

# 基于图像处理技术的零件孔位尺寸快速测量方法

余旭东<sup>1</sup>, 殷广<sup>1</sup>, 朱晨迪<sup>1</sup>, 谢栩聪<sup>2</sup>

(1. 大连理工大学 宁波研究院, 浙江 宁波 315000; 2. 上汽大众汽车有限公司, 上海 201805)

**摘要:** 为提升现有图像测量技术的工程应用价值, 针对车身车间现场薄板类零件孔位测量问题, 基于二维图像处理技术提出了一种可直接借助智能手机完成零件孔位大小及间距测量的方法; 该方法引入测量基准贴纸实现比例尺功能, 并且通过手机镜头去畸变算法提升测量精度; 借助 Canny 边缘检测算子得到待测量孔位外边缘轮廓, 使用形态学算法去除干扰; 最后计算孔位外边缘最小外接矩形长宽及中心连线的距离, 得到孔位的几何尺寸; 两个实验案例表明提出方法所得孔位大小及间距绝对误差小于 0.4 mm, 能够作为车间现场测量公差较大孔位工作的一种补充手段。

**关键词:** 零件孔位; 图像处理; 尺寸测量; 最小外接矩形

## An Efficient Measuring Method for Hole Size of Parts Based on Image Processing Technology

YU Xudong<sup>1</sup>, YIN Guang<sup>1</sup>, ZHU Chendi<sup>1</sup>, XIE Xucong<sup>2</sup>

(1. Ningbo Institute of Dalian University of Technology, Ningbo 315016, China;

2. SAIC Volkswagen Automotive Co., Ltd., Shanghai 201805, China)

**Abstract:** In order to improve the engineering application of machine vision measurement technology, and aimed at the problem of the sheet hole position measurement of car body on the workshop site, based on two-dimensional image processing technology, an efficient method for the measure problem of the hole size and distance of parts by the smart phone is proposed. A measurement benchmark sticker is employed to realize the function of engineering scale, and the distortion algorithm can be used to improve the measurement accuracy by the lens of mobile phone. With the assistance of Canny edge detection operator, the outer edge contour of the hole can be obtained, and the morphological algorithm is used to remove the interference. Finally, the minimum circumscribed rectangle of the hole in the parts is calculated to obtain the geometric dimension. Two experimental results show that the absolute error of hole dimension is less than 0.4 mm, the proposed method can be used as the auxiliary means to measure the hole position with large tolerance in the workshop.

**Keywords:** hole of parts; image processing; dimension measurement; minimum circumscribed rectangle

## 0 引言

一台轿车约由 2 万多个零部件组装而成, 其中铁制零件(白车身零件)占绝大多数<sup>[1]</sup>。在白车身制造过程中, 零件的几何尺寸精度除了影响车辆的装配质量, 也会影响汽车的 NVH、操控性及耐久性等诸多关键性能<sup>[2]</sup>, 因此, 零件的尺寸检测一直都是各大整车厂商重点关注的对向。

白车身零件基本为厚度 0.6 mm 到 2.5 mm 的打孔薄板冲压件, 零件上有数量众多的圆形/长腰孔<sup>[3]</sup>。例如上汽大众 Viloran 车型后门内板上就有超过 60 个孔位, 而这些孔位中除了 24 个相对重要的夹具/零件安装定位孔由于精度要求高被纳入常规白光测量报告外, 其余内饰卡扣安装孔容许公差较大(公差±2 mm, 因为卡扣有活动量), 常规测量报告通常不会将它们包括在内, 但如果该尺寸超差会直接影响后道总装车间内饰安装, 引发大量返工并造成经济和时间损失。不同于流水线质检对单一零件进行大批量

精确检测, 车身现场工程师处理尺寸问题时需要考虑每个零件工位测量焊接前后孔位尺寸, 以分析确认误差来自焊接过程还是单件本身。出于测量效率(进入工位需要停线)以及使用环境考虑, 三坐标或蓝光测量方法都无法适用于以上场景<sup>[4]</sup>。目前现场工程师一般借助游标卡尺等接触式方法对孔位进行测量, 该方法直接有效, 但也会遇到包括夹具干涉无法伸入测量工具、孔位较多导致测量效率低的问题<sup>[5]</sup>。此外在测量孔位间距时, 测量人员需要分别测出两个孔位大小以及边缘距离, 然后进行计算得出结果。如果遇上长腰孔测量则计算难度还会上升, 因此迫切需要一种能够适应车间现场工作要求的零件孔位测量方法。

通过机器视觉测量技术来完成对零件几何尺寸的测量, 是近年来工业检测领域的研究热点之一。该技术测量速度快, 可实现生产线上连续测量<sup>[4]</sup>, 目前已经被广泛应用在微电子<sup>[6]</sup>、航空航天产品<sup>[7]</sup>、轨道交通<sup>[8]</sup>、大型零件制造<sup>[9-11]</sup>、汽车工业<sup>[12-14]</sup>等行业。贾国邦<sup>[5]</sup>基于图像处理技术

收稿日期: 2022-03-09; 修回日期: 2022-04-18。

作者简介: 余旭东(1994-), 男, 浙江宁波人, 硕士, 实验员, 主要从事汽车结构分析优化和车身制造系统与尺寸工艺方向的研究。

引用格式: 余旭东, 殷广, 朱晨迪, 等. 基于图像处理技术的零件孔位尺寸快速测量方法[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(9): 60-66.

