

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.03.010

# 基于机器视觉的工业炸药包装缺陷在线检测系统\*

黄志平<sup>①③</sup> 许 亮<sup>②③</sup>

①广东省四〇一厂(广东梅州,514795)

②广东工业大学自动化学院(广东广州,510006)

③广东振声科技股份有限公司(广东梅州,514795)

[摘 要] 针对炸药药卷包装缺陷,开发了药卷包装缺陷在线视觉检测系统。对系统结构、视觉成像系统进行了描述,并详细介绍了检测方法。采用该方法对获取的药卷图像预处理,并计算药卷轮廓特征,将得到的药卷特征参数与预先建立的药卷标准模板进行对比。试验和应用表明,该方法对 3 类常见包装缺陷检测准确率不低于 96%,所开发的系统可以快速、准确地检测药卷缺陷,能满足实际炸药包装生产过程在线检测的需要。

[关键词] 工业炸药;包装缺陷;机器视觉;在线检测

[分类号] TP273;TD235.2<sup>+</sup>1

## 引言

药卷包装是工业炸药生产线最后一道工序<sup>[1]</sup>。由于各种原因,炸药在包装过程中会出现缺陷,因此包装缺陷检测是包装过程的重要环节。目前主要是人工检测方式,通过人眼观察药卷外观形状,实现工业炸药在线检测与包装质量控制。但是,由于人工检测劳动强度大,检测速度慢,容易误检、漏检。因此,采用机器视觉技术实现炸药包装缺陷在线检测,可以提高产品包装质量和生产效率。

药卷包装在线检测主要是根据所采集图像判断药卷形状是否在标准形状误差范围内,以及药卷姿态是否符合实际生产过程。文献[2]提出基于形状识别算法估计果实外形,并利用激光测距确定果实位置,实现果实自动采摘。Magee 等<sup>[3]</sup>利用计算机视觉建立检测模型,设计并实现了复杂工业环境下物体姿态的估计和检测。机器视觉技术在复杂形状尺寸的检测方面也有很好表现,文献[4]利用机器视觉技术检测螺纹线,获得了较好的检测准确率。机器视觉技术也用于激光焊接质量的在线检测<sup>[5]</sup>,利用图像采集焊缝图像,计算焊缝缝隙与轨迹,然后通过控制激光头实现自动焊接。基于机器视觉技术的杂草检测与分类<sup>[6]</sup>,可以实现自动除草。

针对药卷包装缺陷问题,本文开发了炸药药卷包装缺陷视觉检测系统。首先介绍了系统结构和视

觉成像系统;其次是图像预处理,利用药卷图像统计特征建立药卷标准模板,实时采集药卷图像与标准模板对比,实现包装缺陷的在线检测与识别。

## 1 问题描述

工业炸药在包装过程中,由于外界干扰,药卷会出现焊袋不牢、包装袋破损等包装缺陷问题<sup>[7-10]</sup>。药卷缺陷主要是指药卷轮廓异常或塑料薄膜包装袋破裂致使乳化炸药泄露,同时在炸药包装机生产转换过程中,也会由于装药过少而导致炸药表面出现不饱满等缺陷。

根据炸药生产工艺过程分析,药卷轮廓缺陷主要产生在装药环节,原因是多方面<sup>[7-8]</sup>。通过对实际生产过程和采集药卷图像分析,包装缺陷主要表现是药卷外形异常,可分为:A)药卷侧端漏药;B)药卷两端漏药;C)药卷装药不饱满。3 类包装缺陷如图 1 所示。

## 2 系统结构

### 2.1 系统构建

在包装过程中,药卷通常只有单面向上。因此,本文在系统构建上,通过机械结构调整药卷姿态,分别采集药卷上下部位子图像,保证药卷全部检测区域的覆盖。图 2 所示为系统结构图,采集多幅子图像,分别进行包装缺陷检测,将检测结果传递给分拣机械手,实现有缺陷药卷的分拣。

