

基于颜色分离与特征统计分析的工件 图像表面异物检测算法

董明明 陈 戈

(陕西交通职业技术学院 西安 710018)

摘 要:为了解决当前工件图像表面异物形态特征不确定且分布随机性,导致检出能力不足或者误判过高的问题,分别从颜色分离和特征统计分析的角度出发,提出了基于颜色分离与特征统计分析的工件表面异物检测算法。首先,根据棕色与蓝色色彩差异,进行图像对数变换和线性变换,推导出颜色分离方程,达到分离出棕色异物目标的目的。然后,基于统计学分析原理,计算出目标颜色特征,筛除杂质干扰,进一步精确检测异物目标。最后,基于软件开发环境 Visual Studio 实现算法,并系统集成。实验测试结果显示,与当前普通异物检测技术相比,该算法拥有更高的准确性与稳定性。

关键词:工件图像;异物检测;颜色分离;对数变换;特征计算

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6040

Workpiece image surface impurity detection algorithm based on color separation and statistical analysis of the characteristics

Dong Mingming Chen Ge

(Shaanxi College of Communication Technology, Xi'an 710018, China)

Abstract: Foreign body in order to solve the current workpiece surface morphology distribution randomness, uncertainty and high detection ability is insufficient or misjudgment caused by the problem, this paper respectively from the perspective of color separation characteristics and the statistical analysis, was proposed based on color separation and characteristics of the statistical analysis of surface of workpiece foreign body detection algorithm. First of all, according to brown and blue color difference, image logarithmic transformation and linear transformation, color separation equation is deduced, achieve the goal of isolated brown foreign body target. Then, based on statistical analysis principle, calculate the target color features, screen impurities interference, further accurate foreign body target detection. Finally, the algorithm was test based on the software development environment of Visual Studio algorithm and system integration. Test results show that compared with current common foreign body detection technology, this algorithm has higher accuracy and stability.

Keywords: workpiece image; impurity detection; color separation; logarithmic transformation; characteristics computing

0 引 言

制造工厂中的工件产量巨大,导致过程质量检测工作量大,精度和效率要求高,而工件表面的特异性杂物特征不稳定性,这对图像检测技术提出了较高准确性与稳定性要求^[1-2]。目前大部分检测手段根据异物的几何、颜色、纹理特征,采用机器视觉的计数,区分异物与背景,然而本研究研究的对象是形态不定,颜色偏棕色的异物,在此背景下,展开针对工件表面棕色异物的检测研究。

在工件图像拼接方面,国内研究人员已经取得了一定研究成果,如宋军强^[3]提出 OpenCV 耦合机器视觉的背光板表面异物检测算法,对待检测图像进行最大类间阈值分割处理与形态学处理,随后利用 OpenCV 轮廓查找函数,定位待检部分的最大外接矩形区域,生成掩码模板,进行图像按位相与运算处理,对 ROI 图像进行开运算处理,对两幅图像进行线性相减,使异物处明显化,基于图像卷积处理,进一步突出异物,完成异物检测。但是,此技术未充分考虑异物与背景在灰度上接近的干扰,往往影响了检测

收稿日期:2017-04

准确性。管小卫^[4]提出了基于机器视觉的工件锯片缺陷检测系统,通过工业数码相机等硬件采集图像信息,采用亚像素精度阈值分割等图像处理算法并借助机器视觉库Halcon对采集的原始图像进行处理,最后输出检测结果。然而,这种技术过度依赖商业软件,且未考虑异物特征形态不明确性,往往不具备普适性,不能达到准确检测的目的。

为了提高工件异物检出能力,提出基于颜色分离与特征统计分析的工件表面异物检测算法。根据棕色特性,采用图像对数变换和线性变换,设计出颜色分离方程式,达到将棕色表面异物从背景中分离的目的。然后综合颜色矩特征,引入统计学分析手段,完成工件表面异物检测。

