

基于图像的红外镜头焦距快速检测方法研究

钟建波, 李茂忠, 夏青松, 罗永芳, 贾钰超, 王彩萍, 李洪兵, 罗宏, 黄攀

(云南北方光学科技有限公司, 云南 昆明 650217)

摘要: 如何准确检测镜头的焦距是红外镜头参数检测的一项重要研究内容。本文提出了一种基于刀口靶图像的焦距快速检测方法。该方法先采集红外镜头聚焦状态下的刀口靶图像, 再进行刀口靶图像的二值化处理; 通过提取目标的边缘轮廓, 获得最小外接矩形的顶点坐标信息, 从而估算出红外镜头对应焦距。实验结果证实: 该检测方法可快速、准确地测量出镜头的焦距, 且测量的平均绝对误差百分比小于 1.48。该方法为红外镜头重要参数的快速检测奠定基础。

关键词: 红外镜头焦距; 检测方法; 二值化; 边缘提取

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2021)06-0583-04

Fast Focal Length Measurement Method based on Infrared Lens Images

ZHONG Jianbo, LI Maozhong, XIA Qingsong, LUO Yongfang, JIA Yuchao, WANG Caiping, LI Hongbin,

LUO Hong, HUANG Pan

(Yunnan KIRO Photonics Co. Ltd, Kunming 650217, China)

Abstract: Accurately measuring the focal length of an infrared lens is a crucial issue in infrared lens parameter measurement. This paper proposes a practical focal length estimation method based on a target knife image. First, the target image is captured in the focused state and a binary image is obtained, then the edge of the target is extracted, the vertex coordinates of the minimum external rectangle are obtained, and the corresponding focal length of the infrared lens is estimated. Experimental results show that the algorithm can measure the focal length of the infrared lens quickly and accurately, and the average absolute error percentage is less than 1.48. This method lays the foundation for the rapid measurement of infrared lens parameters.

Key words: focal length of infrared lens, measurement method, image binarization, edge extraction

0 引言

镜头焦距 (focal length) 是指镜头光学后主点到焦点的距离, 是镜头的重要性能指标。镜头焦距的长短决定着拍摄的成像大小, 视场角大小, 景深大小和画面的透视强弱^[1], 因此如何准确检测红外镜头的焦距是红外镜头参数检测的一项重要研究内容。

红外镜头焦距测量的方法可分为直接法和间接法。间接法就是通过测量镜头视场角, 逆向推导镜头的焦距^[1]。但间接法成立的前提是镜头不存在畸变, 而在实际测量中, 尤其对于小焦距镜头, 畸变是不可忽略的, 故导致间接法计算的镜头焦距不准确; 直接法就是通过获取目标图像信息, 来获得镜头焦距, 目前主流的设备是镜头 MTF 测量设备。该设备测量精度高、一致性好, 但设备价格昂贵, 镜头焦距测量成

本高, 效率低, 不利于批量化镜头的快速检测。

针对所述现状, 本文提出了一种基于刀口靶图像的红外镜头焦距快速检测方法。该方法通过采集红外镜头聚焦状态下的刀口靶图像, 利用 Otsu 阈值分割方法获取二值化图像, 并提取目标的边缘轮廓, 再利用仿射变换获取刀口靶对应的最小外接矩形, 并将外接矩形的顶点坐标带入焦距计算公式中, 进而估算出红外镜头的对应焦距。该方法可实现批量化红外镜头焦距的快速、准确测量, 能够有效降低镜头参数测量成本。

1 理论与方法

1.1 自适应阈值分割

最大类间方差法 (Otsu) 是一种通用的检测分割算法。针对图像灰度直方图双峰无明显低谷或是双峰

和低谷都不明显的情况，适宜采用最大类间方差法，可最大化地确定双峰间的分割阈值位置。该方法利用图像灰度直方图零阶、一阶累计矩最大化判别函数，选择图像分割的最佳阈值^[2-3]。

设原始图像灰度级为 L ，图像总像素数为 N ，灰度为 i 的灰度级像素点数为 n_i ，则图像归一化直方图中灰度级 i 的灰度概率密度为 $p_i = \frac{n_i}{N}$ ，所有灰度级的

