

DOI: 10.13382/j.jemi.B2205246

# 基于轮廓角点检测的螺纹关键参数视觉测量方法\*

江涛 李媛 贺晨龙

(陕西科技大学电气与控制工程学院 西安 710021)

**摘要:**为解决现有螺纹关键参数视觉测量方法中易存在螺纹角点误检和漏检导致测量精度降低的问题,本文提出一种基于轮廓角点检测的视觉测量方法。首先,使用双边滤波和迭代阈值法改进 Canny 算子,提高边缘检测的精度;其次,使用双阈值 DP 算法和 Hough 变换对轮廓进行分段拟合,在保护边缘的前提下平滑轮廓,并在此基础上使用 CTAR 算法提取螺纹牙顶、牙底的角点;最后,根据角点的位置信息实现螺纹大径、小径的测量。实验结果表明,相对于现有使用 Canny 算子和 Harris 角点检测的视觉测量方法,该方法能准确可靠地检测螺纹的边缘和角点,实现螺纹参数的高精度测量,螺纹大径、小径的平均测量精度分别达到 0.003 3 mm 和 0.002 6 mm。

**关键词:** 螺纹测量; 机器视觉; Canny 算子; 分段拟合; CTAR 算法; 角点检测

**中图分类号:** TG85; TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6040

## Visual measurement method of thread key parameters based on contour corner detection

Jiang Tao Li Yuan He Chenlong

(College of Electrical and Control Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of low accuracy caused by false and missed detection in the corner detection methods of current visual measurement of thread key parameters, we proposed a new method based on contour corner detection. Firstly, bilateral filtering and iterative threshold method are used to improve the Canny operator to increase the accuracy of edge detection. Secondly, the double-threshold DP algorithm and Hough transform were used for piecewise fitting; the edges are protected and Contour smoothness is kept. Furthermore, the corner points of the tip and bottom of threads were extracted with CTAR algorithm. Finally, thread major diameter and minor diameter is measured according to the position information of corner points. Experimental results show that, compared with the traditional Canny operator and Harris corner detection method, our new method can accurately and reliably detect the thread edges and corners. Therefore, the high precision measurement of screw thread parameters is realized. The average measurement accuracy of major and minor diameters of screw thread is 0.003 3 mm and 0.002 6 mm, respectively.

**Keywords:** thread measurement; machine vision; Canny operator; subsection fitting; CTAR algorithm; corner detection

## 0 引言

螺纹作为工业上最为常用的连接方式之一,在机械制造、航空航天、工业生产等领域得到了广泛应用<sup>[1]</sup>。先进的螺纹零件是高端机械制造的基础,系统所用螺纹零件质量的好坏将直接影响其是否能够安全正常的运行。因此,有必要在出厂使用前对螺纹关键参数进行严格检

测,从而有效地保证螺纹零件的加工质量,降低产品不合格率<sup>[2]</sup>。采用人工操作的方式测量螺纹参数,存在精度低、费时费力、易损伤工件表面等问题。随着计算机图像处理技术和传感器技术的快速发展,基于机器视觉的精密测量技术凭借其测量速度快、非接触、成本低等特点逐渐成为未来工业零件测量的发展方向<sup>[3-5]</sup>。

近年来,诸多学者对基于机器视觉的螺纹检测开展了广泛研究。文献[6]使用 Canny 算子和亚像素角点函

收稿日期: 2022-03-08 Received Date: 2022-03-08

\* 基金项目: 国家自然科学基金(618722217)项目资助

数提取螺纹轮廓和角点,通过支持向量机(support vector machine, SVM)对角点与噪声点进行分类,提高螺纹测量的抗干扰能力;文献[7]对运动的螺纹零件使用归一化匹配算法识别和追踪,在感兴趣区域(region of interest, ROI)内通过 Harris 算法提取角点,并利用中径线筛选伪角点;文献[8]使用 Hough 变换校正倾斜的螺纹图像,通过搜索轮廓最值的方式检测角点,实现了大径、小径的测量;文献[9]提出了一种智能检测方法对小螺距螺纹参数进行测量。使用 Canny 算子、亚像素轮廓得到精度较高的边缘,并通过扫描的方式找到螺纹角点。螺纹视觉测量需要对螺纹牙底、牙顶的角点进行检测,并根据检测到的角点测量螺纹大径、小径。但是,现有方法通过基于灰度的角点检测方法在整幅图像中检测角点,或者通过逐行扫描轮廓最值的方式检测角点。检测数据量大,且当图像和轮廓存在噪声、灰尘和毛刺等因素干扰时,角点的定位精度和准确率会受到影响,产生伪角点或漏检,从而影响螺纹大径、小径的测量精度。