提出一种非接触式高效且高精度的微小孔零件尺寸测量方式, 采用 Canny 算子进行图像轮廓提取, 以铝板小孔为实验对象, 得到的测量结果误差达到了微米级别。唐君萍<sup>[15]</sup>针对飞机零件上大量小尺寸导孔测量问题提出了一套快速检测系统 MBMS, 实验件上 75 个导孔共花费 7.4 min, 检测效率超过了三坐标测量机。为了快速综合检测刹车片尺寸, 徐志玲<sup>[16]</sup>提出了一种基于公差设计原则和图像处理的综合尺寸检测方法: 利用 CCD 相机拍摄图形, 处理得到二值图像并利用最小外接矩形优化算法, 确定其放缩倍数, 最后利用白色像素点数与标准模版图白色像素点数差异得到检测结果。朱文博<sup>[17]</sup>为了提高二维尺寸测量精度和效率, 采用形态学梯度算子提取图像边缘, 并用最小二乘法拟合像素尺寸, 通过标准件法对系统进行标定获得零件尺寸。上述方法虽然保有较高精度, 但都需要借助实验平台、专业相机和计算机完成检测, 成本较高且无法达到现场工作要求。倪彤元<sup>[18]</sup>基于图像处理技术提出了一种基于 Android APP 的混凝土表面裂缝无损检测方法, 该方法主要用于估算混凝土表面裂缝长度和面积, 可以借助手机端完成快速检测, 能够以一种低成本且高效率的手段满足工程应用要求, 但并未应用于尺寸测量。

为了提升现有视觉测量技术的工程应用价值, 在适当降低测量精度, 并提升测量高效性与便捷性的前提下, 本文提出一种可以借助智能手机完成识别的零件孔位尺寸快速检测方法, 以期以较低的使用成本为现场测量工作提供一种补充手段, 并为零件视觉测量提供一种可供借鉴的思路和方法。首先, 在待测量零件孔位左侧粘贴测量基准贴纸作为测量用比例尺, 计算出图像的单位像素点比例; 其次, 基于测量得到的手机相机畸变系数对拍摄图像去畸变; 最后, 对图像进行高斯滤波及 Canny 边缘检测, 并将图像从左至右对目标孔位进行标记, 以基准贴纸所得单位像素点比例计算出每个孔位的最小外接矩形长宽及距离。针对长条形零件测量探索了基于 Surf 算法的图像拼接方法。相关图像处理借助 Matlab 实现, 并设计了 PC 端交互界面, 能够在移动端借助 Matlab Mobile 完成检测。

## 1 零件孔位尺寸测量原理

### 1.1 测量基准贴纸

不同于双目视觉技术能够利用两个镜头从两个视点对同一个目标进行拍摄后得到深度信息<sup>[19]</sup>, 由于车间现场使用条件限制, 只能使用单目视觉方法进行测量。若在待测物体距离未知的情况下, 不可能直接对图像中物体进行尺寸大小的测量计算<sup>[20]</sup>。参照 Chen<sup>[21]</sup>在单目测量中使用的像素比例概念, 本文引入如图 1 所示的测量基准贴纸作为比例尺, 该贴纸为直径  $d=10\text{ mm}$  的圆。

在二维图像处理中, 定义长度方向的单位像素点比例  $p_i$  与宽度方向的单位像素点比例为  $p_w$ :

$$p_i = l_a / d \quad (1)$$

$$p_w = w_a / d \quad (2)$$

式中,  $l_a$ 、 $w_a$  分别为图像中基准贴纸经过处理得到最小外

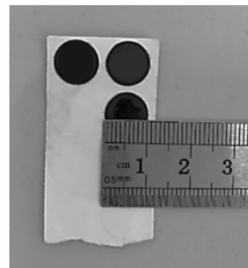


图 1 测量基准贴纸

接矩形的长宽, 可通过式 (9)、(10) 得到。

### 1.2 图像去畸变

任何透镜都不是完美无缺的, 而文中测量方法借助智能手机实现, 不同手机镜头畸变程度各不相同, 为了尺寸测量结果的准确性及一致性, 有必要对手机拍摄的图像进行几何去畸变处理。通过张正友棋盘格标定法<sup>[22]</sup>标定透镜畸变, 由于标定板图案尺寸至少要大于  $1/4$  视场, 小于整个视场<sup>[23]</sup>, 综合考虑车间现场照片拍摄情况, 选取 GP 260 黑白棋盘格进行标定, 如图 2 所示, 得到相机的内参矩阵、外参矩阵和畸变系数。

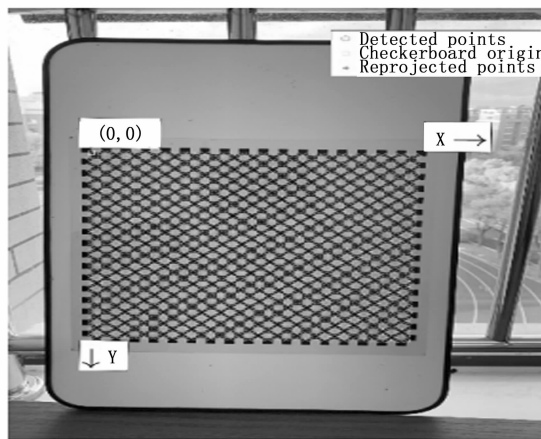


图 2 黑白棋盘格

由于算法采用的是张正友标定法, 畸变系数  $D(k_1, k_2, p_1, p_2, k_3)$  中只用  $k_1, k_2, p_1, p_2$ 。实际像素变换至理想像素的计算公式如下:

$$x' = x \cdot (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) + 2p_1 x y + p_2 (r^2 + 2x^2) \quad (3)$$

$$y' = y \cdot (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) + 2p_2 x y + p_1 (r^2 + 2y^2) \quad (4)$$