1 本文工件异物检测算法

检测目标特征颜色为棕色,几何形态特征不定,图像位置分布随机,目标背景以白色和蓝色为主,夹杂少量黑色杂质。首先,读取图像进入系统内存,进行RGB 3通道分离,得到3个颜色分量;以对数处理和线性变换,建立颜色分离方程式,达到突出棕色目标的目的。然后计算目标区域的颜色一阶矩和二阶矩,根据统计学标准差特性,去除干扰杂质,完成表面异物检测。最后,进行随机性功能测试和批量性稳定性测试,实验验证本系统算法,本文算法流程如图1所示。待处理图像如图2所示,可见棕色目标形态特征具有不确定性,且分布随机,与背景重叠。

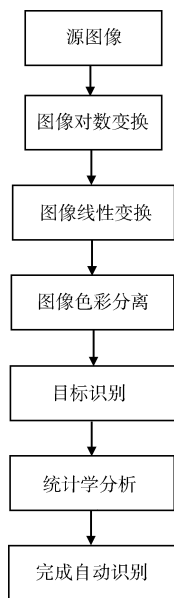


图1 本文图像算法过程

1.1 基于色彩分离的异物检测

由于异物为棕色,工件背景为白色和少量蓝色修饰物,为了准确检测异物,需要将异物从工件表面分离。正常首先分别对R、G、B 3个颜色通道进行对数变换,对数变换主要用于将图像的低灰度值部分扩展,将其高灰度值

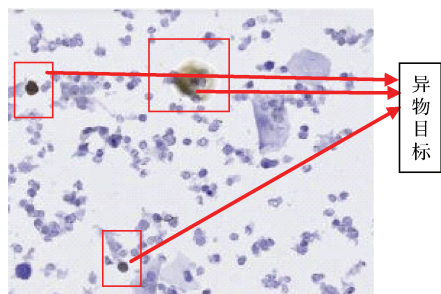


图2 待处理原图

部分压缩,以达到强调图像低灰度部分的目的^[5-7]。由于棕色相较于蓝色,灰度更低,故先采用对数变换公式如下:

$$\begin{cases} R \log = -\frac{255 \times \log\left(\frac{R+1}{255}\right)}{\log 255} \\ G \log = -\frac{255 \times \log\left(\frac{G+1}{255}\right)}{\log 255} \\ B \log = -\frac{255 \times \log\left(\frac{B+1}{255}\right)}{\log 255} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $R \log$ 、 $G \log$ 、 $B \log$ 为R、G、B经过对数变换处理的值, $\log 255$ 代表以自然数为底,255的对数。接着为了达到色彩分离的目的,进行线性变换:

$$\begin{cases} R_s P = R \log \times q[0] \\ G_s P = G \log \times q[1] \\ B_s P = B \log \times q[2] \end{cases} \quad (2)$$

式中: $q[0]$ 、 $q[1]$ 、 $q[2]$ 代表线性参数(计算公式后续讨论), $R_s P$ 、 $G_s P$ 、 $B_s P$ 代表进行线性变换后的3通道颜色分量。最后提取前景目标,即棕色目标:

$$outP = e^{\frac{-((R_s P + G_s P + B_s P) - 255) \times \log 255}{255}} \quad (3)$$

式中: $outP$ 代表变换后3通道综合计算值,即棕色目标像素值。进一步科学化计算目标值,计算四舍五入处理与高位清零:

$$outP = Oxff \& floor(outP + 5) \quad (4)$$

式中: $outP$ 代表科学化计算后的目标像素值,其中 $Oxff$ 为高位清零函数符, $floor$ 代表取整函数,至此达到分离出前景目标(棕色)的目的。背景目标,即蓝色目标,线性变换计算公式:

$$\begin{cases} R_s N = R \log \times q[3] \\ G_s N = G \log \times q[4] \\ B_s N = B \log \times q[5] \end{cases} \quad (5)$$

式中: $q[3]$ 、 $q[4]$ 、 $q[5]$ 代表线性参数(计算公式后续讨论), $R_s N$ 、 $G_s N$ 、 $B_s N$ 代表进行线性变换后的3通道颜色分量。最后提取背景目标,即蓝色目标:

$$outN = e^{\frac{-((R_s N + G_s N + B_s N) - 255) \times \log 255}{255}} \quad (6)$$

