

# 基于非标定摄像机的尺寸测量方法

黄建斌 姚滔 刘家旺 许桢英 邹荣

(江苏大学机械工程学院 镇江 212013)

**摘要:** 针对小工件的非接触长度测量,提出了一种基于交比不变,利用非标定 CCD 摄像机与已知特征标记物进行小工件长度测量的新方法。利用摄像机对工件的图像信息进行远距离采集,建立测量模型,在对图像进行预处理的基础上进行边缘识别,提取工件与已知特征标记物边缘特征,进而实现工件长度的在线测量,并与经标定摄像机的在线测量结果进行比较,结果表明,该测量方法操作简单,无需标定摄像机的同时适应性强,被测工件长度在 0~500 mm,测量误差低于 0.4%。

**关键词:** CCD;长度测量;非标定;边缘提取;

**中图分类号:** TP751.1; TN06 **文献标识码:** J **国家标准学科分类代码:** 510.4050

## Size measurement method based on non-calibrated camera

Huang Jianbin Yao Tao Liu Jiawang Xu Zhenying Zou Rong

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** To get the size of small work pieces by non-contact means, a new method is proposed in this paper which is based on the invariance of cross ratio with non-calibrated CCD cameras. After the images of work pieces being remotely acquired by camera and preprocessed, edges as well as some other features of the work piece will be detected and extracted. According to two orthogonal sets of parallel line markers with known spacing on the measuring table, the size of the work piece is obtained. Experimental results indicate that this kind of method used in length measurement system has similar precision to the traditional techniques which first of all must have their cameras calibrated. At the same time it can be simply operated and adapted to various situations. The measured length of work pieces ranges from 0mm to 500 mm and the measuring error is less than 0.4%.

**Keywords:** CCD camera; size measurement; non-calibration; features extraction

## 1 引言

在众多自动化生产系统中,在线测量是十分重要的环节。传统工业生产线上测量方法多通过接触式传感器测量,在工业生产环境下易使传感器受到磨损。长期工作后,传感器寿命减短且无法保障测量精度。在这种情况下,非接触式测量开始逐渐广泛运用在工业生产中,常用的非接触测量包括超声测量、红外测量、视觉测量等。随着计算机视觉技术的飞速发展,视觉测量则具有十分重要的意义,它以其速度快、精度好、非接触、自动化程度高等特点,正成为测量领域的重要发展方向<sup>[1]</sup>。摄像机标定是视觉测量的一个重要环节,传统摄像机标定方法的优点是可适用于所有摄像机模型,且标定精度较高;缺点是需要制作高精度的标定靶,其制作成本较高,且标定过程复杂,在部分工业现场无法使用。

本文在实验室条件下提出一种基于交比不变特性,利用非标定摄像机获取被测工件远距离、非接触式的图像信息,再运用适当的数字图像处理方法,对工件的边缘特征进行提取,从而测量出被测工件的长度。

## 2 测量系统框架

系统主要由测量工作台、图像采集卡、计算机、背景光源、CCD 摄像机、图像处理程序以及数据库几个部分组成<sup>[2]</sup>。整个系统原理如图 1 所示。被测工件在背景光源的照射下,使自身的表面尺寸检测信息(如孔径、长度等)处于特定的背景中,并使 CCD 摄像机接收到数字信号,经图像采集卡采集并被转换成数字图像信息用于计算机处理。计算机运用图像处理程序对图像数据进行处理,从而求得图像中需要测量的边界点的坐标,并求出被测工件的尺寸值<sup>[3]</sup>。在图 1 中,待测工件用夹具固定在工作台之上。

