

文章编号: 2095-2163 (2021) 02-0207-04

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

基于支持向量机的金属表面缺陷检测

缪徐超, 张旭, 徐洋, 余前溪, 程凯强

(上海工程技术大学机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘要: 针对人工检测金属表面缺陷效率低、主观意识强、无法长时间工作等缺点, 提出一种基于支持向量机监督检测、分类以及测量的金属表面缺陷的方法, 并使用 Matlab 软件设计一个图形用户界面 (GUI), 便于检测人员使用。研究中先对工厂采集的图像进行 Gabor 滤波和对比度增强的前处理。然后使用方向梯度直方图 (HOG) 和灰度共生矩阵 (GLCM) 进行特征提取, 为后续提高检测准确率打下基础。最后对于每种缺陷类型都采用 270 张图片进行模型训练, 利用训练好的模型对测试图片进行测试。实验结果表明, 最终 3 种缺陷类型的总正确率为 88.9%, 该检测方法能够有效地检测出金属表面缺陷。

关键词: 表面缺陷检测; 支持向量机; 图片前处理; 特征提取

Detection of metal surface defects based on Support Vector Machine

MIAO Xuchao, ZHANG Xu, XU Yang, YU Qianxi, CHENG Kaiqiang

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] Aiming at the shortcomings of manual detection of metal surface defects, such as low efficiency, strong subjective awareness, and inability to work for a long time, a method based on Support Vector Machine supervised detection, classification and measurement of metal surface defects is proposed, and Matlab software is used for GUI packaging for easy detection of the personnel. The research first performs Gabor filtering and contrast enhancement pre-processing on the images collected by the factory, then uses directional gradient histogram (HOG) and gray level co-occurrence matrix (GLCM) for feature extraction to lay the foundation for subsequent improvement of detection accuracy. Finally, for each defect type, 270 pictures are used for model training, and the trained model is used to test the test pictures. Experimental results show that the final total accuracy of the three types of defects is 88.9%, and this detection method can effectively detect metal surface defects.

[Key words] surface defect detection; Support Vector Machines; picture pre-processing; feature extraction

0 引言

金属表面缺陷检测在许多工业领域(如飞机机身、核电站蒸汽发生管道和钢桥等)中非常重要。目前,有关金属表面缺陷的机器学习检测技术发展迅速。机器学习检测是采用图像处理的方法对金属表面进行分析处理,检测金属表面是否有缺陷。对表面有缺陷的产品和正在使用中的零件,予以去除和更换,避免在后续的使用过程中造成安全事故。在此背景下,过去几十年里大量学者致力于研究金属表面缺陷检测技术。

McCluskey 等人^[1]对金属薄膜电容器表面缺陷的检测方法进行了研究并运用于实际。研究中将检测方法分为 3 步:进行产品可靠性和成熟度分析;如果有可能,通过非破坏性分析检测缺陷;开发电气测

试以筛除早期故障。Qi 等人^[2]为了对基于工业 CT 的金属材料增材制造中内部微小缺陷进行精确检测,提出了一种基于 CT 图像中微小缺陷灰度变化系数的金属材料微小缺陷检测的方法。实验结果表明,该缺陷检测方法相对误差控制在 4% 以内。Feng 等人^[3]提出了一种基于高动态范围成像技术的缺陷检测方法,解决了工业零件高反射面外观检测问题。智能工厂的创建开启了一项研究,该研究通过分析从物联网收集的数据来实时预测产品质量。这项研究吸引了 Yun 等人^[4]的注意,因此提出了一个基于视觉缺陷检测系统来检测金属表面缺陷。该项研究提出了一种新的卷积变分自编码器和卷积神经网络的缺陷分类算法用于金属表面缺陷检测,使用从实际金属生产线获得的缺陷图像进行实验,证明了该方法的良好性能。对于人工检测金属

基金项目: 上海工程技术大学研究生科研创新项目(19KY0134)。

作者简介: 缪徐超(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:切削原理与应用;张旭(1978-),女,博士,教授,主要研究方向:图像处理和切削原理与应用;徐洋(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:图像处理;余前溪(1994-),男,硕士研究生,主要研究方向:切削原理与应用;程凯强(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:图像处理。