\* 收稿日期:2014-06-23

基金项目:国家自然科学基金(21376091);广东省重大科技专项(2012A080104012)

作者简介:黄志平(1959~),男,高级工程师,从事工业炸药包装设备、RFID 技术在民爆行业应用。E-mail:hyp401@126.com

通信作者:许亮(1971~),男,博士,高级工程师,从事机器视觉、RFID、物联网技术等研究开发。E-mail:celiangxu@gdut.edu.cn

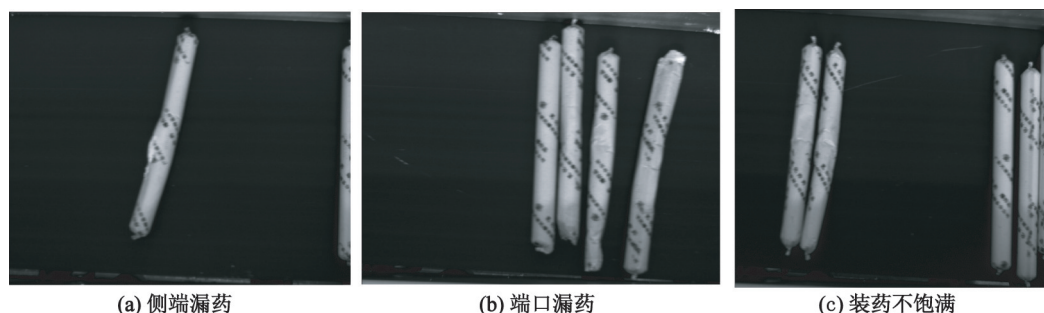


图 1 药卷包装缺陷分类

Fig. 1 Classification for packing defect of explosive cartridge

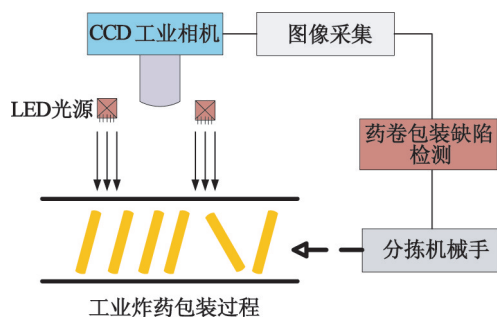


图 2 系统结构

Fig. 2 Structure of the system

## 2.2 视觉成像系统

药卷在包装过程中要实现在线检测药卷缺陷,必须获取全部图像。针对药卷在传送带上的实际运行状态,只需要采集上下部分子图像。本文采用两台工业相机,以一定间隔分布,相机间距设置应避免漏检图像,如图 3 所示。药卷轮廓特征统计见表 1。

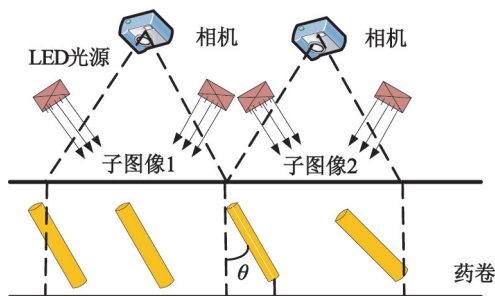


Fig. 3 相机工作示意图

Fig. 3 Diagrammatic sketch of camera operation

为实现两个相机都可以拍摄药卷图像,可将两个相机距离设定为  $(2n+1)L$ ,  $n$  为任意整数。对于每个相机而言,如果可以检测到缺陷药卷,则皮带传输带运动速度  $v$  应该满足:

$$v \leq \frac{L + l \cos \theta}{t} \quad (1)$$

式中:  $L$  为相机在传输带上的拍摄长度;  $l$  为药卷中轴线长度;  $v$  为传输带速度;  $t$  为采样时间间隔;  $\theta$  为