其中:  $r^2 = x^2 + y^2$ ,  $(x', y')$  为矫正后的像素点,  $(x, y)$  为原图像素点。

图 3 分别展示了去畸变前后的图像, 对比图 3 (a) 与 (b) 可以看出该算法修复了原有图像上的轻微枕形畸变。

### 1.3 灰度变换、空间滤波与边缘检测

采用 MATLAB 中的 rgb2gray 函数进行灰度处理, 得到灰度图像。高斯滤波目前是最为流行的去噪滤波算法, 其原理为根据待滤波的像素点及其邻域点的灰度值按照高

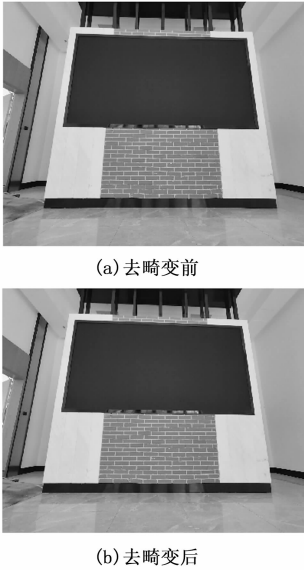


图 3 去畸变前后图像对比

斯公式生成的参数规则进行加权平均，这样可以有效滤去理想图像中叠加的高频噪声。通过 imfilter 函数对图像进行高斯滤波，函数中滤波模板由 fspecial ( ‘gaussian’, [10 10], sigma) 函数生成，sigma = 1。

Canny 边缘检测算是 John F. Canny 开发的一个多级边缘检测算法，其目标是找到一个最优的边缘，其最优边缘的定义包括：尽可能多地标示出实际边缘；标识出的边缘要与实际边缘尽可能接近；边缘只能标识一次且忽略图像噪声。由于采用了最优化的思想，Canny 边缘检测具有良好的信噪比、高精度以及较优的定位性能<sup>[24]</sup>，贾国邦<sup>[5]</sup>分别使用 Sobel 算子、Roberts 算子、Prewitt 算子和 Canny 算子对孔位进行了检测，最终选择了精度最高的 Canny 方法。沈正福<sup>[25]</sup>在进行食品主体尺寸识别时，也对比了 Sobel 算子、Laplace 算子和 Canny 算子的精度，最终也选择了 Canny 作为边缘检测算子，因此本文选用该方法对图像进行边缘检测。使用 edge (I, ‘Canny’, threshold) 函数，其中 I 为输入图像，threshold 为阈值，根据现场轮廓检测效果进行调整。此外在实际检测案例中，被测量零件上可能存在的较小纹理及锈蚀或污损点会对后序接入连通区域的检测造成干扰，因此文中先通过孔洞填充去除纹理，接着用 Canny 边缘检测提取孔洞填充图像外围边缘，最后使用形态学算法去除较小的对象，减少干扰。

1.4 尺寸换算与标注

完成对图像的处理阶段后，通过 [labelpic, num] = bwlabel (I, n) 函数对图像目标从左至右进行标记，其中 I 为输入图像，n=8 表示是按八连通寻找区域。配合 find 函数进行特定目标的操作，标记左起第一个轮廓为标准贴纸计算单位像素点比例。运用旋转卡壳算法<sup>[26]</sup>将标记得到的目标对象进行最小外接矩形的计算，得到最小外接矩形 4 个角的坐标，假设孔位 1 的最小外接矩形坐标为 a (x<sub>a</sub>, y<sub>a</sub>)、b (x<sub>b</sub>, y<sub>b</sub>)、c (x<sub>c</sub>, y<sub>c</sub>)、d (x<sub>d</sub>, y<sub>d</sub>)，如图 4 所示。

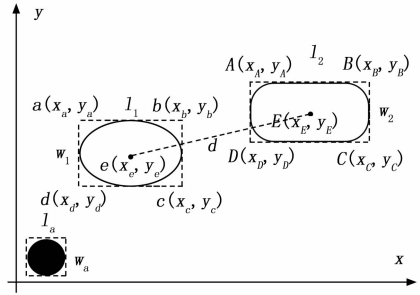


图 4 距离测量图示

矩形边长计算如式 (3)：

$$d_{a-b} = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2} \tag{5}$$

$$d_{b-c} = \sqrt{(x_c - x_b)^2 + (y_c - y_b)^2} \tag{6}$$

$$d_{c-d} = \sqrt{(x_d - x_c)^2 + (y_d - y_c)^2} \tag{7}$$

$$d_{d-a} = \sqrt{(x_a - x_d)^2 + (y_a - y_d)^2} \tag{8}$$

d<sub>a-b</sub>、d<sub>b-c</sub>、d<sub>c-d</sub>、d<sub>d-a</sub> 分别为 ab、bc、cd、da 边长，且 ab = cd，bc = da，则孔位 1 的最小外接矩形长 l<sub>1</sub> 和宽 w<sub>1</sub> 分别如式 (9)、(10) 所示，同理可得到测量基准贴纸边长 l<sub>a</sub>、w<sub>a</sub> 以及孔位 2 的最小外接矩形边长 l<sub>2</sub> 和宽 w<sub>2</sub>。