针对这一问题,本文提出一种基于轮廓角点检测的螺纹关键参数视觉测量方法,通过使用双边滤波和迭代阈值法对 Canny 算子进行改进,得到螺纹精确的轮廓信息。另外为解决轮廓的局部细节和噪声易影响角点检测的问题,使用分段拟合的方法平滑轮廓,并在此基础上通过轮廓点的位置信息检测角点。实验表明,该方法能够有效提高边缘、角点的检测精度和准确率,实现螺纹参数的精确测量。

### 1 螺纹视觉测量系统

如图 1 所示,螺纹视觉测量系统分为硬件和软件部分。光源、工业相机、工业镜头、固定装置及计算机均属于硬件部分,软件部分则由图像处理、参数测量和显示界面组成。

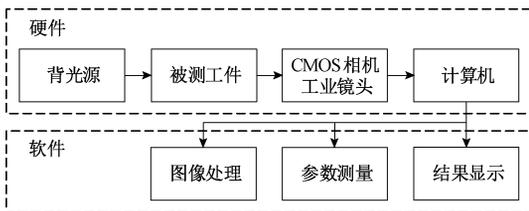


图 1 螺纹视觉测量系统组成

Fig. 1 Composition of thread visual measurement system

为了满足螺纹视觉测量的要求,采用远心平行光源对被测工件进行背光照,选择某品牌 CMOS 工业相机分辨率为 5 472×3 648,芯片尺寸为 1",镜头选择双远心镜头,最大支持 1.1"靶面相机,放大倍率为 0.5,畸变率为 0.006%。

螺纹测量步骤:1) 将螺纹工件固定在夹具上,触发相机拍照,通过 GigE 接口将图像发送到计算机;2) 对图像进行处理,得到边缘、角点等信息,通过拟合的方法计算螺纹参数;3) 进行相机标定确定映射系数,转换螺纹参数的像素尺寸并显示最终的测量结果。

### 2 改进的 Canny 算子

在基于轮廓角点检测的螺纹关键参数视觉测量中,首先要对螺纹图像的边缘进行检测,螺纹图像的边缘信息作为最基本的特征,其检测的准确性将直接影响角点检测的准确和测量结果的精度,因此精确地检测螺纹图像的边缘尤为重要。现有的图像边缘检测方法有 LOG 算子、Canny 算子、Laplace 算子和 Sobel 算子等,其中 Canny 算子因为算法速度快以及具有较高的信噪比被广泛应用<sup>[10]</sup>。但是 Canny 算子使用的高斯滤波函数是一种各向同性的滤波函数,易在去噪的同时造成边缘细节模糊化,丢失边缘信息<sup>[11-12]</sup>。而且 Canny 算子的阈值依赖于人工经验,阈值设置过大过小都会导致边缘检测结果的不准确,阈值设置过高会造成边缘信息丢失,设置过低则会产生伪边缘<sup>[13]</sup>。因此本文对 Canny 算子进行改进,提高边缘检测的准确性。改进的算法流程如图 2 所示。

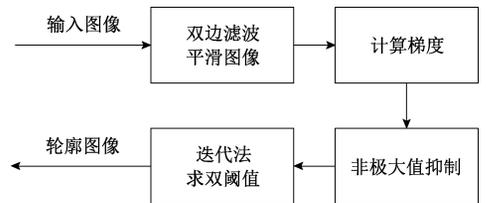


图 2 改进的 Canny 算子流程

Fig. 2 Improved Canny operator flow chart

#### 2.1 双边滤波去噪

本文使用双边滤波取代高斯滤波平滑图像,能取得更好的去噪效果。双边滤波以非线性的方式组合图像空间邻近度和灰度相似度,有效地克服了高斯滤波函数只考虑图像空间信息的缺点,在保留其优秀去噪能力的同时,也能较好的保护图像的边缘信息<sup>[14-15]</sup>。双边滤波的模型如式(1)所示:

$$f(x, y) = \frac{\sum_{(m, n) \in V_{r, x, y}} w_s(m, n) w_g(m, n) g(m, n)}{\sum_{(m, n) \in V_{r, x, y}} w_s(m, n) w_g(m, n)} \quad (1)$$

$$w_s(m, n) = \exp\left(-\frac{|x - m|^2 + |y - n|^2}{2\sigma_s^2}\right) \quad (2)$$

$$w_g(m, n) = \exp\left(-\frac{|g(x, y) - g(m, n)|^2}{2\sigma_g^2}\right) \quad (3)$$

式中:  $g(m, n)$  为噪声图像,  $f(x, y)$  为滤波后的图像,  $V_{r,x,y}$  为以  $(x, y)$  为中心的  $(2r + 1) \times (2r + 1)$  的正方形区域内所有像素点的集合,  $r$  为滤波窗口半径,  $w_s(m, n)$ 、 $w_g(m, n)$  分别为空间权重和灰度相似度权重,  $\sigma_s$  为空间标准差,  $\sigma_g$  为灰度标准差。图 3 为高斯滤波和双边滤波对噪声图像的滤波对比, 可以看出高斯滤波对椒盐噪声的滤除效果不理想, 并且螺纹拐角处被模糊, 而双边滤波在滤除大量噪声的同时图像的细节特征也比较清晰。

