

基于 CNN 与分水岭算法的工业缺陷检测的实现

李春花，杨航，李明明

宜宾学院 计算机科学与技术学院，四川 宜宾 644000

DOI: 10.61369/TACS.2025060042

摘要：随着我国工业自动化的发展，对产品的质量的把控不断提升。在这其中缺陷检测问题仍然是一个难关。本文对工业靠模小孔填充，来判断模具是否好坏问题做了一个缺陷检测算法设计，在图像数据量过少、图像噪音点复杂、图像切割情况复杂、环境采集角度不同等因素下进行算法设计，主要利用分水岭算法，轮廓检测等传统视觉检测手段和卷积神经网络等深度学习思想，二者结合计算思想来进行工业靠模填充橡胶制品缺陷检测，从而提供一种减少工业自动化次品的产生率的算法设计方案。

关键词：缺陷检测；分水岭算法；卷积神经网络；轮廓检测

Implementation of Industrial Defect Detection Based on CNN and Watershed Algorithm

Li Chunhua, Yang Hang, Li Mingming

School of Computer Science and Technology, Yibin University, Yibin, Sichuan 644000

Abstract : With the development of industrial automation in China, the control of product quality continues to improve. Defect detection remains a challenge in this regard. This article presents a defect detection algorithm design for filling small holes in industrial molds to determine whether the mold is good or bad. The algorithm design is carried out under factors such as insufficient image data, complex image noise points, complex image cutting situations, and different environmental acquisition angles. The algorithm mainly uses traditional visual detection methods such as watershed algorithm and contour detection, as well as deep learning ideas such as convolutional neural networks. The two are combined with computational ideas to detect defects in rubber products filled in industrial molds, providing an algorithm design solution to reduce the production rate of defective products in industrial automation.

Keywords : defect detection; watershed algorithm; convolutional neural network; contour detection

引言

在工业生产工作过程中，由于现有技术、工作环境等因素，极易造成产品的质量问题，物体表面缺陷是产品质量问题最直观的体现。物体表面缺陷检测，既是对成品产品进行表面检查，以识别工业生产过程中造成的划痕、污渍、凹坑等缺陷。本文在分水岭算法、轮廓检测和卷积神经网络的核心计算上进行了融合改进，来实现鉴定工业靠模的缺陷检测。

一、检测算法设计

(一) 算法设计

- (1) 获取数据：将图像数据输入到指定路径中。
- (2) 进行图像标记判断，从图像中获取标记点位数据，计算每个图像像素点要素的角度并进行计算判断^[1,2]。
- (3) 计算参考判定阈值，计算分水岭轮廓检测的数值^[3,4]。
- (4) 设定实际判定阈值，以参考判定阈值为标准设定实际的图像掩膜和轮廓检测判定阈值^[5]。

(5) 进行卷积神经网络计算相应的实际输出；在此阶段信息从输入层经过逐级的变换，传送到输出层。

(6) 若输入图像不满足判断阈值设定，将原始图像按照卷积神经网络中卷积核计算特征区间，按照3*3卷积核进行实际图像切割，并将完成切割图像进行投影变换输出^[6,7]。

(7) 掩膜判定，将投影变换后的图像进行输入，对其进行掩膜判定^[8]。

(8) 将完成掩膜判定的图像矩阵，作为对原始图像标记点设置对其进行分水岭算法标记处理。

(9) 成果显示，将完成的掩膜判定的图像矩阵，进行轮廓计算，并对其进行轮廓面积筛选处理。

靠模距离计算如下：

$$s = \int_{x^1}^{x^2} ds = \int_{x^1}^{x^2} \sqrt{g\mu dx^\mu dx^\nu} \quad \text{公式 (1)}$$

s 表示 x_1 和 x_2 的距离， x_1 和 x_2 表示需切割的两点坐标， g 表示梯度节点参数， μ 和 ν 表示自变量参数， dx 为微分。

空间距离计算如下：

$$S_{oc} = \sqrt{(X_{oc})^2 + (Y_{oc})^2} \quad \text{公式 (2)}$$

S_{oc} 表示 O、C 两点的距离， X_{oc} 表示 O、C 两点的 X 坐标差， Y_{oc} 表示 O、C 两点的 Y 坐标差。O、D 与 C、D 间的距离同理可计算。