CCD 摄像机置于工件的正上方,采用背向照明的方式以获得高对比度的图像,以便于后期图像特征提取。

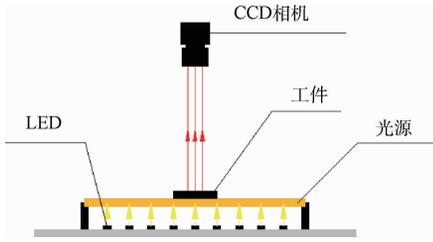


图1 测量系统原理

### 3 在线测量工件长度的方法

#### 3.1 传统方法

通常传统的方法可以被分为两类,这两者都是基于摄像机标定的。一般在视觉测量过程中,计算机利用特征点的像素来获得需要测量的边界点的坐标。但要利用图像中的像素之间距离经转换进一步得到被测工件的实际尺寸,这就需要在相机在测量之前进行标定。通过标定的装置,可以获得所测工件与其图像之间实际长度与像素值之间的对应关系。于是,工件的实际尺寸就可以根据他的图像计算得到。

第一类,它可以被称为比例法,是根据工件和它图像之间的比例关系来计算的。实验表明,当测量平面近似平行于所述图像平面,那么实际长度可以近似认为是图像中线段所占像素的数目。因此,根据图像中的工件尺寸  $D'$  的大小,可以计算它的实际尺寸  $D$  为:

$$D = C \times D' \quad (1)$$

式中:  $C = \frac{L}{L'}$  为仪器的定度,用来描述图像和真实世界之间比率关系的校准参数。 $L$  是标准量,  $L'$  是标准量的像方量。

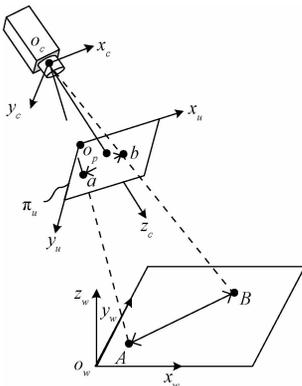


图2 摄像机测量模型

显而易见,只能在测量平面  $\pi_w$  与像平面  $\pi_u$  平行时,即  $\pi_w // \pi_u$ , 才能使用  $\frac{A_u D_w}{A_u D_u} = C$  这个测量方法。也就是说,当

工作平面不满足平行关系的时候,该测量系统的误差与工件被摆放的位置、两平面之间的夹角等有很大的关系。

第二类是基于所得图像平面与测量平面的单对应性原理。相机透视投影模型如图3所示,其中,在世界坐标系(WCS)中的任意点  $P(X_w, Y_w, Z_w)^T$  的齐次表达式为  $\tilde{P}(X_w, Y_w, Z_w, 1)^T$ 。图像坐标系(ICS)中任意点  $m(u, v)^T$  的齐次表达式  $\tilde{m}(u, v, 1)^T$ 。

根据透视投影的模型,在图像坐标系中的点(ICS)与世界坐标系(WCS)中的对应点按式(2)相互转化。

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f/dx & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f/dy & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中:  $f$  为摄像机镜头焦距,  $dx$  和  $dy$  为像元尺寸,  $u_0$  和  $v_0$  为标定得到的像面中心<sup>[4]</sup>。 $s$  代表任意比例因子,  $u, v$  代表摄像机图像纵横坐标,  $[R, t]$  代表相机坐标系(CCS)和世界坐标系之间的变换矩阵,  $R = [r_1 \ r_2 \ r_3]$  表示旋转

矩阵,  $t$  表示平移向量。  $A = \begin{bmatrix} f/dx & 0 & u_0 \\ 0 & f/dy & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  是摄像机的固有参数,  $Z_w = 0$  表示测量平面<sup>[5]</sup>。