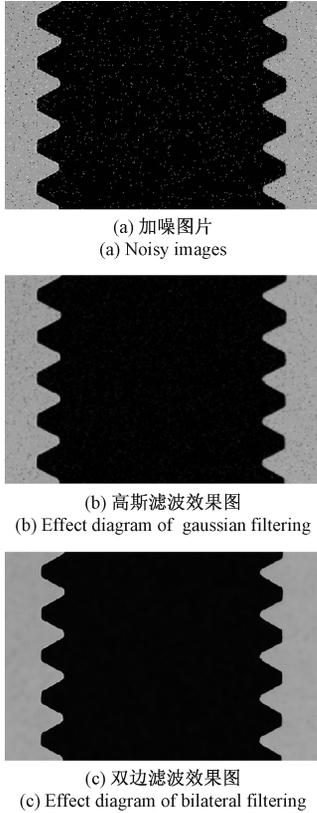


图 3 滤波效果对比  
Fig. 3 Comparison of filtering effects

### 2.2 迭代法求高低阈值

工件的照明方式为背光照射, 图像前景和背景区域差异明显, 利用迭代法可以得到较好的分割效果, 因此采取迭代法自适应的确定 Canny 算子的最佳高低阈值。将图像的平均灰度值设置为初始阈值  $T$ , 灰度值  $\leq T$  的区域为  $R_1$ , 灰度值  $> T$  的区域为  $R_2$ , 计算  $R_1$  和  $R_2$  的平均灰度值  $\mu_1$  和  $\mu_2$ , 并根据  $\mu_1$ 、 $\mu_2$  求出新的阈值  $T' = (\mu_1 + \mu_2) / 2$ , 重复上述过程直到  $T'$  小于预设值  $T$ 。此时,  $T'$  和  $0.4 T'$  即为 Canny 算子的最佳高低阈值  $T_1$  和  $T_2$ 。图 4 给出了传统 Canny 算子与改进 Canny 算子的边缘检测效果对比图, 可以发现, 传统 Canny 算子检测到的边缘较粗, 局部细节被平滑且存在边缘丢失的情况, 而改进的

Canny 算子检测到的边缘的定位精度高, 连续性好, 轮廓细节信息也较明显。

为了对改进 Canny 算子的边缘检测效果进行客观评价, 本文采用评价指标峰值信噪比 (peak signal to noise ratio, PSNR)、均方误差 (mean square error, MSE) 如图 4 所示的边缘检测效果图进行判断。PSNR 用来判断滤波算法去除噪声的能力, 值越大, 去噪能力越强, MSE 表示原图像与检测后图像之间的相似程度, MSE 越小越相似。由表 1 数据可知, 改进 Canny 算子的 PSNR 高于 Canny 算子, MSE 低于 Canny 算子, 说明改进 Canny 算子的图像滤波效果较好, 与原图更相似, 检测到的边缘更接近真实边缘。改进 Canny 算子的边缘检测效果优于传统 Canny 算子。

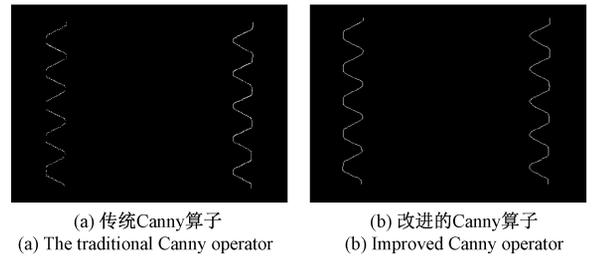


图 4 边缘检测效果对比  
Fig. 4 Comparison of edge detection effects

表 1 边缘检测效果评价

Table 1 Evaluation of edge detection effects		
评价指标	传统 Canny 算子	改进 Canny 算子
PSNR	6.968 7	6.983 7
MSE	$1.306 8 \times 10^4$	$1.302 3 \times 10^4$

### 3 基于螺纹轮廓的角点检测

角点是指二维图像上亮度发生剧烈变化的点, 或是图像边缘曲线上的曲率最大点, 角点可以在保留图像的特征信息的同时有效减少数据量<sup>[16]</sup>。现有的角点检测方法主要分为基于灰度的角点检测方法和基于轮廓曲线的角点检测方法, 相对于基于灰度的角点检测方法, 基于轮廓的角点检测方法检测数据量小、漏检和误检率较低, 但该方法易受曲线局部变化和量化噪声的影响, 而且使用高斯滤波函数平滑轮廓时, 会对边缘点和噪声点不加区别的滤波, 影响螺纹角点检测的准确率。因此本文提出一种适用于螺纹轮廓的角点检测方法, 该方法使用双阈值 DP (douglas-peucker) 算法将螺纹轮廓按照其几何特征分割为直线和圆弧, 然后使用 Hough 变换对轮廓段进行拟合得到光滑的轮廓, 去除量化噪声和局部细节, 最后使用 CTAR (chord to triangular arms ratio) 算法<sup>[17]</sup> 估计曲率检测角点。算法流程如图 5 所示。

