

基于机器视觉的光伏电池片位置误差检测系统

姜利

(江苏省常州技师学院, 江苏 常州 213032)

摘要: 机器视觉是保证光伏电池片串焊质量的关键技术之一。目前基于电池片轮廓定位的位置误差检测方法定位精度差, 无法满足高速、高精度串焊的要求。搭建一个光伏电池片位置误差检测平台, 构建基于机器视觉的光伏电池片位置误差检测系统。针对光伏电池片的表面特征, 提出一种基于电池片边缘和主栅线平均定位的位置误差检测方法。采用改进的最小二乘法, 对光伏电池片边缘及主栅线点同时进行直线拟合, 保证栅线与轮廓之间的矩形特性, 精确地计算出电池片的位置误差, 满足串焊机对电池片定位检测高精度和高速度的要求。

关键词: 机器视觉; 光伏电池片; 串焊; 位置误差; 检测

中图分类号: TP274. +5 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2021)03-0197-03

Position Error Detection System of Photovoltaic Cell Based on Machine Vision

JIANG Li

(Changzhou Technician College Jiangsu Province, Changzhou 213032, China)

Abstract: Machine vision is one of the key technologies in the string welding of photovoltaic cells. The existing position error detection method based on the contour positioning of the cells has poor positioning accuracy with failure in high-speed and high-precision series welding. Upon the establishment of photovoltaic cell position error detection platform, the detection algorithm based on machine vision was introduced. According to the surface characteristics of photovoltaic cells, a position error detection method based on the average location of cell edge and main grid line was proposed. The improved least square method was used to fit the edge and the main grid line points of the photovoltaic cell at the same time to ensure the rectangular characteristics between the grid line and the contour. The position error of the cells was accurately calculated to meet the requirements of high precision and high speed for the position error detection of the cells by the string welding machine.

Keywords: machine vision; photovoltaic cell; string; position error; detect

0 引言

光伏组件是由单片太阳能电池串焊而成的。在自动串焊过程中, 电池片的上料受到外界环境的影响, 如电池片在盒中的摆放误差、气动吸装头在吸取电池片时产生的位移误差, 传送装置的安装误差等, 会引起焊带中心线与电池片主栅线之间的位置误差, 从而在焊接时产生过大的露白, 因此电池片的位置校正是保证光伏组件串焊质量的关键。机器视觉具有非接触、速度快、精度高等优点, 被应用于太阳能电池片的位置误差和缺陷检测。目前很多关于电池片位置误差检测的算法, 多是基于电池片轮廓定位的, 存在位置检测误差较大的问题^[1-2]。例如, 霍夫变换能表征电池片位置信息的特征直线, 可以在特征直线中检测出最长直线来确定转角和位置中心, 但需计算该直线上像素点的个数, 降低了实时性, 且因拟合直线相互独立的问题, 尤其对主栅线和外轮廓线等长的多晶硅电池片就显得无能为力^[3]。因此, 要立足太阳能电池片的栅线特征设计程序、搭建平台, 构建一种更高精度、更快速的视觉检测系统。

1 检测系统总体设计与硬件选型

为了完成太阳能电池片定位误差检测的高速、高精度需求, 设计的总体方案如下: 采用工业相机采集电池片的图像, 使用开发周期短、面向对象的 C 语言编程进行界面设计。当系统开始运行时, 控制模块发送触发信号, 光源打开, 相机获取图像传输至计算机内存, 接着计算机通过视觉处理算法对获取的图像进行边缘提取等操作, 计算出电池片位置误差和倾角偏差, 并把计算结果传输至检测平台以便进行位置校正, 其视觉检测总体结构图如图 1 所示。

