

文章编号 1004-924X(2019)08-1901-07

线阵相机二维高精度内方位元素标定

远国勤, 郑丽娜*, 张洪文, 丁亚林, 孙建军, 于春风, 张 壮

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所

中国科学院航空光学成像与测量重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘要:针对精密测角算法标定线阵相机内方位元素时仅标定一维方向的主点坐标及畸变,导致该标定算法适应性及精度受限的问题,提出了一种线阵相机二维高精度内方位标定方法。首先,分析了线阵相机内方位元素模型,然后,针对该模型提出了一种基于二维转台的二维标定方法,并给出了详细的标定步骤及数据处理方法,最后,将本文提出方法的标定结果与精密测角算法的标定结果进行了对比,结果表明,本文提出的标定方法的重投影误差为 0.34 pixel,相比于精密测角算法的 1.25 pixel,显著提高了标定精度,且标定时不需要进行对准、调平等操作,标定过程操作简单。

关键词:线阵相机;高精度内方位元素标定;二维标定;精密测量

中图分类号: V447.3; TN942.2 文献标识码: A doi:10.3788/OPE.20192708.1901

Multi-dimensional high-precision calibration method for line-scan camera

YUAN Guo-qin, ZHENG Li-na*, ZHANG Hong-wen,
DING Ya-lin, SUN Jian-jun, YU Chun-feng, ZHANG Zhuang

(Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics,
Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

*Corresponding author, E-mail: ailsazheng@163.com

Abstract: In this study, to address the problem of limited adaptability and accuracy of the exact measuring angle method, which only calibrates the principal point and distortion in a one-dimensional direction with a line-scan camera, a two-dimensional high-precision calibration method for a line-scan camera was proposed. First, the inner orientation elements model of a line-scan camera was analyzed. Then, a two-dimensional calibration method based on a two-axis precise rotation stage was proposed for the model. Detailed calibration steps and data processing methods were also given. Finally, the calibration results of the proposed method were compared with those of the exact measuring angle method. The results show that the reprojection error of the calibration method proposed in this study is 0.34 pixels, which is a significant improvement in calibration precision when compared to the 1.25 pixels of the exact measuring angle method. The proposed calibration method does not require alignment, and the calibration process is simple.

Key words: line-scan camera; high precision calibration; two-dimensional calibration; precision measurement

收稿日期:2019-01-12;修订日期:2019-02-25.

基金项目:国家高分重大专项资助项目(No. 30-H32A01-9005-13/15)

1 引言

线阵相机以推扫方式成像,具有高帧频、单排像元数量多等优点,广泛应用于机器视觉、航空测绘等在运动中对物体进行成像及精确测量的领域^[1-3]。

线阵相机应用在精密测量相关领域时,内方位标定是必不可少的一个步骤,内方位标定精度直接决定了测量精度。在机器视觉及航空测绘等方面,面阵相机的内方位元素标定是一个热门的研究领域,国内外文献提出了大量的标定方法^[4-7],但是,针对线阵相机内方位元素标定的研究远没有面阵相机深入,提出的标定方法也不多^[8-10]。目前,线阵相机应用较多的标定方法为精密测角法^[11],该方法通过调整单轴转台,让线阵相机在一个维度的不同角度对平行光管成像,通过平行光角度及其像点坐标,求解内方位元素。该方法仅标定沿线阵探测器方向的主点坐标及畸变,因此仅适用于采用了非常精密的装调手段,将线阵探测器装配在主点上的线阵相机,而更普遍的线阵相机,线阵探测器偏离主点,在沿线阵探测器及垂直线阵探测器 2 个方向均存在畸变,采用该方法时将会导致标定误差。

基于此,本文提出了线阵相机二维、高精度内方位元素标定方法,精确的标定线阵相机 2 个维度的主点坐标及畸变,且标定前无需对相机、平行光管及转台进行精密调平,具有精度高、速度快、操作简便等优点。