$$l_1 = \max (d_{a-b}, d_{b-c}, d_{c-d}, d_{d-a}) \tag{9}$$

$$w_1 = \min (d_{a-b}, d_{b-c}, d_{c-d}, d_{d-a}) \tag{10}$$

孔位 1 的实际外接矩形长 L<sub>1</sub> 和宽 W<sub>1</sub> 可通过式 (11)、(12) 得到，其中 p<sub>l</sub> 与 p<sub>w</sub> 是由式 (1)、(2) 计算得出的单位像素点比例。

$$L_1 = p_l \cdot l_1 \tag{11}$$

$$W_1 = p_w \cdot w_1 \tag{12}$$

除了孔位大小的尺寸计算外，孔位间的距离也是需要重点关注的尺寸。使用同样的原理进行计算。假设孔位 2 的最小外接矩形坐标为 A (x<sub>A</sub>, y<sub>A</sub>)、B (x<sub>B</sub>, y<sub>B</sub>)、C (x<sub>C</sub>, y<sub>C</sub>)、D (x<sub>D</sub>, y<sub>D</sub>)，则可得到孔位 1 和孔位 2 的最小外接矩形中心点坐标 e (x<sub>e</sub>, y<sub>e</sub>)、E (x<sub>E</sub>, y<sub>E</sub>)，如式 (13) ~ (16) 所示。

$$x_e = (x_a + x_b + x_c + x_d)/4 \tag{13}$$

$$y_e = (y_a + y_b + y_c + y_d)/4 \tag{14}$$

$$x_E = (x_A + x_B + x_C + x_D)/4 \tag{15}$$

$$y_E = (y_A + y_B + y_C + y_D)/4 \tag{16}$$

由式 (7) 可得到孔位 1 与孔位 2 之间的实际距离 D：

$$D = \sqrt{[p_l \cdot (x_E - x_e)]^2 + [p_w \cdot (y_E - y_e)]^2} \tag{17}$$

使用 line 函数在图像中绘制出最小外接矩形以及孔位中点间距的连线，并通过 text 函数直接将计算得到的实际间距标注在图像中进行显示。

1.5 图形拼接功能

在对车身车间零件进行测量时，常会遇到需要窗框加强版、车门加强筋等长条形零件上的通孔的测量需求。由于拍摄图像比例限制，长条形零件上孔位难以借助一张图片表达。黎欣<sup>[9]</sup>针对大尺寸零件视觉测量提出了基于 Surf 特征点算法的图像拼接方法，并且将其与 BP 神经网络相结

合, 应用于滚动轴的故障识别, 得到了较好的识别效果。本文也将借助 Surf 特征点算法对待测零件图像进行拼接, 实现对长条形零件孔位的检测。

Surf 算法的图像拼接过程主要包括: 通过 detect\_surf 函数提取两个图像的 Surf 有效特征并存储; 通过匹配存储的特征建立两个图像之间的对应关系; 通过函数 matchFeatures 确定匹配特征集后, 通过变换模型将待拼接图像变换到参考坐标系下, 即对图像矩阵进行投影变换, 最终借助图形融合得到拼接完成的图像。

## 2 零件孔位尺寸测量过程及实验

### 2.1 操作过程

在进行零件尺寸测量时, 首先将测量基准贴纸粘贴在零件待测量孔位的最左侧, 并确保其与孔位在同一平面上; 然后拍摄照片, 拍摄过程中需要尽量保证手机与待测量平面平行, 并且将基准贴纸和待测量孔位都纳入拍摄范围内。完成拍摄后将照片导入 MATLAB 程序中进行处理, 经过正畸、灰度变换、空间滤波、边缘检测, 最后完成尺寸标注后输出测量结果, 具体操作流程如图 5 所示。

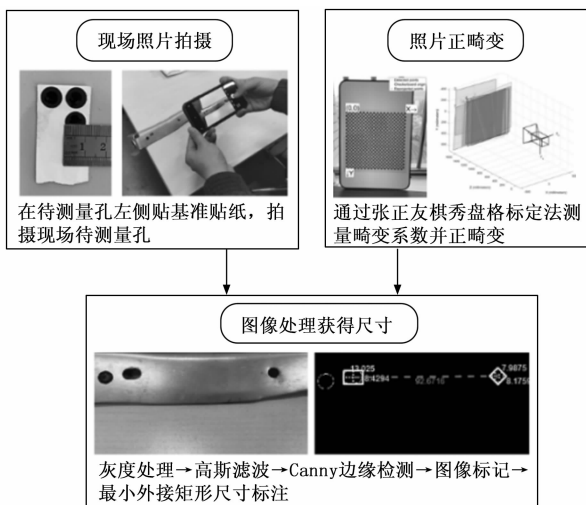


图 5 零件孔位尺寸测量流程

此外, 在手机拍摄待测量孔位时, 需要确保相机位置与光圈值、快门速度、ISO 等拍摄参数与手机进行棋盘标定时条件相同<sup>[27]</sup>, 这样才能确保图像正畸变达到最佳效果。

### 2.2 测量结果对比

通过两个案例来验证所提出方法的测量精度。借助坚果 R2 后置 1 300 像素主镜头完成图像拍摄, 测得镜头的畸变系数  $D(k_1, k_2, p_1, p_2, k_3) = (0.024\ 3, -0.012\ 7, -0.001\ 5, 0.000\ 6, 0)$ , 经过畸变校正后进行尺寸识别。

