

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2018.02.018

基于 BP 神经网络的纸张缺陷检测与识别研究

段茵, 陈恺煊, 刘昕, 张金凤

(西安理工大学 印刷包装与数字媒体学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 纸张表面缺陷会直接影响印刷产品的质量。为了快速、准确地检测出纸张缺陷, 本文提出了一种基于 BP 神经网络的纸张缺陷检测与识别的方法。先将纸张缺陷经过形态学处理, 再进行形状分析, 然后把距离、面积、延长因子和圆度因子四个特征参数输入神经网络进行训练, 最后利用训练后的神经网络对纸张缺陷类型进行识别。实验表明: 将 BP 神经网络用于纸张缺陷检测中, 能有效地检测缺陷类型, 并准确识别常见的尘埃、孔洞、裂口和褶子四种纸张缺陷。

关键词: 纸张缺陷检测; 图像处理; 神经网络

中图分类号: TS807

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2018)02-0235-05

Research on paper defect detection and recognition based on BP neural network

DUAN Yin, CHEN Kaixuan, LIU Xin, ZHANG Jinfeng

(School of Printing, Packaging Engineering and Digital Media Technology,

Xi'an University of Technology Xi'an 710048 China)

Abstract: The surface of paper defects will directly affect the quality of printing products; to detect paper defects quickly and accurately, a method for paper defects detection and recognition based on the BP neural network is proposed. With the morphological the paper samples treated and its shape analyzed, the four characteristic parameters are input into the neural network for training, and the trained neural network is used to identify the types of paper defects. The experiment shows that the BP neural network can be used for detecting the defects of paper, and that it can effectively defect detection types and identify four kinds of paper defects accurately, such as dust, holes, cracks, and folds.

Key words: paper defect detection; image processing; neural network

纸张在生产过程中因受到外界环境污染以及生产操作不当、设备污损等影响, 会产生种类繁多的表面缺陷。纸张缺陷的出现会严重影响纸张的质量和效果, 降低经济效益。因此, 对于纸张缺陷的检测是造纸过程中不可或缺的环节。

国内外学者针对纸张缺陷的智能化检测做了很多相关研究。文献[1]提出了利用 Prewitt 算子检测孔洞、脏点和褶皱的方法, 但由于纸张缺陷的多样性, 导致识别率不足。文献[2]在背景与目标纸张缺陷的对比度低的情况下, 提出了一种将边缘检测和小波融合结合起来的方法, 定位准确且具有一定的抗噪性, 但算法本身过于复杂, 不能满足检测的时效性。文献[3]提出了通过提取纸张缺陷的几何及灰度特征并将其分类的方法, 但只描述了不同特征量的差异, 并未给出具体的分类方法。

1 理论分析

1.1 常见纸张缺陷分类

合格的纸张除了要达到物理的质量指标外, 还必须符合外观指标要求。外观缺陷通常有尘埃、孔洞、裂口、褶子^[4]等四种, 见图 1。尘埃是指纸页表面肉眼可见的与纸页表面颜色有明显区别的斑点^[5]及束状纤维。其来源广且复杂, 有的由原料带来, 有的是由于蒸煮、粗选、精选工艺不当或者操作不当及设备原因造成的, 按照尘埃的特性和外观特点, 可分为纤维性尘埃、非金属性尘埃、金属性尘埃。孔洞是较为常见的纸张缺陷, 一般分为孔眼、斜眼、窟窿, 统称孔洞, 是指在纸页局部没有纤维完全穿透的点子。裂口一般出现在纸张的中部或者边部, 中部裂口多为纵向, 边部裂口多为横向。褶子是纸张抄造

收稿日期: 2017-06-20

基金项目: 陕西省重大科技创新资助项目(2008ZKC02-13)