2 线阵相机 1 维内方位元素标定算法

线阵相机 1 维的内方位元素标定装置如图 1 所示,主要包括单轴转台、平行光管等,标定前首先将单轴转台调平,然后让相机固定在单轴转台上,反复调整相机、单轴转台及平行光管的位置,保证在单轴转台带动相机转动时,在线阵相机的整个视场范围内,平行光管的星点始终成像在线阵探测器的一行像素中。根据转台记录的平行光角度及其在线阵相机像面中的像点位置进行内方位元素求解。

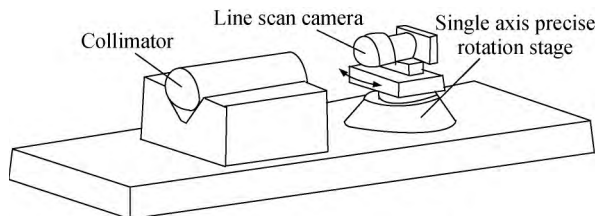


图 1 线阵相机 1 维内方位元素标定装置

Fig. 1 Photo of line scan camera single-dimensional calibration setup

求解原理如图 2 所示, M 为转台处于零位时,通过平行光管的星点在线阵探测器中成像的初始坐标值,一般取为线阵探测器的几何中心; O 为线阵相机的主点; S_x 为主点在线阵探测器上投影; OS_x 为待求主距。标定过程中,位于物方视场角度 α_i 处的采样点 P_i 通过平行光管后成像于线阵探测器 P'_i 处。

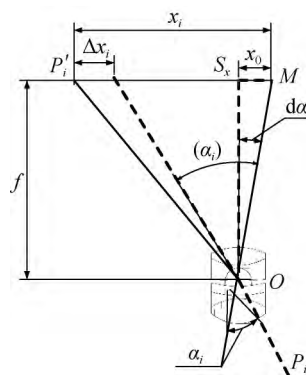


图 2 线阵相机 1 维内方位元素标定原理

Fig. 2 Geometric drawing of image bundle

根据几何光学,采样点 P_i 的畸变 Δx_i 为^[12]:

$$\Delta_i = x_i - x_0 - f_x \times \tan(\alpha_i - d\alpha). \quad (1)$$

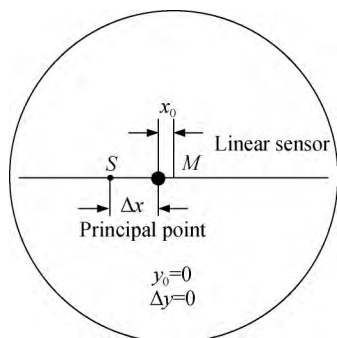
根据式(1),采样点数量为 N 时,可获取 N 个点的畸变,以全视场畸变平方和最小为约束条件,可得 x_0 、 f 满足 $\min(\sum_{i=1}^N \Delta x_i^2)$, 即:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sum_{i=1}^N \Delta x_i^2}{\partial x_0} &= 0, \\ \frac{\partial \sum_{i=1}^N \Delta x_i^2}{\partial f} &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)为含有 2 个未知数 x_0 、 f 的方程,每个采样点可列 2 个方程,当 $2N \geq 2$ 时,可得超定方

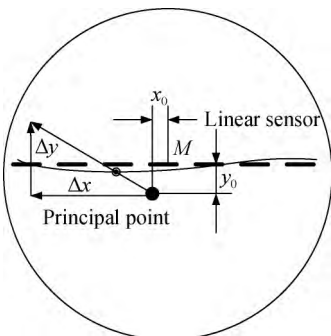
程组,利用最小二乘方法,可求得 x_0, f 。

根据上述标定过程及数据处理方法,可知 1 维的精密测角标定算法认为线阵探测器在线阵相机中位置如图 3(a)所示:线阵探测器位于线阵相机主点上,且在垂直线阵探测器长方向无畸变。这对线阵相机而言,是非常理想的情况,因为将线阵探测器装配到线阵相机的主点需要进行非常精密的装调。一般情况下,线阵探测器在线阵相机中的位置应如图 3(b)所示:线阵探测器与线阵相机主点之间存在距离 y_0 ,并且由于光学系统桶形或枕形畸变的影响,线阵探测器在像面中不会是一条直线^[13],而是一条曲线。