第一个案例要求识别白车身底板上一个焊接零件的孔位大小尺寸和孔距离尺寸, 这个案例包括一个圆孔和一个长腰孔, 具有一定典型性。图 6 为图形处理过程中每个步骤下的处理结果, 图 6 (a), (b), (c), (d) 分别为正畸变后图像, 灰度处理后图像、高斯滤波后图像, 边缘检测后图像和尺寸标注图像。

为了验证本文所述检测方法的准确性, 使用精度为

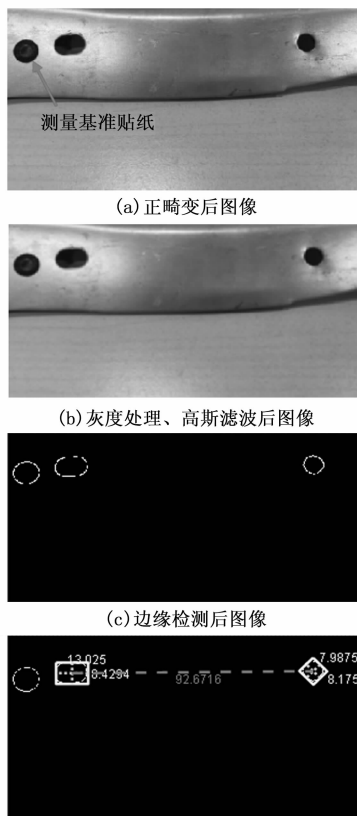


图 6 底板零件孔位尺寸测量

0.05 mm 的游标卡尺对该零件进行接触式测量, 每个数据测量 3 次取算数平均值, 而本文测量方法所得圆孔结果取长宽距离平均值, 两者对比结果如表 1 所示。

表 1 底板零件测量结果对比 mm

测量对象	本文方法测量	游标卡尺测量	相对误差
腰孔长	13.0	12.7	0.3
腰孔宽	8.4	8.2	0.2
圆孔直径	8.1	8.2	-0.1
孔距离	92.7	92.3	0.4

由于数据是四组测量值和真实值的对比, 故参照沈正福<sup>[25]</sup>的工作补充标准误差来评价系统的测量准确性, 计算公式如式 (18):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (18)$$

其中:  $x_i, x(\_)$  分别表示本文方法测量值和游标卡尺测量值,  $\sigma$  为标准误差, 带入数据得到标准相对误差为 0.274 mm。

该零件孔位主要用于安装内饰塑料卡扣, 允许有较大活动量, 公差为  $+/-2$  mm, 而文中孔位尺寸最大相对误差 0.3 mm, 距离相对误差 0.4 mm, 能够满足该种非定位孔的几何尺寸测量。除此之外, 文中测量方法能直接给出孔孔之间距离, 而不必像游标卡尺测量一样需要进行换算, 在检测效率上也有一定的优势。

另一个案例为车辆前门内板上靠近 A 柱区域的塑料盖板安装孔测量，由于孔位数量较多，接触式测量效率较低。案例的测量过程如图 7 (a), (b), (c), (d) 所示，分别为正畸变后图像，灰度处理、高斯滤波后图像，边缘检测后图像和尺寸标注图像，4 个孔位的标注顺序如图 7 (a) 所示。

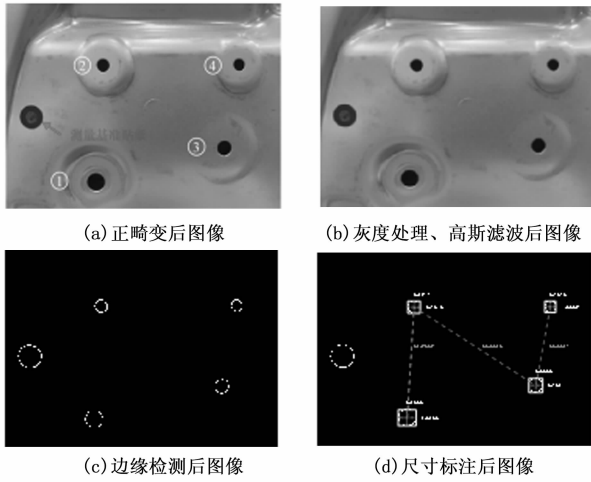


图 7 车门零件孔位尺寸测量

同样用精度为 0.05 mm 的游标卡尺对该零件进行测量，孔位编号如图 7 (a) 所示，本文方法测量与游标卡尺测量结果对比如表 2 所示。

表 2 车门零件测量结果对比 mm

测量对象	本文方法测量	游标卡尺测量	相对误差
孔 1 直径	8.0	8.0	0
孔 2 直径	5.2	5.0	0.2
孔 3 直径	6.3	6.4	-0.1
孔 4 直径	5.0	5.0	0
孔 1 孔 2 距离	51.0	51.2	-0.2
孔 2 孔 3 距离	65.6	65.9	-0.3
孔 3 孔 4 距离	36.6	37.0	-0.4

通过公式 (8) 得到第二个案例所有测量值的标准相对误差为 0.220 mm。其中 4 个孔位的标准相对误差为 0.112 mm，孔位间距的标准相对误差为 0.311 mm。

