

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2108689

# 基于图像拼接的直线轴承长度测量方法<sup>\*</sup>

李纪强<sup>1,2</sup> 孔令华<sup>1,2</sup> 花海燕<sup>1,2</sup>

(1.福建工程学院机械与汽车工程学院 福州 350118; 2.数字福建工业制造物联网实验室 福州 350118)

**摘要:** 针对远心镜头因自身特性无法调节视场大小,难以适应直线轴承测量时一次性获取零件完整图像的问题,利用 HALCON 图像处理软件通过图像拼接方法进行直线轴承的长度测量。综合考虑特征点提取和边缘轮廓获取效果,采用背光与正向照明相结合的方案,建立了基于组合照明的直线轴承测量系统;在图像拼接中,提出了一种在图像近似重合区域内使用图像金字塔分层搜索的方法进行特征点检测与匹配,以提高图像拼接效率;最后通过 Canny 算子和最小二乘法拟合进行图像边缘定位,完成长度测量。实验结果表明:组合光源能更好地兼顾图像表面特征点与边缘轮廓提取效果;提出的拼接方法检测时间在 0.2 s 左右,相比于传统方法检测时间减少了 88%;基于图像拼接的视觉测量误差小于 0.1 mm,测量重复性上相比于传统方法更稳定,测量最大标准差为 0.005。因此,保证了视觉系统的检测效率、精度以及稳定性,在工业自动化检测方面具有一定的理论依据和实用价值。

**关键词:** 直线轴承;HALCON;远心镜头;组合光源;图像拼接;视觉测量

**中图分类号:** TG806;TP751 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

## Method of length measurement for linear bearing based on image mosaic

Li Jiqiang<sup>1,2</sup> Kong Linghua<sup>1,2</sup> Hua Haiyan<sup>1,2</sup>

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Digital Fujian Industrial Manufacturing IoT Lab, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the telecentric lens cannot adjust the field of view due to its own characteristics, and it is difficult to adapt to the problem of obtaining the complete image of the part at one time when measuring the linear bearing, the HALCON image processing software is used to measure the length of the linear bearing through the image stitching method. Considering the effect of feature point extraction and edge contour acquisition, using the combination of backlight and forward lighting, a linear bearing measurement system based on combined lighting is established; in image stitching, a method of using images in the approximate overlap area of the image is proposed. The method of pyramid hierarchical search performs feature point detection and matching to improve the efficiency of image stitching; finally, the edge location of the image is performed by the Canny operator and the least square fitting method, and the length measurement is completed. The experimental results show that: the combined light source can better take into account the effect of image surface feature points and edge contour extraction; the detection time of the proposed stitching method is about 0.2 s, which is 88% less than the traditional method; The visual measurement error based on image stitching is less than 0.1 mm. In terms of measurement repeatability, it is more stable than traditional methods, and the maximum standard deviation of measurement is 0.005. Therefore, the detection efficiency, accuracy and stability of the vision system are guaranteed, and it has a certain theoretical basis and practical value in industrial automation detection.

**Keywords:** linear bearing; HALCON; telecentric lens; combined light source; image mosaic; vision measurement

## 0 引言

直线轴承是一种广泛运用于工业机械的运动部件,轴

承长度与承载性能、导向精度密切相关,尺寸测量是检测产品质量是否达标的重要环节。目前,视觉检测广泛地被应用到现代工业的自动检测中,并成为近年来研究的热点<sup>[1]</sup>。

收稿日期:2021-12-26

<sup>\*</sup> 基金项目:国家自然科学基金(51905100)、福建省自然科学基金(2019J05111)项目资助

在视觉测量系统中,工业镜头的选用将直接影响整个测量系统的性能,为了更精确提取图像边缘,刘哲等<sup>[2]</sup>基于双远心镜头,并将其应用于叶片面积的测量,在不需进行畸变矫正的情况下,二维图像的测量精度和效率上可以得到明显提高。史耀群等<sup>[3]</sup>在搭建微小物体三维形貌测量系统时,利用远心镜头的低畸变优点,也能很好地解决了透视投影误差问题。远心镜头和普通镜头相比,具有正投影特性,可有效降低图像畸变及视角误差<sup>[4]</sup>,常作为视觉尺寸测量领域的首选镜头。但每个远心镜头有着固定的放大倍率和相应景深范围内的工作距离,并不能通过调节物距来增加视野大小<sup>[5]</sup>,这使得选用远心镜头测量时,必然考虑视野与待测件尺寸的适应性问题。由于直线轴承是系列化产品,常要满足多样化尺寸系列的直线轴承测量需求,并不是仅靠选用更高放大倍率的远心镜头就能解决的问题。在保证图像解析力的情况下,其要求相机的分辨率提高,这不仅导致视觉设备成本增加,甚至可能超过现有相机所能达到的分辨率,无法获取符合实际生产需求的测量精度。