(a)理想情况下的线阵探测器位置及形状

(a)Position and shape of linear sensor under ideal condition



(b)一般情况下的线阵探测器位置及形状

(b)Position and shape of linear sensor in general condition

图 3 线阵相机内方位元素示意图

Fig. 3 Schematic of inner orientation elements in line-scan camera

线阵相机存在二维度的畸变时,采用上述的 1 维精密测角法进行标定时,将会导致标定误差,尤其在垂直线阵探测器方向,这种误差尤为明显。

3 线阵相机二维高精度标定方法

由于线阵相机存在二维的畸变,因此标定时需要在俯仰、方位 2 个方向对相机进行转动,才能

保证在线阵相机的视场范围内,星点都可以成像在线阵探测器上,因此,本文提出了基于二维转台的线阵相机内方位元素二维、高精度标定方法。

实现本文标定方法的实验设备如图 4 所示,主要包括高精度二维转台、平行光管等,标定时通过二维转台调整线阵相机相对于平行光管的俯仰和方位角。通过记录的采样点处的俯仰、方位角及平行光的像点坐标,求解内方位元素。

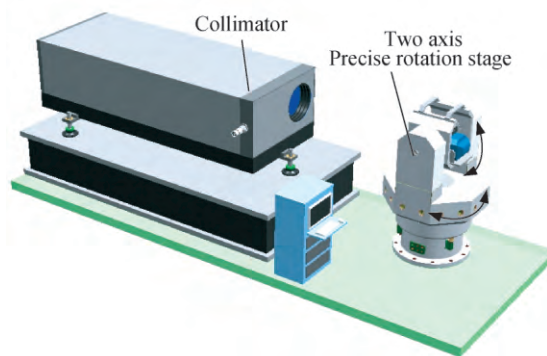


图 4 线阵相机二维内方位元素标定装置

Fig. 4 Photo of the line scan camera multidimensional calibration setup

3.1 标定步骤及数据获取流程

本文方法的标定示意图如图 5 所示,分别调整二维转台的方位及俯仰角,保证在采样点处星点成像在线阵探测器上。图 5 中 θ 为线阵探测器与二维转台俯仰轴的夹角,由本节后续分析可知, θ 及线阵相机的内方位元素均可由采样点处的方位、俯仰角度及像点坐标求得,因此使用本文的方法时,不需要对线阵相机、转台进行调平。

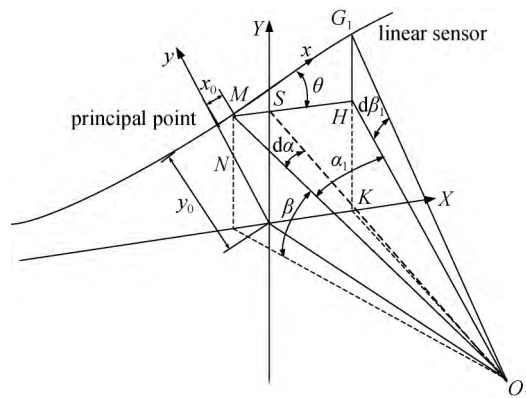


图 5 线阵相机二维内方位元素标定原理图

Fig. 5 Principle diagram of multidimensional calibration for line-scan camera

本文标定方法详细步骤及数据获取流程如下:

步骤 I: 将待标定线阵相机固定在二维转台上,

步骤 II: 调整二维转台, 使平行光管的星点成像在线阵探测器几何中心位置, 将此位置作为标定的起始位置, 记录此时转台方位及俯仰角,;

步骤 III: 改变二维转台方位角, 在下一个采样点处观察星点是否能够成像在线阵探测器中, 如果可以成像, 记录此时转台方位及俯仰角, 同时记录此时像点位置坐标; 如果不能成像, 调整二维转台俯仰角度, 直至成像, 记录转台方位及俯仰角, 同时记录此时像点位置坐标;