式中: $outN$ 代表变换后三通道综合计算值,即蓝色目标像素值。同样进行科学化计算:

$$outN = Oxf \& floor(outN + .5) \quad (7)$$

式中: $outN$ 代表科学化计算后的目标像素值, 其中 Oxf 为高位清零函数符, $floor$ 代表取整函数, 至此达到分离出背景目标(蓝色)的目的。接着研究线性参数, 建立参数计算公式:

$$\begin{cases} q[2] = \frac{\left(-\frac{\cos x[2]}{\cos x[0]} - \frac{\cos x[2] \times \cos x[1] \times \cos y[0]}{A \times \cos x[0] \times \cos x[0] \times \cos x[0]} + \frac{\cos y[2] \times \cos x[1]}{A \times \cos x[0]} \right)}{C} \\ q[1] = \frac{-q[2] \times V}{A} - \frac{\cos x[1]}{A \times \cos x[0]} \\ q[0] = 1.0 / \cos x[0] - \frac{q[1] \times \cos y[0]}{\cos x[0]} - \frac{q[2] \times \cos z[2]}{\cos x[0]} \end{cases} \quad (8)$$

式中: $q[0]$ 、 $q[1]$ 、 $q[2]$ 代表线性参数, A 、 V 、 C 代表中间参数, 如下:

$$\begin{cases} q[5] = \frac{\left(-\frac{\cos x[2]}{A} - \frac{\cos x[2] \times \cos y[0]}{A \times \cos x[0]} \right)}{C} \\ q[4] = \frac{-q[5] \times V}{A} - \frac{1.0}{A} \\ q[3] = \frac{q[4] \times \cos y[0]}{\cos x[0]} - \frac{q[5] \times \cos z[0]}{\cos x[0]} \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} A = \cos y[1] - \frac{\cos x[1] \times \cos y[0]}{\cos x[0]} \\ V = \cos z[1] - \frac{\cos x[1] \times \cos z[0]}{\cos x[0]} \\ C = \cos z[2] - \frac{\cos y[2] \times V}{A} + \cos x[2] \times \left(\frac{V \times \cos y[0]}{A \times \cos x[0]} - \frac{\cos z[0]}{\cos x[0]} \right) \end{cases} \quad (10)$$

式中: A 、 V 、 C 代表中间参数, $\cos x[i]$ 、 $\cos y[i]$ 、 $\cos z[i]$ 如下:

$$\begin{cases} \cos x[i] = \frac{MODx[i]}{\sqrt{MODx[i]^2 + MODy[i]^2 + MODz[i]^2}} \\ \cos y[i] = \frac{MODy[i]}{\sqrt{MODx[i]^2 + MODy[i]^2 + MODz[i]^2}} \\ \cos z[i] = \frac{MODz[i]}{\sqrt{MODx[i]^2 + MODy[i]^2 + MODz[i]^2}} \end{cases} \quad (11)$$

式中: $\cos x[i]$ 、 $\cos y[i]$ 、 $\cos z[i]$ 代表颜色分离初始化参数, $MODx[i]$ 、 $MODy[i]$ 为系统方程式输入参数, 实验部分详细给出。如图 3 所示, 对图 2 处理后的目标分离结果图, 可见异物被准确分离; 如图 4 所示, 对图 2 处理后的背景分离结果图, 可见工件背景被准确分离; 如图 5 所示, 对分离出的异物进行小十字标注, 表明本研究分离检测准确。