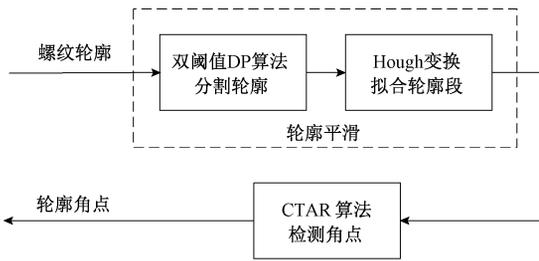
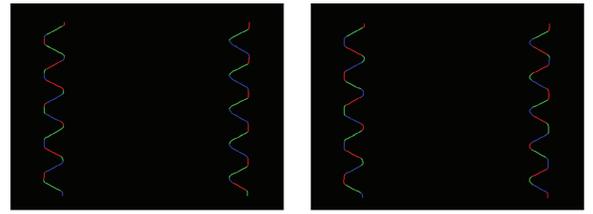


图5 角点检测算法流程

Fig. 5 Flow chart of corner detection algorithm



(a) DP算法 (a) DP algorithm (b) 改进的DP算法 (b) Improved DP algorithm

图6 轮廓分段

Fig. 6 Contour segmentation

### 3.1 轮廓平滑

首先使用 DP 算法分割螺纹轮廓。DP 算法是经典的曲线降采样算法,该算法采用了递归思想,原理简单,通过调整预设值  $D$  就可逼近任意边界轮廓,效率相对较高<sup>[18]</sup>。但是它通过折线段来逼近轮廓,弯曲部分的轮廓会被过度分割。因此,本文对 DP 算法进行改进:

1) 使用 DP 算法在指定阈值  $D_1$  下得到轮廓的初始多边形近似;

2) 用圆弧对初始多边形中的相邻分割线段进行拟合。若圆弧到轮廓的最大距离  $d'_{max}$  比两条逼近线段到轮廓的最大距离  $d_{max}$  小,则将逼近线段替换为圆弧,否则不变。重复至所有线段处理完毕;

3) 对处理完成的轮廓中仍由线段近似的部分轮廓再次使用指定阈值为  $D_2 (D_2 < D_1)$  的 DP 算法进行多边形近似分割;

4) 第3)步中新创建的逼近线段在满足条件的情况下用圆弧进行拟合,重复此过程直到所有线段处理完毕;

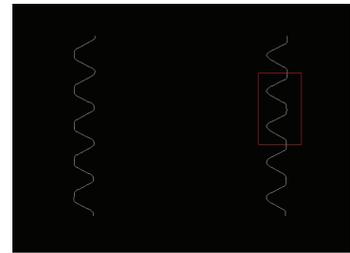
5) 经过上述处理后,得到了轮廓的初始分段点集  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n\}$ 。对于任意的分段点  $p_i$ ,其前后近邻点分别为  $p_{i-1}, p_{i+1}$ ,计算  $p_i$  到直线  $p_{i-1}p_{i+1}$  的距离  $d$ ,若  $d < D_2$ ,则删除  $p_i$  点,否则保留  $p_i$  点。

轮廓分割结果如图6所示,该方法由于  $D_1 > D_2$ ,因此在以  $D_1$  为预设值的 DP 算法中生成的逼近线段数量较少,对逼近线段进行圆弧拟合的次数较少,可以更有效地找到用长弧近似的部分轮廓;当 DP 算法的预设值设为  $D_2$  时,可以找到轮廓中用短弧近似的部分,并细化长弧的端点,比仅使用一个阈值  $D$  的分割方法效率更高,更精确。

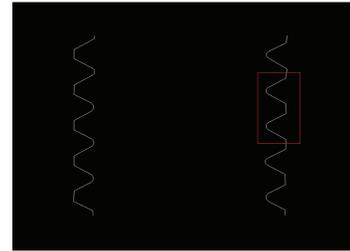
将轮廓分割为直线和圆弧后,使用 Hough 变换进行拟合,能够在噪声和边缘断裂、变形的情况下均取得较好的结果。如图7所示,使用分段拟合的方法在平滑轮廓的同时不会模糊轮廓的细节特征。