夹角 γ 的三角函数计算如下：

$$\cos \gamma = (S_{oc}^2 + S_{od}^2 - S_{cd}^2) / 2 \times S_{oc} \times S_{od} \quad (3)$$

γ 表示 O 点与 C、D 两点所成夹角，SOC 表示点 O 到 C 的距离，SOD 表示点 O 到 D 点距离，SCD 表示点 C 到 D 点距离。 $\cos \gamma$ 表示 O 点与 C、D 两点所成夹角的余弦值。

对称矩阵公式： $P = P^T$ 公式 (4)

P 为方形矩阵， P^T 为对称矩阵。

投影变换公式： $(u|w) = (P(v)|w) = (v|P^*(w))$ ，公式 (5)

u, w 是原始图片左边，对应得到变换后的图片坐标 x, y ， $P(\cdot)$ 为图像像素矩阵类型转换， $P^*(\cdot)$ 为图像对称矩阵类型转换。

卷积结果计算公式：

$$\text{长度: } H_2 = \frac{H_1 - F_H + 2P}{S} + 1 \quad \text{公式 (6)}$$

$$\text{宽度: } W_2 = \frac{W_1 - F_w + 2P}{S} + 1 \quad \text{公式 (7)}$$

W_1, H_1 表示输入的宽度、长度； W_2, H_2 表示输出特征图的宽度、长度；

F_H, F_w 表示卷积核长和宽的大小； S 表示滑动窗口的步长； P 表示边界填充(加几圈 0)。

(二) 图像处理

对类卷积处理完成之后的图像进行二值化处理，然后对其进行 OTSU 算法处理，来为我们筛选最佳像素值做准备。从目的看我们想设置一个阈值 τ 将图像中的像素分为 A(大于 τ)、B(小于 τ) 两类。这个阈值的取值范围就是 $[0, 255]$ 。这里我们取整数，在这 256 个数中选取一个作为我们分割图像的阈值^[10]。

OTSU 公式如下：

$$\sigma^2 = \frac{(\bar{m}_G * \rho_A(\kappa) - m)^2}{\rho_A(\kappa) - (1 - \rho_A(\kappa))} \quad \text{公式 (8)}$$

σ^2 定义为类间方差(为方便书写省略 k)，两个像素点间的均值由 m_G 和 m 表示 ρ_A 为开方运算， σ^2 越大，这表明类间方差是类之间的可分性度量，所以我们要求得最佳阈值 τ 以保证我们的图像能筛选最佳像素值，这就必须使得 σ^2 最大^[10]。

再完成上述算法之后使用 Triangle 算法进行再处理，具体如公式 (9)：

$$T = \sqrt{s(s-\alpha)(s-b)(s-c)} \quad \text{公式 (9)}$$

“s” 是三角形的半周长， a, b, c 是三角形三条边的长度。

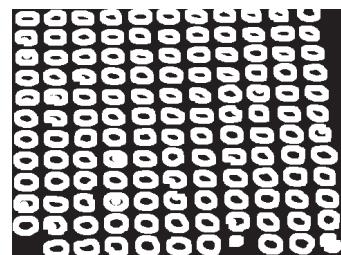
计算开处理图像到邻域非零像素距离，最后对图像进行归一化处理。

$$\text{归一化处理: } Z = \frac{\chi - \mu}{\sigma} \quad \text{公式 (10)}$$

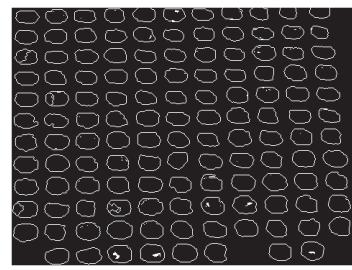
χ 表示输入数值， μ 是该组数据的均值， σ 是该组数据的标准差， Z 是标准分数。