1.2 基于特征计算和统计学的异物分析

得到异物坐标后, 为了进一步准确检测异物, 去除杂质干扰, 需要提取上节得到异物目标(疑似异物)的特征, 做确认性计算。由于棕色相较于白色和蓝色, 其颜色矩具

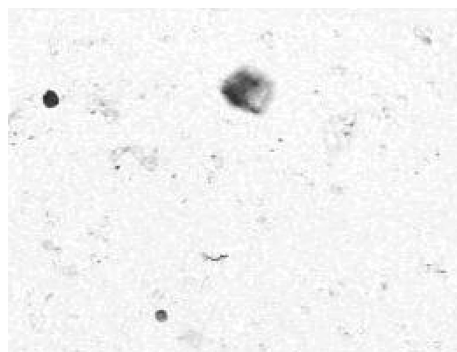


图3 异物分离结果

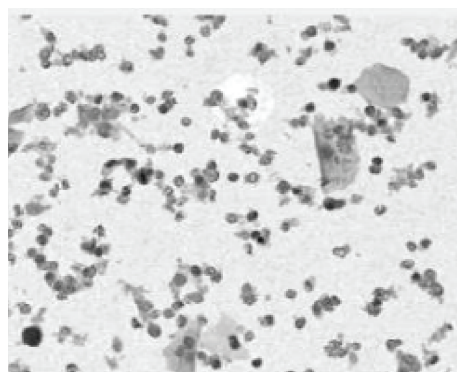


图4 背景分离结果

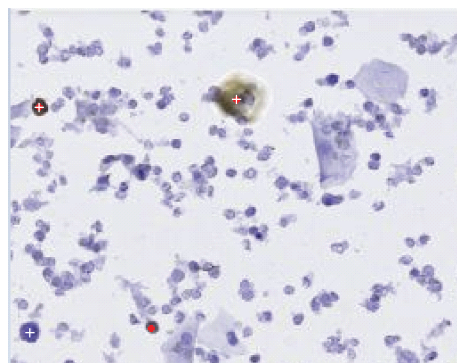


图5 异物检测结果

有独特性, 根据色谱原理, 棕色颜色矩高于白色和蓝色^[8-10]。首先颜色一阶矩^[9]计算公式如下:

$$u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \quad (12)$$

式中: u 代表颜色一阶矩, N 为目标区域像素总数, P 为像素亮度值。接着, 颜色二阶矩^[11-13]计算公式如下:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - u)^2} \quad (13)$$

式中: σ 代表颜色二阶矩, u 代表颜色一阶矩, N 为目标区域像素总数, P 为像素亮度值。由于异物色度均匀, 所以相较于非异物, 异物标准差偏低, 标准差计算公式如下^[14-15]:

$$sdv = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (x_i - U)^2} \quad (14)$$

式中: sdv 代表颜色矩标准差, U 代表颜色矩均值, L 代表颜色矩个数,正常异物颜色矩标准差偏小,大于设定阈值时,判为干扰并剔除,标准差阈值在实验部分给出。最后继续采用统计学的灵敏度计算,评价系统检测稳定性:

$$\text{sensitivity} = \text{numSys} / \text{eyeP} \quad (15)$$

式中: sensitivity 代表算法检测敏感度, numSys 代表算法检出异物数量, eyeP 代表熟练技师检出异物数量。

2 实验与讨论

为了体现本文算法的优势,将工件图像拼接性能较好的技术——文献[3]、文献[4]设为对照组,本文系统基于VS2015平台开发实现,算法实验参数如: $\text{MOD}_x[0] = 0.650$, $\text{MOD}_y[0] = 0.704$, $\text{MOD}_z[0] = 0.286$, $\text{MOD}_x[1] = 0.268$, $\text{MOD}_y[1] = 0.570$, $\text{MOD}_z[1] = 0.776$, $\text{MOD}_x[2] = 0.0$, $\text{MOD}_y[2] = 0.0$, $\text{MOD}_z[2] = 0.0$,颜色矩标准差为0.34。

待检测图像,如图6所示,异物在视野中部。本研究先进行基于对数变换和线性变换的颜色分离,如图7、8所示,可见本研究异物和背景分离正确,根据颜色矩特征和统计学分析,进一步准确定位异物位置,如图9所示,可见本研究工件表面异物检测正确。