### 3.2 CTAR 算法检测角点

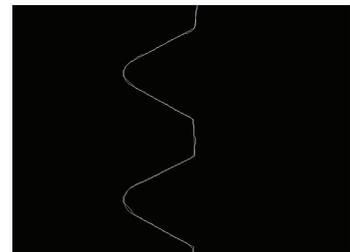
CTAR 算法由 Teng 等<sup>[17]</sup>在 2015 年提出,针对 CPDA (chord to point distance accumulation) 算法的局限性,提出



(a) 原轮廓 (a) The original contour



(b) 拟合轮廓 (b) Contour fitting



(c) 局部放大对比 (c) Local amplification

图7 拟合后的轮廓

Fig. 7 Contour after fitting

用简单的三角形边长原理代替点弦距离累积检测角点,不仅有效提高了算法的检测性能,而且降低了计算量,是目前性能最优的基于轮廓的角点检测算法<sup>[19-20]</sup>。CTAR 角点检测算法使用简单三角形理论来估计曲率,如图8所示,三角形  $P_{k-t}P_kP_{k+t}$  的弦长  $\overline{P_{k-t}P_{k+t}}$  与两边  $\overline{P_{k-t}P_k}$ 、 $\overline{P_kP_{k+t}}$  之和的比值必小于 1,并且该比值将随着  $\angle P_k$  锐度的减小而增加,若  $P_{k-t}$ 、 $P_k$  和  $P_{k+t}$  三点共线,则该比值

为 1。曲线上点  $P_k$  的角点响应函数用如下公式表示：

$$R(P_k) = \frac{d_{k,1}}{d_{k,2} + d_{k,3}} \quad (4)$$

其中：

$$d_{k,1} = \sqrt{(x_{p_{k-1}} - x_{p_{k+1}})^2 + (y_{p_{k-1}} - y_{p_{k+1}})^2} \quad (5)$$

$$d_{k,2} = \sqrt{(x_{p_k} - x_{p_{k-1}})^2 + (y_{p_k} - y_{p_{k-1}})^2} \quad (6)$$

$$d_{k,3} = \sqrt{(x_{p_k} - x_{p_{k+1}})^2 + (y_{p_k} - y_{p_{k+1}})^2} \quad (7)$$

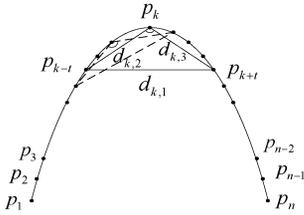
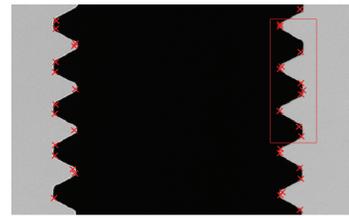


图 8 CTAR 算法曲率估计

Fig. 8 Curvature estimation by CTAR algorithm

根据三角形理论,角点响应函数  $R(P_k)$  的值必介于 0~1 之间,点  $P_k$  越尖锐,角点响应函数  $R(P_k)$  越接近 0,反之,点  $P_k$  越平坦, $R(P_k)$  越接近 1。通过式(4)估计曲线上每一个点的角点响应函数并进行非极大值处理,如果某点的角点响应值小于预设阈值  $T_h$ ,则将该点视为角点并保存。图 9(a)是由 Harris 角点检测方法得到的结果,其中存在伪角点、漏检以及角点簇的情况,而且定位精度不高,而图 9(b)给出本文角点检测方法的检测结果,可以通过图 9(c)的局部放大图明显看出,本文方法角点检测的准确率和定位精度相对较高。

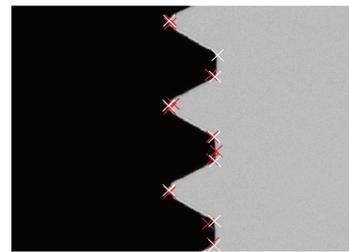
为验证本文提出的基于轮廓的角点检测方法,分别用 Harris 角点检测方法和本文方法对螺纹工件的 10 幅图像进行实验,其中,前 5 幅是原图像,后 5 幅是添加了



(a) Harris 角点检测  
(a) Harris corner detection



(b) 本文角点检测  
(b) Corner detection in this paper



(c) 局部放大对比  
(c) Local amplification

图 9 角点检测

Fig. 9 Corner detection

噪声的图像。由表 2 的数据可知,Harris 角点检测方法的准确率为 76.9%,且当图像存在噪声时,角点的误检量增加;本文方法的准确率为 93.4%,漏检量少于 Harris 方法,并且对噪声图像进行角点检测时,误检的角点数量也明显少于 Harris 方法,角点检测的性能较稳定。

