

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2012.06.006

工业炸药药卷传输姿态在线检测方法^{*}

徐海波^① 何小敏^① 刁建彬^② 许亮^{①②} 李秀喜^③

①广东工业大学自动化学院(广东广州,510006)

②广东振声科技股份有限公司(广东梅州,514795)

③华南理工大学化学与化工学院(广东广州,510064)

[摘 要] 针对工业炸药自动包装过程药卷在线传输姿态异常问题,运用机器视觉检测技术,提出药卷传输姿态在线检测方法。该方法提取药卷在传输过程中的特征线段,形成基于边缘直线检测和矩形定位的传输姿态检测方法。利用 Visual studio C++ 和 OpenCV 实现算法及仿真实验。实验结果表明,两种方法的检测速度可以满足包装生产线速度,且可以快速准确地对异常姿态药卷识别与诊断。

[关键词] 工业炸药 药卷 机器视觉 在线检测

[分类号] TD235.2⁺1 TP13

引言

近年来,科技的发展使得民爆行业意识到必须加快技术创新,大力提高生产线连续化、自动化水平,减少危险工序在线作业人员,提高生产本质安全水平。目前国内开发的工业炸药自动包装设备存在不足,药卷在包装过程中,由于可能出现药卷与传输带传输方向所成角度过大等传输姿态异常问题,如果不能得到及时有效解决,出现异常状况的药卷就会在后续工序中因挤压而堵塞、污染生产线,降低生产效率^[1-4]。通过在线检测药卷的传输姿态,将可能出现问题的药卷定位,然后通过采取人工或机械装置将异常药卷分离,从而可避免以上异常情况发生。目前,多数企业的现状是工人在生产线旁检查、调整药卷传输姿态。由于工人本身技能和责任心有差异,时有异常情况的发生,同时对人身安全也构成潜在威胁。

针对上述存在的问题,在工业炸药包装生产线上引入机器视觉技术,实现在线检测药卷传输姿态。机器视觉主要用计算机来模拟人的视觉功能,从客观事物的图像中提取信息,进行处理并加以运用,最终用于实际检测、测量和控制。方法是通过 CCD 相机采集到药卷在线传输姿态的图像,将图像数据实时传输到服务器,通过相关算法进行分析处理,在线检测图像中药卷的传输姿态是否异常。

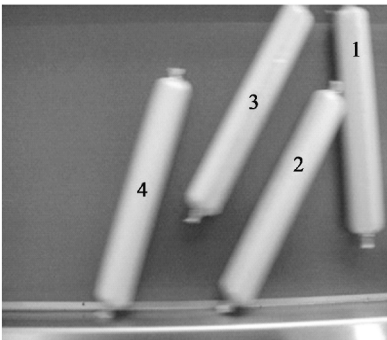
本文首先将采集的药卷图像进行预处理,通过

迭代法寻找最优阈值,分割药卷与皮带像素,得到药卷的二值图像,然后提取药卷轮廓,利用 Hough 变换算法获取药卷特征线段;并研究利用矩形去逼近药卷外轮廓,计算出药卷外轮廓矩形的特征参数,从而可以检测到传输过程是否存在堆叠和姿态异常情况,有效地解决了药卷传输过程中传输姿态异常问题。

1 检测原理

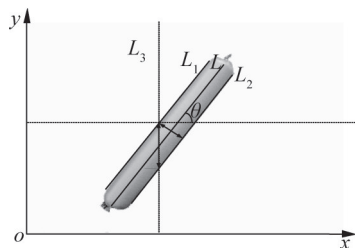
1.1 模型建立

实际生产线中药卷形状为长圆柱状,包装外皮成淡黄色,传输带(背景)深绿色,如图 1(a)所示。由于药卷为圆柱形,药卷检测与识别的关键是从采集的图像药卷中提取其轮廓信息后,将条形轮廓细化成直线,因此可将每根药卷简化成直线模型,提取药卷的中轴线和边缘直线等特征,再将图像坐标系转换成笛卡尔坐标系^[5-6],如图 1(b)、图 1(c)所示。