灰度均值为 $\mu = \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot p_i$ ，其中 $\sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1$ 。

将灰度图像的灰度级以阈值 t 划分为 C_0 和 C_1 两类， C_0 包含的灰度级为 $[0, t]$ ， C_1 包含的灰度级为 $[t+1, L-1]$ 。 C_0 和 C_1 的概率分别为 $w_0 = \sum_{i=0}^t p_i$ 和

$w_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - w_0$ ，灰度均值分别为 $\mu_0(t) = \frac{\sum_{i=0}^t i \cdot p_i}{w_0 \cdot t}$ ，

$\mu_1(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} i \cdot p_i}{w_1 \cdot t}$ ，则 C_0 和 C_1 的类间方差为

$\sigma^2(t) = w_0[\mu_0(t) - \mu]^2 + w_1[\mu_1(t) - \mu]^2$ 。由类间方差公式可得，类间方差 $\sigma^2(t)$ 是分割阈值 t 的函数，当类间方差值最大时对应的阈值 t 即为该灰度图像的最佳分割阈值^[4]。

1.2 边缘提取

边缘提取是一种基于像素灰度突变来分割图像的常用方法。常用的边缘提取方法有基于形态学梯度的边缘提取方法，索贝尔边缘提取方法，拉普拉斯边缘提取方法和 Canny 边缘提取方法。基于形态学梯度的边缘提取方法是将图像中的形态学膨胀结果减去形态学腐蚀结果，即得到包含目标梯度的边缘轮廓信息，该操作会改变目标成像后的像素尺寸，影响计算精度。索贝尔边缘提取方法和拉普拉斯边缘提取方法在卷积核较小时，提取边缘准确度不高，对于较大的卷积核，近似过程中使用较多的像素点，时间损耗大，故本文选用 Canny 边缘提取方法。该方法先计算 x 和 y 方向上的一阶导数，再组合成 4 个方向的导数，并将方向导数中局部最大值的点组成边缘候选像素^[5]。

最后在提取边缘轮廓时，Canny 方法采用两个阈值，如果像素梯度大于较大阈值，就将其标记为有效边缘；如果像素梯度小于较小阈值，就标记为非有效

边缘；如果像素梯度介于两者之间，只有当它连接到一个高阈值像素时，才将其标记为有效边缘。

1.3 仿射变换

仿射变换是图像几何变换中一种重要的处理手段。它将平面中任何平行四边形 $ABCD$ 映射到任何其他平行四边形 $A'B'C'D'$ 中，且保持变换前后线段的平直性和平行性。通过仿射变换，可实现图像的平移、旋转、伸缩、翻转等几何变换^[6]。二维欧式空间上的仿射变换可表示为(1)式。由式(1)可得，典型的仿射变换主要有以下几种：

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

1) 平移变换。将点 (x, y) 移动到点 $(x+a, y+b)$ ，则变化矩阵为：

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & a \\ 0 & 1 & b \end{bmatrix}$$

2) 缩放变换。将点 (x, y) 横坐标放大或缩小 a 倍，纵坐标放大或缩小 b 倍，则变换矩阵为：

$$\begin{bmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \end{bmatrix}$$

3) 旋转变换。将目标图形围绕原点逆时针旋转 θ 弧度，则变换矩阵为：

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \end{bmatrix}$$

1.4 焦距计算公式推导

矩形靶标经光学成像系统的示意图如图 1 所示。其中 x_{target} 为矩形靶标的物理宽度， y_{target} 为矩形靶标的物理高度，单位均为 mm。矩形靶标经光学系统成像后输出的图像尺寸为 $m \times n$ ，且靶标在图像中所占像素大小为 $q-p$ 和 $s-r$ ，单位均为像素。利用光学成像系统的三角关系，可得如下关系式：

$$f_{\text{Len}} = \frac{\text{ppH} \times (q-p) \times f_{\text{col}}}{x_{\text{target}}} \quad (2)$$

式中： ppH 为探测器的水平尺寸， μm ； f_{col} 为平行光管焦距， mm ； f_{len} 为红外镜头焦距， mm 。而探测器的瞬时水平视场角和镜头焦距的关系如下^[1]：