在视觉测量中,尺寸超过 50 mm 的工件称之为大尺寸<sup>[6]</sup>,对此许多学者应用图像拼接实现全景拍摄。黄晓等<sup>[7]</sup>针对机器视觉测量齿轮尺寸的视野受限问题,提出了一种暴力匹配与特征点筛选的方法完成齿轮图像的完整图像拼接,但后续并未结合视觉测量,对其测量精度进行研究。杨宗浩<sup>[8]</sup>基于 Harris 算子特征点检测,实现螺纹图像拼接,应用于其尺寸检测,但由于背光的原因,特征点几乎只分布于零件边缘棱角处,并未对其光源系统进行相关改进,检测特征点数量较少。潘岫等<sup>[9]</sup>基于 Harris 算子实现木板材料图像拼接,并通过畸变补偿完成其长度的准确测量,但并未从图像拼接效率的角度进行相关分析。

因此,本文利用图像拼接技术实现直线轴承长度尺寸测量。首先,建立了基于组合照明方案的视觉测量系统,综合考虑图像拼接和视觉测量效果,使用背光和正向照明相结合的照明方案采集待拼接图像;利用 HALCON 图像处理软件,提出一种在图像近似重合区域内使用图像金字塔分层搜索的方法来进行特征点检测与匹配,以提高图像拼接的运行效率;最后通过 Canny 算子和最小二乘法拟合进行图像边缘定位,完成长度的准确测量。该方法解决了直线轴承在机器视觉测量中视野限制导致的测量困难问题,也提高了图像拼接的效率,在工业检测中应用图像拼接及测量方面具有一定的理论依据和实用价值。

## 1 视觉系统检测原理

### 1.1 实验检测装置构成

本测量系统主要包含工业相机、远心镜头、双光源及其它载物支撑部件等,其工作原理如图 1 所示。待测件使用钢制精密 V 型块支撑并至于玻璃载物台上,环形光源置于远心镜头和待测件之间,LED 平面背光源置于玻璃载物台的下方。相机为 StingrayF-504 工业相机,分辨率为  $2\ 542 \times 2\ 056$ ,镜头为

深圳灿锐光学 XF-5MDT02 $\times$ 150 远心镜头,光学畸变低于 0.025%。相机采集到图片后,通过用 1394 采集卡接口传输到计算机内存中。

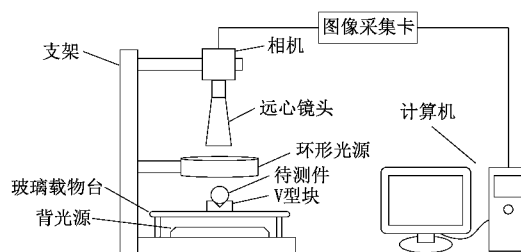


图 1 基于组合照明的测量系统工作原理示意图

实验的对象为某自润滑直线轴承,以此为样本进行拼接和测量的分析及评价。如图 2 所示为所选实验工件,公称长度为 57 mm,下偏差为  $-0.3$  mm,上偏差为 0 mm。

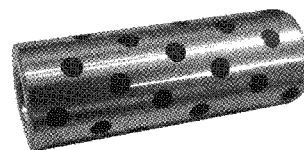


图 2 石墨润滑直线轴承

在机器视觉测量系统中,采集图像中包含的信息影响着测量的精度和稳定性。将各种照明方案进行对比,如图 3 所示,背光照明可抑制背景及噪声干扰,增强轮廓对比度,但表面特征被覆盖。而正向照明不易分割背景和轴承边缘,若增大光照强度,零件表面光反射增强,图像会出现过曝,也会掩盖表面信息。相比之下,组合照明方式既有利于获取轴承纹理细节,又有利于提取轴承的边缘轮廓。故测量系统采用组合照明的方案,使用 LED 背光源凸显图像的轮廓特征,且图像噪声干扰较小,同时搭配环形光源正向照明获得待测件表面纹理信息,用于图像拼接的特征点提取。