(a)

^{*} 收稿日期:2011-05-26
资助项目:广东省科技计划项目(2010B010700005);国家科技支撑计划课题(2012BAK13B02),2010 年现代信息服务业发展专项资金,编号:粤经信软信[2010]871 号
作者简介:徐海波(1987~),男,硕士,研究方向:智能控制与信息处理技术。E-mail:842466579@qq.com
通信作者:何小敏(1961~),女,副教授,研究方向:嵌入式系统及传感器网络。E-mail:teacher_smc@163.com



(b)



(c)

(a) 传输带上的药卷; (b) 药卷模型;

(c) 药卷细化直线模型

图 1 在线药卷姿态与药卷直线模型

在 x - o - y 平面内的直线模型可用式(1)表示:

$$\begin{cases} y = kx + b, k = \tan\theta & \theta \neq \frac{\pi}{2} \\ x = C & \theta = \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (1)$$

式中: k 为药卷中轴线的斜率; b 为药卷所在直线与 y 轴的截距; θ 定义为药卷所在直线与 x 轴的夹角。

1.2 在线检测处理

药卷传输姿态在线检测处理过程包括: 检测图像预处理、提取药卷轮廓和特征线段、传输姿态异常的识别与诊断等步骤。

1.2.1 图像预处理

第 1 步, 对图像进行阈值分割。由图 1 可以看出, 药卷和皮带的像素值存在很大不同, 通过图 2 中的图像直方图统计可知, 直方图中存在两个波峰分别为皮带与药卷像素的灰度值, 图像的前后景很容易区分, 可利用阈值分割法对图像进行处理, 按式(2)进行。

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq T \\ 0 & f(x, y) < T \end{cases} \quad (2)$$

其中 $f(x, y)$ 二维图像中坐标为 (x, y) 点所对应的像素值, 阈值 T 是通过迭代方法获得, 将自动计算出最合适的分割阈值。

第 2 步, 分割之后得到图像二值图, 由于噪声的存在使得边缘有很多锯齿, 运用开运算处理, 其实质是对图像进行腐蚀、膨胀处理, 操作核为参考点位于

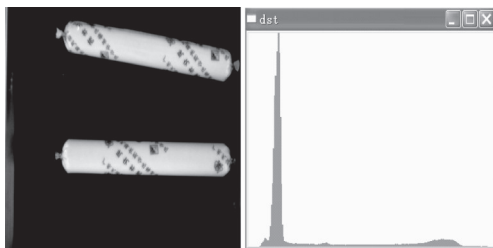


图 2 药卷图像及其对应直方图

中心的 3×3 核^[7-9]。

1.2.2 药卷轮廓和特征线段提取

药卷特征线段反映了药卷在传输过程中与皮带速度方向所形成的角度及药卷所处具体位置等相关信息, 通过特征线段可准确判断药卷在线传输姿态是否异常。该步骤目的是提取药卷的中轴线和边缘线段。采用轮廓提取算法提取药卷轮廓, 针对特征线段的提取, 本文提出两种方法: 边缘直线检测法和矩形定位法。

1.2.2.1 边缘直线检测法

药卷轮廓中直接包含有药卷的边缘线段。首先将图像进行轮廓提取处理, 使用 Canny 算法选取适当的上下限阈值之后可以得到药卷图像的轮廓图, 其中包含有要检测的线段, 可采用 Hough 变换检测线段, 该变换是一种在图像中寻找直线的方法^[6]。

1.2.2.2 矩形定位法

考虑药卷为条状物体且形体较粗, 使用普通的细化算法难以得到精确的药卷中轴线。但药卷轮廓比较接近矩形, 可利用一个矩形无限逼近药卷轮廓, 得到的图形即为最小面积并全部包含药卷的矩形。具体方法是应用旋转卡壳算法, 确定药卷轮廓凸包, 计算凸包最大直径, 从而得到外接矩形, 再通过矩形各参数决定图像药卷的传输异常情况, 对异常药卷进行在线检测与定位。