门内板卡扣孔位公差为 ±2 mm，而文中孔位尺寸相对误差 0.2 mm，距离相对误差 0.4 mm，能够满足该种非定位孔的几何尺寸测量。文中测量方法能直接给出 4 个孔与孔中心之间距离而不用像游标卡尺测量一样进行进一步换算，有效提升了测量效率。

### 2.3 图形拼接结果对比

图像拼接功能将同一个零件的两张图片进行变换、拼接后合成一张图片，在没有支架测量系统的支持下，误差会比较大。本节将以第一个案例，白车身底板上一个焊接零件为例，拍摄两张照片合成后与单张照片及游标卡尺测量结果对比，说明图像拼接合成后识别尺寸与单张照片及实际零件尺寸之间的差异。

拍摄的两张图像  $I_1$  和  $I_2$  如图 8 (a)、(b) 所示，通过

Surf 特征点算法找到两个图像的 Surf 有效特征点和有效特征，再进行匹配，匹配的特征点对应关系如图 8 (c) 所示。通过图像变换得到的合成图如图 8 (d) 所示。

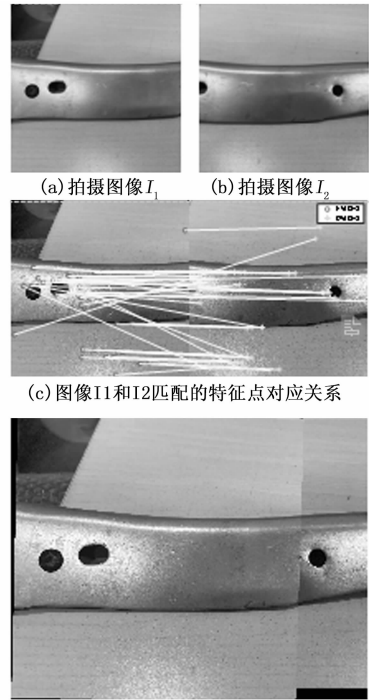


图 8 底板零件图像合成

得到合成图后再次进行孔位尺寸识别，处理过程与 2.2 章节第一个案例相同，得到的识别结果如图 9 所示。图像合成方法测量、单张拍摄图片测量与游标卡尺测量结果对比如表 3 所示。

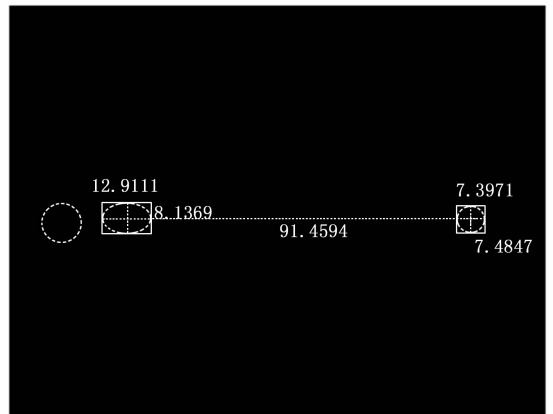


图 9 图像合成后尺寸标注后图像

表 3 底板零件测量结果对比 mm

测量对象	单张图片测量	合成图片测量	游标卡尺测量	相对误差
腰孔长	13.0	12.9	12.7	0.3/0.2
腰孔宽	8.4	8.1	8.2	0.2/0.1
圆孔直径	8.1	7.4	8.2	-0.1/-0.8
孔距离	92.7	91.5	92.3	0.4/-0.8

由于基准贴纸与左侧的腰孔是在同一张图像  $I_1$  内, 合成后计算得到的误差与单张图片时几乎一致。而右侧的圆孔在另一张待合成的图像  $I_2$  上, 由于在拍照时没有借助专用的测量支架, 而是直接拍摄, 其拍摄角度和距离必然与第一次拍摄图像  $I_1$  时不同, 因此在进行图像合成变换时不可避免会出现测量误差。圆孔直径相对误差由  $-0.1 \text{ mm}$  增大为  $-0.8 \text{ mm}$ ; 孔距离相对误差由  $0.4 \text{ mm}$  增大为  $-0.8 \text{ mm}$ 。由于测量误差相对较大, 图像拼接后测量得到的孔位只能作为参考值, 尤其是没有贴基准测量贴纸的图像上的孔位。一个能够固定拍摄角度和拍摄距离的手机测量支架或许能够提升测量准确度。

### 3 用户界面及手机端使用

#### 3.1 PC 端用户界面

采用图形用户接口 (GUI) 编程技术, 开发设计了孔位尺寸测定的软件系统, 用户界面如图 10 所示。5 个模块分别为输入图像、处理选择、输出尺寸、边缘检测阈值和调试信息。首先点选输入图像模块中浏览选项, 选取拍摄好、正畸变后的图像, 点击加载。在处理选择 Input 下出现待识别图像后, 选择边缘检测 (高斯滤波) 阈值, 从车间现场总结得到的默认阈值为  $0.725$ , 可根据现场实际要求进行调整, 调整范围在  $0 \sim 1$  之间, 即“权重”。当数值增大时, 识别图像内的轮廓数量会相应减小, 即滤波的效果越强; 当数值减小时, 识别图像内的轮廓数量会相应增大, 即滤波效果越弱。确定需要选择的待测量图像出现在 Input 下后点选“处理”框, 开始进行孔位尺寸测量。如处理完成, 调试信息框中出现“图像处理与图像输出完成”, 如处理失败, 则调试信息框中出现“图像处理与图像输出失败”字样。在调试信息框中出现“图像处理与图像输出完成”字样后, 处理选择 Output 框中会出现识别完成后有尺寸标注的图像, 同时输出尺寸框中也会分别显示出孔位尺寸, 包括最小外接矩形的长宽、以及孔位间距离, 单位为  $\text{mm}$ 。

