

# 基于机器视觉的软包装边缘测量及纠偏系统

陆 兵<sup>1,2</sup>, 束梅玲<sup>1</sup>

(1. 常州轻工职业技术学院, 江苏 常州 213164; 2. 常州众研科技发展有限公司, 江苏 常州 213003)

**摘要:** 针对软包装带材在运动过程中易发生跑偏现象的工程背景, 设计了一种自动测量与纠偏系统。介绍了系统组成和纠偏原理, 系统采用机器视觉实时采集带材边缘图像, 用直方图修正方法修正图像灰度, 通过增强对比度突出图像中的带材边缘特征, 用基于一阶微分的边缘检测方法实现边缘识别及判定边缘位置, 运用 FUZZY+PID 相结合的控制模型实施纠偏控制; 实验结果表明, 采用 LED 光源和 Microvision 数字摄像机, 在 200 m/min 中等车速和纠偏机构速度 10 mm/s 条件下, 系统纠偏精度在  $\pm 0 \sim \pm 1$  mm 之间, 稳态误差小, 相对误差小, 能够满足软包装带材生产过程中的纠偏要求。

**关键词:** 机器视觉; 软包装带材; 边缘测量; 纠偏

## Soft Package Edge Measurement and Correction System Based on Machine Vision

Lu Bing<sup>1,2</sup>, Shu Meiling<sup>1</sup>

(1. Changzhou Institute of Light Industry Technology, Changzhou 213164, China

2. Changzhou ZhongYan Technology Development Co., Ltd., Changzhou 213003, China)

**Abstract:** A method is proposed to solve the problem that soft packaging strip occurrence deviation in movement. The working principle and composition of the system were introduced, this system uses machine vision real-time capture strip edge, uses histogram modified method correction image gray, highlights the strip edge characteristic in the image through enhanced contrast, uses edge detection method based on first-order differential identify edge and determine the edge location, uses Fuzzy+PID combining model implement deviation control. The experiment results show that, the LED light source and Microvision digital camera, in 200 m/min medium speed and in 10 mm/s correcting mechanism speed, correction precision between  $\pm 0 \sim \pm 1$  mm, steady-state error is small, the relative error is small. This system satisfies the needs of soft packaging strip correction.

**Keywords:** machine vision; soft packing strip; edge measurement; correction

## 0 引言

在高速运行的包装印刷生产线上, 由于生产线的延伸和机组运行速度的变化, 以及各种软包装带材自身因素而产生的“跑偏”极大地影响了带材收放的整齐性, 降低了包装产品质量。因此为了解决这一严重影响现代包装、印刷行业自动化水平的问题, 需要一种纠偏控制装置对软包装带材在传送过程中水平方向的位置进行在线检测并及时纠正<sup>[1]</sup>。

测量带材边缘位置的手段主要有: 红外线传感器、超声波传感器和光电传感器。这些传感器输出的是偏移量的开关信号, 它只能说明其是否偏移和偏移的方向<sup>[2]</sup>。传统的纠偏系统大多采用光电传感器, 光电传感器易受外界光干扰, 抗干扰能力差, 适用范围比较窄。如果检测信号变化很小时, 会产生误差。所以, 本文采用机器视觉实时采集带材边缘视频图像, 并对边缘图像进行滤波、增强、检测、定位, 计算出偏移量并输出控制量实现纠偏控制。

## 1 机器视觉与纠偏系统

机器视觉是用机器代替人眼来做测量和判断, 即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

理并加以理解, 最终用于实际检测、测量。机器视觉技术最大的特点是速度快、信息量大、功能多。机器视觉系统是指通过机器视觉装置, 将被摄取目标转换成图像信号, 传送给专用的图像处理系统, 根据像素分布和亮度、颜色等信息, 转变成数字化信号<sup>[3]</sup>。