步骤 IV: 重复上述步骤, 在待标定线阵相机的 n 个采样点处对平行光管成像, 记录转台方位及俯仰角及像点坐标。

步骤 V: 采用本文提出的数据处理方法对获取的数据进行处理, 获得线阵相机二维、高精度的内方位元素。

以采样点 G_1 为例, 对步骤 II ~ IV 的数据获取流程进行详细说明。

调整二维转台, 当平行光管的星点成像在线阵探测器几何中心位置 M 时, 记录二维转台此时的俯仰角 β , 同时将转台方位角置为零, 完成步骤 II。

在方位角方向转动转台至下一个采样点 α_1 , 如图 5 所示, 此时星点成像在 H 点, 未能成像在线阵探测器像元上, 调整转台俯仰角至 $(\beta + d\beta_1)$, 使星点成像于探测器 G_1 点, 像点坐标记为 G_{1x} , 完成步骤 III。

重复上述过程, 依次获取采样点 $\alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ 处 $G_2, G_3, \dots, G_n$ 点, 记各采样点处转台俯仰角为 $(\beta + d\beta_2), (\beta + d\beta_3), \dots, (\beta + d\beta_n)$, 记录 $G_2, G_3, \dots, G_n$ 像点坐标 $G_{2x}, G_{3x}, \dots, G_{nx}$, 完成步骤 IV。

3.2 数据处理

为了数据处理方便, 分别定义了线阵相机像平面坐标系 xNy 及二维转台坐标系 XOY , 如图 5 所示。坐标系 xNy 中 x 轴为线阵探测器像元方向, N 为主点向线阵探测器作垂线的垂足, 右手坐标系确定 y 轴。坐标系 XOY 中 X 轴平行于二维转台俯仰轴, O 点为线阵相机主点, Y 轴平行于二维转台方位轴, x_0, y_0 为线阵相机主点在像平面坐标系中坐标, 坐标系 xNy 和坐标系 XOY 转

换关系如下:

$$M_O = C_N^O M_N + T, \quad (3)$$

其中: M_O, M_N 分别为点 M 在坐标系 XOY 及坐标系 xNy 中坐标, M_O 点在 XOY 坐标系中 x 坐标记为 M_{Ox} , y 坐标记为 M_{Oy} , C_N^O 为坐标系 xNy 向坐标系 XOY 变换的 2×2 旋转矩阵:

$$C_N^O = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式中 $T = C_N^O \begin{bmatrix} 0 \\ y_0 \end{bmatrix}$ 。

如图 3 所示, 在 XOY 坐标系中, 转台绕方位轴旋转 α_1 时, 星点投影点由 M 点移动到 H 点, 根据几何关系, 在 $Rt\triangle OO_1S$ 中, 可以求得:

$$\begin{aligned} d\alpha &= \arctan\left(\frac{M_{Ox}}{\sqrt{f^2 + M_{Oy}^2}}\right), \\ SO_1 &= \sqrt{f^2 + M_{Oy}^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

式中 f 为待标定相机的主距。

在 $Rt\triangle O_1SH$ 中:

$$\begin{aligned} SH &= \sqrt{f^2 + M_{Oy}^2} \times \tan(\alpha - d\alpha), \\ H_{Ox} &= M_{Ox} + SH, \\ H_{Oy} &= M_{Oy}. \end{aligned} \quad (6)$$

根据式 (5) 及式 (6), 可求在 XOY 坐标系中 H 点坐标, 在 $Rt\triangle OKO_1, Rt\triangle G_1KO_1$ 中, 可得:

$$\begin{aligned} O_1K &= \sqrt{f^2 + SH^2}, \\ G_{1Oy} &= O_1K \times \tan(\beta + d\beta), \\ G_{1Ox} &= H_{Ox}, \end{aligned} \quad (7)$$

式中 G_{1Ox}, G_{1Oy} 分别为 G_1 点在 XOY 坐标系中的 x, y 坐标。根据式 (3) 可得:

$$G_{N1} = (C_N^O)^{-1} (G_{O1} - T), \quad (8)$$

式中 G_{N1} 为 G_1 点在 xNy 坐标系的坐标, 其 x, y 坐标分别记为 G_{N1x} 和 G_{N1y} , 则根据几何光学, 可得像平面坐标系内 G_1 点畸变为:

$$\begin{aligned} DG_{1x} &= G_{N1x} - x_0 - G_{1x}, \\ DG_{1y} &= G_{N1y} - y_0. \end{aligned} \quad (9)$$