通讯作者: 张旭 Email:zxu1116@126.com

收稿日期: 2020-09-30

表面缺陷工作量大,效率低的情况。刘建春等人^[5]在使用机器视觉对金属表面缺陷检测前,根据金属零件表面反光的特点对图像进行有效的前处理,实验结果表明,经过前处理的图片能够有效检测出金属边缘缺陷。金阔奇等人^[6]对于检测金属表面缺陷效率不高的问题,提出了一种多尺度的检测方法。实验结果显示,该方法检测单张图片用时约为13 ms。王俊强等人^[7]以 OpenCV 软件为基础,开发了带钢表面缺陷检测系统,克服了采用人工检测方式的效率低、带有主观意见、无法持续长时间工作等缺点。Zhang 等人^[8]用微波无损检测技术对厚涂层下缺陷的形状和尺寸进行了实验研究。使用主成分分析算法来提高方法的分辨率,对已知缺陷的钢板和未知缺陷的涂层钢板在不同涂层厚度下进行了测试。结果表明,该方法可以提高涂层钢板缺陷检测能力。Layouni 等人^[9]为解决人工分析从金属缺陷的磁扫描中收集到的图案的大量数据比较困难的问题,提出了一种自动分析的方法,通过使用自适应小波算法来检测和估计金属缺陷的长度。该方法效率高、精度高,适用于多种类型的缺陷形状。

基于此,本文提出了基于支持向量机的缺陷检测、分类和测量,该技术识别缺陷效率高,错误率小。使用 Matlab GUI 进行了封装,方便金属缺陷检测人员使用。

1 图像前处理和特征提取

1.1 图像前处理

在对金属表面缺陷图像进行检测、分类和测量之前要先进行前处理,因为工业环境比较复杂,光线、室温、空气湿度等都会对摄像头成像的图片造成一定的噪声干扰。本次研究采用了2个方法对图片进行前处理:

(1)对比度增强。在很多有关图像处理的算法中,对比度增强是后续处理的基础,有利于更好地区分前景和背景对象,提高识别的正确率,因此是很重要的一步,本文将摄像头采集的图像进行灰度增强,具体方法是:

$$M_a = \max(X), \quad (1)$$

$$M_i = \min(X), \quad (2)$$

$$Y = 255 * (X - M_i) / (M_a - M_i), \quad (3)$$

其中, X 是原图, Y 是对比度增强之后的图片。

(2)Gabor 滤波。对于上述工业环境复杂,会面临摄像头成像中一定的噪声干扰的问题,本次研究采用 Gabor 滤波的方法进行前处理,因为 Gabor 滤

波器的频率和方向表达同人类视觉系统类似,十分适合纹理表达和分离。研究中采用 Gabor 滤波对原图进行了滤波处理,增强了纹理的表达,为接下来提高识别正确率打下了基础。Gabor 滤波器可以将图像分解成对应于不同比例和方向的分量^[10]。其在二维平面中的脉冲响应具有以下一般形式:

$$h(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left\{-0.5\left[\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right]\right\} \exp\{j2\pi FX'\}, \quad (4)$$

其中, F 为函数的径向频率, σ_x 和 σ_y 为空间常数沿 x 轴和 y 轴定义高斯包络, Gabor 函数具有实部和虚部定义,分述如下。

(1)实部。数学运算公式可写为:

$$h(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left\{-0.5\left[\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right]\right\} \cos\{j2\pi FX'\}, \quad (5)$$

(2)虚部。数学运算公式可写为:

$$h(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left\{-0.5\left[\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right]\right\} \sin\{j2\pi FX'\}. \quad (6)$$

其中, $x' = x\cos\theta - y\sin\theta$, $y' = x\sin\theta + y\cos\theta$ 。

1.2 特征提取

在利用 SVM 进行金属表面缺陷图片的分类检测前,特征提取是获得较好检测结果的基础,对于图像的检测、分类和测量起着至关重要的作用。这里对前处理好的图像进行了2次特征提取,拟采用方法和设计流程如下。

(1)方向梯度直方图(HOG)特征是一种在计算机视觉和图像处理中用来进行物体检测的特征描述子,通过计算和统计图像局部区域的梯度方向直方图来构成特征,可以将局部目标的表象和形状通过梯度方向分布描述出来。

① 每个像素点的梯度通过2个算子,即: $(-1, 0, 1)$ 和 $(-1, 0, 1)$ 转置进行计算。

② Bin 数量采用9,每个通道为 40° 。可以得到 Cell 单元的方向直方图,其中 Cell 尺寸是 $4 * 4$ 。

③ 本文 Block 尺寸为 $2 * 2$,将 Cell 单元合并组合为更大的 block 区间,并在 block 做归一化,最终特征的长度是 86 436。

(2)GLCM 特征,即灰度共生矩阵特征。能反映图像灰度关于方向、相邻间隔、变化幅度等综合信息,是分析图像的局部模式和排列规则的基础。由于 GLCM 可以产生 14 种特征,而考虑到减少计算量,减少冗余特征,本文采用了对比度、相关、能量、