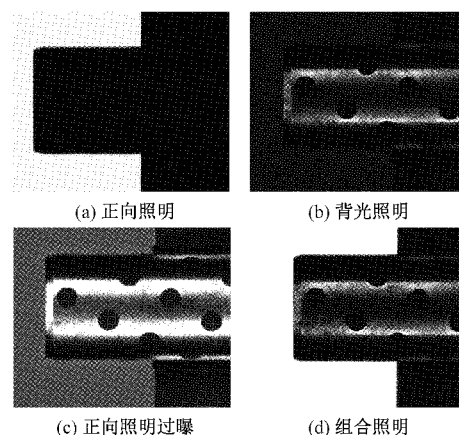


图 3 不同照明方案对比图

### 1.2 视觉检测流程

本文基于 Halcon 软件设计了一种基于图像拼接的直

线轴承长度检测方法,方法总体流程如图 4 所示。使用 CCD 相机,通过水平移动 V 型台采集两帧待拼接图像,然后进行特征点检测与匹配完成拼接,最后使用边缘检测和边缘拟合算法完成图像测量。

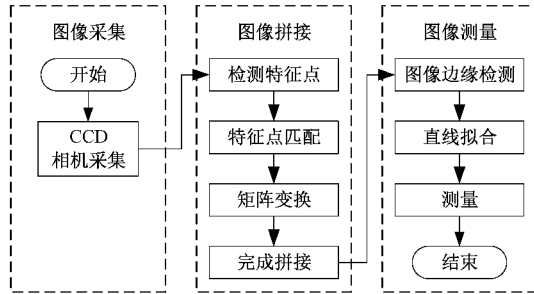


图 4 系统总体检测流程

## 2 图像拼接

### 2.1 基于远心镜头的图像近似重合区域计算方法

在图像拼接过程中,并非所有特征点都需要参与配准,如两幅待拼接图像的非重合区域往往是拼接图的无效信息区域,计算时若包含这类特征点信息,会导致大量非配准点代入后续匹配计算,这不仅增加配准计算量,还会造成不必要的干扰。故找出图像的近似重合区域对图像拼接效果意义重大。

根据零件的几何特征和视野大小关系,两个拍摄工位的零件位置及近似重合区域的简化示意图如图 5 所示。图中的参数大小均为图像像素距离,灰色矩形表示待测件,虚线框为相机视场区域,设其大小为  $W \times H$ ,零件本身总长  $L$ ,在图像中占据的长度分别为  $L_1, L_2$ ,蓝色矩形表示两次拍摄的重合区域,点  $a, b$  表示工件重叠区域上下角点对应在图像中的位置。

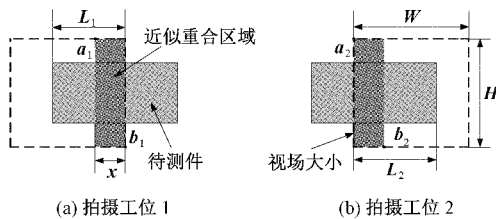


图 5 图像几何关系及近似重合区域示意图

由于远心镜头具有固定的光学放大倍率,且畸变小,大景深的特性,则图像距离与实际距离有以下近似关系:

$$\begin{cases} X = \frac{x \times \beta}{S_x} \\ Y = \frac{y \times \beta}{S_y} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $x, y$  分别表示图像横纵方向的像素距离,  $X, Y$  表示横纵方向的实际物理距离。  $\beta$  为远心镜头的光学放大倍率,  $S_x, S_y$  表示相机感光芯片的像元尺寸,这 3 个参数均为光学硬件本身已知的生产参数。故可根据零件本身设计

的公称长度,根据式(1)计算得到零件在图像中  $L$  值的近似大小。

设视场矩形左上角坐标为  $(0, 0)$ , 右下角坐标为  $(W-1, H-1)$  不考虑移动待测件的过程中造成轻微的角度误差,由图 4(a)中的几何关系可得两图中  $a$  点坐标分别为:

$$\begin{cases} x_{a1} = W - x = W - L_1 - L_2 + L \\ y_{a1} = 0 \\ x_{a2} = 0 \\ y_{a2} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$b$  点的坐标分别为:

$$\begin{cases} x_{b1} = W - 1 \\ y_{b1} = H - 1 \\ x_{b2} = x = L_1 + L_2 - L \\ y_{b2} = H - 1 \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $W, H$  由相机的分辨率确定,则最终还需要在图像中求解  $L_1$  和  $L_2$  的长度。对此,本文使用 Otsu 算法对图像进行阈值分割,然后提取分割区域的外接矩形,根据外接矩形的长度计算该参数的大小。在 HALCON 中使用这两个算法对应算子分别为 `binary_threshold()`、`smallest_rectangle1()`,产生的图像结果如图 6 所示。