药卷中轴线与传输带的夹角。

根据生产实际,药卷传送皮带宽 250 ~ 300 mm, 传送速度大于 410 mm/s。相机选用 AVT guppy f033b, 最大 33 万像素, 镜头的型号为: Computuar M0814-MP, 焦距为 8 mm。相机安装高度设为 750 mm, 相机视场为 452 mm × 340 mm, 此时  $L = 440$  mm,  $l = 320$  mm,  $\theta = \pi/3$ <sup>[8]</sup>, 由式 (1) 可得  $v \leq 600$  mm/s, 即药卷传输带速度不超过 600 mm/s, 可知视觉检测系统满足在线检测要求。

视觉系统在成像过程中一般都会受到外界光线的影响, 为改善采集的图像质量, 采用 LED 作为视觉成像系统光源。系统检测的药卷是由传送带传送, 传送带不透光, 因此采用前向照明的方式。由于药卷表面是曲面, 且表面光滑, 如果自然光线发生变化, 会导致照射不均匀, 在图像中会呈现阴影; 当使用 LED 光线照射时, 还会产生反光。

根据光学几何学定律: 光线的反射角等于入射角, 由于柱面的法线是连续变化的<sup>[11]</sup>, 对于很多入射角度的光线, 会因为光线反射到相机镜头产生反光。从侧面照明, 由于曲面方向是连续变化, 总有一部分光线进入视场, 如果使反射光不进入镜头, 既能使表面照射均匀, 又可以避免反光。基于上述分析, 沿传输带垂直方向使用照明, 控制入射角, 如图 4 所示, 选用条形光源, 由于黑白相机对红光比较敏感, 因此采用红色 LED 光源, 型号为明诺光源的 DH-RL270, 入射角  $\geq 45^\circ$ , 使用两个光源, 右边光源照射右边部分, 左边光源照射左边部分。

## 3 方法

通过对实际生产过程和采集的药卷图像分析, 包装缺陷主要表现为药卷外形异常。经对药卷轮廓尺寸统计分析, 选取 3 个参数: 药卷长度  $L$ 、药卷宽度  $W$  以及长宽比  $a$  (即药卷长度与宽度比值), 其量纲不受图像采集过程中物距的影响。参数值见表 1。

表 1 药卷轮廓特征参数

Tab. 1 Feature parameter of cartridge contour

药卷参数	$L/\text{mm}$	$W/\text{mm}$	$a$	表现形式
正常状态	350 ~ 390	36.0 ~ 42.5	8.30 ~ 10.50	标准
缺陷 A	350 ~ 390	> 42.5	< 8.30	侧端漏药
缺陷 B	> 390	36.0 ~ 42.5	> 10.50	端口漏药
缺陷 C	350 ~ 390	< 36.0 或 > 42.5	< 8.30 或 > 10.50	装药不饱和

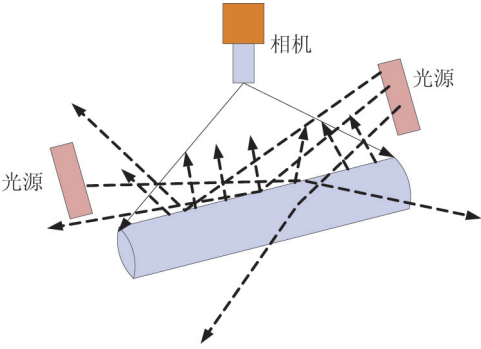


图 4 照明示意图

Fig. 4 Schematic diagram of illumination

表 1 中数据表明,不同缺陷类型药卷的  $L$ 、 $W$  和  $a$  各不相同,可以利用这 3 个参数作为缺陷特征进行检测分类,将待检测的药卷与正常药卷特征模板对比,得出检测结果。

