

基于卷积神经网络的轮胎X射线图像缺陷检测

卞国龙, 李 勇, 戚顺青, 王艳举, 于胜红, 宋美芹

(青岛双星轮胎工业有限公司, 山东 青岛 266400)

摘要:为解决常用轮胎X射线图像缺陷检测方法难以获取准确的图像特征的问题,提出一种通过卷积神经网络获取图像特征的方法。对轮胎X射线图像进行数据增强,然后建立网络模型。训练算法获取图像缺陷特征,并用训练好的模型识别图像中的缺陷。首先将参数对应的神经元分为关键和非关键部分,然后采用局部关键点和动态学习率实现参数快速调节。试验结果表明,设计的网络模型不易过拟合,参数调节快,所需时间短,检测准确率高。

关键词:轮胎;图像分割;深度学习;卷积神经网络;缺陷检测

中图分类号:TQ330.4⁺92;TQ336.1⁺1

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2019)04-0247-05

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2019.04.0247

子午线轮胎具有高速耐用等特点,由于受生产条件影响,轮胎内部会出现钢丝帘线并线、稀线、弯曲和杂质等缺陷,而轮胎质量关系到行车安全,所以须对每条轮胎的钢丝帘线都进行检测。目前,常用X射线成像法检测轮胎质量,而图像中缺陷的提取和分割是轮胎缺陷自动识别的关键。由于子午线轮胎的结构特征和X射线检测的特点造成图像的对比度不高、边缘模糊和图像噪声多等问题。阈值分割是最常见的图像分割方法,其基本原理是在图像的灰度范围内确定一个或多个阈值,然后用图像中像素的灰度值与阈值比较,将图像划分。当图像中的像素间灰度差异较大而灰度特征相差较小时,需先消除图像背景影响,然后再选取合适的阈值分割^[1]。随着人工智能技术的发展,模拟人类的视觉以图像特征为基础进行识别,可以实现安全监控、模型匹配等,有广泛的应用前景。人工神经网络是模仿生物神经网络进行分布式并行信息处理的数学模型^[2]。自1943年第一个人工神经网络模型至今,已发展出多种类型的网络结构与算法。图像识别是目前计算机科学中数字图像处理与模式识别领域的研究热点。

本研究针对常用的轮胎X射线图像缺陷检测

作者简介:卞国龙(1989—),男,山东潍坊人,青岛双星轮胎工业有限公司工程师,硕士,主要从事制造物联、图像识别研发工作。

E-mail:1099205144@qq.com

方法难以获取准确的图像特征等问题,提出一种通过卷积神经网络获取图像特征的方法,通过滤波滤除图像中的噪声,依据图像的灰度均值和每个像素邻域内灰度均值的比例对像素的灰度进行校正,消除轮胎X射线图像中的背景变化。

1 轮胎X射线图像识别基础理论

1.1 图像识别技术基础

在轮胎的X射线图像中,最复杂的区域是带束层部分。现有的检测技术主要采用过滤器检测,通过设定轮胎各部位参数的区间进行判定,如果轮胎的技术指标在区间内则为合格品。人工智能通过一系列智能算法进行机器训练,并通过深度学习对轮胎质量进行判别,即通过大量的样本训练达到学习的效果^[3]。软件处理图像的时间取决于程序设定检测缺陷类型的数量,软件须在X射线机扫描成像的周期内完成缺陷分析,并提供处理建议。深入研究轮胎X射线图像并对缺陷分类,分析图像的特性并对图像进行分割,然后对分割后的图像设计识别算法,最后运用到自动识别系统中。

1.2 轮胎X射线图像的分割

依据轮胎的结构,X射线图像可以分为胎圈、胎侧、胎肩和胎面等几部分,如图1所示。轮胎X射线图像分割区域的每个部位检测特征相同,所以图像处理首先要对图像进行分割。正常的轮胎X