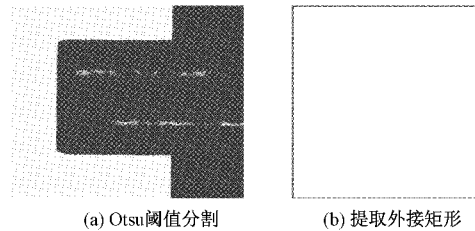


图 6 图像阈值分割与区域提取

经过前面的近似区域计算方法得到近似重合区域坐标后,使用 `reduce_domain()` 算子剔除非有效特征区域并保留近似重合区域图像的结果如图 7 所示。

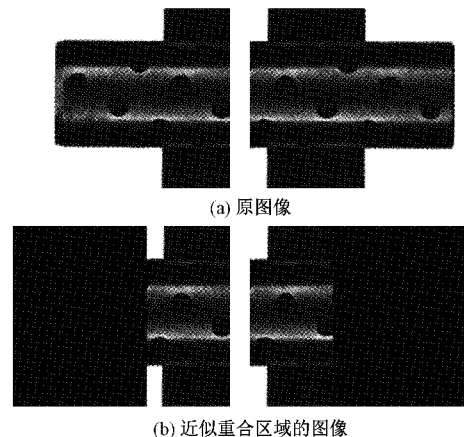


图 7 待拼接图像原图和近似重合区域的图像

## 2.2 特征点检测与匹配

提取出近似重合区域的图像后,首先需要对其图像进行特征点提取,本文使用 Harris 算子进行检测,该算子计算稳定,具有灰度及旋转不变性等优点<sup>[10]</sup>,广泛应于机器视觉与图像处理领域。为了计算出图像的特征点,首先对其自相关矩阵  $M$  进行定义:

$$M = \sum_{x,y} w(x,y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中:  $I_x$  为  $x$  方向的差分,  $I_y$  为  $y$  方向的差分,  $w(x,y)$  为高斯函数,在计算中为了避免特征值的求解,提高设计 Harris 算子的检测效率,构建其响应函数:

$$R = \det M - k(\text{trace} M)^2 \quad (5)$$

式中:  $\det M$  为矩阵的行列式,  $\text{trace} M$  为矩阵  $M$  的迹,  $k$  是经验参数。

在 HALCON 中使用 `points_harris()` 算子来检测重合区域图像中的特征点,如图 8 所示为近似区域图像的特点检测情况,为了方便观察,在 HALCON 生成彩色 XLD 的点显示检测到的特征点。从图中可以看出,使用组合光源较好地解决了背光时由于待测件没有表面信息,检测特征点非常困难的问题,验证了方案的可行性。

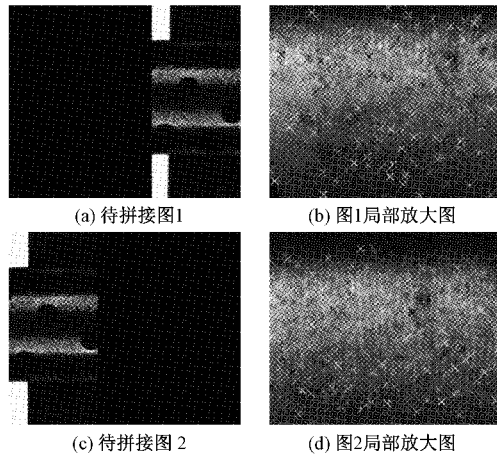


图 8 近似重合区域图像的特征点检测

然后根据特征匹配确定两幅图像的对应关系。在图像配准拼接算法中 NCC(归一化相关)算法能解决光照敏感问题,有效避免图像的灰度差异,且抗干扰能力强<sup>[11-12]</sup>,本文选取 NCC 方法进行匹配,NCC 匹配算法的相似性度量计算为:

$$NCC = \frac{\sum_{x,y \in W} [I_1(x,y) - \bar{I}_1] \cdot [I_2(x,y) - \bar{I}_2]}{\sqrt{\sum_{x,y \in W} [I_1(x,y) - \bar{I}_1]^2} \sqrt{\sum_{x,y \in W} [I_2(x,y) - \bar{I}_2]^2}} \quad (6)$$

其中,  $I_1(x,y)$  和  $I_2(x,y)$  为待匹配的两个模板中的当前像素,  $W$  表示模板匹配的大小,  $\bar{I}_1$  和  $\bar{I}_2$  分别表示模板 1 和模板 2 各自的平均值。用归一化算法进行匹配时,可能会

存在很多误配点,结合 RANSAC 算法来剔除误配点,来提高检测精准度。通过调用 `proj_match_points_ransac()` 算子和 `gen_projective_mosaic()` 算子,基于近似区域的图像匹配及拼接结果如图 9、10 所示。