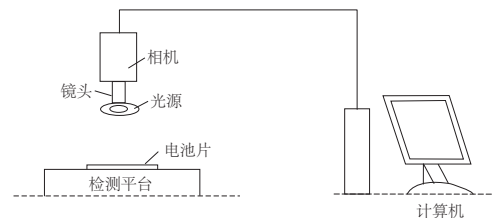


图 1 电池片视觉检测系统的总体结构图

由图 1 可知,该检测系统主要包括检测平台、图像采集模块、图像处理模块等。其中,检测平台是电池片的放置区域,是整个视觉系统的图像采集区域,同时根据检测结果完成电池片的位置纠正。图像采集模块主要包括工业相机、镜头、光源,负责相机、光源的初始化以及相机帧率、相机曝光值、相机触发模式等参数的设置,通过相机 SDK 函数获取图像后,导入图像处理模块,并建立高效的图像存取机制,减少不必要的内存占用,提高软件效率。图像处理模块是视觉系统的核心,集中了检测系统最重要的功能视觉测量与定位偏差计算,包含对原始图像的阈值分割、轮廓提取、边界跟踪、栅线拟合等检测算法,最终实现对电池串外形尺寸及尺寸偏差等特征参数的检测。根据总体设计方案可知,镜头是光伏电池片位置误差检测系统的关键元件,是整个系统正常运行的前提,主要负责太阳能电池片的图像采集任务。

1.1 镜头的选用

镜头的主要功能就是实现光束的调制,在机器视觉检测系统中,镜头就是用来把目标成像在图像传感器的光敏元件上。镜头的选取以及安装是否合适直接影响到机器视觉检测系统的性能。它与工业相机匹配共同完成物体的成像工作,因此镜头的选择除了和镜头本身的焦距、视场、工作距离、景深有关之外,还要考虑到与工业相机的接口以及规格的匹配问题^[4]。

镜头的焦距是镜头选型中的关键参数,焦距表示光学系统汇聚或者发散光线的的能力,通常焦距小的镜头,视角比较宽,景深较大^[5]。按照薄透镜的基本成像原理,镜头的焦距与物体的大小、成像大小以及工作距离定义的关系,可用公式 $f=L \times w/W$ 来表示。式中 f 表示镜头的焦距; L 表示镜头的工作距离; w 表示物体的成像宽度; W 表示视场的宽度。由工业相机的选型可知,摄像机的成像尺寸约为 $5.8 \text{ mm} \times 4.3 \text{ mm}$,视场的宽度约为 180 mm ,则根据公式在工作距离为 300 mm 时焦距为 9.66 mm 。

综上所述与分析,选择日本 Computar 定焦镜头 MP2 系列的 M1214-MP2(图 2),该镜头的焦距为 12 mm ,具有手动光圈以及光圈和焦点锁定螺母;靶面为 1.7 cm ($2/3$ 英寸),在整个屏幕内都具有较高的对比度和清晰度;采用 C 接口连接,满足已选工业相机的要求。



图 2 M1214-MP2 镜头

1.2 检测系统硬件平台

为了检测系统进行图像算法实验,设计了系统实验平台如图 3 所示。主体采用工业铝型材,通过与型材沟槽相

匹配的型材滑块可实现相机镜头、条形 LED 光源的位置调整,光源角度调整机构可以改变打光角度,待调整完毕后通过螺母将其锁紧。利用此实验平台可以对晶硅太阳能电池片进行图像测量、位置误差计算等实验。