纠偏控制系统就是针对带材“跑偏”现象, 产生的一种纠偏控制装置 (如图 1 所示), 能纠正带材在传送过程中水平方向位置的偏移。带材在传送过程中有 3 个阶段: 放卷、中间过程和收卷。纠偏控制系统在以上 3 个阶段进行纠偏控制, 能保证带材无偏移、整齐地传送, 降低了生产成本, 提高了产品质量和整个生产线的自动化水平<sup>[4]</sup>。

纠偏控制系统由现场机器视觉采集装置、视频图像后台处理及显示模块、纠偏控制装置三大部分组成。现场机器视觉负责采集软包装带材边缘的实时图像, 并根据像素分布和亮度、颜色等信息对模拟图像数字化。视频图像后台处理及显示模块负责对数字化的边缘图像进行降噪滤波等预处理, 同时播放视频。预处理后的数字图像再由边缘测量模块计算出边缘偏移量。纠偏控制装置将边缘偏移量转化为控制量, 通过伺服控制装置控制纠偏辊动作。

视觉图像获取由三部分组成: 照明系统、图像聚焦光学系统、图像敏感元件和视频调制<sup>[5]</sup>。

软包装带材纠偏机构由纠偏辊、过渡辊、蜗轮蜗杆及固定支架等部分组成<sup>[6]</sup>。采用液压伺服控制式纠偏系统和高精度滚珠丝杠, 避免上下回差。当软包装带材纠偏控制系统输出偏移控制信号时, 伺服阀将信号转换为大功率液压能, 驱动液压油缸推动纠

收稿日期: 2014-01-20; 修回日期: 2014-03-25。

**基金项目:** 江苏省高等职业院校高级访问工程师计划资助项目 (2013\_FG014)。

**作者简介:** 陆 兵 (1967-), 男, 江苏人, 学士, 副教授, 主要从事计算机测量技术方向的研究。



偏辊作相应移动，直至软包装带材调整到零偏标定位置。

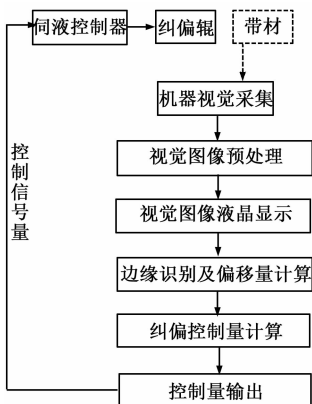


图 1 纠偏系统结构

## 2 软包装带材边缘识别与测量

### 2.1 图像预处理

视频图像预处理对于保证带材边缘识别效果起着重要作用。在图像采集的过程中，由于环境因素、机械振动等各种因素导致采集的图像模糊不清，需要对图像进行各种预处理，以便后续的识别检测<sup>[7]</sup>。本文主要采用直方图修正方法对灰度分布形式作校正来修正图像灰度。修正方案是：1) 设置一阈值以控制直方图中较大的计数值；2) 添加与邻域存在一定灰度差值的条件计数；3) 引入均匀分布，通过调节参数控制三部分的比例关系，改善图像的增强效果<sup>[8]</sup>。通过增强对比度，最终将图像中有用的带材边缘特征有选择地突出，衰减其它不需要的特征。预处理效果如图 2 和图 3 所示。

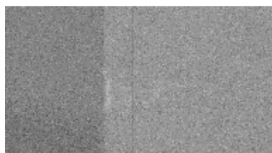


图 2 原始边缘图像

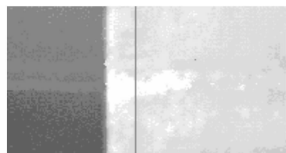


图 3 预处理效果

### 2.2 边缘识别及提取

从图像中识别出带材的边缘并计算出边缘的实际位置是纠偏的前提。带材边缘是图像局部对比强度变化最显著的部分。在本文的软包装应用环境中，软包装带材边缘呈规则的垂直直线形，带材区域与以外的背景区域的灰度值有着明显明暗差，所以选用基于一阶微分的边缘检测方法。边缘检测器选用 Sobel 算子卷积模板：

$$s_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad s_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