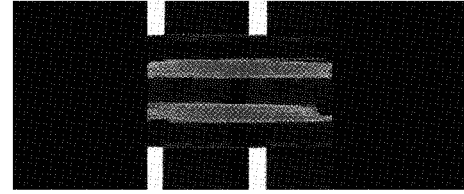


图 9 特征点匹配

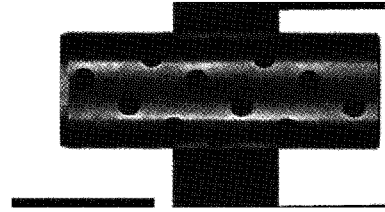


图 10 图像拼接结果

## 2.3 基于近似重合区域的高斯金字塔逐层搜索拼接方法

高斯金字塔是通过对图像进行滤波、抽样或插值,得到一系列缩小或放大的图像<sup>[13]</sup>,然后将这些图像组合在一起,构造出图像金字塔。使用高斯金字塔分层后,图像的每一级与前一级的采样过程为:

$$G_N(x,y) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m,n) G_{N-1}(2x+m, 2y+n) \quad (7)$$

式中:  $G_N(x,y)$  为第  $N$  层的高斯金字塔图像。  $w(m,n) = h(m)h(n)$  是有低通特性的窗口函数,  $h$  为高斯密度分布函数。在图像拼接算法中引入高斯金字塔模型,在不同的高斯尺度空间内进行 Harris 算子检测,避免在全图范围内进行算法搜索,可在一定程度上提高了检测速度。

故为了进一步提高图像拼接算法效率,基于 HALCON 环境,设计了一种高斯金字塔逐层搜索策略进行图像拼接。首先,使用算子 `gen_gauss_pyramid()` 创建近似区域图像的高斯金字塔,然后每层都通过 `points_harris()` 算子来提取目标图像的特征点,其中,在创建的最高金字塔层中先使用算子 `proj_match_points_ransac()` 进行预匹配,得到预匹配矩阵  $H$ ,然后进入到下一金字塔层中,基于上层的预匹配矩阵,通过 `proj_match_points_ransac_guided()` 算子设置距离阈值  $k$ ,来限制匹配搜索区域,即仅考虑通过矩阵  $H$  在图像 1 的中点的变换到的对应图像 2 中的点周围的  $k$  距离内进行搜索匹配,得到该层匹配矩阵,然后再进行到金字塔下一层,重复该方法,直至到金字塔底层为止。该方法的处理步骤流程如图 11 所示。

基于该方法,为了确定合适的金字塔层数,通过实验采集了 50 组不同的待拼接测图像,测试不同高斯金字塔层数

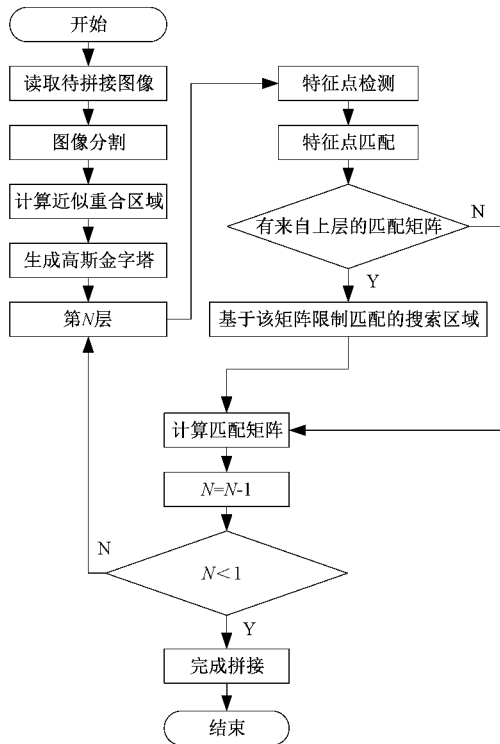


图 11 基于高斯金字塔的分层搜索方法流程图

的平均拼接时间。在 50 次实验中,只要出现一次匹配失败即记为图像拼接失败,结果比较如图 12 所示。从图 12 可以看出,随着金字塔层数  $N$  的增加,拼接时间逐渐下降,检测效率越高,当金字塔层数为 6 时,会出现匹配失败的情况,这是因为图像金字塔层数越高,包含的信息和细节程度越少,导致匹配的信息越少,从而图像拼接失败,故金字塔层数最高设置为第 5 层。从图中还可看出,从第 2 层开始,图像拼接时间的下降变得缓慢,为了确保图像匹配的稳定性,同时保证检测效率,本文取图像金字塔层数为 4。

