

文章编号 1004-924X(2013)10-0001-07

野外大视场双目视觉物体定位监测系统的 单参数快速标定

王向军^{1,2}, 王 晶^{1,2*}, 刘 峰^{1,2}, 王 剑³, 张召才^{1,2}

(1. 天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072;

2. 天津大学 微光机电系统技术教育部重点实验室, 天津 300072;

3. 中国民航大学 电子信息工程学院, 天津 300300)

摘要:提出了一种只对相机水平偏角进行现场校准的标定方法用于野外远距离、大视场、双目视觉物体定位监测系统的快速标定。该方法通过合理考虑视觉传感器的调平装置,结合现场使用过程中相机焦距值固定的特点,简化了测量模型,减少了待标定参数;只需要测得监测中心和相机在大地坐标系中的经纬度坐标及监测中心的图像坐标即可完成系统标定。由于不需要高精度靶标,从而克服了靶标移动及摆放对标定过程的影响。在实际使用中,对 2 km 以外 400 m×800 m 的区域进行监测时,相对定位误差小于 0.25%,其中由焦距值误差引起的相对定位误差不超过 0.07%。该摄像机标定方法在保证测量精度的同时,具有易实现、用时少等优点,适用于野外大视场环境下物体的快速定位监测。

关键词:双目视觉;摄像机标定;快速标定;大视场;精度验证

中图分类号:TP242.62;TP391 文献标识码:A doi:10.3788/OPE.20132110.1021

Fast calibration for binocular vision measuring system with a large field

WANG Xiang-jun^{1,2}, WANG Jing^{1,2*}, LIU Feng^{1,2}, WANG Jian³, ZHANG Zhao-cai^{1,2}

(1. *State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China;*

2. *Key Laboratory of MOEMS of the Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China;*

3. *Institute of Electron and Information Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)*

* *Corresponding author, E-mail: wjyh0206@126.com*

Abstract: An improved calibration method that just needs to calibrate one camera parameter was proposed to calibrate a positing and monitoring system for the object with a long distance, larger view field and binocular vision. By considering the leveling device of a vision sensor and combining the condition that the focal length of the camera was fixed in the field, the measurement model was simplified, and parameters to be measured were reduced. The system calibration could be completed when the geographic coordinates of the measuring area center and the cameras, as well as the center coordinates in

收稿日期:2013-05-10;修订日期:2013-06-07.

基金项目:国家教育部支撑计划资助项目(No. 625010110);国家自然科学基金与中国民用航空总局联合研究基金资助项目(No. 61179043)

the image were obtained. With no need for a higher precision target, the effect of target movement and layout on the calibration can be ignore. In application to monitoring an area of 400 m×800 m at 2 km away, the relative error is less than 0.25%, in which that caused by the error of the focal length is less than 0.07%. The proposed method overcomes the difficulty brought by the movement of the target. The improved method could ensure the accuracy, and it is easy to be realize with less time and is suitable for measuring the coordinate in a large field of view.

Key words: binocular vision; camera calibration; fast calibration; large field of view; precision analysis

1 引言

双目视觉测量系统因其能够实现三维空间坐标测量、非接触等特点被广泛应用到工业、军事及航空航天等领域^[1]。对系统中所使用的视觉传感器进行标定,获取相机参数是双目视觉测量系统使用的关键^[2]。多项研究提出了多种标定方法,取得了良好的效果^[3]。传统的相机标定方法通常是在相机视场内摆放标定模板^[4],用标定模板为标定过程提供精确的标定点坐标,例如 R. Tsai^[5]提出的基于径向约束的两步法。针对大视场中的相机标定,O. Faugeras^[6]首先提出了自标定的方法,张建新^[7]提出的基于平行线消隐点的理论标定方法等,但是由于受到视场范围和标定靶标制作精度以及摆放位置、姿态的限制,这些方法无法满足本文中所提到的野外大视场双目视觉物体定位监测系统的快速标定。

本文提到的定位监测系统应用于超大视场中的物体位置解算,监测的范围为 400 m×800 m 的矩形区域,CCD 相机距离监测区域中心点位置约 2~3 km。结合这种双目视觉测量系统在大视场野外环境下物体定位监测中的应用,在保证测量精度前提下,我们给出了一种减少待标定参数^[7],实现对未知参数的快速求解的方法。本文提出的是一种仅对光轴水平偏角进行校准的相机参数获取方法,避免了靶标对标定的影响,实现野外远距离、大范围环境下的快速标定。文中还采用了单参数误差分析^[8]的方法,利用 matlab 对误差进行分析,将单参数标定方法与原标定方法进行比较,并用实际测量对该方法的精度进行验证。