采用类使的数据处理方法, 标定过程中, 共获取 $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ n 标定点, 根据全视场畸变平方和最小的约束条件, 可得 x_0, y_0, f 满足

$\min\left(\sum_{i=1}^n (DG_{ix}^2 + DG_{iy}^2)\right)$, 即:

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (DG_{ix}^2 + DG_{iy}^2)}{\partial x_0} = 0,$$

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (DG_{ix}^2 + DG_{iy}^2)}{\partial y_0} = 0,$$
$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (DG_{ix}^2 + DG_{iy}^2)}{\partial f} = 0, \tag{10}$$

式(10)为含有 x_0, y_0, f, θ 共 4 个未知数的方程,而每个采样点可列三个方程,当 $3n \geq 4$ 时,可得超定方程组,利用最小二乘方法,可求得 x_0, y_0, f 及 θ ,多种算法可以实现上述求解,这里不再赘述^[14]。

求得 x_0, y_0, f, θ 后,带入式(9),可求得各采样点在 x, y 方向的畸变值,根据多项式插值,可得到线阵探测器各像元的畸变值。

4 实验结果及对比分析

采用本文的方法对线阵相机进行了实验室内标定,线阵相机焦距为 75 mm,线阵探测像元数为 8 K,像元尺寸为 8 μm ,首先在这种工况下进行了数据仿真实验,采用 Monte Carlo 算法,通过给出二维转台方位、俯仰两个方向测量精度及像点坐标测量精度的概率分布模型,根据本文方法进行多次仿真,得到主点、主距标定结果的统计值^[15],以此作为确定的二维转台精度的依据。影响标定精度的误差项如表 1 所示。

表 1 影响标定精度的误差因素

Tab. 1 Definitions and values of error items

Error terms	Gaussian noise	Unit	Note
Longitudinal accuracy	0.5	Arc-second	Equal to normal noise in practical calibration
Azimuth accuracy	2	Arc-second	Equal to normal noise in practical calibration
Image point measurement accuracy	1/10	Pixels	Larger than normal noise in practical calibration

每次试验等间隔获取 41 个采样点,共进行 500 次仿真试验,仿真实验的统计结果如下:主点均方根误差为 0.36 pixel,主距均方根误差为 0.77 pixel,满足标定要求。

实验室内标定实验装置如图 6 所示,根据仿真实验结论,选用的二维转台测量精度为方位向 0.5 arcsec,俯仰向 2 arcsec。

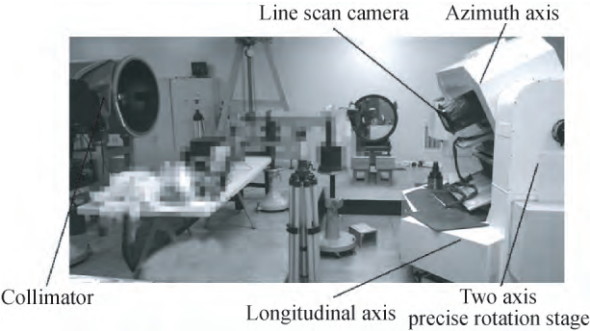


图 6 线阵相机实验室内二维内方位元素标定

Fig. 6 Photo of the line scan camera multidimensional calibration in lab

根据 3.1 节的标定步骤,获取 41 个采样点像点坐标及二维转台的俯仰、方位角,根据式(10)进行数据处理,获取线阵相机的内方位元素参数。

在同样实验环境中采用 1 维精密测角法对线阵相机进行再次标定,固定二维转台俯仰轴,调整线阵相机与平行光管的相对位置,保证在标定过程中,平行光管的星点始终成像在线阵相机的线阵探测器上,在采样点处获取像点坐标及转台的方位角度值,根据式(2)计算线阵相机的内方位元素。