设待检测药卷周长参数为  $s$ ,  $S$  表示标准模板周长的集合,  $R$  表示检测结果:

$$R = \begin{cases} s \in S, & \text{正常;} \\ s > S_{\max}, & \text{缺陷;} \\ s < S_{\min}, & \text{缺陷。} \end{cases} \quad (2)$$

具体的检测算法过程如下。

1) 图像预处理。主要是对所采集的图像进行阈值分割、噪声滤除等,实现药卷图像的分离以及噪声滤除,具体步骤为:

利用 OTSU 阈值分割算法<sup>[12]</sup>分割背景图像;获得的二值图像通常包含一些错误像素(噪声),运用开运算去除图像中包含的各种噪声;轮廓识别,采用 Roberts 算法,把白色目标图像转换为黑色背景图像,仅边缘像素表现为白色,经过上述步骤处理后图像包含了药卷轮廓的信息特征;采用轮廓树算法描述图像中每个药卷图像轮廓。

2) 缺陷特征提取和识别。主要是获取药卷轮廓特征,具体为  $L$ 、 $W$  和  $a$  等参数。由于药卷的轮廓比较接近矩形,可以利用一个矩形无限逼近药卷轮廓,得到矩形即为最小面积并全部包含药卷的特征信息,同时可以得到  $L$  和  $W$  值,进而计算出  $a$  值。具体步骤如下:计算药卷轮廓的凸包;运用旋转卡壳算法计算最小外接矩形;计算外接矩形的顶点、 $L$ 、 $W$

和  $a$ 。

3) 缺陷检测。利用获取的实际药卷图像,与预先建立标准模板周长的集合  $S$  对比;每次获取的图像,利用式(2)进行初步检测,如果是缺陷药卷,再结合表 1 的特征参数,进一步识别缺陷类别。

4 试验和应用

4.1 试验背景描述

试验数据来源于广东振声科技股份有限公司的广东省四〇一厂炸药生产线,图像样本为 7000 张,每张图像分辨率大小为  $656 \times 494$  像素,其中 70 张图像包含缺陷。通过对图片分析和统计,建立正常药卷模板库  $S, S \in [786, 860]$ 。同时,建立标准药卷参数特征集合  $F_s$  和缺陷药卷参数特征集合  $F_{s1}$ 、 $F_{s2}$  和  $F_{s3}$ ,其分别对应 A、B、C 3 类缺陷。

4.2 试验结果

利用本文提出的检测算法进行仿真试验。首先是图像预处理,主要步骤包括:利用 OTSU 阈值分割算法将背景与前景图像分离,运用开运算滤除噪声,并用轮廓树算法描述药卷轮廓。其次,获取待检测图像缺陷药卷的特征参数  $L$ 、 $W$  和  $a$ ,并结合标准模板库  $S$  和标准药卷参数特征集合  $F_s$  以及缺陷药卷参数特征集合  $F_{s1}$ 、 $F_{s2}$  和  $F_{s3}$  对缺陷药卷进行识别与分类。

表 2 和图 5 是上述试验的检测结果。

表 2 试验检测结果

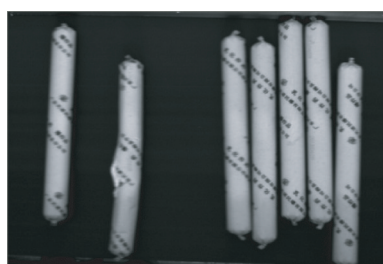
Tab. 2 Detecting results

药卷缺陷类型	检测时间/ms	检测准确率/%
A 类缺陷	102	97.349
B 类缺陷	93	98.281
C 类缺陷	112	96.775

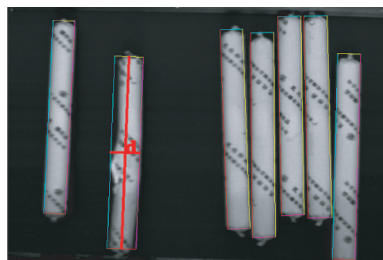
4.3 分析与讨论

检测时间指所有图片的处理平均时间,该值与图片所含药卷的多少、环境的光照强度以及系统的硬件有关。由表 2 可知,利用上述算法,可以很好地检测药卷缺陷。A 类缺陷是指宽度异常、长度标准的药卷,B 类缺陷是指长度异常、宽度正常的药卷,C





