

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.02.007

基于机器视觉的自动裁切机精定位算法研究*

李光明,赵亮亮

(陕西科技大学 电气与信息工程学院,陕西 西安 710021)

摘要:针对传统自动裁切机因裁切精度较低无法满足高精度产品要求的问题,通过对裁切机结构进行研究,提出了利用机器视觉技术来提高裁切机裁切精度的方法。首先利用改进的形态学梯度滤波算子找到板料的粗略边缘,然后采用灰度矩法对之进行亚像素精定位,利用最小二乘法将符合要求的亚像素边缘点拟合成一条直线,再根据几何关系计算出板料偏移量,指导纠偏平台进行偏差补偿,最后利用 Matlab 对该方法进行了图像边缘定位的仿真测试。研究表明:改进后的裁切机裁切精度理论上可达0.03 mm,满足绝大多数高精度产品的精度要求。

关键词:裁切机;形态学梯度;灰度矩法;亚像素精定位;纠偏

中图分类号:TH6;TP391.41

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)02-0148-05

Fine localization algorithm of automatic cutting machines based on machine vision

LI Guang-ming, ZHAO Liang-liang

(College of Electrical and Information Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Shannxi 710021, China)

Abstract: Aiming at the problem that the requirements for high-precision products could not be satisfied due to the low cutting precision of traditional automatic cutting machines, a method of using machine vision technology to improve the cutting precision of the cutting machine was proposed by studying the structure of the cutting machine. Firstly, the improved morphological gradient filter operator was used to find the rough edge of the sheet, and then the sub-pixel fine positioning was performed by the gray scale method. Finally, the sub-pixel edge points of meeting the requirements were fitted into a straight line by least square method. Then the offset of the sheet was calculated according to the geometric relationship, and was used to guide the correction platform to compensate the deviation. The method was simulated and tested by image edge positioning experiment designed by Matlab. The results indicate that the cutting precision of the traditional automatic cutting machine can reach 0.03mm theoretically, which meets the precision requirements of most high-precision products.

Key words: cutting machine; morphological gradient; gray scale method; sub-pixel fine positioning; correction

0 引 言

在 Inlay、银行卡、证件和各种智能卡等工业生产过程中,需要用到裁切机^[1,2]。目前,市场上大多数传统裁切机的生产效率基本可以满足客户需求,但产品精度低,国内多数裁切机厂家的裁切机仅能达到毫米

级的裁切精度^[3]。国内仅有杰克、长园和鹰和爱科科技等公司,其裁切机的裁切精度达到了0.1 mm以下。而在国外,裁切机产品精度可以做到更高。美国的格柏(Gerber)公司其裁切精度可达0.05 mm;德国的拓卡奔马其裁切精度可达0.05 mm;法国的力克公司其裁切精度甚至可达0.03 mm。

收稿日期:2018-11-08

基金项目:陕西省教育厅科研项目(14JK2004)

作者简介:李光明(1963-),男,陕西西安人,硕士,教授,主要从事工业过程控制、图像处理等方面的研究。E-mail:Ligm@sust.edu.cn

由于高精度裁切机价格昂贵,本文通过在传统裁切机纠偏平台上方加装一套视觉定位装置来提高裁切精度。

1 自动裁切机精定位过程

本文通过在传统自动裁切机上安装3台CCD工业相机进行定位。其中两台安装在裁切机板料平台上的前规处,另外一台安装在侧规处。当板料被送至板料平台上时,裁切机上的传感器发出信号触发相机拍摄,由工控电脑对照片中的板料进行图像处理。

自动裁切机精定位计算流程如图1所示。

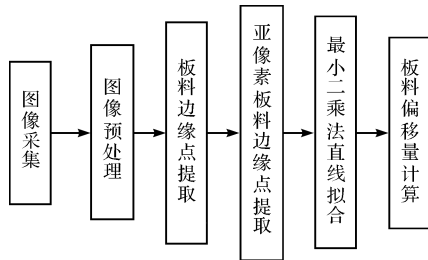


图1 自动裁切机精定位计算流程

在处理板料边缘定位算法之前,需通过对3台摄像机采集的图像进行标定^[4]。

为了提高精度,本研究将每个相机都安装在距离板料平台约80 mm的高度处,以提高图像处理效率。为了后续算法处理结果的稳定性,在粗定位板料的边缘时,首先采用中值滤波的方法对采集到的图像做预处理,然后对中值滤波后的灰度图像进行像素级边缘检测,之后再利用亚像素级边缘提取算法对边缘区域进一步处理,得到精确的板料边缘图像信息,最后对满足条件的所有亚像素边缘点进行直线拟合。以这种方式得到板料边缘的拟合直线方程,通过几何关系计算出拟合直线方程在X轴上的偏移截距。