本文方法与精密测角法的标定结果如表 2 所示。

表 2 线阵相机的内方位元素标定结果

Tab. 2 Result of line scan camera calibration

	Two-dimensional method	One-dimensional method
n	41	41
x_0	0.634 2 mm	0.726 3 mm
y_0	0.934 mm	—
f	75.674	75.938 mm
θ	0.334°	—

为了验证表 2 中标定结果,线阵相机对标定网格板进行拍照,根据标定网格中标定点坐标及表 2 中线阵相机的内方位元素参数,将标定网格投影到线阵探测器中,得到标定点的理论计算坐标,与线阵相机实际拍照获取的标定点像点坐标进行比较,其差值称为重投影误差。实验中共采集有效标定点 128 个,2 种方法重投影误差如表 3

所示,表 3 中 RMS 代表根据重投影误差的的均方根值。

表 3 2 种标定结果的验证情况
Tab. 3 Verification of 2 calibration results

	Two-dimensional method	One-dimensional method
RMS of long direction of the linear sensor/pixel	0.21	0.36
RMS of perpendicular to the long direction of the linear sensor/pixel	0.27	1.2
RMS of calibration accuracy/pixel	0.34	1.25

从表 2 可以看出,采用 1 维的标定方法时,在垂直线阵探测器方向具有较大的重投影误差。图 7 给出了 1 维标定时 128 个网格点的在垂直探测器方向的重投影误差,可以看出误差具有较明显的系统性,说明 1 维标定方法在垂直探测器长方向的标定结果不够精确,没有完全消除该方向的畸变。

从表 2 看出,本文提出的标定方法较显著提升了标定精度,RMS 由 1.25 pixel 提升到了 0.34 pixel。

参考文献:

- [1] RICHARD HARTLEY, REW ZISSERMAN. *Multiple View Geometry in Computer Vision* [M]. 2nd ed. . Cambridge University Press, 2003.
- [2] 远国勤, 丁亚林, 惠守文, 等. 前向像移补偿下航空测绘相机畸变的纠正方法[J]. 光学学报, 2012 (11): 90-96.
YUAN G Q, DING Y L, HUI S W, *et al.*. A method for distortion correction of airborne mapping camera with forward image displacement compensation [J]. *Acta Optica Sinica*, 2012(11): 90-96. (in Chinese)
- [3] ZHENG L N, YUAN G Q, LENG X, *et al.*. Calibration method for mapping camera based on a precise grouped approach method [J]. *Int. J. Pattern Recognit. Artif. Intell.*, 2018, 32 (11): 1855019-1-1855019-9.
- [4] ZHANG Z Y. A flexible new technique for camera calibration [J]. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 2000, 22: 1330-1334.

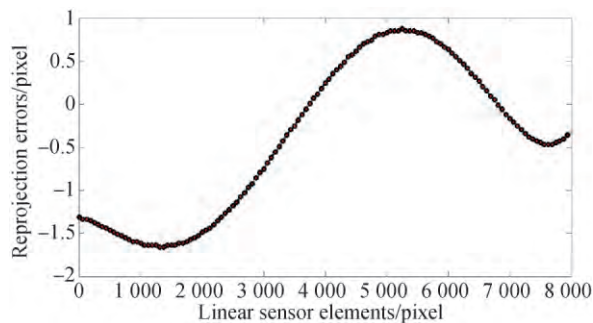


图 7 垂直探测器长方向的重投影误差

Fig. 7 Reprojection errors perpendicular to the long direction of the linear sensor

5 结 论

本文根据线阵相机的内方位元素模型,提出了一种线阵相机二维的高精度内方位标定方法,并给出了标定步骤、数据获取流程及处理方法,相对于 1 维的标定方法,本文的方法可显著提升精度,实验数据表明,本文方法的重投影误差为 0.34 pixel,相比于采用精密测角算法进行 1 维标定的 1.25 pixel,显著提高了标定精度,且本文方法标定时不需要进行调平等操作,标定过程操作简单。