算法实现：

(1) 利用  $3 \times 3$  图像区域和 Sobel 算子求出每个区域的梯度大小和方向。(2) 利用梯度值阈值分割候选的边缘和背景。

由于带材和带材外部这两类区域内的像素值不可能完全相同，经 Sobel 模板运算后将在这两个区域内将产生少量伪边缘点。为了减少伪边缘点的干扰，对于计算后的结果，需作阈值处理。采用自适应阈值法，实现对候选的边缘和背景的最佳分

割，本文使用最优阈值法。算法步骤如下<sup>[9]</sup>：

(1) 选择一个初始阈值的估计值。(2) 利用阈值将图像分割为两组。(3) 计算两组的梯度均值。(4) 选择新的阈值。(5) 结束运算或转步骤 2。当梯度值大于给定阈值的情况下认为是可能的边缘，否则认为是背景 (如图 4 所示)。



图 4 边缘识别效果

一个判定边缘的算法如下：

(1) 对区域内的每个像素进行 Sobel 掩模运算，并阈值化。

(2) 将阈值化结果沿竖直方向再按列累加，结果放在一维数组中。

(3) 在这个数组中查找最大值。

(4) 这个最大值所对应的列就是边缘位置。

## 3 纠偏控制器设计

纠偏控制系统装置包括纠偏机械机构、同液控制器和下位机控制器设备三部分。纠偏机械机构采用推拉辊式。下位机控制器依据上位机软件计算出的带材偏移量生成偏移控制信号，偏移控制信号直接驱动同液控制器，同液控制器驱动纠偏辊，以使带材产生与跑偏方向相反的纠偏力及纠偏速度，从而达到控制跑偏量的目的。下位机控制器是纠偏控制的核心器件。由于带材的跑偏运动具有频繁交替、随机性的特点，这正是实现高速高精度纠偏的难点所在<sup>[10]</sup>，所以纠偏控制方案决定了纠偏系统的动态响应能力和纠偏精度。所设计的纠偏控制系统存在非线性环节和一惯性环节及纯延迟环节，控制模型采用 FUZZY+PID 相结合的控制模型 (如图 5 所示)。

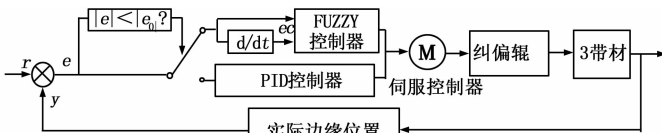


图 5 FUZZY+PID 控制模型

在实际控制过程中，通过上位机依据机器视觉采集的边缘视频计算出的带材边缘实际位置量  $y$ ，再计算出边缘位置偏差量  $e$ ， $e$  与给定的偏差范围  $e_0$  比较后决定采用 Fuzzy 控制还是采用 PID 控制。具体控制算法如图 6 所示。

上述算法中：

$e(k)$  是第  $k$  次采样时刻输入的偏差值； $e(k-1)$  是第  $(k-1)$  次采样时刻输入的偏差值； $e(k-2)$  是第  $(k-2)$  次采样时刻输入的偏差值。 $y(k)$  是边缘当前实际位置， $y_s$  是边缘预期位置。

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)]$$

式中， $K_p$  是比例系数， $K_i$  是积分系数， $K_d$  是微分系数。这些控制参数由试验获得。

$\Delta e(k)$  是偏差变化率。 $e$  和  $ec$  是二维模糊控制器的输入：

$E$  语言变量值为 8 个档次：NB、NM、NS、N0、P0、



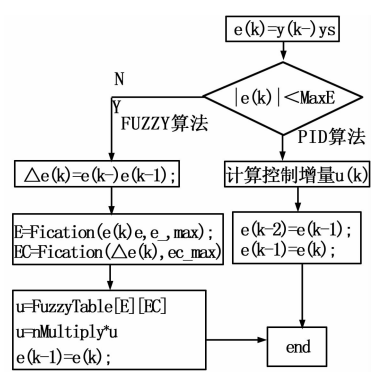


图 6 纠偏控制算法

PS、PM、PB;  
EC 和 U 语言变量值为 7 个档次: NB、NM、NS、ZE、PS、PM、PB;  
 $U = \{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$   
 $EC = \{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$   
 $E = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$   
Fication 函数将实参量化。FuzzyTable 函数根据 e 和 ec 查模糊控制器控制表并返回 U。  
nMultiply 是比例因子。