作者简介: 段茵, 女, 硕士生, 研究方向为图像处理与印刷技术。E-mail: 824263954@qq.com

通讯作者: 刘昕, 男, 教授, 研究方向为图像处理与印刷技术。E-mail: liuxin@xaut.edu.cn

过程中产生的一种常见的纸张缺陷,它的种类繁多,主要易分布于压榨部、压光部、干燥部和卷纸部,根据其主要特征和产生地点,大致可分为湿褶子和干褶子。

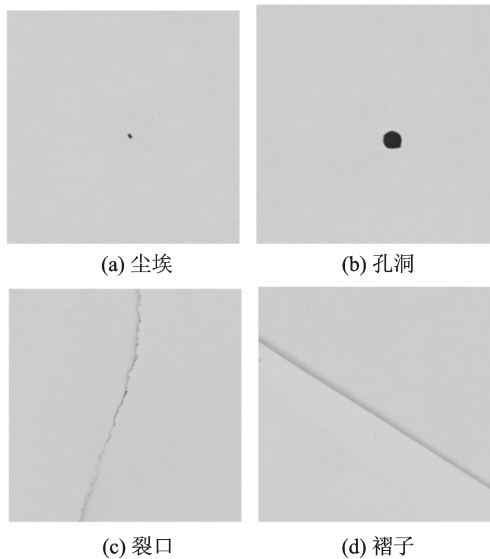


图 1 常见纸张缺陷

Fig. 1 Common types of paper defects

1.2 纸张缺陷检测流程

纸张缺陷检测流程分为两部分(见图 2)。首先是训练部分^[6],即将一定数目含有纸张缺陷的样张经过预处理、形态学处理后,对其形状特征参数进行提取并利用 BP 神经网络对其进行训练,使参数与纸张缺陷类型建立起映射关系。其次是检测部分,对待检测的样张同样进行预处理和形态学处理后,调用训练完成的网络对参数进行判别,从而完成纸张缺陷类型的识别。

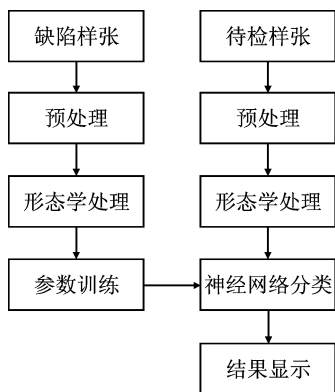


图 2 纸张缺陷检测流程

Fig. 2 Paper defect inspection procedure

1.3 图像预处理

设备在实际采集中一般为彩色图像,彩色图像因其信息量大,运行消耗时间。因此在数字图像处理之前需要将彩色图像转化为灰度图像,这样即可以反映图像的亮度分布特征,还能减少运算量,缩短图像处理的时间。由于纸张缺陷检测的核心思想在

于其形状特征,对颜色并无要求,所以采取最大值法,见式(1),将彩色图像中的三分量亮度的最大值作为灰度值来进行灰度化。

$$f(i,j) = \max[R(i,j), G(i,j), B(i,j)] \quad (1)$$

在光电性质及设备器材自身质量等原因的影响下,图像的传输和获取过程中不可避免的会受到噪声干扰。中值滤波法作为一种典型的非线性平滑技术,不仅可以消除噪声污染,同时保护图像的边缘细节,使其不被模糊。中值滤波的基本思想是将数字图像中待处理像素的值用该点滤窗内的所有像素点的灰度值中间值代替(见图 3)。

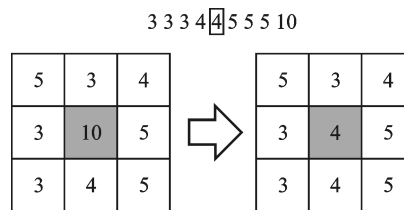


图 3 中值滤波原理

Fig. 3 Median filtering principle

1.4 图像分割

全局 Otsu 算法^[7]又称最大类间方差法或大津法,该方法的基本思想是根据选取的阈值将图像分为目标和背景两个部分,计算像素的灰度值对应的最大类间方差值,将类间方差值取最大时对应的阈值作为最佳阈值。