1.2.3 药卷传输姿态诊断

本文主要研究传输皮带上药卷的位置和姿态与皮带运动方向不一致的诊断方法。传输姿态异常药卷的判定是根据药卷中轴线与传输皮带运动方向所形成的夹角区间, 所以只需要检测并计算该夹角, 若角度超出了正常范围, 则认定为异常, 具体诊断方法如下。

检测到药卷的线段(特征)后, 计算线段上两端点坐标 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , 代入式(3), 即可求得直线的夹角 θ 。

$$\begin{cases} \theta = \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) & x_1 \neq x_2 \\ \theta = \frac{\pi}{2} & x_1 = x_2 \end{cases} \quad (3)$$

再利用式(4)诊断此药卷的姿态是否正常, 然后进行药卷传输姿态的诊断检测。

药卷中轴线 $\begin{cases} \text{正常} & \varphi_1 < \theta_i < \varphi_2 \\ \text{异常} & \text{其他} \end{cases}$

(4)

2 仿真实验

2.1 实验平台搭建

仿真实验平台如图 3 所示, 具体硬件包括数字图像采集卡、计算机、CCD 工业相机、光源, 药卷皮带传送速度为 400 mm/s。图像采集卡安装在计算机 PCI 接口上, 由图像采集卡驱动程序驱动调用。选用的相机型号为: AVT guppy f033b, 最大 33 万像素, 镜头的型号为: Computar M0814-MP, 焦距为 8 mm, 相机视野必须覆盖皮带宽度, 相机的数据通过 1394 数据线传输给图像采集卡^[6]。

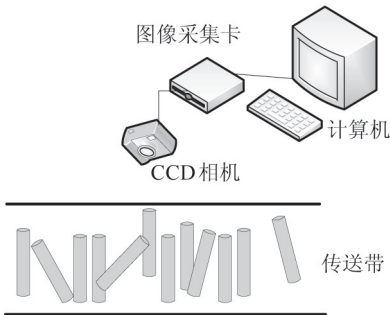


图 3 实验仿真平台

OpenCV 是一个基于(开源)发行的跨平台计算机视觉库, 它由一系列 C 函数和少量 C++ 类构成, 同时提供了 Python、Ruby、MATLAB 等语言的接口, 实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法。

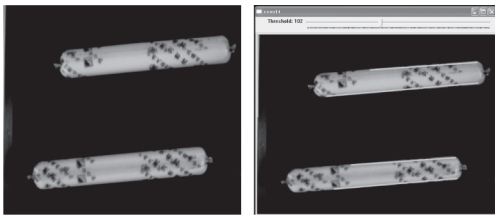
2.2 实验结果

由于特征提取方法的不同, 仿真实验分为两种: 边缘直线检测法和矩形定位法。

2.2.1 边缘直线检测法

边缘直线检测法针对的是药卷的两条平行的长边。首先对输入的药卷图像进行轮廓提取, 使用 Canny 算法, 该算法通过适当的选取上限下限阈值可以将独立边的候选像素拼装成轮廓, 再通过累计概率 Hough 变换检测药卷的边缘直线。

图 4(a)是单层完整稀疏排列的药卷图像, 取上限阈值、下限阈值分别是 60、120 时, 通过 Hough 检测边缘并画线, Hough 变换需要调整 3 个参数, 包括阈值(threshold)、返回线段的最小长度(param 1)和直线的分隔像支点数(param 2)。图 4(b)为相应的输出检测图像, 此图说明对于单层完整稀疏药卷可完整地检测到两条平行的边缘直线。