4 试验环境配置及效果

4.1 光源选择

光源是机器视觉成像的一重要组成部分, 表 1 给出了常用光源性能表较。

表 1 常用光源比较

性能	卤素灯	荧光灯	LED 光源
寿命(小时)	5 000~7 000	5 000~7 000	60 000~100 000
亮度	亮	较亮	很亮
响应速度	慢	慢	快
特性	发热大, 几乎没有光亮度 and 色温的变化, 便宜	发热少, 扩散性好, 适合大面积均匀照射, 较便宜	发热少, 波长可以用途选择, 制作形状容易, 能耗低

从表 1 可以看出, LED 光源是一种亮度高、节能、抗振性能强、环境适应性好的固体光源, 所以本文选用 LED 光源, LED 线阵采用排列。光源电源采用直流电以避免视觉闪烁。

4.2 机器视觉选定

机器视觉选用 Microvision 彩色/黑白工业数字摄像机。该产品是一款高性能工业检测专用工业数字摄像机, 具有高分辨率 (最高  $2\,592 \times 1\,944$ )、高精度 ( $2.2\,\mu\text{m} \times 2.2\,\mu\text{m}$ )、高清晰度 (1500 线)、色彩还原好、低噪声 ( $>42\,\text{dB}$ ) 等特点, 工业数字摄像机采用了 USB2.0 标准接口, 安装使用方便, 非常适合室内外各种工业检测应用。图像尺寸、亮度、增益、帧率、曝光时间可编程控制。为减少外界光线的干扰, 光源和检测通道封装在密闭的箱子里。本次实验为材料放卷, 环境配置如图 7 所示。

4.3 实验数据统计分析

本文进行了两个方面的实验研究, 其中一个方面是验证定

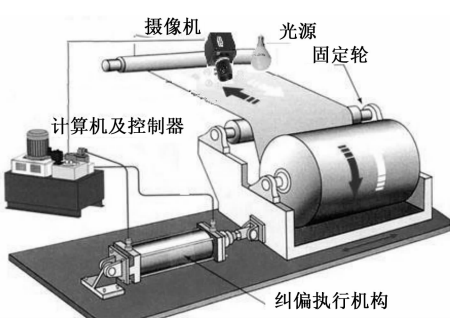


图 7 试验环境配置

制结果的准确性和检测结果的可靠性; 另一个方面是验证在模拟一些干扰环境下系统的鲁棒性和抗干扰性<sup>[11]</sup>。采用不透明的纸张带材, 带材运行速度可调, 范围为 0~4 m/s, 调定为 200 m/min 的中等车速。步进电机转数范围 0~200 转/min; 丝杆螺距为 3 mm, 则纠偏机构速度在 0~10 mm/s 范围内。打开系统, 标定带材边缘的基准位置, 启动纠偏。在纠偏过程中, 每 100 ms 记录一个实际偏移量数据。表 2 是纠偏实验记录抽查统计表。

表 2 纠偏抽查统计表

序号	实测偏移 (mm)	累计出现次数(%)	绝对误差 (mm)	相对误差 (%)
1	0.1	5	0.1	1
2	0.2	8	0.2	2
3	0.3	9	0.3	3
4	0.4	12.5	0.4	4
5	0.5	11	0.5	5
6	0.6	14	0.6	6
7	0.7	17.3	0.7	7
8	0.8	8	0.8	8
9	0.9	4.4	0.9	9
10	1.0	0.7	1.0	10
11	1.1	0.1	1.1	11
12	0	10	0	0
最大误差	1.1		1.1	10
平均误差	0.6		0.55	5.5