设图像最佳阈值为 T , T 将图像分为目标和背景。其中目标点数占总图像比例为 w_0 , 平均灰度值为 u_0 ; 背景点数占图像比例为 w_1 , 平均灰度值为 u_1 , 则图像的总平均灰度值为:

$$u = w_0 \times u_0 + w_1 \times u_1 \quad (2)$$

类间方差为:

$$g = w_0(u_0 - u)^2 + w_1(u_1 - u)^2 \quad (3)$$

通过遍历计算最小灰度值到最大灰度值分割的目标和背景的灰度直方图,使类间方差值 g 最大时的灰度阈值则为最佳阈值 T 。

方差是度量图像灰度分布均匀化的方法,当选择适当的阈值,使得数据间的方差越大,表明该阈值使得两部分差别越大。 u_0 和 u_1 分别代表着目标和背景的中心灰度值, u 代表整幅图像的中心灰度,当目标和背景分割最优时,即分割出的目标远离图像中心,因此 g 尽量大。

为了减少计算量,提高图像处理运行速度,一般用等价公式(4)进行表示:

$$g = w_0 \times w_1 \times (u_0 - u_1)^2 \quad (4)$$

Otsu 阈值分割不受图像对比度与亮度的影响,其

阈值将目标和背景分离开来,很好地克服了此缺点。

1.5 形态学处理

在纸张缺陷的形状特征参数处理过程中,需要对每种纸张缺陷^[8]的参数进行提取,但由于图像采集和阈值分割等原因,往往一个缺陷会由很多离散的部分组合而成。见图 4,裂口和褶子缺陷图像中含有许多不规则的干扰点^[9],其本身是组成裂口或者缺陷的一部分,但若不对其进行处理,这些干扰点有可能会被识别为脏点或者孔洞,从而造成误判。

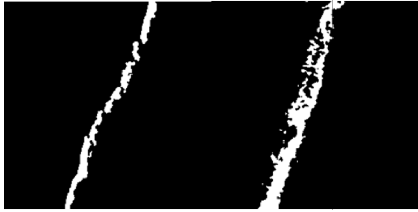


图 4 未经形态学处理的样张

Fig. 4 Sample without morphological processing

为了避免误判的发生,需要对同一个缺陷的几个离散的部分进行“聚合化”处理,将离散的部分相连,而又不影响形状特征参数的准确性。

数学形态学是一种以形态结构元素为基础提取图像分量的工具,基本思想是利用一定形态的结构元素去探测和提取图像区域形态特征以达到对图像分析和识别的目的。其基本操作运算是腐蚀和膨胀^[10]。

腐蚀是消除图像所有边界点,使图像边界收缩和细化的过程,一般用来消除图像中不相关的细节。 A 被 B 腐蚀相当于 B 完全包括在 A 里面时 B 的原点所有位置的集合,数学式为:

$$A \ominus B = \{Z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad (5)$$

膨胀是将模板与图像的背景点合并的过程,可以使图像边界加长或变粗,填充空洞,连接裂缝。 A 被 B 膨胀是将结构元素 B 平移后使 B 与 A 的交集非空的点构成的集合。数学式为:

$$A \oplus B = \{Z \mid [(B)_z \cap A] \neq \Phi\} \quad (6)$$

将二值化图像经过多次膨胀和腐蚀之后,得到的结果见图 5,同一个缺陷的各个离散部分已经被“聚合”到了一起,而缺陷本身的形状却并未发生太大改变。



图 5 经过形态学处理的样张

Fig. 5 Sample after morphological processing

2 基于 BP 神经网络的纸张缺陷分类

BP 神经网络^[11]是一种典型的按误差反向传播算法训练的多层前馈网络运算模型,在学习梯度下降的规则的基础上利用反向传播进行阈值和权值的不断调整,使神经网络的误差平方和达到最小。