2 标定原理

2.1 测量模型标准标定方法简介

考虑到大视场环境下透射物距远大于相机焦

距,本文选用小孔摄像机透射模型^[9]作为测量模型,且系统使用单反相机,主要使用相面的中间区域,参考文献[8],采用线性标定,对精度影响较小,本文仍沿用这种方法。

利用透视矩阵变换建立大地坐标系、相机坐标系及像面坐标系之间的映射关系。这一关系可由式(1)表示:

$$Z_C \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{d_x} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{d_y} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{T} \\ 0^t & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中: u_0, v_0 为图像中心坐标, d_x, d_y 为像素在轴向上的物理尺寸, f 为相机焦距, u, v 和 X_w, Y_w, Z_w 分别为物体在图像坐标系及大地坐标系中的坐标。 \mathbf{R} 为正交旋转矩阵, \mathbf{T} 为平移矩阵。

\mathbf{R} 与相机自转角 α 、俯仰角 β 及倾斜角 γ 有关。 \mathbf{T} 反映的是相机光心的平移信息,与摄像机坐标系相对于大地坐标系在 3 个坐标轴向上的平移矢量有关,分别用 S_x, S_y, S_z 表示。相机的未定参数包括相机的内部参数和外部参数^[10]两部分,其中内部参数包括像面中心坐标 u_0, v_0 像素在轴向上的物理尺寸 d_x, d_y , 相机焦距 f 。其中像面中心坐标以及像素的物理尺寸可有厂商提供的器件参数得到。外部参数包括 3 个平移矢量 S_x, S_y, S_z 和 3 个旋转角度 α, β, γ 。

文献[8]中提到的标定方法是在考虑到系统的调平装置的前提下对模型进行简化,减少未知参数,只对相机焦距 f 以及光轴水平偏角进行现场获取的方法。利用 2 个已知大地坐标的物体便可求得摄像机的未知参数。在监测区域内放置 2

个靶标作为已知点,将其大地坐标表示为 $(X_{W1}, Z_{W1}), (X_{W2}, Z_{W2})$, 相应的像面横坐标为 x_1, x_2 , 且 $x_1 < x_2$, 标准标定方法的待标定参数表达方程如下式(2)所示:

$$\begin{cases} f = \frac{-(a_1 a_2 + b_1 b_2)(x_1 - x_2) + \sqrt{(a_1 a_2 + b_1 b_2)^2 (x_1 - x_2)^2 - 4(a_1 b_2 - a_2 b_1)^2 \times x_1 \times x_2}}{2 \times (a_1 b_2 - a_2 b_1)} \\ \alpha = \frac{-(a_1 a_2 - b_1 b_2)(x_1 - x_2) + \sqrt{(a_1 a_2 - b_1 b_2)^2 (x_1 - x_2)^2 - 4(a_1 b_2 - a_2 b_1)^2 \times x_1 \times x_2}}{2 \times (a_1 b_2 - a_2 b_1)} \end{cases}, \quad (2)$$

其中: $\begin{cases} a_1 = X_{W1} - S_x, a_2 = X_{W2} - S_x \\ b_1 = Z_{W1} - S_z, b_2 = Z_{W2} - S_z \end{cases}$

在该方法中,需将光电靶标放置于监测区域内合适的位置,作为已知点,靶标摆放最优位置利用误差分析原理进行选择^[11]。其中平移矢量通过在相机镜头正上方加三角棱镜后利用全站仪进行测量得到。并代入式(2)对相机参数进行标定。本文中的单参数快速标定方法是在这种标定方法的基础上提出的。

2.2 基于工程应用的单参数快速标定方法

在实际应用中,现场环境对光电靶标的使用产生了极大的限制。首先监测范围大,监测区域地形起伏,导致靶标不易摆放和调整,增加了标定系统准备时间;另外相机光心与监测中心距离远,

现场光线强烈,对靶标的尺寸和材质有着极高的要求,地势遮挡及远距离的瞄准也给全站仪器的使用造成了困难;而且靶标位置选择需要有一定的系统知识,不便于掌握,需技术人员随行,不利于频繁使用。考虑到上述工程实际中的条件限制,对上述标定方法进行进一步的简化,提出了只对相机光轴水平偏角进行现场校准的标定方法。