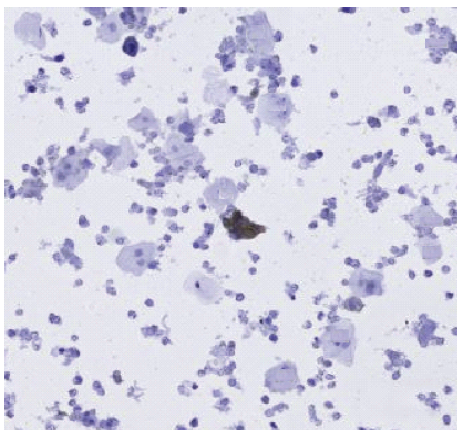


图6 原图

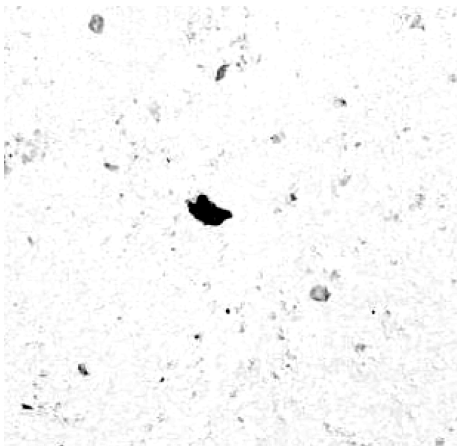


图7 异物分离结果

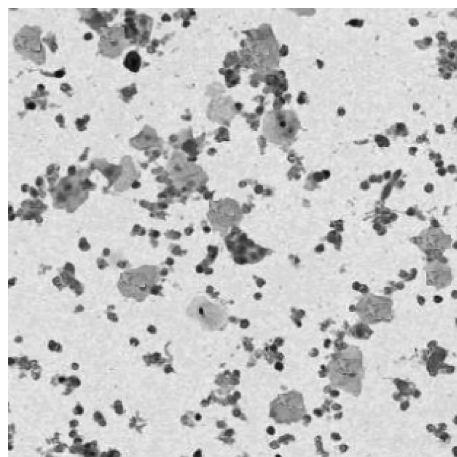


图8 背景分离结果

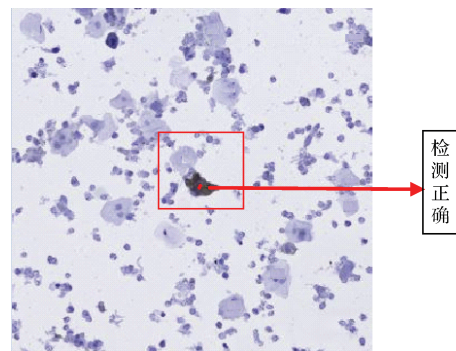


图9 本研究检测结果

而利用对照组文献[3]技术,进行图像按位相与运算处理,对ROI图像进行开运算处理,对两幅图像进行线性相减,使异物处明显化,基于图像卷积处理,进一步突出异物,完成异物检测。但是,此技术未充分考虑异物与背景在灰度上接近的干扰,往往影响了检测准确性,以此技术处理原图6,拼接结果如图10所示方框标注区域即检测失误区域,可见未检测正确。

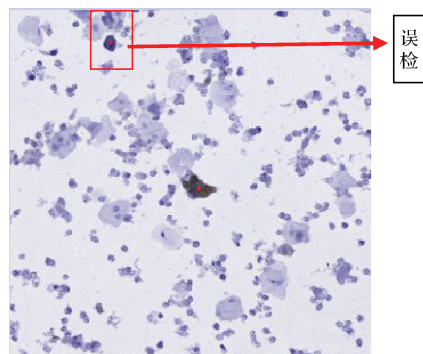


图10 文献[3]检测结果

利用对照组文献[4]技术,通过工业数码相机等硬件采集图像信息,采用亚像素精度阈值分割等图像处理算法并借助机器视觉库Halcon对采集的原始图像进行处理,

最后输出检测结果。然而,这种技术过度依赖商业软件,且未考虑异物特征形态不明确性,往往不具备普适性,不能达准确检测的目的。以此技术处理原图 6,识别结果如图 11 所示,框标注区域即检测失误区域,可见未检测正确。