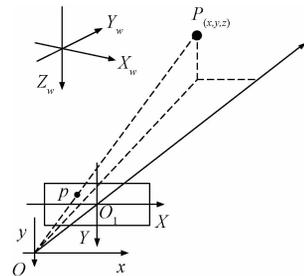


图3 摄像机的透视投影模型

式(2)可以改写作  $s\tilde{m} = H\tilde{M}$  (3)。

矩阵  $H$  实现了测量平面上的点和成像平面上的点的射影变换,称为单应矩阵,单应矩阵描述的是空间平面在两个摄像机下图像点的平面坐标之间的对应关系<sup>[6]</sup>。利用单应性矩阵  $H$  将成像平面的像素点还原到测量平面中,进而计算出被测工件的尺寸。在使用这种方法前,需要对使用的摄像机进行内外参数标定,目前较为方便成熟的摄像机标定方法是张正友等人提出来的基于平面棋盘方格点的摄像机标定方法,靶标平面内的方格点即为标定点。通过求解得出两平面之间的单应性矩阵  $H$ , 便可以根据成像平面中的一点像素坐标  $m(u, v)$  确定其位于测量平面内的物理坐标  $p(X_w, Y_w)$ , 如此可以测量得出测量平面中两点间的直线距离为

$$A_u D_w = \sqrt{(X_{a,w} - X_{d,w})^2 + (Y_{a,w} - Y_{d,w})^2} \quad (4)$$

式中:  $(X_{a,w}, Y_{a,w}), (X_{d,w}, Y_{d,w})$  分别是成像平面中两点转

换到测量平面中的物理坐标。但是张正友及许多相关方法中标定物的一个端点必须是固定的<sup>[7]</sup>。且在测量过程中摄像机与测量平面的位置必须严格相对固定。

### 3.2 基于交比不变性的新方法

作为一种相对成熟的测量方法,在使用标定摄像机的测量方法前,必须对摄像机进行标定,并且在测量过程中保持摄像机与测量平面的相对位置不变<sup>[8]</sup>。这在一定程度上增加的测量环节的复杂性。对此提出一种新型的利用非标定摄像机基于交比不变性的工件尺寸测量方法。

正如测量示意图 4 所示,工件放置在两组垂直平行线之间。本文中使用的平行线之间的间隔为 1 mm,并且摄像机位于所述工件上面,以获得清晰的图像的工件。

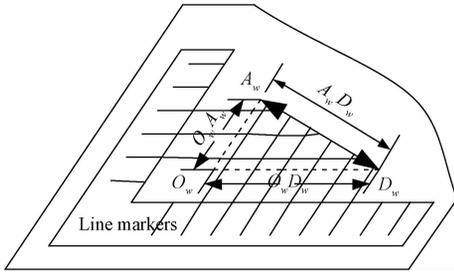


图 4 测量系统原理

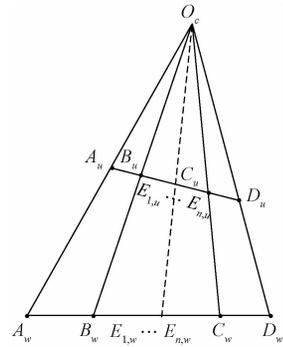


图 6  $A_w D_w$  和它的投影  $A_u D_u$

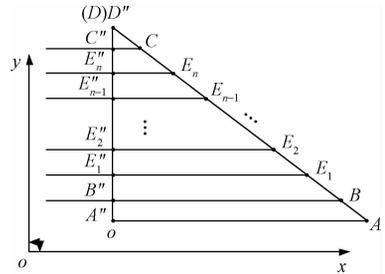


图 7  $A''D''$  的测量

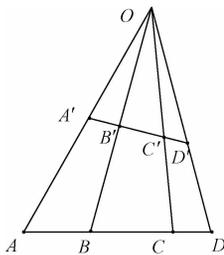


图 5 交比不变性理论

如图 5,根据代数射影几何中交比不变性可知:

$$CR(A, B; C, D) = CR(A', B'; C', D') \quad (5)$$

式(5)中交比值

$$CR(A', B'; C', D') = \frac{A'C'/B'C'}{A'D'/B'D'}$$

$$CR(A, B; C, D) = \frac{AC/BC}{AD/BD} \quad [9]。$$

如图 6,由相机模型可知点  $A_w B_w C_w D_w E_{(1,w)} \dots E_{(n,w)}$  位于成像平面,平面内的距离与位置关系可以利用图像处理进行确定。