表 2 角点检测对比结果

Table 2 Comparison results of corner detection

序号	正确角点数/个		误检数/个		漏检数/个		准确率/%	
	Harris 方法	本文方法						
1	28	30	4	1	2	0	82.4	96.8
2	27	29	4	2	3	1	79.4	90.6
3	29	30	5	2	1	0	82.9	93.8
4	28	29	2	0	2	1	87.5	96.7
5	29	30	4	1	1	0	85.3	96.8
6	28	30	10	2	2	0	70.0	93.8
7	29	28	11	1	1	2	70.7	90.3
8	30	30	12	3	0	0	71.4	90.9
9	27	29	13	1	3	1	62.8	93.5
10	30	29	13	2	0	1	69.8	90.6
均值	28.5	29.4	7.8	1.5	1.5	0.6	76.2	93.4

### 4 螺纹大径、小径测量

对检测到的角点采用最小二乘法进行拟合,得到大径和小径位置处的假想圆柱母线,如图 10 所示。设直线方程为  $Ax + By + C = 0$ ,图 10 中左、右两条大径的拟合直线参数分别为: $l_1 : A_1 = 1, B_1 = 6.036 \times 10^{-3}, C_1 = -1\ 323.9$  和  $l_2 : A_2 = 1, B_2 = -5 \times 10^{-5}, C_2 = -847.952$ 。在  $l_1$  上任取  $m$  个点,求点到直线  $l_2$  的平均距离,同样在  $l_2$  上也任取  $m$  个点,求点到直线  $l_1$  的平均距离,按照式(8)对其求均值可得到大径的测量值。

$$d = \frac{1}{2m} \left[ \sum_{i=1}^m \left| \frac{A_1 x_i + B_1 y_i + C_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}} \right| + \sum_{j=1}^m \left| \frac{A_2 x_j + B_2 y_j + C_2}{\sqrt{A_2^2 + B_2^2}} \right| \right] \quad (8)$$

图 10 中两条小径的拟合直线参数分别为: $l_3 : A_3 = 1, B_3 = 0.013, C_3 = -901.583$ 、 $l_4 : A_4 = 1, B_4 = 2.146 \times 10^{-3}, C_4 = -1\ 277.922$ ,按照上述方法也可求得小径的测量值。

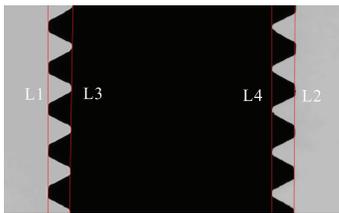


图 10 螺纹大径小径测量

Fig. 10 Small diameter measurement of screw thread

### 5 实验与结果分析

实验中被测螺纹零件为 M6 规格的螺栓,将螺栓放入如图 11 的螺纹参数视觉测量平台中采集螺纹图像,分别使用本文方法(测量值 1)和 Canny 算子、Harris 角点检测方法(测量值 2)对螺纹进行边缘检测、角点提取,并完成大径小径的测量。在每一次测量完成后,将螺栓绕轴线随机旋转一定角度后进行下一次测量。总共进行 15 次测量实验,实验结果如表 3 所示。



图 11 螺纹视觉测量平台

Fig. 11 Visual measuring platform for thread

表 3 中,本文提出的基于轮廓角点检测的螺纹参数测量方法得到的大径、小径的平均测量误差分别为 0.003 3 mm、0.002 6 mm,而 Canny 算子与 Harris 角点检测方法的测量误差相对较高,分别为 -0.038 1 mm、0.037 7 mm,这是由于该方法易受噪声、杂质和毛刺的干扰,导致边缘、角点定位不准确,产生伪角点和漏检,以这些角点测量螺纹大径、小径,则会影响测量精度。另外本文方法对螺纹大径、小径测量结果的标准差较小,表示不同结果的相对误差波动较小,具有较高的一致性。