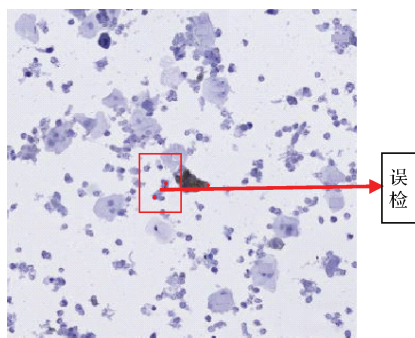


图 11 文献[4]检测结果

3 结 论

本文分别从图像变换、颜色分离、特征计算和统计分析出发,提出了基于颜色分离与特征统计分析的工件表面异物检测算法。根据异物颜色色谱,对图像进行处理,分离异物与背景。基于异物颜色矩特征与标准差,剔除杂质干扰,达到准确检测异物目的。实验结果表明:与当前表面异物检测技术相比,本文算法具有更高的异物检测准确度和稳定性,有效解决了当前工件表面异物形态特征不确定且分布随机性而导致其检测精度较低的问题。

参 考 文 献

- [1] 陈海永,徐森,刘坤. 基于 Gabor 小波和加权马氏距离的带钢表面缺陷检测[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(5): 786-793.
- [2] 黄刚. 基于超声透射时差法的金属棒缺陷检测研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(4): 818-826.
- [3] 宋军强. OpenCV 耦合机器视觉的背光板表面异物检测算法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2015, 13(21): 71-76.
- [4] 管小卫. 基于机器视觉的工件锯片缺陷检测系统设计[J]. 软件工程, 2016, 19(8): 38-40.
- [5] 索红军,何冰. 基于四元数实矩阵和对数极坐标的彩色图像零水印算法[J]. 光学技术, 2017, 43(1): 77-82.

- [6] ZHANG Z H, CHEN J. The method of round image matching based on log-polar transform[J]. Key Engineering Materials, 2011, 8(4): 1024-1029.
- [7] 郝贵青,王冰洋. 一种基于 RGB 颜色空间的色彩还原方法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(11): 24-26.
- [8] 张少博,全书海,石英. 基于颜色矩的图像检索算法研究[J]. 计算机工程, 2014, 40(6): 252-255.
- [9] SHAO ZH, SHANG Y, ZENG R. Robust watermarking scheme for color image based on quaternion-type moment invariants and visual cryptography[J]. Signal Processing: Image Communication, 2016, 48(10): 12-21.
- [10] 赵君爱. 工件表面微小缺陷的检测与识别方法[J]. 东南大学学报, 2014, 11(17): 246-249.
- [11] WANG CH, WANG X, XIA ZH. Geometrically resilient color image zero-watermarking algorithm based on quaternion Exponent moments[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2016, 41(19): 1206-1214.
- [12] 吴会宁,胡学龙,陆慧敏. 基于信息熵和分块颜色矩的图像检索[J]. 扬州大学学报:自然科学版, 2014, 4(3): 50-53.
- [13] 蔡华杰,赵亚欣,谢光艺. 改进的综合 BTC 颜色矩和 DT-CWT 的图像检索算法[J]. 电视技术, 2016, 40(9): 26-30.
- [14] JASSIM F A. Correcting Multi-focus Images via Simple Standard Deviation for Image Fusion[J]. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing, 2013, 5(12): 109-114.
- [15] 李娟. 基于局部均值和标准差的图像去雾算法研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2015: 22-29.

作 者 简 介

董明明, 1986 年出生, 硕士, 讲师, 主要研究方向为计算机应用、图像处理与智能控制。

E-mail: DongMmgIn1986jt@126.com

陈戈, 1983 年出生, 硕士, 副教授, 主要研究方向为图像处理、计算机应用与传感器应用。

E-mail: ChenGe1983sxj@163.com