射影变换是对所有平面变换的一般性约束,应用射影变换,可以实现对两幅匹配相对的几何进行变换,所应用的变换矩阵就叫做单应矩阵<sup>[10]</sup>。根据射影不变性原理:若平面内一线束被任意一条直线所截,则截点列的交比与线束交比相等<sup>[11]</sup>。如图 7 所示,  $A_w D_w$  为被测量,  $B_w C_w E_{(1,w)} \dots E_{(n,w)}$  为 1 组平行线与线段  $A_w D_w$  的交点,则

$$\frac{A_w E_{(p,w)}/B_w E_{(p,w)}}{A_w E_{(q,w)}/B_w E_{(q,w)}} = \frac{A_u E_{(p,u)}/B_u E_{(p,u)}}{A_u E_{(q,u)}/B_u E_{(q,u)}} = k_1 \quad (6)$$

如图 8 所示,  $A''D''$  是  $A_w D_w$  在  $y$  轴方向上的投影,根据平行线的特性,可知

$$\frac{A'' E''_p/B'' E''_p}{A'' E''_q/B'' E''_q} = \frac{A'' E''_p/B'' E''_p}{A'' E''_q/B'' E''_q} = k_1 \quad (7)$$

其中  $A'' E''_p = A'' B'' + B'' E''_p, A'' E''_q = A'' B'' + B'' E''_q$ 。

于是,化简得

$$\frac{1 + A'' B''/B'' E''_p}{1 + A'' B''/B'' E''_q} = k_1 \quad (8)$$

可得  $A'' B'' = \frac{1 - k_1}{(k_1/B'' E''_q - 1/B'' E''_p)}$ 。同时,  $D'' C'' =$

$\frac{1 - k_2}{(k_2/C'' E''_i - 1/C'' E''_j)}$ , 其中  $k_2 = \frac{D'' E''_j/C'' E''_j}{D'' E''_i/C'' E''_i} =$

$\frac{D'' E''_j/C'' E''_j}{D'' E''_i/C'' E''_i} A_w B_w C_w D_w E_{(1,w)} \dots E_{(n,w)}$  和  $A'' B'' C'' D'' E''_1 \dots E''_n$

位于被测平面,  $A_u B_u C_u D_u E_{(1,u)} \dots E_{(n,u)}$  位于像平面,如此便可确定  $A_w D_w$  在  $y$  轴方向的分量  $A'' D'' (OD)$ ,同理,可以确定  $A_w D_w$  在  $x$  轴方向的分量  $D' A' (OA)$ 。

通过这种方法不需要标定摄像机就可以求得工件的尺寸  $A_w D_w = \sqrt{OA^2 + OD^2}$ 。

## 4 实验结果

### 4.1 计算机模拟

在这一部分,假定其坐标值是已知的,并用它们来获得一组图像中工件的长度的值。添加的坐标点平均高斯噪声

为0,标准偏差0~2个像素。对不同噪声,进行50组独立的实验,其平均结果展示如图8所示。

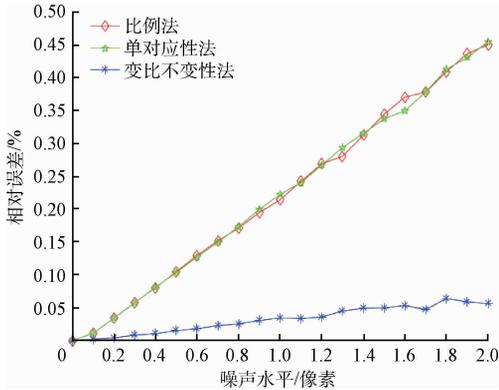


图8 计算机模拟结果

计算机模拟了在不同的测量方法下由噪声引起的相对误差。如图8所示,这3种方法的噪声水平增加几乎呈线性。但是本文提出的基于交比不变性的方法明显比其他两种方法的结果更好。这是因为基于交比不变的方法有利于降低测量系统的系统误差。传统方法的误差主要在校准参数的精度和特征点的提取这两个方面。因此传统方法的误差随着噪声的增加也就随之增加,而本文提出的方法受到的影响就小于其他两种方法。