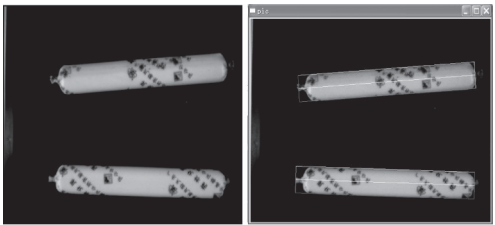


(a) 源图像; (b) 检测后图像

图 4 边缘直线算法检测效果图

2.2.2 矩形定位法

矩形定位算法: 对被检测图像进行灰度直方图计算, 获取最佳阈值, 先进行二值化, 后进行开运算, 然后通过二值图像轮廓跟踪算法提取药卷轮廓^[10-11], 从而画出药卷边缘的外接矩形框及长轴中轴线, 计算药卷中心坐标、倾斜角度、药卷的长宽等特征信息, 进而判断药卷的传输姿态是否异常。图 5(a)表示药卷为单侧不完整随机排列图像的输入图, 图 5(b)表示通过矩形定位算法检测的效果输出图。



(a) 源图像; (b) 检测后图像

图 5 矩形定位算法检测效果图

2.3 两种检测算法实验对比

2.3.1 基于不同药卷分类的两种检测算法对比

图 6 选取的图像药卷为单层完整稀疏排列时两种检测算法的仿真效果, 药卷中轴线近似平行, 且药卷之间存在间隙, 这种情况下两种算法均很好检测到药卷的轮廓特征。图 7 中的药卷随机性较大, 药卷中轴线之间平行度差, 且边缘药卷的双侧边缘未完全显现。用边缘直线法检测, 未完全显示的药卷边缘未被检测, 而矩形定位法可检测到未完全显示的边缘药卷图像。图 8 为单层单侧不完整密集排列的药卷图像, 药卷之间相切且中轴线平行, 边缘直线

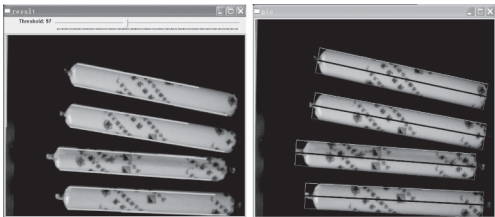


图 6 完整稀疏排列两种算法检测的输出图

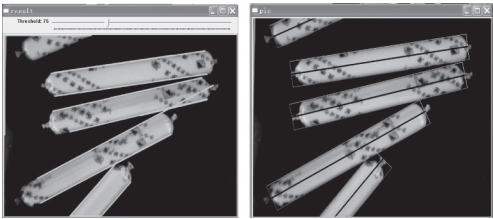


图 7 双侧不完整随机排列两种算法检测输出图

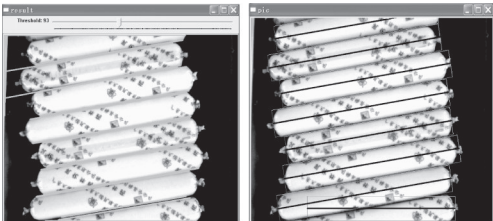


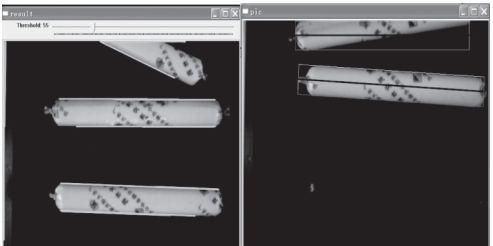
图 8 单侧不完整密集排列两种算法检测输出图

检测算法可以检测到完整的药卷图像边缘,因边缘药卷的单侧边缘未显示在图像中,故存在一边未被检测,通过调整适当阈值可分辨出相邻两个药卷的边界线。矩形定位法可检测绝大部分的药卷边缘。

边缘直线检测法的不足:当参数选择不匹配时,识别容易受到包装字迹影响,不能统计药卷数量,只能检测图像中是否有异常药卷,大多情况下可调整参数阈值的滑动条使轮廓线显示,有时调整参数仍然不可被检测,如图 9(a)所示。可以看出靠近上边缘上的药卷的一侧边缘未被检测出,可能原因:

- 1) 未被检测的药卷边缘显示部分不足完整边缘的一半;
- 2) 药卷包装的文字落在边缘侧线上。

矩形定位法的不足:易受重叠药卷和不完整药卷的影响,对于单侧不完整且药卷姿态倾斜的图像,该算法可以检测到矩形,但是中轴线有误差,导致药卷与传输带的角度检测失效,见图 9(b),但能检测到图像是否存在大量药卷重叠。



(a) 边缘直线检测异常;(b) 矩形定位检测异常

图 9 出现异常检测结果的药卷图像

通过以上 3 组仿真实验可知,对于单层药卷边缘完整或近似完整时两种方法均可较好地检测图像药卷特征线,从而判断姿态是否异常;当图像药卷为

单层双侧边缘不完整随机排列时,用边缘直线检测法失效(图 7 左);当图像药卷为单层单侧不完整密集排列时,矩形定位算法对于边缘不完整且倾斜药卷检测出现异常(图 8 右),用边缘直线检测法优于矩形定位法。

2.3.2 基于效率、识别率的两种检测算法对比

算法的效率需通过依据该算法编制的程序在计算机上运行时所消耗的时间来度量。从样本为 1000 的无堆叠药卷图像中随机抽取 70 张,并不对药卷图像分类考虑,在图像分辨率相同时通过两种方法检测的结果如表 1。表中边缘直线检测法的识别率是指检测到边缘直线的比例,药卷外矩形定位法的识别率为识别到整根药卷的比例;矩形定位法检测时间包含计算并显示药卷直方图、阈值分割、开运算、查找轮廓等各部分所用时间。对于药卷图像样本来讲最终的时间是指样本的均值检测时间。

表 1 两种算法的实验效果对比

检测方法	分辨率/ pixels	识别率/ %	错误率/ %	效率/ ms
边缘直线	656 × 494	96.67	3.33	29.059
矩形定位	656 × 494	97.29	2.71	29.915

药卷图像分辨率相同时,因图像中药卷数量、灰度值不同等导致两种方法检测时间长短不同,通常药卷数量在 4 根以上时两种方法的检测时间均超过 35ms,对于药卷边缘局部较小显示时检测效果不佳。从表 1 可得,矩形定位法对于药卷的检测时间比边缘直线检测法平均时间略长,但识别率较强。

3 结论

本文基于机器视觉技术对工业炸药生产传输过程中药卷传输姿态异常问题,提出两种在线检测方法:边缘直线检测法和矩形定位法。边缘直线检测法通过选取恰当阈值利用 Hough 变换检测药卷边缘直线,从而确定药卷传输姿态是否异常,当参数选择不匹配时,识别容易受到包装字迹影响;矩形定位法通过药卷外接矩形的长边中线判断传输姿态,容易受重叠药卷和不完整药卷的影响。利用两种检测算法在药卷姿态图像的不同分类下进行检测试验,当图像分辨率相同时,对于无堆叠的药卷图像两种检测算法均可以有效地检测出药卷的传输姿态,识别率均在 96 % 以上,矩形定位法的检测时间比边缘直线检测平均时间略长,但识别率较强。

参 考 文 献

[1] 杨民刚,刘茂后.工业炸药全自动包装系统研究与应用[J].爆破器材,2008,37(2):35-38.

- [4] 韩民园,贾新娟. 粉体炸药动态计量技术研究[J]. 含能材料,2007,15(5):547-550.
- [5] 李洁云. 粉体自动加料系统的设计[D]. 北京:北京邮电大学,2011.
- [6] 张建. 粉体定量加料器及应用研究[D]. 镇江:江苏大学,2008.
- [7] 张么玄,张秋杰,胡秀娟,等. RDX 干燥过程影响因素的综合分析[J]. 爆破器材,2011,40(5):15-17,21.
- [8] 董玉秀,宋珍鹏,崔素娟. 对休止角测定方法的讨论[J]. 中国药科大学学报,2008,39(4):317-320.
- [9] 张荣善. 散料输送与贮存[M]. 北京:化学工业出版社,1994.