当 β, γ 均设为 0 时式(1)中矩阵将得到极大的简化。由误差分析可知当 β, γ 小于 1° 时,近轴误差基本为 $0^{[12]}$, 最大误差不超过 $1/10$ pixel, 可忽略不计,考虑到系统的调平装置可将 β 和 γ 均设为 0。并对上述矩阵变换进行简化,简化结果如式(3)所示,其中 $X = (u - u_0) \times d_x, Y = (u - u_0) \times d_y$ 。

$$Z_c \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha S_x - \sin \alpha S_z \\ 0 & 1 & 0 & S_y \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha S_x + \cos \alpha S_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

整理可得方程组如式(4)所示:

$$\begin{cases} f \cos \alpha X_w - f \sin \alpha Z_w + f(\cos \alpha - \sin \alpha) S_z = Z_c X \\ f Y_w + f S_y = Z_c Y \\ \sin \alpha X_w + \cos \alpha Z_w + \sin \alpha S_x + \cos \alpha S_z = Z_c \end{cases}, \quad (4)$$

将方程组中与 X_w, Z_w 有关的方程进行化简可得式(5)所示方程:

$$(f - X \tan \alpha) X_w - (f \tan \alpha + X) Z_w + (f - X \tan \alpha) S_x - (f \tan \alpha + X) S_z = 0, \quad (5)$$

由于测量距离远,为使获取的图像清晰便于图像处理,系统中所使用相机的焦距变化范围为 $10 \sim 24$ mm, 并且相机参数设置为长焦状态即 $f = 24$ mm 时能够满足测量要求,将焦距作为已知参数,仅需对光轴的水平偏角进行标定。利用一个已知点即可完成未知参数的求解。

已知点的巧妙选取能够决定标定简易程度。将大地坐标系的原点作为已知点可以使标定方程最简。为方便物体位置的说明我们将监测中心位置作为原点,以正北方向作为 X 轴正向,建立大地坐标系。可得 $X_w = Z_w = 0$ 。设监测中心在图像中的坐标为 u , 利用架设在监测中心的 GPS 测量设备做为标志物,可直接在相机拍摄图像上读取, $x_0 = u - u_0$, 式(5)简化为式(6):

$$(f - x_0 \tan \alpha) S_x - (f \tan \alpha + x_0) S_z = 0, \quad (6)$$

则水平偏角的表达式如式(7)所示:

$$\alpha = \frac{f S_x - x_0 S_z}{f S_z + x_0 S_x}, \quad (7)$$

由此不难看出,简化后的标定方法只需测得相机相对与监测中心的 2 个平移矢量及监测中心在图像中的坐标即可完成标定。

本文对平移矢量的测量方法提出了改进。利用实时动态差分 GPS 测得相机及监测中心所在位置在大地坐标系中的经纬度坐标,通过串口通信的方式传递给计算机上的测量软件,计算得到平移矢量。

为方便计算以正北方向为 X 轴正向建立如图 1 所示直角坐标系。C₁、C₂ 为相机所在位置,L 为相机距监测中心距离,平移矢量可以表示为:

$$S_x = L \times \cos \theta, S_z = L \times \sin \theta, \quad (8)$$

$$\begin{cases} A = \arccos[\cos(lato) \times \cos(latc) + \sin(lato) \times \sin(latc) \times \cos(lonc - lono)] \\ \phi = \arccos\{[\cos(latc) - \cos(lato) \times \cos(A)] / \sin(latc) \times \sin(A)\} \end{cases} \quad (10)$$

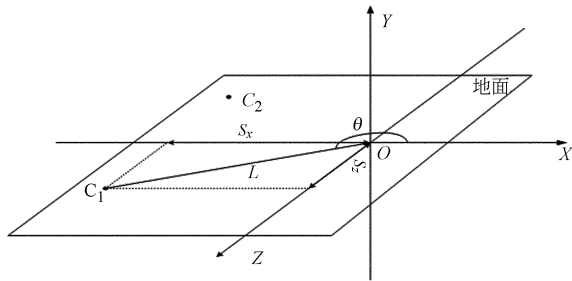


图 1 平移矢量示意图

Fig. 1 Sketch map of the translation vector

由上所述方法只需利用 GPS 测量获得监测中心及相机所在位置在大地坐标系中的经纬度坐标,可计算得到标定所需的平移矢量,代入式(7)完成对相机光轴水平偏角的标定。

3 实验数据分析与精度验证

各参数测量误差相互独立,根据误差分析原理我们可以对各参数进行单独分析^[13],又因本文提到的标定方法的简化主要体现在将焦距值作为已知参数并选取监测中心作为已知点进行相机参数的快速获取,而焦距采用分档定位,存在毫米量级的误差,焦距误差将给偏角与距离的计算带来误差,因此误差分析的重点在于焦距值误差对定位精度的影响。