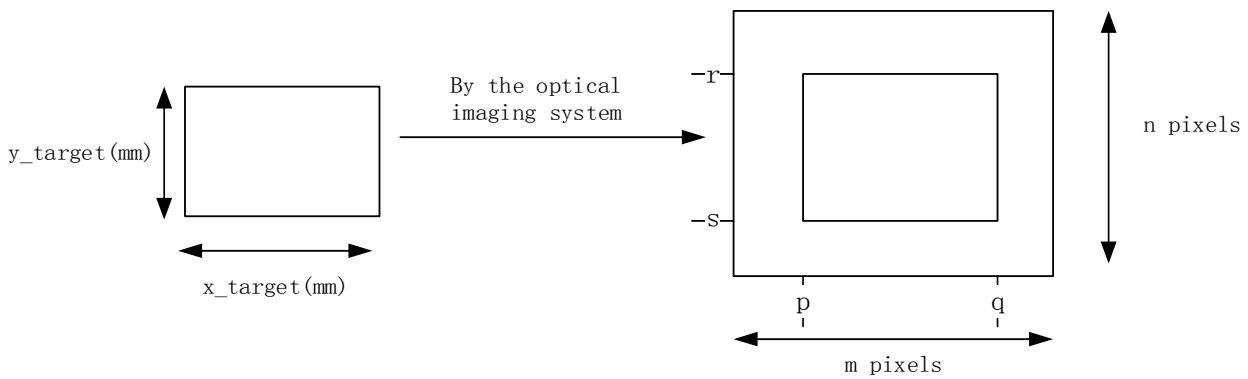


图 1 靶标经光学系统成像后的图像示意图

Fig.1 Schematic diagram of the target image by the optical system

$$\text{HIFOV} = 1000 \times 2 \times \arctan\left(\frac{\text{ppH} / 2}{f_{\text{Len}}}\right) \quad (3)$$

故红外镜头的焦距:

$$f_{\text{len}} = \frac{\text{ppH}}{2 \times \tan(\text{HIFOV} / (2 \times 1000))} \quad (4)$$

其中, 将(2)式代入(3)式, 可得探测器的瞬时水平视场角:

$$\text{HIFOV} = 1000 \times 2 \times \arctan\left(\frac{x_{\text{target}}}{2 \times (q - p) \times f_{\text{col}}}\right) \quad (5)$$

2 实验结果及分析

本文选用的靶标为刀口靶, 半径为 16 mm, 平行光管焦距为 260 mm, 探测器为非制冷探测器, 分辨率为 640×512, 像元间距为 17 μm, 且红外镜头理论焦距为 54 mm。图 2(a)为红外镜头处于聚焦状态下, 刀口靶经光学成像系统后的输出图像, 图 2(b)为图像经二值化后目标边缘提取结果, 图 2(c)为目标经仿射变换后的输出结果。由图 2(b)可得, 本文方法可准确提取刀口靶标的边缘轮廓。

将图 2(c)中的刀口靶外接矩形的顶点坐标带入计算公式(4)和(5), 可得 54 mm 红外镜头的实际焦

距为 56.1406 mm, 而该镜头经认证机构检测的焦距结果为 55.7360 mm, 绝对误差为 0.4046 mm, 误差百分比为 0.7。

为验证本文算法的普适性, 对同批次的 54 mm 和 8 mm 各 5 只红外镜头分别计算焦距, 并与认证机构的检测结果进行对比, 如表 1 和表 2 所示。

结合公式(4)和(5)可得, 影响红外镜头焦距测量精度的参数有探测器像元的水平尺寸, 平行光管焦距、矩形靶标的物理尺寸和靶标在图像中所占的水平像素。其中, 探测器像元的水平尺寸, 平行光管焦距、矩形靶标的物理尺寸受到机加件加工精度的影响, 存在一定误差, 故需要对整个检测平台进行校准。而靶标在图像中所占的水平像素, 其计算值精度与测量镜头的焦距大小有关, 焦距大的红外镜头, 所成的像分辨率高, 估计的误差对结果影响小, 而焦距小的红外镜头, 所成的像分辨率低, 估计的误差对结果影响大。因此, 当计算靶标在图像中所占的水平像素时, 需要对图像进行亚像素处理, 减小估计误差, 提高该值的估计精度, 进而提高焦距测量精度。如何提高红外镜头焦距的测量精度将是课题组的下一步研究工作。