Study on Continuous Metering and Feeding Technology of RDX Powder

DENG Guodong^①, LIU Hongying^①, GUO Xiaode^①, GU Zhiming^①, LV Fei^①, WANG Yonghong^②

①National Special Superfine Powder Engineering Research Centre,

Nanjing University of Science & Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

②Shanxi North Xing'an Chemical Industry Co., Ltd. (Shanxi Taiyuan, 030008)

[ABSTRACT] RDX inherently presents high risk and poor fluxion property, which would give rise to potential safety hazard and imprecise metering during the continuous metering and feeding process. To solve these problems, a new design of the anti-electrostatic electronic belt scaling equipment was constructed and a rational hopper was designed also by measuring the angle of repose of RDX powder. Its structure and working principle were clarified in detail, and a series of metering experiments for RDX powder were conducted. The results showed that this automatic metering equipment could transport RDX powder steadily and evenly with high safety performance, the hopper could not be bridged, and the metering errors is less than 1.0%. It can meet the requirement of continuous precise metering of RDX powder during feeding.

[KEY WORDS] RDX powder, anti-electrostatic electronic belt scaling equipment, continuous metering, electrostatic, metering error

(上接第 22 页)

- [2] 何楠,李昌满. 我国乳化炸药生产现状及对策[J]. 矿业快报,2008,24(5):24-25.
- [3] 杨民刚. 工业炸药包装工艺设备现状及发展方向[J]. 煤矿爆破,2004(2):23-25.
- [4] 林泽梅,黄志平,张国全. 工业乳化炸药装药机与码夹装置工作参数不协调性分析[J]. 包装与食品机械,2010,28(2):14-16.
- [5] 章毓晋. 图像工程(中册)图像分析[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社,2005.
- [6] 何传龙,何小敏,许亮,等. 药卷传输姿态快速识别与诊断方法研究[J]. 计算机测量与控制,2012,20(2):307-310.
- [7] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 阮秋琦,等译. 2 版. 北京:电子工业出版社. 2007:420-433.
- [8] 孙即祥. 图像分析[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [9] 徐长青,许志闻,郭晓新,等. 计算机图形学[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社. 2010.
- [10] Strouthopoulou C., Papamarkos N. Text Identification for Document Image Analysis Using a Neural Network[J]. Image and Vision Computing, 1998,16(12):876-896.
- [11] Bradski. G., Kaehler. A. Learn OpenCV[M]. 于仕琪,等译. 北京:清华大学出版社,2009:175-181.

On-line Inspection Method for the Transmission Profile of Industrial Explosive Cartridges

XU Haibo^①, HE Xiaomin^①, DIAO Jianbin^②, XU Liang^{①②}, LI Xiuxi^③

① School of Automation, Guangdong University of Technology (Guangdong Guangzhou, 510006)

②Guangdong Zhensheng Science &Technology Co., Ltd. (Guangdong Meizhou, 514795)

③School of Chemistry and Chemical Engineering, South China University of Technology (Guangdong Guangzhou, 510640)

[ABSTRACT] To solve the problem of abnormal profile for industrial explosive cartridges during automatic packing process, an on-line inspection method is presented by using machine vision inspection technology. During the transmission process, the feature line of industrial explosive cartridges in these images are extracted, and both the transmission detecting method based on edge-line detecting and rectangle locating method are constructed. Algorithms and simulation experiments are performed by using Visual Studio C++ and OpenCV. Experimental results show that detection speeds of both methods can satisfy the requirement of a packaging production line, and can identify and diagnose for abnormal profile for industrial explosive cartridges accurately and quickly.

[KEY WORDS] industrial explosive, cartridge, machine vision, on-line inspection