

# 基于深度学习的产品表面缺陷检测算法研究

黎芬芳 秦丽 何宇婷

(广东理工学院, 广东肇庆 526000)

摘要: 随着自动化生产水平的不断提高, 机器视觉在现代化企业的生产过程中发挥着越来越重要的作用。在产品性能满足要求的前提下, 提高产品的表面质量有助于增加产品的附加值, 保证产品的销量。对此, 本文阐述了基于深度学习的产品表面质量检测算法的发展背景和应用价值, 通过对产品表面存在缺陷的图片进行采集, 进而分析目前产品表面检测算法需要解决的实际问题, 从而提出具有代表性的建议, 以推动产品表面缺陷检测算法大范围、深层次、高效率的应用在实际生产过程中。

关键词: 深度学习; 产品表面缺陷; 检测算法

## 一、产品表面缺陷检测算法的概述

### (一) 产品表面缺陷检测算法的发展背景

产品表面缺陷检测旨在通过科学方法和技术手段, 对产品表面的物理特性、化学成分、结构状态等进行分析和评估, 以判断产品表面是否存在缺陷, 如裂纹、划痕、气泡、凹陷、杂质等, 产品表面缺陷一方面会影响产品的美观度, 另一方面会对产品的使用性能造成严重的影响。随着工业自动化和智能化的快速发展, 生产线对产品表面缺陷检测技术提出了更高的要求, 传统的检测方法已经难以满足现代工业生产的需求。

鉴于此, 深度学习技术的兴起为产品表面缺陷检测带来了新的机遇。深度学习是一种基于人工神经网络的机器学习方法, 能够自动从原始数据中学习复杂的特征表示。与传统的检测方法相比, 基于深度学习的产品表面缺陷检测算法具有更高的准确性, 能够有效应对复杂多变的缺陷类型。同时, 深度学习算法还能够自动适应不同的检测环境和检测条件, 具有更好的灵活性, 在实际检测中具有广泛的应用前景。

### (二) 产品表面缺陷检测算法的应用意义

#### 1. 保障产品的附加值和质量

产品表面缺陷检测算法能够实现对产品表面缺陷的精准识别和特征分类, 具体而言, 产品的外观质量和内在质量直接影响到产品的附加值和市场竞争力。通过应用表面缺陷检测算法, 产品制造商可以及时发现并处理潜在的产品表面质量问题, 减少次品流入市场, 从而确保产品能够以最高标准的质量交付给客户, 提升产品的附加值和竞争力。

#### 2. 提高产品检测的工作效率

传统的表面缺陷检测方法通常依赖人工检查, 人工检查不仅会消耗大量的人力资源, 还容易出现产品漏检或误检的情况。对此, 通过应用产品表面缺陷检测算法, 借助计算机视觉技术和机器学习算法实现对产品表面缺陷的快速、准确的检测, 减少人工检测的误差, 提高了产品表面缺陷的检测效率和生产线的生产效率。

#### 3. 实现产品生产管理信息化

表面缺陷检测算法的应用能够实现对生产过程的实时监控和数据分析, 通过对生产过程中产生的数据进行分析, 产品制造商可以及时发现生产过程中的产品质量问题, 从而优化产品的生产过程, 提高生产效率。与此同时, 通过数据分析, 产品制造商可以实现对生产过程的持续改进, 提高产品生产的质量和可靠性, 推动产品生产管理信息化的实现。

## 二、基于深度学习的产品表面缺陷检测算法现存问题

### (一) 算法精度较低, 成像质量不高

#### 1. 数据集不足

在深度学习领域, 数据集的质量和规模会直接影响到模型的训练效果。对于产品表面缺陷检测而言, 由于产品种类繁多、缺陷类型多样, 获取高质量、大体量且具有代表性的数据集是一项

挑战。在数据集不足的情况下, 模型在训练过程中可能会出现过拟合或欠拟合现象, 导致在实际应用中检测精度低, 成像质量不高。

#### 2. 模型结构缺陷

深度学习模型的结构设计对于模型的性能具有重要影响, 在产品表面缺陷检测中, 模型结构设计的不合理可能会导致模型在特征提取、特征融合等环节上出现问题, 从而影响算法精度。例如, 模型在处理复杂缺陷类型时出现特征提取不完全或者特征融合不合理等问题, 导致检测结果出现误检或漏检。

#### 3. 算法计算复杂

为了提高算法的检测精度, 通常会采用更复杂的深度学习模型, 这些模型具有较强的特征提取能力和泛化能力, 但同时也需要大量的计算资源和算法系统, 这就需要花费更多的时间和计算资源来提取和识别缺陷特征, 算法的实时性降低, 无法及时提供高质量的图像。

