,为了满足大规模生产的需求,检测技术将更加注重实时性。一方面,硬件设备的处理速度将不断提高,例如采用更高速的图像处理芯片和更快速的数据传输接口,能够加快图像采集和处理的速度。另一方面,算法的优化也将有助于提高检测效率。例如,采用并行计算技术可以同时多个图像进行处理,大大缩短了检测时间。此外,智能化的检测流程也将进一步提高效率,系统可以自动调整检测参数,根据不同的管材类型和检测要求快速切换检测模式。

3.2 多维度缺陷检测技术的融合

目前,大多数管材表面缺陷检测方法主要针对二维平面进行检测,但在实际生产中,管材表面可能存在三维形状的缺陷,如凹陷、凸起等。因此,未来的发展趋势将是二维平面检测与三维形貌测量技术相结合,实现多维度的缺陷检测。

三维形貌测量技术可以通过激光扫描、结构光等方法获取管材表面的三维信息,从而更全面地了解管材表面的形状和缺陷情况。将三维形貌测量技术与机器视觉技术相结合,可以实现对管材表面三维缺陷的准确检测和识别。例如,在检测钢管时,通过三维形貌测量可以检测到钢管表面的局部凹陷或凸起,结合机器视觉技术对这些缺陷进行特征提取和分类,能够更准确地判断缺陷的类型和严重程度。多维度缺陷检测技术还可以结合其他传感器技术,如红外热成像、超声检测等。红外热成像技术可以检测管材表面的温度分布,对于一些因内部缺陷导致表面温度异常的情况能够及时发现;超声检测技术则可以检测管材内部的缺陷情况,与机器视觉技术相结合,可以实现对管材内外表面缺陷的全面检测。

3.3 智能化缺陷分类与识别的深化

随着人工智能技术的飞速发展,基于机器视觉的管材表面缺陷检测技术将朝着智能化缺陷分类与识别的方向不断深化。

深度学习算法将在缺陷分类与识别中发挥更加重要的作用。卷积神经网络(CNN)等深度学习模型具有强大的特征提取和分类能力,能够自动学习缺陷的特征

表示,实现对不同类型缺陷的准确分类。通过大量的训练数据,深度学习模型可以不断提高分类的准确性和鲁棒性。例如,在检测塑料管材时,深度学习模型可以学习到不同类型缺陷(如气泡、杂质、裂纹等)的特征,从而在实际检测中准确地将这些缺陷分类。同时,智能化的缺陷分类与识别系统还将具备自学习和自适应能力。系统可以根据实际检测过程中遇到的新缺陷类型和新情况,自动调整模型和参数,不断提高检测性能。此外,结合自然语言处理技术,系统还可以实现对缺陷描述和报告的自动生成和管理,提高检测工作的效率和规范性^[5]。

4 结束语

本文深入研究了基于机器视觉的管材表面缺陷检测技术,从机器视觉技术原理、检测系统硬件组成、图像处理算法到实验验证与结果分析等方面进行了全面阐述。研究表明,所提系统能够实现对管材表面缺陷的高精度、高效率检测,为管材质量控制提供了有力

支持。同时,本文还展望了基于机器视觉的管材表面缺陷检测技术的发展趋势,包括高精度和高效率、多维度的缺陷检测、智能化的缺陷分类与识别以及无损检测技术等方向。相信随着技术的不断进步和应用场景的拓展,基于机器视觉的管材表面缺陷检测技术将在未来的工业生产中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1] 西安邮电大学. 一种基于机器视觉的管材缺陷检测装置:CN202322757220.6[P]. 2024-05-10.
- [2] 西安星云航空科技有限公司. 一种基于机器视觉的钢管表面缺陷检测方法:CN202310888605.8[P]. 2023-09-12.

作者简介:袁海忠,1979.07,男,民族:汉族,籍贯:江苏省南通市,学历:专科,职称:工程师,研究方向:人工智能。