实际操作中,当板料被送至裁切平台时,压力传感器会给裁切机控制系统一个信号,代表有板料送入,这时裁切机控制系统发送拍照命令,就得到了板料在X轴方向的3个偏移截距值,根据几何关系计算出板料在X轴方向上的偏移值和偏转角,以及Y轴方向上的偏移值,然后将其发送至控制系统的内存变量中,指导伺服纠偏平台对板料进行微调。

2 摄像机图像校正

在对板料边缘定位之前,首先应将每个摄像机进行相机标定^[5],然后进行镜头畸变校正。其中,相机标定是在板料位置上放置一张标准标定板,移动标定

板用相机拍摄标定板在不同位置的15~20张图像进行测试校正。当标定成功后,将摄像机的内外参数进行存储。

在对板料裁切前,还需要进行零点位置校正,校正过程是先将板料放在裁切平台的标准位置处,调整摄像机的位置,使其在视野内看到待识别的边缘或特定标记,将视野中心作为坐标原点,在图像中绘制坐标系,当摄像头在调整到合适的位置后该绘制坐标系与标准坐标系将重合,此时认为零点位置校正成功。

零位校正前后位置示意图如图2所示。

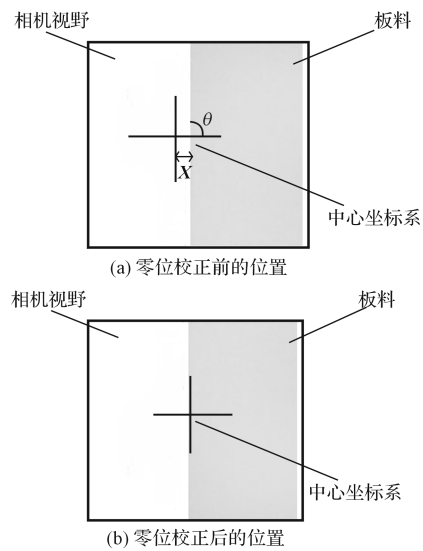


图2 零位校正前后位置示意图

3 板料图像边缘提取

3.1 板料边缘粗定位

对相机进行图像校正后,便可对板料边缘进行粗定位。此时通常使用边缘检测算子来对图像进行处理。常见的像素级边缘提取算子对图像进行边缘提取时,都是对局部小区域作差分运算,易受噪声影响,而且经常会在提取边缘的同时放大噪声^[6]。而形态学梯度方法不会放大噪声。其中,常用的单尺度形态学梯度的定义为:

$$\text{Grad}[f(x)] = (f \oplus b) - (f \ominus b) \quad (1)$$

式中: f —原始图像; b —代表结构元素; \oplus —代表膨胀运算; \ominus —代表腐蚀运算。

对于单尺度形态学梯度而言,检测结果的好坏与结构元素的选择密切相关。结构元素选择的偏差都将使边缘提取结果受到较大影响,所以有学者对单尺度形态学梯度进行了改进,其表达式为^[7]:

$$\text{IGrad}[f(x)] = (f \circ b) \oplus b - (f \cdot b) \ominus b \quad (2)$$

式中： \circ —开运算； \cdot —闭运算。

实际操作中,若使用单一的结构元素进行边缘检测则难以取得最佳的检测效果,因此,本文选取两个 3×3 大小的结构元素,令它们关于原点对称且互补,采用两个形态学梯度进行加权组合,可以得到改进后的形态学梯度滤波算子:

$$I\text{Grad}[f] = c_1 I\text{Grad}1[f] - c_2 I\text{Grad}2[f] \quad (3)$$

式中: c_1, c_2 —权系数,其最佳值由最小均方自适应方法求得; $I\text{Grad}1[f], I\text{Grad}2[f]$ —两个不同结构元素的改进型形态学梯度。

由于改进的算子是综合了两个结构元素对图像进行的边缘提取,利用它提取的边缘较细,同时具有良好的抗噪能力。此外,使用形态学滤波方法滤除噪声时,图像边缘不会变得模糊,且该方法易于在计算机上进行并行运算,效率高,便于进行实时检测。