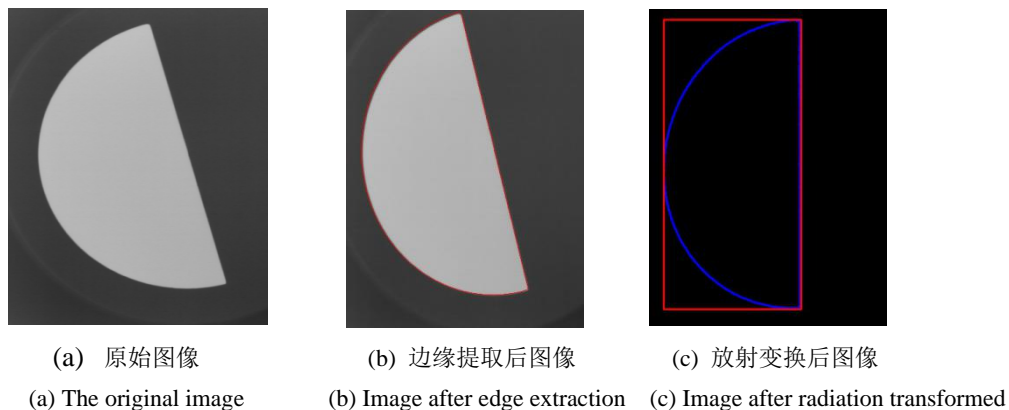


图 2 刀口靶图像的处理流程图

Fig.2 The processing flow chart of the knife-edge target image

表1 同批次54mm红外镜头的焦距检测结果

Table 1 Focal length detection results of 54 mm infrared lenses in the same batch

Serial number	Certification agency results/mm	Our results /mm	Absolute error percentage
1	55.7306	56.1406	0.7
2	55.6084	56.0926	0.8
3	55.6686	56.1487	0.8
4	55.6147	56.1865	1.0
5	55.5730	55.9834	0.7

表2 同批次5只8mm红外镜头的焦距检测结果

Table 2 Focal length detection results of 8 mm infrared lenses in the same batch

Serial number	Certification agency results/mm	Our results /mm	Absolute error percentage
1	7.8968	7.7614	1.7
2	7.8025	7.7034	1.2
3	7.8450	7.7326	1.4
4	7.9124	7.7805	1.6
5	7.9226	7.8029	1.5

3 结论

本文介绍了一种基于图像的红外镜头焦距的快速检测方法。对比结果表明，相对于认证机构的焦距检测结果，该方法估计的镜头焦距平均绝对误差百分比小于1.48。证实了该方法的有效性和准确性，为镜头重要参数的快速检测奠定基础。

参考文献：

[1] 许士文. 红外成像系统测试与评价[M]. 北京: 红外与激光工程, 2008: 150-180.

[2] Ohtsu N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics*, 1979, **9**(1): 62-66.

[3] Imocha Singh, Tejmani Sinam. Local contrast and mean based thresholding technique in image binarization[J]. *International Journal of*

Computer Applications, 2012, **51**(6): 5-10.

[4] 赵文涛, 曹昕鹭, 田志勇. 基于自适应阈值区域生长的红外舰船目标分割方法[J]. *红外技术*, 2018, **40**(2): 158-163.

ZHAO Wentao, CAO Xinzi, TIAN Zhiyong. An infrared ship target segmentation method based on adaptive threshold region growth[J]. *Infrared Technology*, 2018, **40**(2): 158-163.

[5] 郝争辉, 张学松, 王高, 等. 基于边缘轮廓线提取的自动对焦评价函数[J]. *红外技术*, 2018, **40**(2): 170-175.

HAO Zhenghui, ZHANG Xuesong, WANG Gao, et al. Auto focusing evaluation function based on edge contour extraction[J]. *Infrared Technology*, 2018, **40**(2): 170-175.

[6] Gábor Domokos, Zsolt Lángi, Márk Mezei. A shape evolution model under affine transformations[J/OL][2017-09-18]. arXiv:1604.07630 (https://arxiv.org/abs/1604.07630v2)