由于坐标轴的建立由使用需求决定,其方向是变化的,X_w、Z_w 坐标值也会随之发生改变,但物体相对于监测中心的偏心距固定不变,因此通过分析 f 对偏心距 $d_w = \sqrt{X_w^2 + Z_w^2}$ 的影响进行

利用两点的经纬度坐标计算相机距离监测中心的距离及相机和监测中心连线与正北方向的夹角即可得到平移矢量。设监测中心及相机的经纬度坐标为(lato, lono), (latc, lonc)距离 L 及夹角 φ 公式如式(9)、(10)所示:

$$L = R \times \arccos[\sin(lato) \times \sin(latc) \times \cos(lonc - lono) + \cos(lato) \times \cos(latc)], \quad (9)$$

其中:R 为地球的平均半径。

定位误差分析,对本文提出的标定方法进行评价,并与简化前的标定方法进行比较。

考虑焦距值存在毫米量级误差,将焦距的极限误差值代入误差分析方程,取 $\delta f_1 = \delta f_2 = 2$ mm,分析简化后的标定方法中 $\delta f_1, \delta f_2$ 对监测区域内各点偏心距测量结果的影响。为简化分析过程,取两个视觉传感单元与监测中心距离为 $L_1 = L_2 = 2000$ m,自转角为 $\alpha_1 = 45^\circ, \alpha_2 = 135^\circ$ 。

根据误差分析原理不难得知 $\delta f_1, \delta f_2$ 对偏心距的影响可以表示为:

$$\delta Z_w(f_i) = \frac{\partial F_z}{\partial f_i} \cdot \delta f_i \quad \delta X_w(f_i) = \frac{\partial F_x}{\partial f_i} \cdot \delta f_i$$

$$\delta d_w(f_i) = \frac{\partial d_w}{\partial X_w} \cdot \delta X_w(f_i) + \frac{\partial d_w}{\partial Z_w} \cdot \delta Z_w(f_i)$$

$$Dd_w(f_i) = \sqrt{\delta d_w(f_1)^2 + \delta d_w(f_2)^2}, \quad (11)$$

利用 matlab 进行误差分析,分析结果如图 2(a)所示,X_w、Z_w 分别在监测中心两侧 -200 ~ 200 m 及 -400 ~ 400 m 变化,整个监测区域内由引起的偏心距误差 δd_w 不超过 0.5 m,监测区域的四角误差较大,且整个区域内各点处相差较少。

为比较标定方法简化前后对偏心距计算值的影响,对两种方法下监测区域内各点处偏心距计算值的偏差 σ_{D_w} 进行分析,结果如图 2(b)所示,最大差值不超过 0.4 m。对测量距离 L₁、L₂ 在 1 ~ 3 km 范围内变化时分别进行误差分析,测量距离为 1 km 时最大测量差值不超过 0.17 m,测量距离为 3 km 时最大差值不差过 0.5 m,该差值相对测量距离不太敏感。其它引起偏心距误差的因素还包括利用 GPS 测得的监测中心与相机间的

距离 L 及夹角 ϕ , 本系统使用双频差分 GPS, 其平面定位精度为 ± 5 mm, 经分析其在监测区域四角产生最大定位误差不超过对定位精度影响不大。由以上分析可以认为简化后的标定能够满足物体定位监测的精度要求。

确认了简化方法的正确性后, 我们通过多次的实地实验对解算的精度进行了进一步的验证。实验时监测中心与相机所在位置关系如下, 两个相机与监测中心距离分别为 $L_1 = 2\ 136.041$ m, $L_2 = 2\ 084.953$ m, 该距离是利用 GPS 测量经纬度后计算得到, 相机焦距设置为 $f_1 = f_2 = 24$ mm, 原标定方法得到的焦距标定结果为 $f_1 = 22.894$ mm, $f_2 = 23.169$ mm。监测中心在两个相机获取图像上的 x 向像素坐标分别为 1 219 和 1 201, 自转角的标定结果为 $\alpha_1 = 167.546^\circ$, $\alpha_2 = 202.355^\circ$, 选取不同位置利用 TNT 爆破对解算精度进行验证, 解算结果与 GPS 测量结果进行比较。