- [5] TSAI P Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses [J]. *IEEE J. Robot. Autom.*, 1987(3): 323-344.
- [6] RK. LENZ, RY. TSAI. Techniques for calibration of the scale factor and image center for high accuracy 3D machine vision metrology [J]. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intel.*, 1988, 10: 713-720.
- [7] 王耀东, 朱力强, 余祖俊, 等. 用于机械系统瞬时目标的双视角高速视觉检测系统[J]. 光学精密工程, 2017, 25(10): 2725-2735.
WANG Y D, ZHU L Q, YU Z J, *et al.*. Two-view high speed vision system for instant object detection in mechanical system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2017, 25(10): 2725-2735. (in Chinese)
- [8] HORAUD R, MOHR R, LORECKI B. On single-scanline camera calibration [J]. *IEEE Trans. Robot.*, 1993, 9: 71-75.
- [9] LUNA C A, MAZO M, LAZARO J L, *et al.*. Calibration of line-scan cameras [J]. *IEEE Trans.*

- Instrum*, 2010, 59: 2185-2190.
- [10] LI D, WEN G, HUI B W, *et al.*. Cross-ratio invariant based line scan camera geometric calibration with static linear data[J]. *Opt. Lasers Eng*, 2014(62): 119-125.
- [11] 吴国栋, 韩冰, 何煦. 精密测角法的线阵 CCD 相机几何参数实验室标定方法[J]. *光学 精密工程*, 2007, 15(10): 1628-1632.
- WU G D, HAN B, HE X. Calibration of geometric parameters of line-array CCD camera based on exact measuring angle in lab [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(10): 1628-1632. (in Chinese)
- [12] 刘波, 贾继强, 丁亚林. 基于测角法的 CCD 航测相机实验室几何标定[J]. *激光与红外*, 2010, 40(3): 298-301.
- LIU B, JIA J Q, DING Y J. Geometric calibration with angle measure for CCD aerial photogrammetric camera in laboratory [J]. *Laser & Infrared*, 2010, 40(3): 298-301. (in Chinese)
- [13] 丁振良. 误差理论与数据处理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006: 46-184.
- DING ZH L. *Error Theory and Data Processing* [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology press, 2006: 46-184. (in Chinese)
- [14] 姚园, 许永森, 丁亚林, 等. 大视场三线阵航空测绘相机光学系统设计[J]. *光学 精密工程*, 2018, 16(9): 2335-2342.
- YAO Y, XU Y S, DING Y L, *et al.*. Optical system design of three-line array stereoscopic mapping camera [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2018, 26(9): 2335-2342. (in Chinese)
- [15] 徐振邦, 赵智远, 贺帅, 等. 机器人工作空间求解的蒙特卡洛法改进和体积求取[J]. *光学精密工程*, 2018, 26(11): 2703-2713.
- XU ZH B, ZHAO ZH Y, HE SH, *et al.*. Improvement of Monte Carlo method for robot workspace solution and volume calculation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2018, 26(11): 2703-2713. (in Chinese)

作者简介:



远国勤(1982—), 男, 河南周口人, 博士, 副研究员, 2007 年于吉林大学获得硕士学位, 2012 年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位, 主要从事航空测绘相机光机结构设计、相机几何标定、图像处理等方面的研究。E-mail: yuanguoqin@139.com



郑丽娜(1979—), 女, 河南洛阳人, 博士, 副研究员, 研究生导师, 2003 年于吉林大学获得学士学位, 2013 年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位, 主要从事航空相机电子学设计、相机几何标定、图像处理等方面的研究。E-mail: ailsazheng@163.com

(本栏目编辑: 秦 思)

征稿启事

航空光电仪器与装备是综合利用光学、精密机械、运动控制和计算机技术解决航空领域各类工程应用课题的技术学科。近年来,我国学者经过不懈努力,在航空光电仪器装备领域取得了丰富的研究成果,在某些领域已经达到国际前沿,在国际重要学术期刊和会议上发表高水平学术论文的数目逐年增长,受到国际同行的认可和广泛关注。

为推动航空光电仪器装备相关学术成果交流,促进我国航空光电仪器装备领域相关技术和应用的创新和发展,《光学 精密工程》期刊拟出版“航空光电仪器与装备技术”专刊。本专刊特向国内外研究人员公开征集创新性学术论文。