BP 神经网络是由大量的神经元联结构成,神经元的基本结构见图 6。

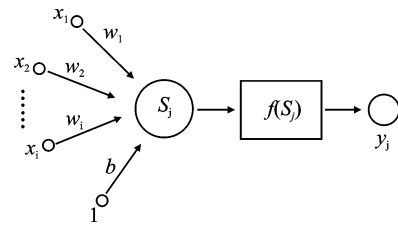


图 6 神经元结构

Fig. 6 Neuron structure

其中 $x_1 \sim x_i$ 为输入向量的各个分量, $w_1 \sim w_i$ 为神经元各个突触的权值, b 为偏置又称为阈值, $f(S_j)$ 为传递函数, y_j 代表着每个神经元的输出。每个神经元节点的输出值与上层节点的输出值、两个节点之间的连接权值、当前节点的阈值或称为偏置以及传递函数有关,具体的实现方法为:

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad (7)$$

$$y_j = f(S_j) \quad (8)$$

BP 神经网络是由信息的正反方向传播的过程,通常是由输入层、隐藏层、输出层三层构成,见图 7。当输入层接受从外界输入信息,神经网络开始进入分类判断的训练过程,将输入的多个样本进行训练,当出现实际输出不符合预期输出情况时,将会进入误差的反传播阶段,误差通过输出层,会以误差下降方式对各层权值进行修正,并在隐藏层和输入层进行逐层反转。各层权值通过信息正向传播和误差反向传播进行不断调整,同时也是神经网络学习训练的过程,这个过程结束的标识是网络输出误差减少到可以接受的程度或者达到预先设定的学习次数。

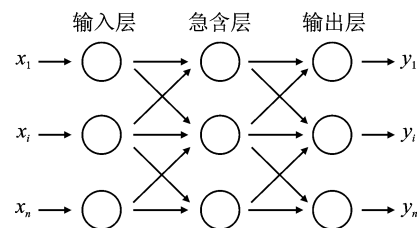


图 7 BP 神经网络结构

Fig. 7 Structure of neural network

在纸张缺陷判断的过程中,将一定数量的训练样本提取参数^[12-13](尘埃、孔洞、裂口、褶子)进行训练,将训练完毕的神经网络的连接权值和偏置保存后,就可以判断后续样本到底是哪一种纸张缺陷了。

文章采用最远距离,面积,延长因子,Heywood 圆度因子四个参数对神经网络进行训练。最远距离指图像中粒子周边最远两点的距离;面积为图像中不含空洞的所有粒子面积;延长因子是指粒子图像最大直径与等效矩形短边的商,越细长的粒子,其延长因子越大;圆度因子则是指粒子周长和与其面积相等的圆的周长的商,当粒子形状越接近圆,圆度因子的值趋于 1。其中一组样本的四个参数值见表 1。

表 1 纸张缺陷的特征参数值

缺陷	最远距离	面积	延长因子	圆度因子
尘埃	25.30	274	2.33	1.08
孔洞	77.28	3 401	1.70	1.09
裂口	1 207.61	18 542	14.20	5.59
褶子	1 130.15	30 172	35.67	3.58

3 实验结果与分析

纸张缺陷检测软件采用 Labview 2014 作为开发语言,完成纸张缺陷检测软件结构设计及界面的搭建,见图 8。

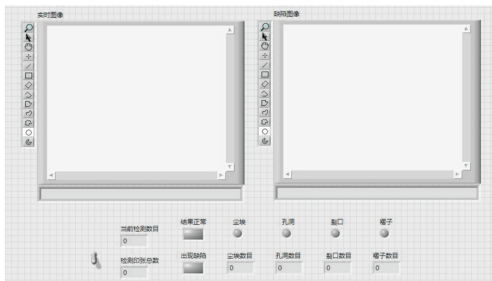


图 8 程序界面
Fig. 8 Program interface

利用 Matlab 2012b 作为脚本语言对纸张缺陷参数进行神经网络的训练及判别,并通过 Labview 中的 Matlab Script 节点对^[14]Matlab 的结果进行调用,达到识别判断纸张缺陷的目的,见图 9。