实验结果表明, 本文纠偏系统控制的纠偏精度在  $\pm 0 \sim \pm 1\,\text{mm}$  之间, 且稳态误差小, 相对误差小, 明显具有较高的控制精度, 能较为理想地适应软包装带材纠偏指标要求。

5 结束语

为了解决软包装带材在运行过程中易发生跑偏的现象, 设计了一种基于机器视觉的自动纠偏系统。通过对摄像机实时采集的带材边缘图象进行边缘识别和偏移量计算, 采用 FUZZY + PID 相结合的控制模型将偏移量转化成纠偏控制器所能处理的信号量, 以驱动纠偏辊作相应移动, 直至软包装带材调整到零偏标定位置。系统采用图形化人机交互模式, 操作人员可以通过实时视频观察包装生产线上包装带材的收卷、放卷和运动等情况, 方便操控。

参考文献:

[1] 钱军民. 基于 ARM 的纠偏系统设计与实现 [D]. 上海: 同济大学, 2007.



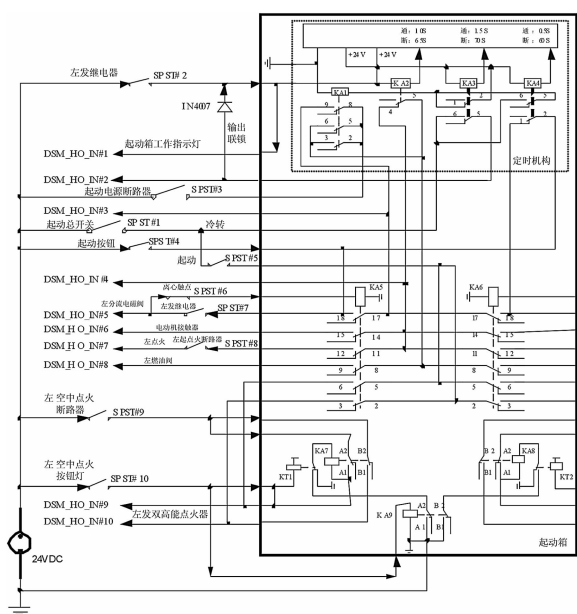


图5 起动机测试原理电路(左发)

1) 测试前准备: 复位所有继电器, 设置程控直流电源输出工作电压, 闭合起动总开关 SPST #1、闭合起动电源断路器 SPST #3、闭合左发继电器 SPST #7、闭合左离心触点 SPST #6; 闭合左起点火断路器 SPST #8。

2) 开始起动: 闭合起动按钮 SPST #4、SPST #5; 闭合左发继电器 SPST #2, 定时机构工作, 查询 DSM\_HO\_IN #1 状态由“空”变为“高”, 表示起动机工作指示灯亮, 同时开始计时。

3) 延时并查询读取继电器 KA6 触点 18 的输出状态 (图 5 中线路忽略) 由“高”变为“空”, 表示 KA4 的 1、2 触点状态为断开, 记录此时的时间应为  $0.5 \pm 0.1$  s。

4) 继续延时并查询读取 DSM\_HO\_IN #2 状态由“空”变为“高”, 表示定时机构电路“连锁”, 记录此时的时间应为  $1.5 \pm 0.2$  s。连锁后, 断开起动按钮 SPST #4; 断开左发继电器 SPST #2。

5) 继续延时并查询读取 DSM\_HO\_IN #4 状态由“高”变为“空”, 表示 KA2 触点输出断开, 记录此时的时间应为  $10 \pm 0.3$  s。

6) 经 30 s 断开 SPST #6 使离心触点跳开。

7) 继续延时并查询读取 DSM\_HO\_IN #3 由“高”变为“空”, 记录此时的时间应为  $60 \pm 1$  s。

8) 延时 1 s, 为 KA2 触点 5 激励高电平 (图 5 中线路忽略), 延时并查询读取 DSM\_HO\_IN #4 由变“空”为“高”, 记录此时的时间应为  $65 \pm 1$  s, 断开输入 KA2 触点 5 的高电平。

(上接第 2007 页)

[2] 李素娥. 酸洗连轧生产线带钢的跑偏控制及仿真分析 [D]. 长沙: 中南大学, 2008.