表 3 螺纹参数测量结果对比

Table 3 Comparison of measurement results of thread parameters

序号	实际值/mm		测量值 1/mm		测量误差 1/mm		测量值 2/mm		测量误差 2/mm	
	大径	小径	大径	小径	大径	小径	大径	小径	大径	小径
1	6	4.88	6.006 3	4.884 7	0.006 3	0.004 7	5.933 4	4.910 8	-0.066 6	0.0308
2	6	4.88	6.003 5	4.882 1	0.003 5	0.002 1	5.944 0	4.921 9	-0.056 0	0.041 9
3	6	4.88	5.998 5	4.878 4	-0.001 5	-0.001 6	5.950 0	4.917 4	-0.050 0	0.037 4
4	6	4.88	5.997 6	4.878 1	-0.002 4	-0.001 9	5.942 3	4.943 1	-0.057 7	0.063 1
5	6	4.88	6.001 7	4.881 6	0.001 7	-0.001 6	5.971 5	4.923 4	-0.028 5	0.043 4
6	6	4.88	6.005 6	4.883 7	0.005 6	-0.003 7	5.955 6	4.891 0	-0.044 4	0.011 0
7	6	4.88	6.003 2	4.882 2	0.003 2	0.002 2	5.949 5	4.910 5	-0.050 5	0.030 5
8	6	4.88	5.997 8	4.878 2	-0.002 2	-0.001 8	5.949 4	4.908 8	-0.050 6	0.028 8
9	6	4.88	5.998 4	4.881 9	-0.001 6	0.001 9	5.988 1	4.917 0	-0.011 9	0.037 0
10	6	4.88	6.006 6	4.884 9	0.006 6	0.004 9	5.948 9	4.917 0	-0.051 1	0.037 0
11	6	4.88	5.998 5	4.877 9	-0.001 5	0.002 1	5.993 7	4.913 0	-0.006 3	0.033 0
12	6	4.88	5.997 9	4.878 1	-0.002 1	-0.001 9	5.976 9	4.886 2	-0.023 1	0.006 2
13	6	4.88	5.994 7	4.875 2	-0.005 3	-0.004 8	5.952 2	4.951 7	-0.047 8	0.071 7
14	6	4.88	5.997 2	4.878 1	-0.002 8	-0.001 9	5.982 8	4.929 8	-0.017 2	0.049 8
15	6	4.88	6.003 4	4.882 5	0.003 4	0.002 5	5.990 6	4.924 0	-0.009 4	0.044 0
	均值/mm		6.000 7	4.880 5	0.003 3	0.002 6	5.961 9	4.917 7	-0.038 1	0.037 7
	标准差/mm		0.003 8	0.002 9			0.019 9	0.016 8		
	相对误差/%		0.055 0	0.053 3			0.635 0	0.772 5		

## 6 结 论

本文提出一种基于轮廓角点检测的螺纹关键参数视觉测量方法,用于准确测量螺纹大径、小径。通过双边滤波联合迭代阈值法改进 Canny 算子,使其更精确地提取轮廓边缘。同时根据螺纹轮廓特征采用双阈值 DP 算法进行分割,并使用 Hough 变换拟合轮廓段实现轮廓的平滑,降低了噪声和轮廓局部细节对角点检测的影响,然后使用 CTAR 算法提取角点,最后对角点进行最小二乘直线拟合,实现了螺纹大径、小径的高精度测量。但是本文为了提高角点检测的准确率,增加了算法的复杂度和运行时间,使算法的实时性降低,并且改进的 DP 算法和角点检测算法的阈值需人为设定,这些问题是后续的研究方向。

### 参考文献

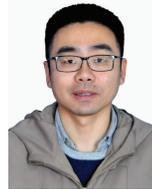
- [ 1 ] 张莹莹,金成哲,吴鹏. 大直径内螺纹铣削加工的振动试验及分析[J]. 工具技术, 2020, 54(7): 16-19.  
ZHANG Y Y, JIN CH ZH, WU P. Vibration test and analysis of large diameter internal thread milling [J]. Tool Engineering, 2020, 54(7): 16-19.
- [ 2 ] 王晓东,渠立琛,张炜,等. 基于图像处理技术的 YSQ-3 型液化石油气瓶阀外螺纹加工质量检测方法的研究[J]. 制造业自动化, 2015,37(14):60-63.  
WANG X D, QU L CH, ZHANG W, et al. Research on quality inspection method for outer thread machining of YSQ-3 liquefied petroleum cylinder valve based on image processing technology [J]. Manufacturing Automation, 2015,37(14):60-63.
- [ 3 ] 宋帅帅,黄锋,江燕斌. 基于机器视觉几何量测量技术研究进展分析[J]. 电子测量技术, 2021, 44(3): 22-26.  
SONG SH SH, HUANG F, JIANG Y B. Research progress of geometric measurement technology based on machine vision [J]. Electronic Measurement Technology, 2021, 44(3): 22-26.
- [ 4 ] 吴禄慎,项桔敏,胡赞. 基于机器视觉的卡尺工具法螺母实时检测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2020(2):50-55.  
WU L SH, XIANG J M, HU Y. Caliper tool nut real-time detection system based on machine vision [J]. Instrument Technology and Sensor, 2020(2):50-55.
- [ 5 ] 张喜民,余奇颖,张金博,等. 基于机器视觉的手机尾插件精密测量方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(10):47-54.  
ZHANG X M, YU Q Y, ZHANG J B, et al. Research on precision measurement method of mobile phone tail plug based on machine vision [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019, 40(10): 47-54.
- [ 6 ] 张昊,金冠,蒋毅,等. 基于 SVM 特征点分类的机器视觉外螺纹参数检测[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(4): 121-124.  
ZHANG H, JIN G, JIANG Y, et al. Machine vision external thread parameter detection based on SVM feature point classification [J]. Sensor and Microsystem, 2019, 38(4): 121-124.
- [ 7 ] 包能胜,方海涛. 连续运动螺纹尺寸自适应机器视觉检测[J]. 计量学报, 2020, 41(9): 1062-1069.  
BAO N SH, FANG H T. Measurement of continuous motion thread size by adaptive machine vision [J]. Acta Metrologica Sinica, 2020, 41(9): 1062-1069.
- [ 8 ] 刘阳,刘超. 基于视觉的非接触外螺纹关键参数测量方法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2021(8): 105-108.  
LIU Y, LIU CH. Key parameters measurement method of non-contact external thread based on vision [J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2021(8): 105-108.
- [ 9 ] CHAO J, ZHANG L. Parameters of small pitch thread measured by an intelligent detection method[J]. Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering, 2016, 16(2): 207-218.
- [ 10 ] 陈明曦,侯涛,赵晏章,等. 基于新型改进 Canny 算法的轨边缘检测研究[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(11): 48-52.  
CHEN M X, HOU T, ZHAO Y ZH, et al. Research on track edge detection based on new improved Canny algorithm [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2021, 40(11): 48-52.
- [ 11 ] 陆华才,贺华展,黄宜庆,等. 改进 Canny 边缘算子和高斯混合模型的运动目标检测[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(10): 142-147.  
LU H C, HE H ZH, HUANG Y Q, et al. Improved Canny edge operator and gaussian mixture model for moving target detection [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2019, 33(10): 142-147.
- [ 12 ] 刘明,杨胜寒,高诚辉. 基于水平集方法的划痕形状表面视觉测量[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(2): 184-194.  
LIU M, YANG SH H, GAO CH H. Visual measurement of scratch shape surface based on level set method [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2020, 41(2): 184-194.
- [ 13 ] 黄梦涛,连一鑫. 基于改进 Canny 算子的锂电池极片