3.2 板料边缘精定位

粗定位后的板料需要进行更精细的定位,使得裁切精度达到 0.1 mm 以下。本文采用亚像素图像处理,在算法上采用灰度距法^[8-10]。

一维边缘模型示意图如图 3 所示。

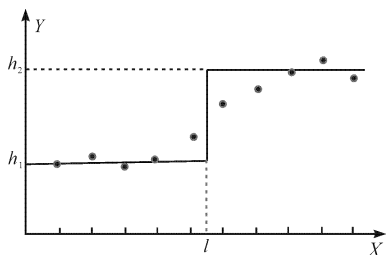


图 3 一维边缘模型示意图

横坐标—图像内像素的坐标值;纵坐标—像素的灰度值;分散点—实际边缘点;粗实线—理想边缘; h_1, h_2 —理想边缘左右两侧的灰度值; l —理想边缘所在的位置。

设 $u(x)$ 为单位阶跃函数,则一维边缘函数的表达式为:

$$E(x) = (h_2 - h_1)u(x - l) + h_1 \quad (4)$$

灰度值为 h_1 和 h_2 的像素所占的比例分别为 p_1, p_2 ,且 $p_1 + p_2 = 1$ 。根据灰度距的定义,设 $f(x)$ 为一维连续函数, \bar{m}_p 为 p 阶灰度矩,根据定义 $\bar{m}_p = \int f^p(x) dx$,可以推出该理想模型的前三阶灰度矩其离散形式为:

$$\bar{m}_i = \sum_{j=1}^2 p_j h_j^i \quad i = 1, 2, 3 \quad (5)$$

实际边缘的前 3 阶灰度矩满足如下关系:

$$\bar{m}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n g_j^i \quad i = 1, 2, 3 \quad (6)$$

式中: g_j —像素的实际灰度值。

根据矩不变原理,图像真实边缘分布的灰度矩与理想阶梯边缘的灰度矩保持一致,则有:

$$\bar{m}_i = \sum_{j=1}^2 p_j h_j^i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n g_j^i \quad i = 1, 2, 3 \quad (7)$$

对式(7)求解,结合式(4)可得到理想边缘的位置:

$$l = np_1 - \frac{1}{2} = \frac{n}{2} \sqrt{\frac{s}{4 + s^2} + \frac{n-1}{2}} \quad (8)$$

$$\text{其中: } s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{m}_1)^3}{\sigma^3} = \frac{\bar{m}_3 + 2\bar{m}_1^3 - 3\bar{m}_1\bar{m}_2}{\sigma^3},$$

$$\sigma^2 = \bar{m}_2 - \bar{m}_1^2.$$

根据式(8),通过对粗略边缘周围 $4 \sim 6$ 个像素点搜索,可以获得真实边缘的亚像素位置。

3.3 最小二乘法直线拟合

为了使得到的图像边缘直线与实际边缘直线之间的误差值最小,这里使用最小二乘法拟合来实现^[11-12]。将灰度矩法得到的亚像素级边缘特征点作为数据样本,再利用最小二乘法去逼近实际边缘所在的直线,将 $y = kx + b$ 表示为拟合的直线方程,方程的优化目标是寻找最佳参数 k 和 b ,优化的约束条件是使得 L 达到最小,即:

$$L = \sum_{i=1}^n [y_i - (kx_i + b)]^2 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

进一步可转化为:

$$Y - (kX + bE)^T [X \ E] = 0 \quad (10)$$

其中:

$$X = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_n]^T;$$

$$Y = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ \dots \ y_n]^T;$$

$$E = [1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1]^T.$$

对式(9)进行求解,可推出 k 和 b 的表达式分别为:

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (11)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - k \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (12)$$