[3] 孙 焘. 计算机视觉应用与实践 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2008.

[4] 杨 旭, 周 悦, 于广平. 平行行驶车智能纠偏控制系统设计 [J]. 机械制造与自动化, 2012, (1): 26-28.

[5] 关胜晓. 机器视觉及其应用发展 [J]. 新型仪器与智能仪表, 2005, (9): 88-92.

[6] 阎 龙, 江 伟, 史耀耀. 复合材料布带缠绕纠偏控制系统设计 [J]. 宇航学报, 2012, 33 (8): 1171-1176.

9) 继续延时并查询读取 DSM\_HO\_IN #1 由“高”变为“空”, 表示起动机工作指示灯“灭”, 记录此时的时间应为  $70 \pm 1$  s, 起动循环结束。

### 3.3 测试程序设计

测试程序采用美国 NI 公司的虚拟仪器图形化开发工具 LabWindows/CVI9.0<sup>[4]</sup>, 本文采用基于动态链接库技术分别设计测试程序框架和测试程序, 测试程序框架通过标准函数接口实现对测试程序的动态调用<sup>[5]</sup>。

测试程序采用测试和故障诊断分开的模式。通过合理设计状态复位和上电逻辑实现各测试项目相互独立, 提供多种测试模式 (项目全选、履历本项目、超差项目重测、装机前检查)。测试程序控制程控测试资源 (程控直流电源、程控继电器和离散量状态测量板) 按照测试流程逻辑完成起动机功能性能测试, 并将测试结果数据输出产生测试结果记录文件, 便于存储、显示和打印。根据起动机的工作原理、测试项目与故障的关联特性总结或推理出表征各故障的特征向量, 特征向量的集合就形成了故障字典。故障词典以数据库文件形式存在供故障诊断程序调用<sup>[6]</sup>。故障诊断程序对起动机测试结果记录文件进行分析, 并结合故障字典完成对起动机故障诊断及故障定位。

## 4 结论

系统采用图形化测试界面和虚拟仪器控制技术, 工作界面直观简捷, 自动化程度高, 操作简单, 测试精度高, 测试效率高, 工作稳定可靠, 完成了起动机性能参数、功能测试和故障诊断, 该设备目前已交付部队使用, 提高了起动机测试维修能力。

### 参考文献:

- [1] GJB3385-98, 测试与诊断术语 [S].
- [2] 张毅刚, 等. 自动测试系统 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2001.
- [3] 李行善, 左 毅, 等. 自动测试系统集成技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [4] Labwindows/CVI9.0 用户手册 [Z]. National Instrument Corp, 2008.
- [5] 任献彬, 张 凯. 基于动态链接库技术的测试程序实现方法 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (6): 1084-1089.
- [6] 姜 静, 张 凯. BIT 和 ATE 组合测试技术及应用 [J]. 海军航空工程学报, 2006, (3): 383-385.
- [7] 赵 茹, 陶晓杰, 王鹏飞. 基于图像处理的贴合机自动纠偏系统 [J]. 电子设计工程, 2013, 21 (3): 154-156.
- [8] 蔡式东, 杨 芳. 基于直方图修正的图像增强算法 [J]. 光电子技术, 2012, 32 (3): 155-159.
- [9] 孙明哲. 车道线的边缘识别算法的研究 [J]. 无线互联科技, 2013, (3): 123-123.
- [10] 唐建阳, 瞿敏敏, 等. 基于模糊控制的电动纠偏系统的仿真分析 [J]. 机床与液压, 2013, 41 (3): 134-136.
- [11] 孟 焱, 孙 军, 等. 基于机器视觉的停车位检测技术的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (3): 638-6416.