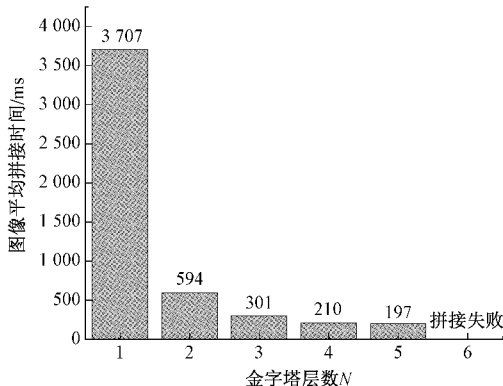


图 12 不同金字塔层数的图像平均拼接时间

取  $N=4$ ,记方法 A:基于 Harris 特征点检测的传统拼接方法;方法 B:基于近似区域的方法;方法 C:基于近似区域的高斯金字塔分层搜索方法。同样,将 50 组样本平均值作为实验结果,3 种方法的特征点与匹配情况和拼接时间

结果如表 1 和图 13 所示。其中,特征点数量代表了特征提取的信息量,而相应的匹配点与匹配点占越高表明两图的相关度越高,有效信息量的利用率越大。从表 1 可以看出,当金字塔层数设置为 4 时,方法 A 虽然检测特征点数量最多,但是匹配点占比只有 33.0%,表明原始图像中存在大量无效特征点,导致匹配效率过低。方法 B 将其检测范围缩小至近似重合区域内,将匹配点占比提高到 67.4%。方法 C 与方法 B 相比,特征点检测不变,匹配点占比下降较小,但结合图 13 可知,拼接时间缩短了 68%,与方法 A 相比,拼接时间缩短了 88%,可以显著提高图像拼接的运行效率。

表 1 三种方法的特征点检测与匹配情况

方法	特征点数量		匹配对数量	匹配点占比
	左图	右图		
A	3 839	3 474	1 207	33.0%
B	1 705	1 774	1 173	67.4%
C	1 705	1 774	1 125	64.7%

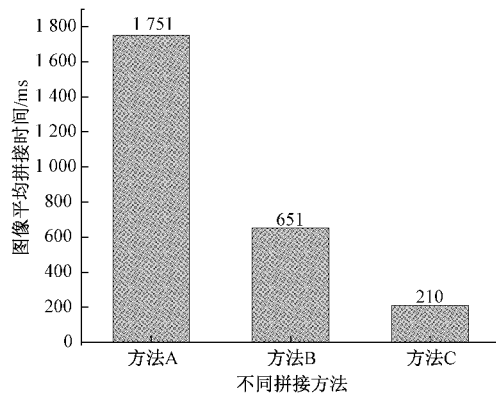


图 13 不同拼接方法的图像平均拼接时间

### 3 尺寸测量

#### 3.1 边缘提取

Canny 边缘检测是目前大家公认的检测效果最好的检测算法<sup>[14]</sup>,该算法分为以下几个步骤:

首先用高斯滤波器对图像进行平滑,高斯函数式为:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (8)$$

然后计算梯度大小  $\varphi(x, y)$  和方向  $\theta_\varphi$ :

$$\begin{cases} \varphi(x, y) = \sqrt{\varphi_x^2 + \varphi_y^2} \\ \theta_\varphi = \tan^{-1} \frac{\varphi_y(x, y)}{\varphi_x(x, y)} \end{cases} \quad (9)$$

为了能尽可能找到边缘的中心像素位置,使用非极大值抑制,用不同领域像素点进行比较,如果出现非极大值点,就把中心像素点的梯度值归零,最后确定出梯度的局部最大值点。

最后使用高低双阈值剔除虚假边缘和弱边缘,在低阈值得到的轮廓领域中搜索处于高阈值轮廓的点,若存在,将该边缘与高阈值轮廓进行连通。这样在一定程度上消除了虚假边缘,也保留了强边缘。在HALCON中通过算子edges\_sub\_pix(),使用Canny边缘检测的结果如图14所示。