考虑到不相关干扰点的影响,通过去除干扰点可以提高拟合精度,在本文中不相关干扰点用递归方法去除。

最小二乘法直线拟合流程图如图4所示。

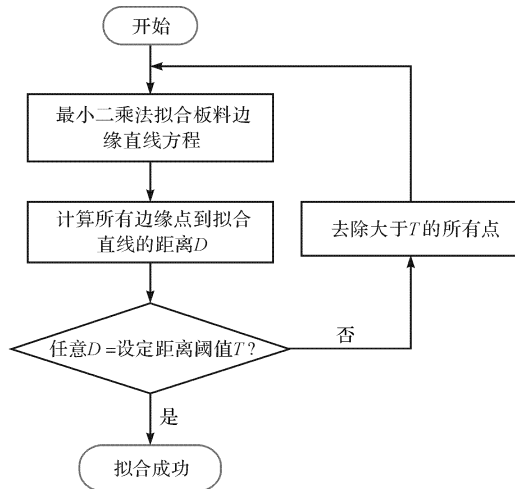


图4 最小二乘法直线拟合流程图

经过计算 k 值和 b 值,确定了方程 $y = kx + b$ 的一个表达式,然后对所有边缘点计算,分别求出各点到拟合直线的距离。设定一个阈值 T 作为衡量边缘点与拟合直线的距离远近的参量,如果边缘上某点离拟合直线的距离超出设置的阈值,则将该点视为干扰予以去除,然后利用最小二乘法对数据拟合形成理想边缘直线。如此往复,最终完成对板料边缘所在直线的精确定位。

本研究通过最小二乘法直线拟合最终确定了图像坐标系中板料边缘所处的直线方程。

4 板料偏移量计算

在得到板料边缘所在直线方程后,便可对板料偏移量进行计算。板料偏移模型图如图5所示。

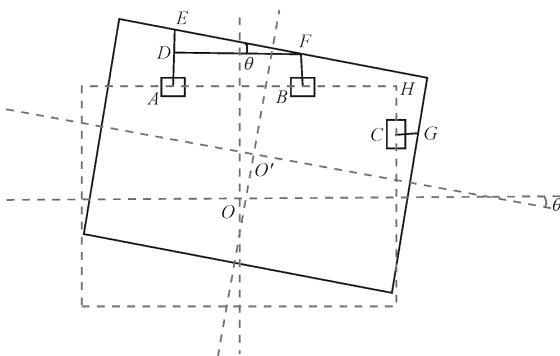


图5 板料偏移模型图

图5中,3部CCD相机的视野中心点分别为A点,B点和C点,在标准位置上的板料用点O为中心的矩形表示,当板料处于实际工作状态时,以点O'为中心的矩形来表示。在实际中,相机的安装位置一般处于固定状态,裁切机前规的两个相机之间的距离AB不变,表示为 L_1 ,且在侧规处的摄像机距离前规处两摄像机所在直线的距离CH也是已知的,表示为 L_2 。设置板料

偏离标准位置的角度为 θ ,与裁切机前规偏离的方向距离是 η ,与裁切机侧规偏离的方向距离是 ξ ,将点O'的偏移表示为 (ξ, η) 。基于图像处理算法计算A点与E点、B点与F点、C点与G点之间的距离,规定E点、F点位于直线AB的下方时其方向是正;当G点位于直线CH左侧时视作方向为正;若 $AE > BF$,则 θ 角的方向视为正。由几何关系有:

$$\theta = \arctan \frac{AE - BF}{L_1} \quad (13)$$

由于自动裁切机自身所带机械导轨的裁切精度已达1mm,板料的面积也比较大,实际操作中板料的偏移角度微小,将模型进一步简化为:

$$\eta = AE - AH \cdot \sin\theta \quad (14)$$

$$\xi = CG - L_2 \cdot \sin\theta \quad (15)$$

对每个裁切周期所采集的图像进行处理,计算偏移值信息 (ξ, η, θ) ,将其发送至控制单元,用来指导纠偏机构进行微调。

5 实验及结果分析

5.1 实验步骤

为了验证本文检测方法的有效性,笔者采用Matlab2016b设计了图像边缘定位实验,主要步骤如下:

(1) 生成一个尺寸大小为 800×600 像素的灰度图像,并进行软件仿真,令图像在横轴像素坐标为350.5处生成一个单位阶跃型边缘,并使其左半侧的图像灰度值为30,右半侧的图像灰度值为220;

(2) 为了模拟摄像机取像过程中的真实状况,利用高斯函数的特性,取二维高斯函数与仿真图像进行卷积运算来模拟摄像机采集的实际图像,标准二维高斯函数为:

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_1^2}\right) \quad (16)$$

(3) 为了模拟实际生产环境中含有噪声污染的状况,继续在图像中加入均值是0,方差是15,25,35的高斯白噪声,对该图像使用改进的形态学梯度滤波算子进行粗定位,采用的两个结构元素分别是 $[0 \ 1 \ 0; 1 \ 1 \ 1; 0 \ 1 \ 0]^T$ 和 $[1 \ 0 \ 1; 0 \ -1 \ 0; 1 \ 0 \ 1]^T$;

(4) 接着再利用灰度距法进行精定位,与实际值进行比较。

5.2 结果分析

边缘理论与粗、精定位像素点坐标值的实验对比结果如表1所示。

表 1 边缘理论点与粗、精定位像素点坐标值对比结果(单位:像素)