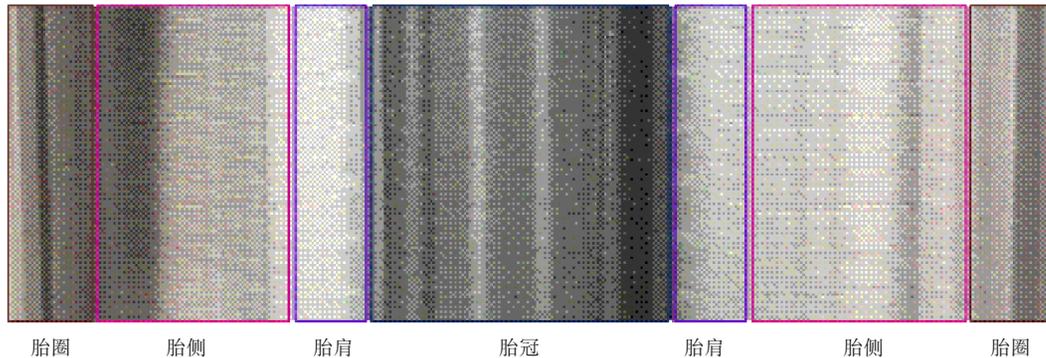


图1 轮胎X射线图像结构

射线图像各部位纹理分布较为规律,当出现缺陷时,认为在纹理分布上出现了异常。因此对轮胎缺陷的辨识主要是通过纹理分析达到轮胎缺陷识别和判级的目的。

2 轮胎X射线图像信息提取

针对带束层纹理叠加的轮胎X射线图像进行傅里叶频谱分析,统计灰度信息,将统计信息向量转化为灰度信息图像,选择可测算带束层边界的灰度信息向量并计算各带束层边界位置。针对轮胎X射线图像的胎冠部分将带束层分层,通过滤波器对胎冠的频谱信息进行处理,将叠加的带束层分离,从而进行胎冠部位缺陷识别。在使用优化算法分离带束层前,观察胎冠部分带束层方向、纹理周期等信息并得到带束层频谱特征,通过频谱信息分布计算滤波器中的角度、标准偏差等参数,形成滤波器模板。

2.1 图像处理基本原理

灰度图像经过旋转后的旋转角称为投影角,由灰度累积投影值形成的曲线为投影曲线。灰度累积投影值是图像旋转后行数据灰度信息的统计结果,计算如下:

$$V_i^\alpha = \frac{\sum \gamma[i - I(x \cos \alpha - y \sin \alpha)]P(x, y)}{\sum \gamma[i - I(x \cos \alpha - y \sin \alpha)]} \quad (1)$$

式中, V_i^α 为图像旋转 α 角度后第 i 行像素灰度累积值; γ 为单位阶跃函数; I 为取整函数, $P(x, y)$ 为当前像素灰度值。

由灰度值的变化设定阈值,把灰度图像转化为二值图。首先提取灰度特征,然后由图像特征选择灰度值的阈值,将灰度值与阈值比较,并把结果按特征分类^[4]。图像识别滤波过程中阈值的选

取是关键,自适应阈值能够改善图像分割结果,但由于胎面花纹沟槽等影响,会使图像边缘与背景的灰度相近,阈值处理后可能出现伪边缘或边缘漏检。若像素灰度值大于自适应阈值 M ,则将灰度值置为1,否则为0,计算如下:

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & g(x, y) > M \\ 0, & g(x, y) \leq M \end{cases} \quad (2)$$

由图像归一化对图像处理变换,图像归一化可归纳样本的统计分布性,并能统计图像像素率的分布规律。

2.2 卷积神经网络优化

卷积神经网络主要有如下优点:局部感受野,每层神经元只与上层部分神经元相连;权值共享,采用相同的卷积核对同一图像卷积操作;下采样,把输入的特征图像划分为不同子块再进行池化操作^[5]。卷积和池化是卷积神经网络的核心,卷积思想来源于视觉的感受野概念,即以兴趣点为中心的小块区域更符合二维平面,池化通过下采样学习空域特征。池化使特征和参数减少,可以保持一定的不变性,有均值池化和最大池化等方法。特征提取的误差主要来自卷积层参数误差,其使估计均值偏移和邻域大小受限,造成估计值方差变大。