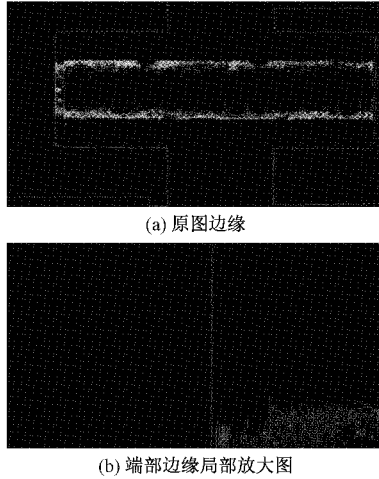


图14 直线轴承边缘检测结果图

### 3.2 边缘拟合

图像中的边缘是由若干个相互独立的轮廓点组成,由于零件本身加工制造精度和各种硬件环境造成的客观影响,会导致得到的直线轴承两端的图像边缘并不是严格意义上的标准直线,本文采用最小二乘法进行直线拟合。最小二乘法是通过最小误差的平方和找到一组数据的最佳估计<sup>[15]</sup>,设直线方程为 $y = ax + b$ 误差函数为:

$$e = \sum ((y_i - ax_i - b)^2) \quad (10)$$

分别对 $a$ 和 $b$ 求偏导,并整理后得到方程组:

$$a \times \sum x_i^2 + b \times \sum x_i = \sum x_i \times y_i \quad (11)$$

$$a \times \sum x_i + b = \sum y_i \quad (12)$$

设 $A = \sum x_i^2, B = \sum x_i, C = \sum x_i \times y_i, D = \sum y_i$ ,解出直线方程参数 $a, b$ 得:

$$a = \frac{Cn - BD}{An - BB} \quad (13)$$

$$b = \frac{AD - CB}{An - BB} \quad (14)$$

在HALCON中使用算子select\_contours\_xld()利用XLD特性筛选出端部边缘,然后使用算子fit\_line\_contour\_xld()实现上述标准的最小二乘法拟合,为了方便观察,图15所示为黄色直线为轴承左端边缘拟合的直线局部放大图。最后使用算子distance\_cc\_min()计算轮廓线之间的最短距离,并通过视觉标定即可得到直线轴承的测量长度。

## 4 测量实验结果分析

为了验证测量系统的可靠性,选取了10个直线轴承试

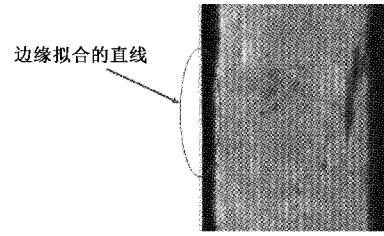


图15 边缘直线拟合局部放大图

件进行实验。对每个试件,利用本文设计的基于组合照明的测量系统,进行图像采集、拼接与轴承长度测量,最后根据图像标定,得到视觉测量值。将精度为0.02 mm的游标卡尺测量值作为实际值,然后将视觉测量结果保留两位小数与实际值进行对比,实验结果如表2、3所示,表中误差值为两种仪器测量结果的绝对差值大小,误差越小,表明视觉检测方法精度越高。通过对比表2和3的误差大小可知,传统拼接方法测量与本文方法测量测得直线轴承长度的测量误差相差较小,实验所有轴承样本测量结果均可以控制在0.1 mm之内,符合测量仪示值误差小于等于产品公差1/3的原则,验证了本文视觉拼接测量方法的准确性。

表2 本文方法测量值与实际值的比较 mm

样本编号	实际值	视觉测量值	误差
1	56.89	56.90	0.01
2	56.83	56.89	0.06
3	56.82	56.88	0.06
4	56.83	56.86	0.03
5	56.87	56.90	0.03
6	56.83	56.90	0.07
7	56.84	56.90	0.06
8	56.85	56.88	0.03
9	56.86	56.89	0.03
10	56.84	56.86	0.02

表3 传统拼接方法测量值与实际值比较 mm

样本编号	实际值	视觉测量值	误差
1	56.89	56.86	0.03
2	56.83	56.81	0.02
3	56.82	56.88	0.06
4	56.83	56.80	0.03
5	56.87	56.84	0.03
6	56.83	56.82	0.01
7	56.84	56.86	0.02
8	56.85	56.82	0.03
9	56.86	56.87	0.01
10	56.84	56.81	0.03

为了分析机器视觉测量系统的稳定性,验证重复测量精度,随机抽取3个试件进行重复性测量实验。通过卡尺

测量出其轴承长度分别为 56.83 mm、56.84 mm、56.84 mm，然后分别对其重复拍摄 10 组图像进行视觉拼接与测量，重复测量误差如表 4、5 所示，通过对比可知，本文方法 10 次重复性测量波动可以控制在 0.01 mm，重复测量最大标准差为 0.005，而传统拼接方法的测量波动最大可达 0.04 mm，重复测量最大标准差为 0.013，相比较而言，本文方法测量更为稳定。