- 表面缺陷检测[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(10): 199-209.
- HUANG M T, LIAN Y X. Surface defect detection of lithium battery electrodes based on improved Canny operator [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2021, 42(10): 199-209.
- [14] 张帅, 杨龙兴, 丁力. 基于自适应双边滤波的V型焊缝特征提取研究[J]. 制造技术与机床, 2021(7): 125-129.
- ZHANG SH, YANG L X, DING L. Feature extraction of V-shaped welds based on adaptive bilateral filtering [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2021(7): 125-129.
- [15] 童胜杰, 江明, 焦传佳. 一种改进工件边缘检测方法的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35(1): 128-134.
- TONG SH J, JIANG M, JIAO CH J. An improved edge detection method for workpiece [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2021, 35(1): 128-134.
- [16] 周伟, 巢渊, 李龔, 等. 基于改进Harris角点检测的芯片图像快速校正[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(10): 74-81.
- ZHOU W, CHAO Y, LI Y, et al. Fast image correction based on improved Harris corner detection [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2020, 34(10): 74-81.
- [17] TENG S W, SADAT R M N, LU G J. Effective and efficient contour-based corner detectors [J]. Pattern Recognition, 2015, 48(7): 2185-2197.
- [18] ZHAO L B, SHI G Y. A method for simplifying ship trajectory based on improved Douglas-Peucker algorithm [J]. Ocean Engineering, 2018, 10: 37-46.
- [19] 张倩. 基于轮廓的角点检测算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2017.
- ZHANG Q. Research on corner detection algorithm based on contour [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2017.

- [20] 郑倩, 刘珊, 邓璐娟, 等. 基于平行四边形对角线理论的角点检测算法[J]. 郑州大学学报(工学版), 2021, 42(4): 19-25.

ZHENG Q, LIU SH, DENG L J, et al. Corner detection algorithm based on parallelogram diagonal theory [J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2021, 42(4): 19-25.

## 作者简介



**江涛** (通信作者), 2016年于西安理工大学获得博士学位, 现为陕西科技大学副教授、硕士生导师, 主要研究方向为机器视觉、机器人智能感知与控制。

E-mail: jiangt@ sust. edu. cn

**Jiang Tao** (Corresponding author)

received his Ph. D. degree from Xi'an University of Technology in 2016. Now he is an associate professor and M. Sc. supervisor in Shaanxi University of Science and Technology. His main research interests include machine vision, robot intelligent perception and control.



**李媛**, 2019年于渭南师范学院获得学士学位, 现为陕西科技大学硕士研究生在读, 主要研究方向为机器视觉。

E-mail: 15591307928@ 163. com

**Li Yuan** received her B. Sc. degree from

Weinan Normal University in 2019. Now she is a M. Sc. candidate in Shaanxi University of Science and Technology. Her main research interest includes machine vision.



**贺晨龙**, 2018年于西安交通大学获得博士学位, 现为陕西科技大学讲师, 硕士生导师, 主要研究方向为机器视觉、多智能体系统与智能机器人。

E-mail: hecl@ sust. edu. cn

**He Chenlong** received his Ph. D. degree

from Xi'an Jiaotong University in 2018. Now he is a lecturer and M. Sc. supervisor in Shaanxi University of Science and Technology. His main research interests include machine vision, multi-agent systems and intelligent robots.