输入的二维图像矩阵经过卷积核卷积得到特征图像,采用局部感受野,每一组神经元都有一组权值,这些权值与前层神经网络矩阵块神经元关联,加上偏置传入sigmoid函数激活。假设 L ($0 \leq L \leq 6$) 层有 W 个特征图,卷积层输入的是 $m \times m$ 的矩阵 X_j ($1 \leq j \leq W$),卷积核是 $n \times n$ 的矩阵 t_j ,用卷积核对 X_j 的感受野进行步长为1的顺序卷积,计算过程如下:

$$X_j^{L+1} = f(\sum_{i \in M_j} X_i^L t_{ij}^{L+1} + h_j^{L+1}) \quad (3)$$

式中, X_j^{L+1} 为卷积层的输出特征图矩阵; f 为 sigmoid 激活函数; M_j 为输入特征图矩阵集合; t_{ij}^{L+1} 为当前层第 i 个特征图与前一层第 j 个特征图相对应的卷积核; h_j^{L+1} 为偏置参数。卷积过程的输入既可以是原始图像, 也可以是池化后的特征图像。

2.3 图像识别的验证与实现

通过 Visual C++ 编程开发轮胎 X 射线图像检测系统, 包含轮胎 X 射线图像处理与缺陷识别等功能, 其中图像处理模块实现图像采集校正和动态显示, 缺陷识别模块实现图像缺陷识别和分类^[6]。采用 Direct Draw 技术实现图像的动态显示, 可设置为全屏模式, 使程序覆盖桌面, 支持翻页, 能快速将后台图像显示到桌面。系统具有 X 射线图像处理功能, 包括图像旋转、整体缩放和均衡化等。轮胎缺陷识别是软件的核心, 包括轮胎帘线弯曲、稀线、接头稀开和杂物等缺陷的识别。首先依据帘线排列方向识别带束层, 然后利用分割出的图像细节对帘线交叉、稀线、杂物和接头稀开等缺陷进行检测^[7]。检测前应根据轮胎的质量要求, 按轮胎规格分类学习轮胎病象特征参数, 建立数据库。然后, 分别对轮胎进行检测, 检测结束后将缺陷标注在图像上, 并实时学习更新轮胎 X 射线图像缺陷参数数据库。图像识别流程如图 2 所示。

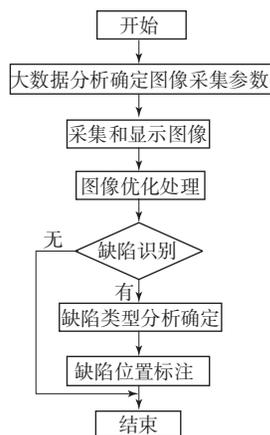


图2 图像识别流程

3 缺陷分析检测

3.1 迭代学习

为了测试卷积神经网络算法的性能, 针对轮

胎 X 射线图像进行了相关试验, 以选择性能最好的算法优化模型。检测性能随训练次数的变化如图 3 所示。

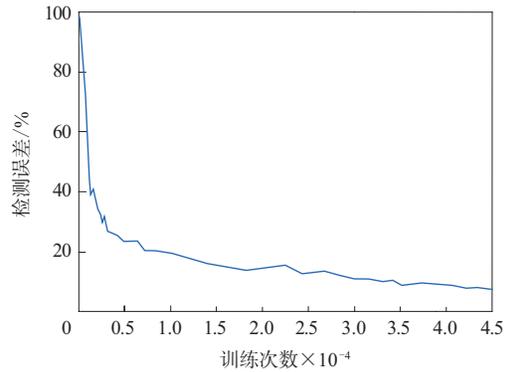


图3 检测性能随训练次数的变化

随着迭代次数的增加, 性能越来越稳定^[8]。选择算法性能图像最平滑点对应的迭代模型为最终优化模型。随着算法迭代数据曲线变得平滑, 用傅里叶变换的测不准原理计算分辨率, 寻找离散结果最平滑点。结果表明, 第 2.9×10^4 次迭代对应的点为最平滑点。

3.2 算法检测性能对比

为了进一步验证算法性能, 将卷积神经网络算法与其他算法进行比较, 缺陷识别率表示找到样本的可靠性, 卷积网络、BP 网络、蚁群算法和遗传算法的缺陷识别率分别为 91.3%、79.6%、62.9% 和 68.4%。由此可见, 本研究提出的卷积神经网络算法具有较高的正确检测率, 检测性能较优。根据试验分析, 选择第 2.9×10^4 次迭代模型作为应用模型。本算法迭代训练多个模型, 并选择最优模型使分类性能更优, 而通过加权合重法使检测框定位更准确。与其他算法相比, 本算法检测性能有明显提升, 在相同测试标准下, 取得较好的检测性能。