表 4 本文方法重复性测量数据 mm

序号	零件 1	零件 2	零件 3
1	56.86	56.90	56.86
2	56.87	56.90	56.85
3	56.87	56.90	56.85
4	56.87	56.90	56.85
5	56.86	56.90	56.85
6	56.87	56.90	56.85
7	56.87	56.90	56.85
8	56.86	56.90	56.85
9	56.87	56.90	56.85
10	56.87	56.90	56.85
最大误差	0.04	0.06	0.02
最小误差	0.03	0.06	0.01
标准差	0.005	0	0.003

表 5 传统拼接方法重复性测量数据 mm

序号	零件 1	零件 2	零件 3
1	56.81	56.86	56.81
2	56.79	56.84	56.80
3	56.79	56.86	56.82
4	56.79	56.85	56.80
5	56.80	56.84	56.80
6	56.77	56.84	56.80
7	56.81	56.85	56.81
8	56.78	56.81	56.79
9	56.80	56.84	56.80
10	56.80	56.84	56.79
最大误差	0.06	0.02	0.05
最小误差	0.02	0.00	0.02
标准差	0.013	0.008	0.011

## 5 结 论

为了解决视觉测量中使用远心镜头因自身特性存在视野无法调节而导致的视场受限问题，本文提出了一种基于图像拼接的直线轴承长度测量方法。首先利用组合光源兼顾特征点提起和轮廓提取效果。然后在传统 Harris 算法基础上进行改进，将原图区域缩小至近似重合区域，降低无效特征信息的干扰，再通过引入高斯金字塔模型进行分层搜索完成图像的特征检测与匹配，使得图像拼接的效率显著提高。最后使用边缘检测和最小二乘法拟合的实验结果

验证了测量的精度与稳定性，本文方法相比传统方法的测量结果能够保证检测精度，且重复性测量更稳定，对工业生产中应用视觉技术测量尺寸方面具有一定的理论依据和应用价值。本文所研究内容是针对两帧图像进行拼接与测量，且为平移拍摄，针对需要拍摄多帧图像的情况，是系统进一步改进和后续的研究方向。

## 参 考 文 献

- [1] XIANG R, HE W H, ZHANG X, et al. Size measurement based on a two-camera machine vision system for the bayonets of automobile brake pads[J]. Measurement, 2018, 122: 106-116.
- [2] 刘哲, 张善文, 黄文准, 等. 基于双远心镜头的高精度叶面积测量方法研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(4): 138-145.
- [3] 史耀群, 邓林嘉, 王朝旭, 等. 一种基于结构光条纹投影的微小物体测量系统[J]. 应用光学, 2019, 40(6): 1120-1125.
- [4] YU L, BI Q Z, JI Y L, et al. Vision based in-process inspection for countersink in automated drilling and riveting[J]. Precision Engineering, 2019, 58: 35-46.
- [5] 王宁. 齿轮视觉测量系统与齿廓测量技术研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2017.
- [6] 唐寒冰, 巢渊, 刘文汇, 等. 基于机器视觉的大尺寸零件测量方法研究综述[J]. 电子测量技术, 2021, 44(17): 33-40.
- [7] 黄晓, 杨炯, 张爱梅. 基于机器视觉的齿轮图像拼接方法研究[J]. 机械设计与制, 2021(2): 257-261.
- [8] 杨宗浩. 基于图像拼接的螺纹检测关键技术研究[D]. 汉中: 陕西理工大学, 2020.
- [9] 潘岫, 王克奇, 侯弘毅, 等. 应用 Harris 角点检测进行图像拼接的超长板材尺寸测量方法[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(4): 54-57.
- [10] 全永志, 高树辉. 基于 Harris 与 LCP 的同图复制粘贴篡改检测[J]. 激光杂志, 2020, 41(7): 32-36.
- [11] 王旭明, 黄伟, 张炳先, 等. 帧间角点匹配的积分时间实时测算方法[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(5): 185-193.
- [12] 曾国叙, 吴德伟, 代传金. NCC 特征匹配的类脑视觉识别记忆算法[J]. 信号处理, 2021, 37(5): 780-787.
- [13] 吕宝岭, 李雷星, 李锦, 等. 基于高斯金字塔与双边滤波的隐藏目标检测[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(18): 7649-7656.
- [14] 沈卫东, 李文韬, 刘娟, 等. 基于改进 Canny 边缘检测的指针式仪表自动读数算法研究[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(2): 60-66.
- [15] 贺锋, 钟宏民, 胡友旺. 基于图像处理的焊缝跟踪检测方法研究[J]. 应用激光, 2020, 40(5): 847-854.

## 作者简介

李纪强, 硕士研究生, 主要研究方向为机器视觉与图像处理。

E-mail: 1833151551@qq.com

孔令华(通信作者), 教授, 主要研究方向为光电检测。

E-mail: 15392030898@163.com