一、收稿范围

欢迎原创性并且尚未被其他期刊、会议发表或录用的相关领域学术论文,论文范围包括(但不限于)以下内容:

光电成像:光学设计与加工制造;偏振成像;暗弱目标探测;激光三维成像;水下目标成像与探测等。

精密机械与环境适应性:新型传动机构;调光、调焦与热适应技术;主被动隔振等。

运动控制:电机伺服控制;目标定位;新型微位移平台执行器运动控制;多执行器协同控制;摩擦补偿与干扰抑制等。

图像处理与信息获取:电子稳像;目标跟踪;人工智能与深度学习;图像自动拼接;图像去模糊、去雾、去大气扰动等。

系统集成制造与应用:集群飞行平台光电任务系统;光电瞄准与对抗等。

二、投稿说明

投稿注意事项及论文格式体例参考《光学 精密工程》稿件要求,并采用《光学 精密工程》期刊投稿系统进行投稿,详细要求请参考《光学 精密工程》官方网站 <http://www.eope.net/CN/volumn/home.shtml>。

投稿时请务必在投稿系统中选择“航空光电仪器”专刊。

稿件将由编辑部组织同行专家进行评审,并做出录用与否的最终决定。编辑部会及时向作者转达评审意见。

三、重要日期

投稿日期:2019年9月10日—2019年11月30日

录用日期:2020年5月

发表日期:2020年6月

四、特约编辑

邵晓鹏 西安电子科技大学 xpshao@xidian.edu.cn

田大鹏 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 d.tian@ciomp.ac.cn

五、编辑部

联系人:秦思

Email:gxjmgc2018@ciomp.ac.cn

电话:0431-86176855

地址:吉林省长春市东南湖大路 3888 号





美国工程索引
(Ei) 核心期刊



中国出版政府奖
期刊提名奖



中文核心期刊



中国科技论文
统计源期刊



百种中国杰
出学术期刊



中国权威学术期刊



中国精品科技期刊



中国最具国际
影响力学术期刊

光学 精密工程

(1959 年创刊,月刊)

2019 年 8 月出版 第 27 卷 第 8 期

Optics and Precision Engineering

(Established in 1959, Monthly)

Vol. 27 No. 8 Aug. 2019

主管单位:中国科学院
主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
中国仪器仪表学会
协办单位:应用光学国家重点实验室
中国仪器仪表学会精密机械分会
主 编:曹健林
出 版:科学出版社
地 址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电 话:010-64019820
编 辑:《光学精密工程》编辑委员会
通 讯 处:长春市东南湖大路 3888 号
邮政编码:130033
电 话:(0431)86176855
传 真:(0431)84613409
电子信箱:gxjmge@ciomp.ac.cn
gxjmge@sina.com
网 址:www.eope.net
印刷装订:吉林省文林印务有限公司
国内发行:吉林省报刊发行局
国内订购:全国各地邮局
国外发行:中国国际图书贸易总公司
(北京 399 信箱 邮编:100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences
China Instrument and Control Society
Cosponsored by State Key Laboratory of Applied Optics
The Precision Machinery Branch, China Instrument and Control Society
Editor-in-Chief CAO Jian-lin
Published by SCIENCE PRESS
Add: 16 Donghuangchenggen Beijie, Beijing 100717, China
Tel: 86-10-64019820
Edited by Editorial Board of Optics and Precision Engineering
Add: 3888 Dongnanhu Road, Changchun 130033, China
Tel: 86-431-86176855
Fax: 86-431-84613409
E-mail: gxjmge@ciomp.ac.cn
gxjmge@sina.com
http://www.eope.net
Printed by Wenlin Printing Industry CO., LTD. in Jilin Province
Distributed by Jilin Bureau for Distribution of Newspapers and Journals
Overseas Distributor China International Book Trading Corp.
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)



中刊期刊

(购买本刊可扫描上方二维码)



中刊期刊

国内外公开发
国内统一刊号:CN 22-1198/TH
国外发行代号:4803BM
国内邮发代号:12-166
国内定价:100.00 元
发行范围:公开发行
版权所有 未经许可 不得转载

ISSN 1004-924X



9 771004 924197

08>