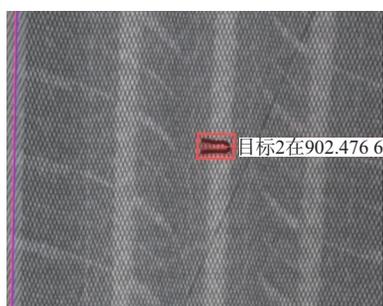
3.3 轮胎缺陷检测

集成卷积神经网络缺陷识别算法, 设计基于 X 射线成像和模式识别技术的轮胎 X 射线成像缺陷检测系统, 硬件由 X 射线发射系统、成像系统、PLC 运动控制系统和防护系统组成, 软件完成轮胎 X 射线图像的实时采集、显示及轮胎内部杂物和钢丝帘线分布不均、弯曲和交叉等缺陷的自动识别。

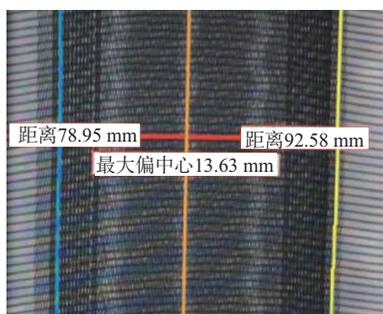
本设计检测系统对轮胎 X 射线图像常见缺陷

的识别结果如图4所示,在生产车间一定时期内的

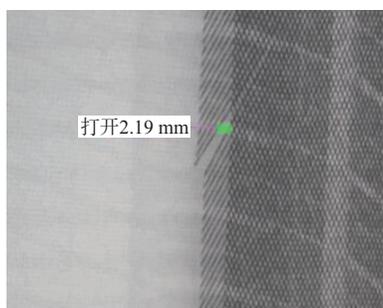
缺陷检测数据相对人工检测结果的百分率如表1所示。



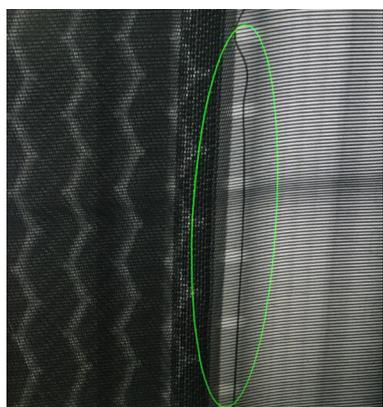
(a) 胎体杂物缺陷



(b) 带束层偏中心缺陷



(c) 帘线接头稀开缺陷



(d) 0°带束层偏出缺陷

图4 常见缺陷检测图像

表1 缺陷检测结果统计 %

规格	带束层偏中心	钢丝帘线弯曲	帘线接头稀开	胎体杂物
13R22.5	96.1	95.8	93.7	96.2
11R22.5	96.7	97.1	96.1	95.3
215/70R15	92.8	96.3	92.9	97.2
165/70R13	97.3	94.2	95.7	98.6
215/55R16	95.9	95.8	96.2	94.7
平均	95.7	95.8	94.9	96.4

从表1可知,上述几种规格轮胎内部常见的钢丝帘线断裂、稀线和杂物等缺陷的平均识别准确率均达到很高的水平。由于在测试过程中带束层顺线缺陷未出现,所以没有统计。

4 结论

本研究提出通过卷积神经网络获取图像特征的方法,首先对轮胎X射线图像进行数据增强,然后建立网络模型,训练算法获取图像缺陷特征,用训练好的模型识别图像中的缺陷。根据需求将参数对应的神经元分为关键和非关键部分,采用局部关键点和动态学习率实现参数快速调节。试验结果表明,设计的网络模型不易过拟合,参数调节快,所需时间短,检测准确率高。

深度学习是应用数据分析的重要工具,随着技术的不断提高,卷积神经网络应用将更广泛,利用校正后的修正函数可提高分类正确率。然而,深度学习模型的拟合能力只有通过大量训练才能加强,若数据量少,易造成过拟合。近年来有关卷积神经网络的研究大部分都针对某一类数据库设计,泛化能力不强,因此设计通用性强的模型是目前亟待解决的问题。融合算法有很大的发展空间,不同尺度下图像的边缘存在差异,如何排除噪声干扰以正确判定边缘增量仍需重点研究。

参考文献:

- [1] Wang M, Ni B, Hua X S, et al. Assistive Tagging: A Survey of Multimedia Tagging with Human-Computer Joint Exploration[J]. Acm. Computing Surveys, 2012, 44 (4) : 1-24.
- [2] 黄乐, 谭锋, 肖风亮. 基于BP神经网络算法的橡胶配方性能预测软件[J]. 橡胶工业, 2018, 65 (8) : 944-947.