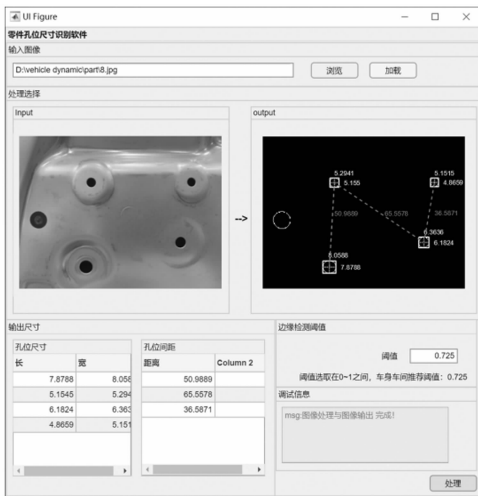


图 10 图像分析与尺寸测定系统用户界面

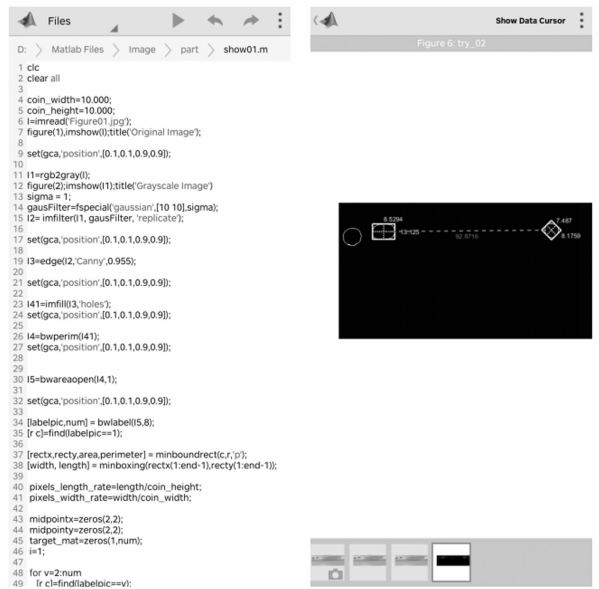
#### 3.2 手机端测量过程

除了通过 PC 端进行测量运算外, 为了进一步方便现场

的测量工作, 还借助 MATLAB Mobile 移动端在移动手机端实现现场白车身零件在线测量。

MATLAB Mobile 是一款移动端轻应用, 可以安装在 Android 或 IOS 移动设备上, 并且连接到在 MathWorks Cloud 上运行的 MATLAB® 会话。由于其易用性与高效性, MATLAB Mobile 被广泛应用于理工类实验与教学中<sup>[28-29]</sup>。在使用手机端软件前, 需要先在 PC 端将图像处理的 m 文件存储到 MATLAB Drive 云端, 完成后打开手机端安装的 MATLAB Mobile APP, 登录 MathWorks Cloud 上相同的账户, 即可打开云端的文件。同时有关尺寸的计算都在云端完成, 云端计算完成后将计算结果发送回手机端。即只要能上网, 即使是处理能力较差的手机也能够完成测量。同时, MATLAB Mobile 还能够与同个 Wifi 下的 PC 端 MATLAB 连接, 在 PC 端口完成计算后将结果发送至手机, 在不连接云端的条件下同样能够完成计算。

在实际操作中, 拍摄完现场待识别零件照片后, 首先在手机端将 MATLAB Mobile 应用打开, 并将拍摄的照片移动到 MATLAB Drive 云端 m 文件所在的目录下, 点击运行程序即可得到孔位尺寸和孔位间距的识别结果。MATLAB Mobile 在移动端界面如图 11 所示, 具体操作可参考相关文献 [30]。



(a) M 文件页面

(b) 测量结果

图 11 MATLAB Mobile 在移动端界面

### 4 结束语

本文针对汽车车身车间现场白车身零件尺寸测量的问题, 采用图像处理技术 (机器视觉方法) 对零件孔位进行在线测量, 并且直接在原图上标注出测量完成的孔位距离以及孔位大小。具体发现包括:

- 1) 基于图像处理技术实现了对零件孔位尺寸的二维非接触式测量。对零件图像进行灰度化、高斯滤波处理, 生成二值图像; 通过 Canny 边缘检测方法提取图像边缘; 去

除尺寸较小的干扰因素；最终采用最小外接矩形标注孔位尺寸，通过几何方法求解孔位间尺寸。此外引入镜头去畸变技术，提升尺寸测量结果的准确性及一致性。

2) 使用测量基准贴纸作为比例尺，并且引入了手机端 MATLAB Mobile，实现了车间现场测量的可行性与高效性。

3) 测量案例表明，该方法对孔位尺寸测量最大相对误差 0.3 mm，孔距离最大相对误差 0.4 mm；孔位尺寸测量最大标准相对误差 0.274 mm，孔距离标准相对误差 0.311 mm，能够作为公差要求较低的非定位孔的辅助测量手段。该方法尤其适用于白车身制造中用于安装饰板的零件孔位，这些孔位常常处于一个平面且数量较大，借助该方法能方便且高效完成测量。

4) 针对长条形零件测量，探索了基于 Surf 算法的图像拼接方法，比较了单张图像拍摄、两张图像拍摄和直接测量的结果，发现由于两次拍摄图像的角度、距离不同，合成后图像孔位，尤其是远离基准贴纸的孔位尺寸误差相对较大，目前还不能应用于现场尺寸测量中，仅可作为参考结果。

5) 在现场图像拍摄过程中，需要尽量保持拍摄角度为 90° 俯视，以防物体尺寸出现扭曲，因此对拍摄者拍摄手法要求较高。此外测量误差仍然相对较大，设计一个合适又便捷的手机测量支架是今后进一步完善该方法的研究方向。

#### 参考文献:

[1] Omar MA. The automotive body manufacturing systems and processes [M]. New York: John Wiley and Sons Inc, 2011.