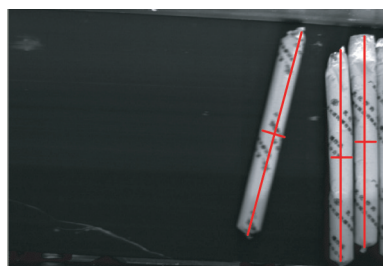
(a)源图像A



(b) A类缺陷检测结果



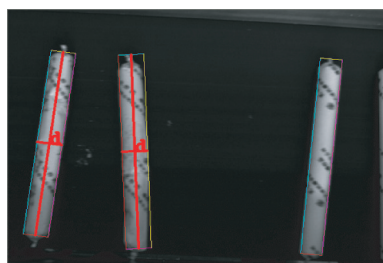
(c)源图像B



(d) B类缺陷检测结果



(e)源图像C



(f) C类缺陷检测结果

图 5 缺陷检测结果

类缺陷是指长、宽均异常的药卷。其中 C 类缺陷是指装药不饱满情况,需要对长度与宽度都进行检测。C 类缺陷检测所需时间最长达 112 ms,其原因是有两个缺陷药卷需要处理,而且是长、宽都异常的药卷。B 类缺陷检测耗时最少,为 93 ms,而 A 类为 102 ms,因 A、B 类缺陷只需要对长或者宽计算对比,因此耗时比 C 类少。其中包含 A 类缺陷的图像还有其他正常药卷的干扰,所以,检测 A 类缺陷要比 B 类缺陷花费更多时间。另外,药卷在包装过程中,会存在 2 个或者 2 个以上药卷粘连的情况,导致宽度异常,影响检测宽度异常的准确率,而长度不会出现此类情形,因此,长度的检测准确率相对较高。故检测准确率最高的是 B 类缺陷,达到 98.281%,检测 C 类缺陷的准确率是 96.775%,而检测 A 类缺陷的准确率为 97.349%,介于 B、C 两类缺陷之间。

#### 4.4 应用情况

系统软件是用 Visual Studio C++ 2008 编写,图像处理是基于 OpenCV 库,运行在 Windows XP 环境下,所开发系统在广东振声科技股份有限公司炸药包装线进行试验。图 6 是软件运行截图,图中显示第一根和第二根药卷为缺陷药卷,并用红色线条标识,右侧检测区域“药卷缺陷”显示相应药卷的缺陷和坐标。

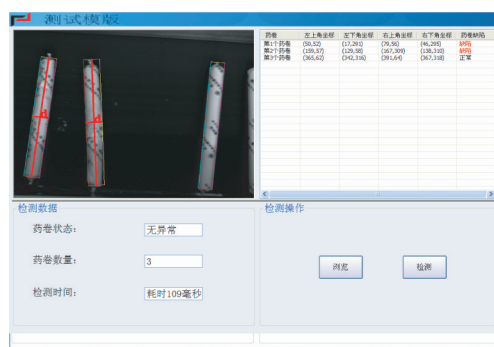


图 6 系统运行情况

Fig. 6 Operational aspects of the system proposed

#### 5 结论

针对药卷包装的缺陷问题,开发了基于机器视觉的药卷包装缺陷在线检测系统。首先介绍了系统结构以及视觉成像系统,并提出一种包装缺陷检测方法。试验表明,本文开发的包装缺陷在线检测系统,检测速度快,检测耗时不超过 112 ms,对于 3 类常见包装缺陷(宽度异常、长度异常和长、宽均异常),检测准确率不低于 96%,能够满足工业炸药生产线药卷包装质量的在线检测需求。