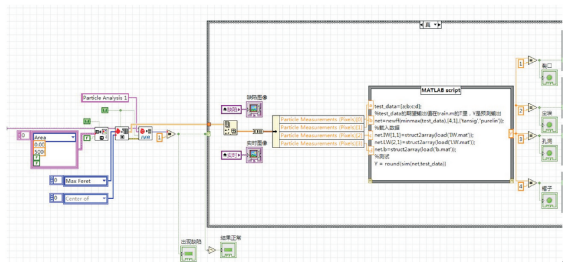


图 9 部分程序框图
Fig. 9 Part of program diagram

训练部分选取了尘埃、孔洞、裂口、褶子四种纸张缺陷样本每种各 10 个,总共 40 个样本。对样本进行预处理、形态学处理后,建立隐含层神经元个数为 3,输出层神经元个数为 1 的 BP 神经网络,测量 40 个样本的形状特征参数对并网络进行训练训练结果见图 10。选取一组纸张缺陷图片验证训练结果的正确性,首先对待检测样本进行预处理,包括灰度化及滤波去噪,见图 11。然后进行图像分割及形态学处理,见图 12。

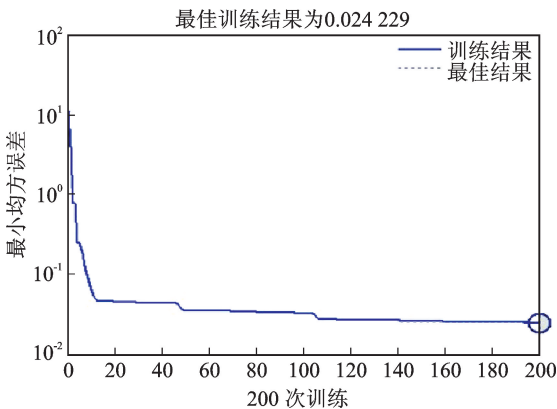


图 10 神经网络训练结果
Fig. 10 Training result of neural network

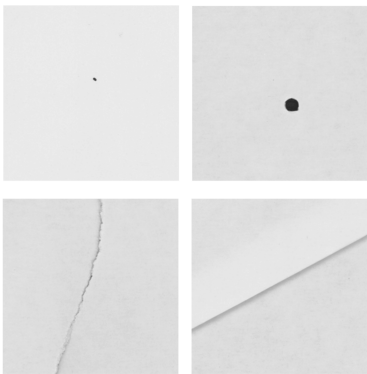


图 11 预处理后的待测样张
Fig. 11 Sample to be measured after pretreatment

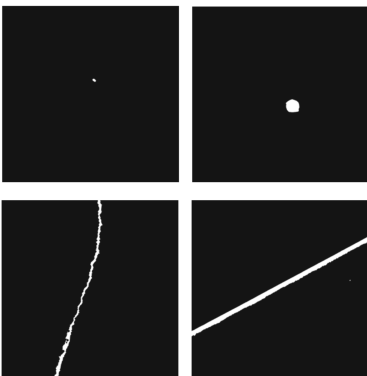


图 12 形态学处理后的待测样张
Fig. 12 Sample to be measured after morphological processing

最后用训练完毕的神经网络对纸张缺陷进行识别,尘埃、孔洞、裂口、褶子四个纸张缺陷样本的识别数据及结果见表 2,实验取样的识别结果见表 3。

表 2 神经网络识别结果
Tab. 2 Detection results of neural network

参数	样本 a	样本 b	样本 c	样本 d
最远距离	22.47	86.82	1 033.50	1 150.05
面积	240	4 603	14 611	30 082
延长因子	2.10	1.63	18.68	37.46
圆度因子	1.07	1.03	5.43	3.89
识别结果	尘埃	孔洞	裂口	褶子