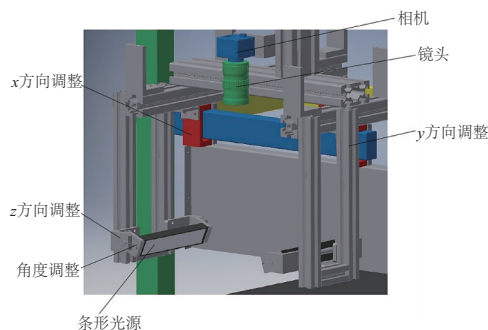


图 3 电池片视觉检测系统的硬件平台

2 检测系统软件设计

电池片位置误差视觉检测系统主要包括图像采集模块和图像处理模块,其中电池片图像处理模块完成电池片外形尺寸、位置偏差的计算。图像采集模块采用工业相机自带的视觉图像采集软件实现电池片图像的获取,工业相机与计算机的接口为 GigE,用网线直接将工业相机与计算机连接在一起。图像处理模块是视觉检测系统软件的核心部分,主要包括阈值分割、特征提取、边界跟踪、直线拟合与位置误差计算等。太阳能电池片的主栅线是电池片串焊接的位置,其位置偏差的检测直接影响到焊接的质量。因此使用边缘及主栅线平均对位的定位方法,对电池片进行位置误差计算是最优选择。基于边缘及主栅线平均对位算法的主要思想是将电池片的边缘轮廓以及左、右两条主栅线的轮廓分别存放在 3 个动态数组中,然后将这些点划分到各个边上,再使用最小二乘法对这些点进行拟合,以保证主栅线对应的 4 条直线相互平行,并与电池片的上、下两边垂直;最后利用这 6 条直线方程求出它们的交点坐标,则交点坐标的平均值就是要求的电池片中心位置,利用主栅线所对应 4 条直线的斜率可以确定电池片的偏角,其设计流程如图 4 所示。

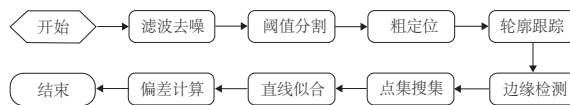


图 4 电池片位置误差检测流程图

3 基于电池片边缘和主栅线平均定位的位置误差检测

3.1 图像预处理

对原始图像 (m, n) 进行滤波处理并选用最小误差法进行阈值分割,然后在 Roberts 算子进行边缘检测,最后通过轮廓跟踪的算法获取了电池片的边缘轮廓点集 Ω_w 以及左、右两条主栅线的轮廓分别记为点集 Ω_{s1} 、 Ω_{s2} 。

3.2 粗定位

根据 Ω_w 、 Ω_{s1} 、 Ω_{s2} 点集内点的坐标平均值初步计算电池片中心点坐标 $P(x_p, y_p)$, 扫描点集 Ω_{s1} 、 Ω_{s2} 找出距离 P 点最近的点记为 F 。根据 P 、 F 两点坐标计算出直线 PF 的方程; 再次扫描点集 Ω_{s1} 、 Ω_{s2} , 找出距离直线 PF 最近的 4 个点, 设定为 $E(x_E, y_E)$ 、 $F(x_F, y_F)$ 、 $G(x_G, y_G)$ 、 $H(x_H, y_H)$; 由于主栅线对应的 4 条直线 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 与直线 PF 垂直。因此可以根据直线 PF 的斜率以及点 E 、 F 、 G 、 H 的坐标分别计算出这 4 条直线 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 的方程, 如图 5 所示。

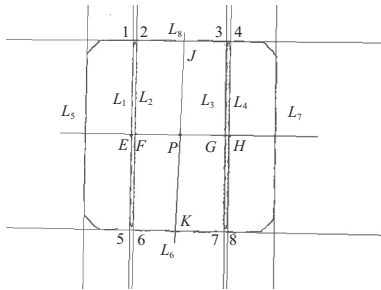


图 5 粗定位示意图

3.3 点集收集

根据直线 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 的直线方程提取属于每条边的子点集, 设定距离阈值 D , 计算点集 Ω_{s1} 、 Ω_{s2} 中每个点到这 4 条直线的距离 d ; 如果 $d < D$, 那么就认为这个点在这条直线上, 这样就分别得到了 4 条边 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 的子点集, 设这 4 条直线对应的点集为 $\Omega_i = \{(x_{i1}, y_{i1}), (x_{i2}, y_{i2}), \dots\} (i=1, 2, 3, 4)$; 再利用过 P 点与直线 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 的斜率求得直线 JK , 分别交上、下轮廓线于 J 、 K 两点; 由于 L_6 、 L_8 两条直线与直线 PF 平行, 并且分别经过 J 、 K 两点, 所以可以初步确定 L_6 、 L_8 的直线方程; 再利用设置阈值的方法, 找出属于 L_6 、 L_8 这两条直线的点集, 记为 $\Omega_i = \{(x_{i1}, y_{i1}), (x_{i2}, y_{i2}), \dots\} (i=6, 8)$ 。