Fig. 5 Experimental results of inspecting three defects

## 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.  
Yang Min'gang, Liu Maohou. Study and application of the automatic package system of industrial explosive [J]. Explosive Materials, 2008, 37(2): 35-38.
- [2] Jiménez A R, Cerse R, Pons J L. A vision system based on a laser range-finder applied to robotic fruit harvesting [J]. Machine Vision and Applications, 2000, 11(6): 321-329.
- [3] Magee M, Seida S. An industrial model based computer vision system [J]. Journal of Manufacturing Systems, 1995, 14(3): 169-186.
- [4] Hunsicker R J, Patten J, Ledford A, et al. Automatic vision inspection and measurement system for external screw threads [J]. Journal of Manufacturing Systems, 1994, 13(5): 370-384.
- [5] Razmjoooy N, Mousavi B S, Soleymani F. A real-time mathematical computer method for potato inspection using machine vision [J]. Computers and Mathematics with Applications, 2012, 63(1): 268-279.
- [6] Tellaeche A. A computer vision approach for weeds identification through support vector machines [J]. Applied Soft Computing, 2011, 11(1): 908-915.
- [7] 徐海波, 何小敏, 刁建彬, 等. 工业炸药药卷传输姿态在线检测方法[J]. 爆破器材, 2012, 41(6): 19-22, 26.  
Xu Haibo, He Xiaomin, Diao Jianbin, et al. On-line inspection method for the transmission profile of industrial explosive cartridges [J]. Explosive Materials, 2012, 41(6): 19-22, 26.
- [8] 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.  
He Chuanlong, He Xiaomin, Xu Liang, et al. Research on a method of fast identification and diagnosis for the transmission attitude of explosive roll [J]. Computer Measurement and Control, 2012, 20(2): 307-310.
- [9] 常新岩, 谢永言, 郑永芬. 工业炸药自动包装线的安全性探讨[J]. 爆破器材, 2009, 38(1): 8-10.  
Chang Xinyan, Xie Yongyan, Zheng Yongfen. Discussion on safety of industrial explosive automatic packing line [J]. Explosive Materials, 2009, 38(1): 8-10.
- [10] 刘斌, 吴盛金, 邹仕放. 基于机器视觉的塑胶制品表面缺陷自动检测技术[J]. 塑料工业, 2009, 37(12): 5-9, 15.  
Liu Bin, Wu Shengjin, Zou Shifang. Automatic detection technology of surface defects on plastic products based on machine vision [J]. China Plastics Industry, 2009, 37(12): 5-9, 15.
- [11] 李俊. 机器视觉照明光源关键技术研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2007.  
Li Jun. Study on the key technology of light source in machine vision [D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2007.
- [12] Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 阮秋琦, 阮宇智, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2011: 4-20.  
Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2011: 4-20.

## An On-line Packing Inspection System of Industrial Explosives Based on Machine Vision

HUANG Zhiping<sup>①③</sup>, XU Liang<sup>②③</sup><sup>①</sup>Guangdong 401 Factory (Guangdong Meizhou, 514795)<sup>②</sup>School of Automation, Guangdong University of Technology (Guangdong Guangzhou, 510006)<sup>③</sup>Guangdong Zhengsheng Science and Technology Co., Ltd. (Guangdong Meizhou, 514795)

[ABSTRACT] An on-line inspecting system for packing defection of explosives was developed. The system structure, the vision system, and the inspecting method were presented. The acquired images of explosive cartridges were preprocessed using the proposed method, and the outline features were extracted from these images. Furthermore, the feature parameters obtained were compared to the template base pre-defined. The experiments and applications have show that the proposed approach can detect the common three packing defects and the inspecting accuracy reaches no less than 96%. The system can quickly and accurately detect the flaws and satisfy the requirements on the real production line.

[KEY WORDS] industrial explosives; packing defect; machine vision; on-line inspection