表 3 取样结果分析
Tab. 3 Detection results of sample

缺陷类型	尘埃	孔洞	裂口	褶子
准确率/%	97	95	97	98

4 结 语

文章通过对常见纸张缺陷及其形成原因进行分析,提出了一种常见纸张缺陷的检测及识别方法。对纸张缺陷样本的最远距离、面积、延长因子、Heywood 圆度因子四个形状参数进行测量记录,利用按误差逆传播训练的三层前馈 BP 神经网络对样本参数进行训练并保存结果,以对待检样张进行识别。通过实验证明,此方法可以有效的检测出尘埃、孔洞、裂口、褶子四种常见纸张缺陷,满足工业生产的自动化检测需求。

参考文献:

- [1] 张学兰, 李军, 辛培红, 等. 边缘检测在纸病图像分析中的应用 [J]. 造纸科学与技术, 2012, 31(6): 121-125.
ZHANG Xuelan, LI Jun, XIN Peihong, et al. The application of edge detection in paper defect image [J]. Paper Science & Technology, 2012, 31(6): 121-125.
- [2] 陈琨, 王亦红. 基于机器视觉的低对比度纸病识别算法研究 [J]. 中国造纸学报, 2013, 28(2): 29-33.
CHEN Jun, WANG Yihong. Identification algorithm of low contrast paper defects based on machine vision [J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2013, 28(2): 29-33.
- [3] 杨波, 周强, 张刚强. 基于几何及灰度特征的纸病检测算法研究 [J]. 中国造纸, 2011, 30(9): 50-53.
YANG Bo, ZHOU Qiang, ZHANG Gangqiang. Study on algorithm of paper defect detection based on geometric and gray feature [J]. China Pulp & Paper, 2011, 30(9): 50-53.
- [4] 王厚忠. 制浆造纸工艺 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.
- [5] QI Xingguang, LI Xiaoting, ZHANG Hailun. Research of paper surface defects detection system based on blob algorithm [C]//2013 IEEE International Conference on Information and Automation, 2013: 694-698.
- [6] SANO K, MOMOSE S, TAKIZAWA H, et al. Efficient parallel processing of competitive learning algorithm [J]. Parallel Computing, 2004, 30(12): 1361-1383.
- [7] OSTU N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [8] 陈文凯. 基于机器视觉的纸病检测算法研究与集成 [D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
CHEN Wenkai. The research and integration of paper disease detection algorithms based on machine vision [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009.
- [9] 张学兰, 李军, 孟范孔. 一种基于机器视觉的纸病识别方法 [J]. 中国造纸学报, 2013, 28(1): 48-52.
ZHANG Xuelan, LI Jun, MENG Fankong. A paper defects detection method based on machine vision [J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2013, 28(1): 48-52.
- [10] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理: 第三版 [M]. 阮秋琦, 阮宇智, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [11] GALLANT S I. Neural network learning and expert systems [M]. London: The MIT Press, 1993.
- [12] 陈宝远, 李紫贺, 刘景阳, 等. BOPET 薄膜中气泡的检测及识别方法研究 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2015, 20(1): 61-65.
CHEN Baoyuan, LI Zhihe, LIU Jingyang, et al. Detection and identification methods research of the air bubble in BOPET [J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2015, 20(1): 61-65.
- [13] 樊向党, 林波, 沈文和. 塑料薄膜表面疵点检测及识别方法研究 [J]. 工业控制计算机, 2011, 24(5): 74-75.
FAN Xiangdang, LIN Bo, SHEN Wenhe. Research of plastic film surface defects detection and recognition [J]. Industrial Control Computer, 2011, 24(5): 74-75.
- [14] 柴敬安, 廖克俭, 潘德辉, 等. LabVIEW 和 MATLAB 混合编程方法的研究与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16(5): 737-739.
CHAI Jingan, LIAO Kejian, PAN Dehui, et al. Study and implementation on program method of LabVIEW combined with MATLAB [J]. Computer Measurement and Control, 2008, 16(5): 737-739.

(责任编辑 王绪迪)