3.4 直线拟合

对上步获取的点集 $\Omega_i (i=1, 2, 3, 4, 6, 8)$, 采用推广的矩形最小二乘法进行边缘拟合^[6]。根据矩形相邻两边斜率为倒数、对边斜率相等的关系设拟合方程为

$$D = \sum_{i=1}^{m_1} (y_{1i} - ux_{1i} - v_1)^2 + \sum_{i=1}^{m_2} (y_{2i} - ux_{2i} - v_2)^2 + \sum_{i=1}^{m_3} (y_{3i} - ux_{3i} - v_3)^2 + \sum_{i=1}^{m_4} (y_{4i} - uy_{4i} - v_4)^2 + \sum_{i=1}^{m_6} (x_{6i} + ux_{6i} - v_6)^2 + \sum_{i=1}^{m_8} (x_{8i} + uy_{8i} - v_8)^2。$$

分别对 u 、 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_6 、 v_8 求偏导数, 求得斜率 u 和每条边对应的截距 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_6 、 v_8 , 这样便可计算出 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_6 、 L_8 这 6 条直线的方程, 再联立这 6 个方程,

求出这 6 条直线的交点坐标 $(x_i, y_i) (i=1, 2, 3, 4, 5, 6)$, 则电池片的中心点坐标为 $c'_x = (\sum_{i=1}^6 X_i) / 6$, $c'_y = (\sum_{i=1}^6 Y_i) / 6$, 电池片的偏角为 $\theta = \text{atan}(u)$ 。

4 算法实现与结果分析

利用以上的算法, 在 MFC 软件平台上设定了平行线以及矩形综合拟合检测功能按钮, 并用 C 语言编程实现。该算法的拟合直线如图 6 所示, 位置检测偏差 $x = -25.03$ 、 $y = -16.69$, 倾角偏差 $\theta = 0.39$, 检测算法的总耗时为 47 ms。

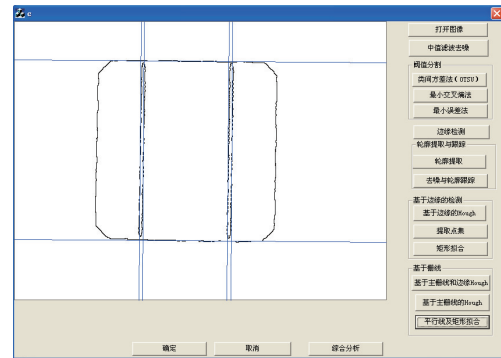


图 6 电池片位置误差检测界面

5 结语

通过图像预处理、粗定位、边缘分割、精定位等步骤, 利用基于电池片边缘和主栅线平均定位的位置误差检测算法对太阳能电池片进行了定位误差的分析与计算。实验结果表明: 利用推广的最小二乘法实现矩形拟合, 保证了电池片栅线之间平行与上、下轮廓线垂直的特性, 更精确地表达了电池片的位置误差; 该算法不但精度高, 而且实时性较好, 能够很好地满足电池片串焊机高速、高精度的要求。

参考文献:

- [1] 居玲. 基于机器视觉的太阳能电池片位置误差检测[J]. 机械制造与自动化, 2012, 41(5): 166-167, 178.
- [2] 刘俊琪, 刘堂友. 基于 Radon 变换的空间太阳能电池片图像倾斜校正技术研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2013(10): 10-11.
- [3] 刘康. 太阳能电池晶片位置检测与控制系统研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2018.
- [4] 高志良. 太阳能电池片自动焊接中视觉检测关键技术的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2013.
- [5] 张秀芝. 基于计算机视觉的机械零件几何量精密测量技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [6] 朱文博, 洪都. 基于图像处理的零件二维尺寸检测方法[J]. 光学技术, 2020, 46(2): 184-191.

收稿日期: 2020-04-15