表 1 中列出了实验所得数据, 由此表可知在使用本文给出的单参数快速标定方法的情况下, 监测区域内所选试验点的偏心距误差不超过 2 m, 相对误差不超过 0.25%, 其中与原标定方法的误差相比引入误差的平均值为 0.568 m, 相对误差不超过 0.07%, 快速的标定方法的正确性及精确度得到了验证。不同测量距离下进行的现场试验也证明了上述结论。

表 1 某现场实验实测数据及误差比较

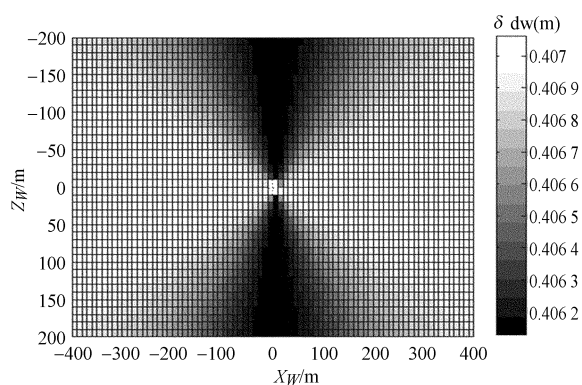
Tab. 1 Experiment data and error comparison

(m)

序号	单参数标定方法 测量结果	标准标定方法 测量结果	GPS 测量数据	单参数方法测量 误差	标准方法测量 误差	两种标定方法下 的测量偏差
1	2.97	3.01	2.997	0.03	-0.01	0.04
2	12.52	13.39	13.639	1.12	0.25	0.85
3	63.49	63.27	63.983	0.49	0.71	-0.22
4	132.81	132.26	133.110	0.30	0.85	-0.55
5	179.46	180.14	180.854	1.39	0.71	0.68

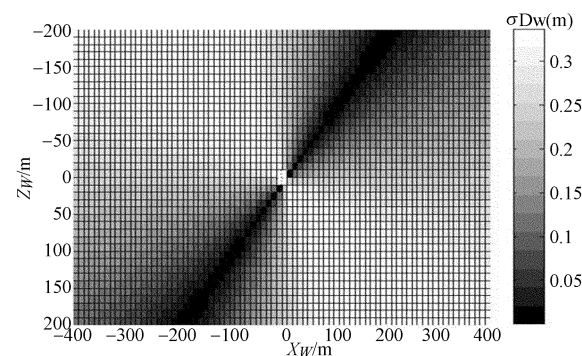
4 结 论

为实现大视场双目视觉物体定位监测系统的快速标定, 本文提出一种仅对相机光轴水平偏角



(a) 监测区域内不同位置处由焦距误差引起的偏心距误差分布图

(a) Effect of error of the focal length to the eccentricity in the different position of the Monitoring area



(b) 两种标定方法下监测区域内各点定位偏差分布图

(b) Measured deviation bring by using different method of calibration

图 2 误差分析结果

Fig. 2 Result of the error analysis

进行标定的简化方法。整个标定过程中只需对相机及监测中心位置进行经纬度测量, 并读取相机拍摄图片中监测中心的像素位置。改进后的标定方法简单易行, 使系统搭建方便快捷。现场实验及实际的工程应用已经证实了该方法能够满足定

位精度要求,监测区域内各点的相对定位误差不超过0.25%,由焦距值误差引起的相对定位误差不超过0.07%,适用于相机参数固定且不利于靶

标架设及移动的超大视场物体定位监测系统的现场实时快速标定。

参考文献:

- [1] 赵玉华,袁峰,丁振良,等.大视场多视觉传感器测量系统的全局标定方法[J].应用基础与工程科学学报,2011,19(4):679-687.
ZHAO Y H, YUAN F, DING Z L, et al.. The measurement system of multiple visual sensors global calibration method [J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2011, 19(4): 679-687. (in Chinese)
- [2] 陈刚,陈华,车仁生.空间点的立体体传感器标定方法[J].光学精密工程,2007,15(9):1439-1444.
CEHN G, CHEN H, CHE R S. Stereo calibration method of binocular vision [J]. *Computer Engineering and Design*, 2007, 15(9): 1439-1444. (in Chinese)
- [3] 孙军华,吴子彦,刘谦哲,等.大视场双目视觉传感器的现场标定[J].光学精密工程,2009,17(3):633-640.
ZHANG J H, WU Z Y, LIU Q Z, et al.. Field calibration of stereo vision sensor with large FOV [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(3): 633-640. (in Chinese)
- [4] 周富强,郝继贵,杨学友.CCD摄像机快速标定技术I[J].光学精密工程,2002,8(1):96-100.
ZHOU F Q, ZHU J G, YANG X Y. A high speed CCD camera calibration technique [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 8(1): 96-100. (in Chinese)
- [5] SAI R Y. An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine vision [C]. *Proc. of CVPR*, 1986: 364-374.
- [6] FAUGERAS O, I UONG Q, M AYBANK S. Camera self-calibration: theory and experiments [C]. *Prof. of the 2th*, 1992: 321-234.
- [7] 张建新,段发阶,叶声华.“两步法”求取双目视觉系统中摄像机位置关系[J].光电工程,1998,25(5):37-41.
ZHANG J X, DUAN F J, YE S H. “Two step” method for binocular sensor sel calibration [J]. *Opt-to-Electronic Engineering*, 1998, 25(5): 37-41. (in Chinese)
- [8] 王向军,韩双来.弹落点坐标测量系统的快速标定方法及精度分析[J].光学精密工程,2005,13(6):686-690.
WANG X J, HAN S L. A high speed camera calibration method in coordinate measurement of bomb-fall and its precision analysis [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(6): 686-690. (in Chinese)
- [9] 马颂德,张正友.计算机视觉[M].北京:科学出版社,1998:52-75.
MA S D, ZHANG Z Y. *Computer Vision* [M]. Beijing Science Press, 1998: 52-75. (in Chinese)
- [10] 孙冬梅,张广明,陈玉明.双目视觉测量系统摄像机外部参数标定研究[J].控制工程,2012,19(4):598-602.
SUN D M, ZHANG G M, CHEN Y M. Camera extrinsic parameters calibration algorithm research of binocular vision system [J]. *Control Engineering of China*, 2012, 19(4): 598-602. (in Chinese)
- [11] 王向军,郭文佳,韩双来,等.基于计算机视觉的弹着点坐标远程测量系统[J].红外与激光工程,2006,35(5):624-628.
WANG X J, GUO W J, HAN S L, et al.. Remote measuring system of bomb-fall based on computer vision [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(5): 624-628. (in Chinese)
- [12] 韩双来.基于计算机视觉的弹着点坐标远程测量系统[D].天津:天津大学,2005.
HAN S L. *Remote measuring system of bomb-fall based on computer vision* [D]. Tianjin: Tianjin university, 14-16. (in Chinese)
- [13] 刘佳音,王中立,贾云得.一种双目视觉系统误差分析方法[J].光学技术,2003,29(3):354-357.
LIU J Y, WANG Z L, JIA Y D. Error analysis of binocular stereo vision system [J]. *Optical Technique*, 2003, 29(3): 354-357. (in Chinese)

作者简介:



王向军(1955—),男,黑龙江哈尔滨人,博士,教授,博士生导师,主要从事精密测试技术与仪器、光电探测与传感技术、影像与视觉测量方面的研究。E-mail: xdocuxjw@vip.163.com



王 剑(1961—),男,江苏徐州人,教授,博士,主要从事高速光纤通信系统、光电检测技术、航管雷达显示技术等方面的研究。E-mail: caucwang@263.net



王 晶(1988—),女,河北衡水人,硕士研究生,2011年于天津大学获得学士学位,主要从事双目视觉测量及图像处理方面的研究。E-mail: wjyh0206@126.com



张召才(1984—),男,山东济宁人,2004年于山东大学获得学士学位,2012年于天津大学获得博士学位,主要从事计算机视觉,图像分析与测量方面的研究。E-mail: zzcai984@163.com



刘 峰(1978—),男,辽宁辽阳人,天津大学精密仪器与光电子工程学院工学博士/讲师,主要从事计算机视觉、影像测量技术和高速、精密并联运动跟踪技术方面的研究。E-mail: tjuliufeng@tju.edu.cn