[2] 曹 渡, 刘永清. 汽车尺寸工程技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.

[3] 覃庆泽. 汽车车身制造过程影响尺寸质量的因数及改善措施 [J]. 内燃机与配件, 2021 (16): 71-72.

[4] 王荣峰, 曹 迪, 林 娜. 复杂零件精密尺寸测量方法的研究进展 [J]. 机电工程技术, 2021, 50 (7): 12-14.

[5] 贾国邦, 宋丽丽, 曹博文, 等. 基于机器视觉的微小孔零件尺寸检测研究 [J]. 工具技术, 2021, 55 (7): 105-109.

[6] 丁婷婷. 基于机器视觉的 IC 芯片焊点定位检测与误差分析 [D]. 西安: 西安工业大学, 2015.

[7] 刘 占, 张 俊, 尹 佳, 等. 基于机器视觉的立铣刀几何与状态参数在机检测 [J/OL]. 航空学报: 1-10 [2021-10-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1929.V.20210709.1735.006.html>.

[8] 张春伟, 彭善飞, 刘晓峰, 等. 基于机器视觉的轨道车辆零部件形位尺寸检测方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (9): 106-109.

[9] 黎 欣, 吴黎明, 王桂棠, 等. 基于单应性矩阵的大尺寸零件视觉测量图像拼接方法 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (11): 316-320.

[10] ZHANG Y C, HAN J X, FU X B, et al. Measurement and control technology of the size for large hot forgings [J]. Measurement, 2014, (49): 52-59.

[11] 熊 峰, 王桂棠, 陈永彬, 等. 大尺寸复杂精冲零件智能测量系统的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (1): 55-63.

[12] 刘 涛, 罗书斌, 董 宁, 等. 基于机器视觉汽车轮毂尺寸自动测量系统的研究 [J]. 中国设备工程, 2021, (8): 76-77.

[13] 孔月萍, 赵天悦, 王佳婧. 动态无接触的货车尺寸测量方法 [J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57 (21): 173-178.

[14] ASTRM K J, HGGLUND T. Machine vision for feedback control in a steel rolling mill Paul O' Leary [J]. Computers in industry. 2005, 56 (8-9): 997-1004.

[15] 唐君萍, 张丽艳, 刘胜兰, 等. 飞机复杂零件上大量小尺寸导孔的快速视觉检测 [J]. 中国机械工程, 2015, 26 (18): 2456-2465.

[16] 徐志玲, 胡琳丽, 陈 杨, 等. 基于尺寸公差和图像处理的刹车片尺寸检测 [J]. 仪器仪表学报, 2017, 38 (9): 2317-2325.

[17] 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.

[18] 倪彤元, 周若虚, 杨 杨, 等. 基于智能手机 APP 的图像法检测混凝土表面裂缝研究 [J]. 计量学报, 2021, 42 (2): 163-170.

[19] 王 亮, 蒋欣兰. 机器视觉: Robot vision [M]. 北京: 中国青年出版社, 2014.

[20] DHIKHI T, ALLAGADA NS, GOSULA RR. Measuring Size of an Object using Computer Vision [J]. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2019, 8 (6): 424-426.

[21] CHEN SW, FANG XY, SHEN JB, et al. Single-Image Distance Measurement by a Smart Mobile Device [J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2017, 47 (12): 4451-4462.

[22] ZHANG ZY. A flexible new technique for camera calibration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22 (11): 1330-1334.

[23] BRADSKI G, KAEHLER A. Learning OpenCV [M]. Sebastopol, USA: O' Reilly Media, 2009.

[24] 王 植, 贺赛先. 一种基于 Canny 理论的自适应边缘检测方法 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9 (8): 65-70.

[25] 沈正福, 汪惠芬, 袁堂晓. 基于机器视觉的尺寸检测智能工位设计 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (7): 91-94.

[26] PREPARATA FP, SHAMOS ML. Computational Geometry [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1985.

[27] CORKE P. Robotics, vision and control [M]. Berlin: springer-Ver-Iag, 2011.

[28] ACERO J F C, LIMACHI VIAMONTE W R, SONCCO VIL-CAPA W M, et al. Matlab Mobile as a Support Tool for The Performance of Students in Engineering [C] //2019 International Symposium on Engineering Accreditation and Education (ICACIT), 2019, pp. 1-4.

[29] 董 娜, 梁 岩. 基于网络的 MATLAB Mobile 和 COMSOL 的混合编程方法 [J]. 信息与电脑: 理论版, 2015, (18): 131-133.

[30] PREETI, SUNITA R. An Empirical Study On Smart Android Based Security Surveillance For Detective Applications [J]. International Research Journal of Engineering and Technology, 2015, 2 (9): 736-740.