## 4.2 实验数据

在实验过程中,摄像机被放置在工件上的多个位置来比较不同情况。工件的长度通过游标卡尺(精度0.02 mm)预先测量,结果如表1所示。

实验数据表明,本文提出的基于交比不变性方法相对精度可以达到 $\pm 0.4\%$ ,这比传统的方法更好。

表1 3种方法在具体的工件测量中的比较

工件编号		比例法	单应性法	交比不变法
1	相对误差	0.85%	0.20%	0.32%
	方差	0.000 460 362	0.001 219 182	0.011 434 097
2	相对误差	0.82%	0.15%	0.28%
	方差	0.000 401 783	0.000 842 968	0.004 686 108
3	相对误差	0.69%	0.07%	0.30%
	方差	0.000 462 598	0.001 100 052	0.015 227 293
4	相对误差	0.82%	0.17%	0.31%
	方差	0.000 105 388	0.001 159 627	0.011 799 598
5	相对误差	0.74%	0.08%	0.08%
	方差	0.000 104 34	0.000 664 997	0.016 066 437

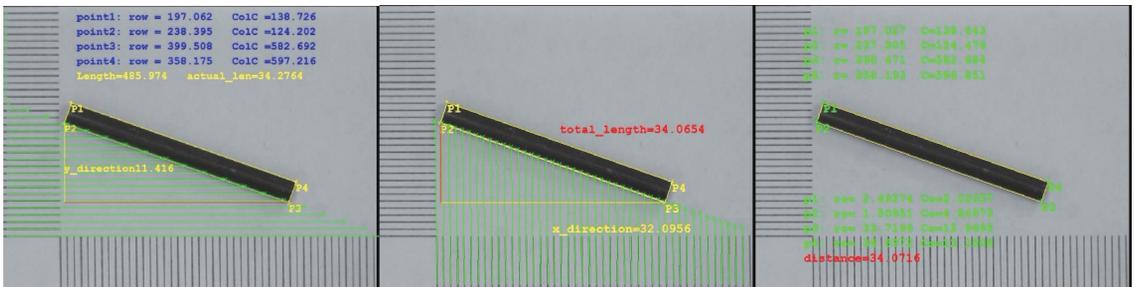


图9 在实验中所使用的图片

## 5 结论

本文在传统在线工件尺寸测量方法上提出了一种可用于测量小工件的尺寸,且不需要预先校准摄像机的新方法。这种新方法在测量过程中,摄像机和工作台之间的位置关系可以随意改变,且能保证较高的测量速度和准确性。因为该方法不需要摄像机校准,所以能大大简化测量过程,同时更容易适应不同的环境,具有一定的理论意义和工业应用价值。

## 参考文献

[1] 廖璇,蔡勇,廖晓波.微孔几何参数视觉测量研究[J].机械设计与制造,2014(7):240-242.

- [2] 卢泉.基于机器视觉的特殊管道静态参数高精度测量技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2010.
- [3] 刘中坡,杜宝江,张杰.基于机器视觉的零件尺寸自动测量系统[J].精密制造与自动化,2006,5(2):47-49.
- [4] 王鹏,张求知,李文强,等.基于成像光线空间追踪的摄像机标定方法研究[J].仪器仪表学报,2015,36(1):224-229.
- [5] 付海洋,牛连强,刘守琳.一种基于平面模板的单应矩阵求解方法[J].计算机技术与发展,2010,20(4):69-75.
- [6] 徐志军,耿则勋,魏小峰,等.一种改进的透视不变匹配算法[J].测绘科学技术学报,2016,33(3):279-284.

(下转第131页)