### (二) 特征描述不清, 缺乏统一标准

特征描述不清主要表现在算法对于缺陷特征的提取和描述上缺乏明确和一致的标准。在实际应用中, 产品表面缺陷的类型繁多, 缺陷的形状、大小、颜色、纹理等特征各异, 从这些复杂的缺陷特征中提取出有助于区分正常与缺陷的关键特征是检测算法的重要环节。然而, 由于缺乏统一的标准, 不同的检测算法系统在特征提取上采用的方法和标准各不相同, 导致特征描述的不一致性。

缺乏统一标准体现在特征描述的标准化程度上。标准化程度低往往会导致特征的描述难以实现量化和系统化, 给算法的优化和应用带来了挑战。在深度学习算法中, 特征描述的标准化程度直接影响了模型训练的效果, 在训练过程中, 输入特征描述的不一致或不准确会导致模型的学习效率降低。因此, 在产品表面缺陷检测中建立科学、合理且被广泛认可的特征描述标准, 是提高算法准确性的关键。

### (三) 缺陷类别模糊, 提取界定混淆

#### 1. 缺陷类型的多样性

产品表面的缺陷可以表现为不同的形态和特征, 这使得缺陷的识别成为一项复杂的工作。比如, 一个轻微的划痕和一个细小的凹陷在视觉上可能难以区分。在深度学习的算法中, 如果训练数据集中没有充分包含多样化类型的缺陷特征模型, 检测算法在面对实际的检测时, 就可能会出现识别错误的情况。

#### 2. 缺陷特征的模糊性

在实际的生产环境中, 产品表面的缺陷由于光照条件、背景环境等因素的影响, 导致表面缺陷的特征变得模糊不清, 这给缺陷的识别和分类带来了很大的挑战。例如, 一些轻微的缺陷在不同的光照条件下可能会表现出不同的外观, 深度学习算法在训练和检测过程中难以准确的识别和分类。

#### 3. 检测条件的复杂性

在产品的生产过程中, 产品表面的缺陷检测通常需要在复杂

的生产环境中进行，这就导致如光线变化、背景干扰等因素影响到缺陷的识别和分类。如果深度学习算法的训练数据集没有充分考虑到外在因素的影响，那在实际应用中，算法可能会出现误检或漏检的情况，导致缺陷提取界定的混淆。

### 三、基于深度学习的产品表面缺陷检测算法改进策略

#### (一) 革新先进技术，提高算法精度

近年来，深度学习技术的快速发展为产品表面缺陷检测领域带来了革新发展的机遇。通过采用更先进的深度学习模型和算法，能够提高缺陷检测的精度，减少误检和漏检现象，从而保证产品的附加值。

首先，采用更为先进的深度学习模型。传统的深度学习模型在处理复杂缺陷时，可能会由于模型结构简单、特征提取能力有限而难以满足实际需求。针对这一问题，产品生产线可以引入更为复杂、先进的深度学习模型，例如 ResNet、DenseNet 等，这些模型具有更深的网络层次和更为复杂的连接结构，可以更好地提取产品的表面特征，提高缺陷检测的精度。例如，在电子元件表面缺陷检测应用中，通过引入 ResNet 模型，能够有效地检测到电子产品表面的缺陷特征和缺陷种类，提升了产品的检测精度。其次，利用迁移学习技术，增强模型泛化能力。迁移学习是指将一个领域训练好的模型应用到另一个相关领域的技术。在产品表面缺陷检测中，可以将预先训练好的模型作为初始模型，通过少量目标领域的数据进行微调，初始模型能够快速适应新的产品表面缺陷检测任务。通过这种方式不仅能够减少模型训练数据量，提高训练效率，还能提高模型在新数据上的泛化能力。如，在汽车零件表面缺陷检测任务中，通过迁移学习技术，可以实现对汽车零件表面缺陷的高效率检测。

#### (二) 深度学习算法，强化识别能力

深度学习算法在产品表面缺陷检测中的应用中能够显著提高检测的精度和识别能力，通过深度学习，模型可以自动从大量数据中学习得到特征表示，这些特征对于缺陷检测具有重要的价值。相较于传统的机器学习方法，深度学习模型能够自动学习到数据的复杂结构，使得算法对表面的缺陷识别得更准确。

##### 1. 特征学习能力

深度学习模型，如卷积神经网络 (CNN)，能够从原始图像数据中自动学习到多层次的特征表示，这些特征从低级的边缘、纹理，到高级的形状、结构，能够帮助模型识别出图像中的细微变化，从而准确检测出产品表面的缺陷。

##### 2. 端到端学习

传统的缺陷检测方法通常需要人工设计特征提取步骤，这一过程既复杂又耗时。而深度学习模型可以实现端到端的学习，即直接从原始图像数据到缺陷检测结果，无需人工干预，提高了识别的准确性和效率。