- [3] 赵顺利, 史延标, 韩书娟, 等. 全钢巨型工程机械子午线轮胎X射线检验质量缺陷的原因分析[J]. 轮胎工业, 2012, 32(4): 250-251.
- [4] Abdel-Hamid O, Mohamed A R, Jiang H, et al. Convolutional Neural Networks for Speech Recognition[J]. IEEE/ACM Transactions on Audio Speech & Language Processing, 2014, 22(10): 1533-1545.
- [5] Gerhard Schall, Tobias Langlotz. Mobile Augmented Reality: Robust Detection and Tracking of Annotations for Out Door Augmented Reality Browsing[J]. Computers & Graphics, 2011, 35(4): 831-840.
- [6] Alex K, Ilya S, Geoffrey H. Image Net Classification with Deep Convolutional Neural Networks[J]. Advances in Neural Information Processing Systems, 2012, 25(2): 1106-1114.
- [7] 岳耀平. 全钢载重子午线轮胎胎体帘线变形原因分析及解决措施[J]. 轮胎工业, 2012, 32(1): 52-53.
- [8] Hong R, Meng W, Yue G, et al. Image Annotation by Multiple Instance Learning With Discriminative Feature Mapping and Selection[J]. Cybernetics IEEE Transactionson, 2014, 44(5): 669-680.

收稿日期: 2018-12-15

Defect Detection of Tire by X Ray Image Based on Convolutional Neural Network

BIAN Guolong, LI Yong, QI Shunqing, WANG Yanju, YU Shenghong, SONG Meiqin

(Qingdao DoubleStar Tire Industry Co., Ltd, Qingdao 266400, China)

Abstract: In order to solve the problem that it was difficult to obtain the accurate image features by using the common X ray image method for tire defect detection, a method of obtaining image features through convolutional neural network was proposed. In this method, the X ray image of tire was enhanced, and then the network model was established. The training algorithm was used to obtain the image defect features, and the trained model was used to identify the defects in the image. First, the neurons corresponding to the parameters were divided into critical and non-critical parts. Then, the local critical points and dynamic learning rate were used to achieve quick adjustment of parameters. The experiment results showed that the designed network model was less susceptible to get over fitted, and it had a faster parameter adjustment, a shorter time and higher accuracy of defect detection.

Key words: tire; image segmentation; deep learning; convolutional neural network; defect detection

需求强劲拉动欧洲轮胎销量

欧洲轮胎和橡胶制造商协会(ETRMA)最新数据显示,2018年第4季度欧洲替换轮胎的需求强劲,助推2018年全年轿车和载重轮胎整体出货量超越2017年的水平。

ETRMA数据显示,与此形成鲜明的对照,原配轮胎和替换农业及两轮车轮胎出货量则低于2017年的水平。2018年第4季度消费者替换轮胎出货量增加2.8%至4.85亿条,轿车和载重轮胎替换轮胎出货量增加1.2%至2.075亿条。冬季轮胎出货量大于夏季,增幅为1.4%,夏季轮胎出货量则下滑了0.3%。

2018年第4季度,替换卡车/大客车轮胎需求量跃升16%至278万条,推动2018年出货量增长

8.8%至1.06亿条。另一方面,原配轮胎出货量下降3.6%至8.37亿条,而原配载重轮胎出货量则上升4.3%,达6.35亿条。全年替换农业轮胎出货量为1.24亿条,增幅为3.5%,虽然该季度农业轮胎出货量增长了10%。替换摩托车轮胎出货量尽管在2018年第4季度增长了8.4%,但全年却下降了1.8%至8.97亿条。

ETRMA秘书长Fazilet Cinaralp说:“2018年的数据证实,稳定的市场正在按预期的趋势发展,冬季轮胎和全天候轮胎持续增长促进了道路安全。此外,协会成员单位在替换载重轮胎市场的销量呈现出良性发展势头,特别是在波兰、德国、西班牙、英国、意大利和荷兰的增长惊人。”

(摘自《中国化工报》,2019-01-31)