像素点	高斯白噪声方差值	边缘理论点	粗定位像素点	精定位像素点	粗定位误差值	精定位误差值
第 450 行	$\sigma^2 = 15$	350.5	352	350.52	1.5	0.02
	$\sigma^2 = 25$	350.5	351	350.56	0.5	0.06
	$\sigma^2 = 35$	350.5	350	350.47	-0.5	-0.03
第 900 行	$\sigma^2 = 15$	350.5	350	350.43	-0.5	-0.07
	$\sigma^2 = 25$	350.5	350	350.47	-0.5	-0.03
	$\sigma^2 = 35$	350.5	352	350.39	1.5	-0.11
第 1 350 行	$\sigma^2 = 15$	350.5	350	350.38	-0.5	-0.12
	$\sigma^2 = 25$	350.5	351	350.63	0.5	0.13
	$\sigma^2 = 35$	350.5	348	350.45	-2.5	-0.05

从表 1 可以看出:

对于高斯白噪声污染的理想图像边缘,在粗定位后精度仅为 2~3 个像素;而经灰度矩亚像素边缘检测,其精度已达到 0.1~0.2 像素。

由于本系统中使用的 CCD 相机分辨率为 800×600 像素,其短边视场较小,约为 40 mm,所以图像坐标系内单个像素的大小约为 0.05 mm。再结合最小二乘法对边缘点数据进行拟合,理论上裁切机的裁切精度可以从原来的 1 mm 提高到 0.03 mm。

6 结束语

针对传统自动裁切机因裁切精度较低无法满足高精度产品要求的问题,基于机器视觉,本文对传统自动裁切机进行了升级,设计了一套亚像素级的定位系统。

系统仿真结果表明:利用该方法开发的视觉定位系统,理论上可使裁切机的裁切精度达到 0.03 mm;但由于受到工作环境的影响,在实际工厂环境中系统表现不稳定;后续仍需在硬件配置方面和算法上进一步改进。

参考文献(References):

- [1] 王东前,王西彬,邓三鹏,等.玻璃布裁切机及其设计改进[J].新技术新工艺,2017,25(10):9-12.
- [2] 周宇.数字裁切机的新机遇[J].丝网印刷,2007(4):31-34.
- [3] PARK J Y, KANG H, LEE J W, et al. A study on rock cutting efficiency and structural stability of a point attack

pick cutter by lab-scale linear cutting machine testing and finite element analysis[J]. **International Sciences**, 2018, 103(8):32-37.

- [4] 赵云涛,孙军华,陈 勛,等.基于球几何特征的摄像机内参分步标定方法[J].北京航空航天大学学报,2014,40(4):558-563.
- [5] 张素枝,秦宇锦.基于主动视觉的相机标定方法在太阳能电池片丝印机上的应用[J].机电工程,2016,33(3):378-382.
- [6] 张美静,石振刚.改进形态学梯度的样条插值亚像素边缘检测方法[J].沈阳理工大学学报,2012,31(3):19-23.
- [7] 曾亚君,何毅斌,李 伟.基于改进形态学梯度的齿轮边缘检测[J].工具技术,2017,51(1):101-103.
- [8] ZHU Zi-min, LIU Rong qiang. Image edge detection based on Solitary wave algorithm[J]. **Applied Mechanics and Materials**, 2014, 3277(608):81-94.
- [9] FABIJANSKA A. A survey of subpixel edge detection methods for images of heat-emitting metal specimens[J]. **International Journal of Applied Mathematics and Computer Science**, 2012,22(3):65-68.
- [10] 周 敬,王俊元,张 彬.基于亚像素边缘检测的刀具几何参数测量[J].工具技术,2010,44(9):94-97.
- [11] 谌湘倩,刘 珂,马 飞.基于协作表示和正则化最小二乘法的多姿态人脸识别方法[J].现代电子技术,2017,40(5):49-53.
- [12] 曹 洁,吴尧帅,李 伟,等.基于改进 TDOA 的近场声源鲁棒定位方法研究[J].计算机应用与软件,2018,35(4):102-108.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

李光明,赵亮亮.基于机器视觉的自动裁切机精定位算法研究[J].机电工程,2019,36(2):148-152.

LI Guang-ming, ZHAO Liang-liang. Fine localization algorithm of automatic cutting machines based on machine vision[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2019,36(2):148-152.

《机电工程》杂志;http://www.meem.com.cn