二、数据实验分析

将卷积分割的图片，分别通过二值化处理、对边界进行检测(进行边间限定)、图像转置(方便后续进行形态学处理：开运算，膨胀边缘来减少分水岭算法的过度分割)、再次二值化(对形态学处理完成后的图像再次二值化)、计算出未知区域的面积、标记特征点、画出分水岭的结果(用黄色圈出)。处理过程和结果展示在分水岭结果处理完成之后，对 Result 的结果，通过对输入图像的颜色判断，提取提取黄色通道，将彩图转换为灰度图，进行二值化处理，进行轮廓检测检测结果如图 1(a)。通过设置空洞边界参数(压缩水平的、垂直的和斜的部分)，进行轮廓逼近方法最终实现效果如图 1(b)。



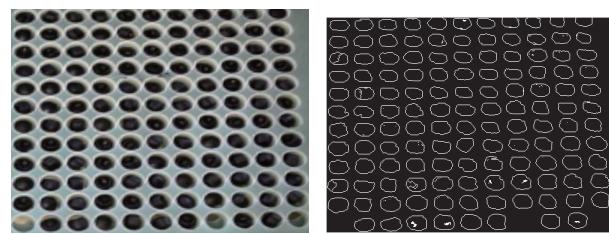
(a) 轮廓检测结果



(b) 分水岭标记切割结果

图1 轮廓处理结果

本算法实现的产品缺陷识别具体效果图图 2 所示，对比图 2(a) 和 (b) 可以看出，(a) 中的三个空洞点与 (b) 图中的三个识别空洞点位置吻合，证明了本算法设计的正确性和有效性。



(a) 原始图片

(b) 识别结果

图2 正确性验证

通过对40组样品数据的分析和对比，40组样品数据空洞缺陷数量共197个，识别模具缺陷空洞为193个，缺陷空洞识别率为97.9%。识别的不合格产品数到达了100%，证明了本算法的检测精度。

三、结论

本算法提出将深度学习算法思想和传统分水岭算法视觉算法结合，克服了缺少数据量，图像噪声情况复杂、环境采样等问题，检测速度快，灵活性强、实现难度小、易于扩展和修改、检测精度高，为分析图像的区域特征提供了技术参考。

参考文献

- [1] 陈世文.结合各向异性扩散和分水岭算法的图像分割[J].传感技术学报,2023,36(10):1622–1627.
- [2] 张思炜.基于HSI色彩空间和分水岭算法的冰雹特征参数测量[J].计算机应用与软件,2023,40(04):147–153.
- [3] 黄家才,唐安,张铎,等.基于自适应标记分水岭算法的茶叶嫩芽图像分割方法[J].南京工程学院学报(自然科学版),2022,20(04):6–11.
- [4] 张文飞,韩建海,郭冰菁,等.改进的分水岭算法在粘连图像分割中的应用[J].计算机应用与软件,2021,38(06):243–248.
- [5] 金忠明,曹姗姗,王蕾,等.基于U-Net和分水岭算法的无人机单木树冠提取方法[J].西北林学院学报,2020,35(06):194–204.
- [6] 徐振,徐德刚,刘龙海等.基于THz-TDR的芯片金属微带线缺陷检测[J].红外与毫米波学报,2024,43,(3):359–368.
- [7] 王素琴,杜雨洁,石敏,等.类别不均衡的少样本工业产品表观缺陷检测[J].图学学报,2025,46(03):568–577.
- [8] 李文,周海蔚.基于GA-BP神经网络的工业CT缺陷检测[J].计量与测试技术,2024,51(03):96–99.
- [9] 胡志强,吴一全.基于机器视觉的芯片缺陷检测研究进展[J].仪器仪表学报,2024,45,(7):1–26.
- [10] 王强,曾志男.基于图像去模糊算法的缺陷检测信号增强方法[J].中国激光,2024,51,(23):63–71.