##### 3. 适应性

深度学习模型具有很强的适应性，能够处理各种复杂环境下的缺陷检测任务。如，不同光照条件、不同类型的表面缺陷等，深度学习模型都能通过训练学习到这些变化，从而提高在不同环境下的检测性能。

具体来说，例如检测一块金属板材上的微小裂纹，如果使用传统的缺陷检测方法，需要先对板材表面进行预处理，如灰度化、边缘检测等，然后再通过人工设计的特征提取步骤来识别裂纹，不仅复杂，对细微裂纹的识别效果也不佳。而通过深度学习算法，可以直接输入未经处理的彩色图像，模型自动学习到裂纹的特征表示，如裂纹的形状、走向等，从而实现对裂纹的准确检测。此外，深度学习模型还能适应不同光照条件下的裂纹检测任务，无需额

外的预处理步骤，不仅提高了检测的准确性，还大幅提升了检测效率，在实际的产品生产中更具应用价值。

#### (三) 分类产品特征，完善检测体系

为了分类产品特征，首先需要各类缺陷进行深入分析，了解其形成原因、外观特点以及可能对产品性能造成的影响。例如，在金属材料的表面缺陷检测中，常见的缺陷类型包括裂纹、腐蚀、划痕等。裂纹通常表现为金属表面的线性断裂，可能由材料内部的应力集中或外部冲击导致；腐蚀则表现为金属表面的斑点或凹坑，多由化学反应引起；划痕则是由于金属表面受到硬物摩擦而产生的线性痕迹。对缺陷类型进行详细的分类，有助于后续检测算法的设计与优化。其次，为了完善产品表面检测体系，可以采用深度学习中的卷积神经网络 (CNN) 技术，对不同类型的缺陷进行识别和分类。卷积神经网络能够自动从输入数据中提取特征，并通过多层网络结构进行特征的逐层抽象，从而实现了对复杂图像信息的有效识别。例如，可以将金属材料表面的图像输入到 CNN 模型中，通过训练使模型能够识别出裂纹、腐蚀、划痕等不同类型的缺陷。为了进一步完善检测体系，还可以引入多尺度特征提取技术，对不同尺度的缺陷特征进行综合分析。在金属材料的表面缺陷检测中，可以结合局部特征和全局特征，利用多尺度卷积层来提取不同尺度下的特征信息，从而实现了对细微缺陷和大尺度缺陷的全面识别。

#### (四) 维护检测系统，实现实际应用

首先，算法本身的维护是确保检测系统长期有效运行的基础。深度学习算法的训练需要大量的数据支持，随着生产过程中积累的数据不断增多，算法模型需要定期进行更新和优化。例如，可以定期从生产线中采集新的缺陷样本，利用这些数据对算法进行再训练，以提高其对新型缺陷的识别能力。其次，硬件设备的维护同样重要。产品表面缺陷检测系统通常依赖于高精度的图像采集设备，如工业相机、光源等，基础设备在长时间运行过程中可能会出现性能下降或故障，因此需要定期进行维护和校准。例如，工业相机的镜头可能会积累灰尘，影响图像质量，定期清洁镜头可以确保采集到的图像清晰度。最后，实时监控系统的运行状态和快速处理故障也是维护检测系统的关键。建立完善的监控系统，可以实时监测算法运行状态、硬件设备的工作情况，以及生产线上产品的缺陷检测结果。例如，当检测系统出现误报或漏报时，可以通过系统提供的故障定位功能，快速找到问题所在，并根据系统建议进行相应调整，如重新校准设备、优化算法参数等。如此，可以确保检测系统在实际生产中能够持续、稳定的运行，为产品质量控制提供可靠保障。

#### 四、结束语

总之，随着工业产业的不断发展，基于深度学习的产品表面缺陷检测算法技术在产品生产应用日益广泛。本文主要以提高产品表面质量检测准确率和检测精度为目的，针对产品表面图像的特点，对基于深度学习的产品表面质量检测系统进行探索与研究，在现有的检测算法基础上进行改进，提高产品表面质量检测准确度和检测精度，有助于促进国内产品表面质量检测技术的发展与创新。

#### 参考文献：

- [1] 陶显，侯伟，徐德. 基于深度学习的表面缺陷检测方法综述 [J]. 自动化学报, 2021 (5): 1017-1034.
- [2] 赵朗月，吴一全. 基于机器视觉的表面缺陷检测方法研究进展 [J]. 仪器仪表学报, 2022 (1): 198-219.

项目信息：基于机器视觉的产品表面质量检测系统探索与研究 (项目编号: 2024QNZK002)