均匀性四个特征。通过在 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四个方向进行计算, 求出 4 个方向矩阵的特征值后, 将 4 个特征值的平均值作为最终特征值共生矩阵。最终特征的长度是 80。

2 支持向量机

在对图像进行前处理和特征提取后得到有效的图像特征, 若再能设计一个好的检测器就显得尤为重要。支持向量机是一种描述响应与一个或多个描述符之间非线性关系的方法。在解决小样本、非线性和高位模式识别问题上体现出优势。与响应具有正态分布的简单线性回归或指数回归不同, 支持向量机的响应可以是正态、二项或泊松。支持向量机采用函数 f 进行线性描述。在后续的预测分析中, 响应具有正态分布。支持向量机正则化是一种通过附加惩罚项来限制模型复杂度的收缩方法, 可以识别重要的描述符, 选择描述符, 并在模型公式中产生更少的系数。在支持向量机拟合回归中, 首先引入非线性映射 x , 将其映射到 m 维特征空间。然后在特征空间中构建线性模型, 得到:

$$f(x, \varepsilon) = \sum_{j=1}^m \varepsilon_j g_j(x) + b. \quad (7)$$

其中, $g_j(x)$ 表示一个非线性变换序列。一般情况下, 预处理后假设数据为零, 偏差项可忽略。

3 图像检测结果及分析

利用 SVM 进行图像检测主要分为 2 步:

(1) SVM 训练, 导入训练图片, 进行图像前处理和特征提取, 并输入模型进行训练。

(2) SVM 检测, 本文采用 SVM 进行金属表面缺陷的检测。同样地, 对测试图片进行前处理和特征提取, 输入训练好的模型及自动输出预测结果。GUI 界面如图 1 所示。



图 1 GUI 界面

Fig. 1 Graphical User Interface

在本次模型训练过程中, 对于每组缺陷, 研究中都采用 270 张样本进行训练。在检测过程中对 30 张图片进行缺陷的检测, 最终 3 种损伤类型的总识

别正确率为 88.9%。

金属表面氧化皮缺陷图片检测结果如图 2 所示。GUI 界面检测结果中显示出缺陷种类为氧化皮, 并显示有 4 处缺陷。

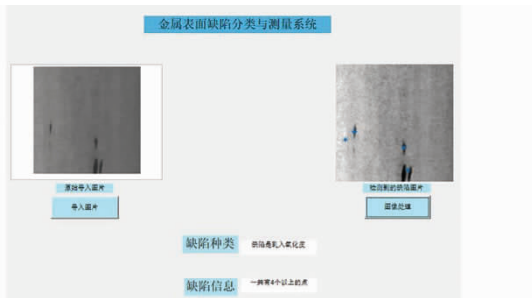


图 2 氧化皮缺陷检测结果

Fig. 2 Defect detection results of oxide scale

划痕检测结果如图 3 所示, 结果中显示出缺陷种类为划痕, 并显示共有 2 条划痕。

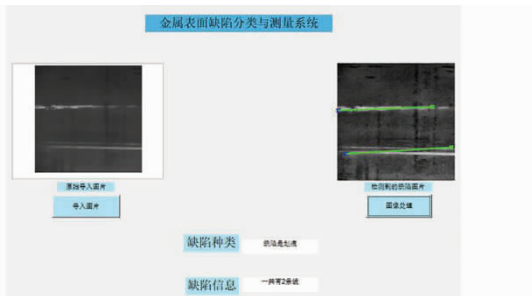


图 3 划痕缺陷检测结果

Fig. 3 Defect detection results of scratch

斑点检测结果如图 4 所示, 结果中表明缺陷的种类为斑点, 并显示出斑点缺陷所占图片中金属面积的 2.9442%。

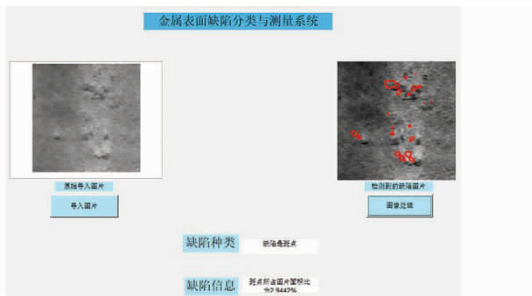


图 4 斑点缺陷检测结果

Fig. 4 Defect detection results of spots

4 结束语

本文采用支持向量机的方法对金属表面缺陷图片进行了分类和测量。在检测之前对采集的图片进行了对比度增强和 Gabor 滤波预处理, 降低了拍摄图片时复杂工业环境产生的噪声。并进行了特征提 (下转封三)