

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.10.021

靶场远程监测自动评估系统及弹落点定位研究^{*}

王鑫^{1,2} 王向军¹

(1. 天津大学微光机电系统技术教育部重点实验室 天津 300072;

2. 北华航天工业学院电子与控制工程学院 廊坊 065000)

摘要:提出的靶场报靶系统实现对炮兵、航空兵对地火力打击的远程监测以及弹落点落地位置的自动评估,给部队作战训练效果提供有效的科学依据,同时也是建设数字化靶场的需要。系统基于无线网络传输终端及 RS485,是具有分布式测量、无人值守、远程控制、人机交互界面友好等特点,实现弹落点自动识别定位、信息无线传输、数字化显示及数据管理等功能的三级报靶系统。系统构建基于双目立体视觉测量原理,相机 25 fps 连续采集 100 帧图像,实时在线实现 15 个弹落点定位解算,较好解决了超大三维空间下多个目标自动定位解算问题。

关键词: 远程监测;自动评估;双目立体视觉;目标定位

中图分类号: TN98;V243.5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Research on remote monitoring automatic assessment system and explosion points location

Wang Xin^{1,2} Wang Xiangjun¹

(1. Key Laboratory of MOEMS of the Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Institute of Electronic and Control Engineering, North China Institute of Aerospace Engineering, Langfang 065000, China)

Abstract: In this paper, target-scoring system accomplishes artillery, aviation firefighting remote monitoring and explosion points location automatic assessment, and provides effective scientific basis to the army combat training effect, at the same time also is the need of construction of digital range. 3-level target-scoring system based on wireless transmission terminal and RS485 network has the characteristics of distributed measurement, unmanned, remote control, friendly man-machine interface, and accomplishes automatic identification and location, information wireless transmission, digital display, and data management. The system is built based on binocular stereo vision measurement principle. 25 fps camera collects 100 consecutive frames, and implements 15 explosion points locations real-time and online. It has well solved the problem of large three-dimensional space multiple targets automatic positioning calculation.

Keywords: remote monitoring; automatic assessment; binocular stereo vision; target location

0 引言

伴随各个技术领域的发展,现代军事力量日趋强大,随着数字化、信息化武器装备在未来战场占据的份额越来越大,部队数字化转型就是要足以适应未来战场需求。

军事训练在国家武装力量建设和战备工作中占有重要地位。它是军队平时的主要任务,是战备的重要方面,许多国家都把军事训练列为战略研究的一项内容。实现战场数字化,显然,传统训练方法已不能完全适应,必须将数字化训练单元嵌入部队,提高相应的自动化军事训练系统比例,提高军事训练力量。

收稿日期:2017-04 Received Date: 2017-04

^{*} 基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0601900,2017YFC0601901)河北省高等学校科学技术研究重点项目(ZD2016106)、河北省高等学校科学技术研究项目(ZC2016098)资助

在实弹投弹演习中,炮兵、航空兵是否能够成功击中地面目标靶心,是衡量其作战能力的重要指标。因此,对于是否击中靶心即偏离靶心距离是训练中所关心的。传统方法是在演习训练结束以后,由人工实地勘察测量,但这样耗费很大的人力时间,而且因为是事后测量,对于投弹情况复杂,弹数较多的情况,会出现测量误差及差错。这种方式也与现今数字化训练对军事自动评估系统的要求不相符^[1]。

本文提到的靶场远程监测自动评估系统是一套实时在线测量弹落点偏离靶心距离的分布式军事训练自动评估系统。针对多靶区同时作战,需要多套报靶系统同时作业的特殊需求,提出了一种基于无线网络传输终端和 RS485 网络的系统结构,满足大规模数字化军事训练基地的实弹演习需求^[2]。

系统的构建基于双目视觉测量原理。双目视觉是根据人眼结构及视觉构成特点提出的一种立体视觉方法,获取目标的三维信息既包括深度信息^[3,4]。双目视觉测量系统原理简单,能够实现在线非接触三维坐标测量,在自动检测、航空航天以及国防等领域^[5-8]。

1 系统结构及功能

系统监测区域为 $\Phi 200 \sim 400 \text{ m}$,自动完成多个弹落点探测、识别、匹配,坐标测量及全模式的构建过程,整体构成如图 1 所示,属于多级监测系统。前方两个测量站和一级上位测控计算机通过 McWiLL 联网组成一套独立的报靶系统^[9]。

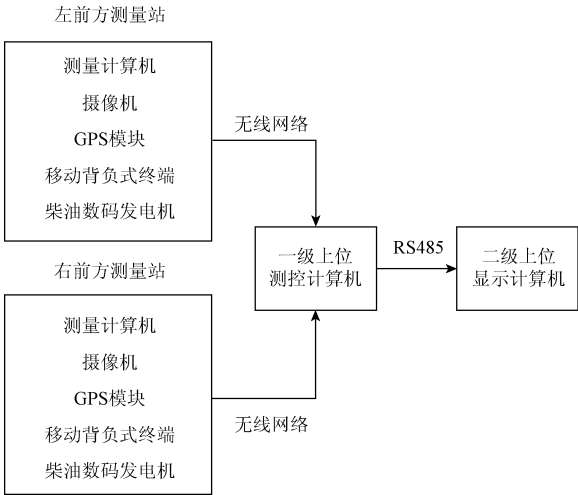


图 1 远程监测自动评估系统示意图

Fig.1 Block diagram of remote monitoring automatic assessment system

前方两个测量站主要安排在距离炮弹落地区域(某标号山包)2~3 km 处的野外靶区某地点,两测量站在演习开始前完成位置选定,系统架设,连线等相关准备工作,与炮弹落地目标靶心成一定角度。测量站位置选定

与系统标定及野外环境因素有关^[1]。演习开始后,测量站无人看守,自动监测。由于野外环境恶劣,且为方便架设及线路连接,测量站中的计算机使用工控一体机。摄像机架设在三脚架上,通过千兆网线与计算机连接。GPS 置于摄像机顶部,通过串口线与计算机连接。每个测量站供电模式是使用柴油数码发电机,支持连续 7 h 正常工作状态。Mc Wi LL 是国内北京信威通信自主研发的移动宽带无线接入(BWA)系统,保密性能良好。

前端测量站监测目标区域,待首个弹落点出现后,实时连续采集、存储百帧图像,进行图像预处理,提取弹落点。将弹落点像面位置等信息以结构体的形式进行存储,自动将其通过网络终端传输至上位显示计算机。

上位测控计算机和上位显示计算机布置在距离靶区数十公里以外的室内指控中心。上位测控计算机接收前端测量站上传的弹落点信息,进行特征匹配^[10-11],根据双目立体视觉测量模型,计算出各个弹落点的深度定位信息^[12]。

每套监测系统监视一个目标区域,当有多个炮弹落地目标区域(即多个山包,山上有阿拉伯数字标注)同时作为不同作业部队炮击目标,均处于炮击状态时,需要多套监测系统,通过 RS485 总线将最终成绩汇总至二级上位显示计算机,显示并存储。

2 上位机操作软件

系统功能成熟以后,对演习训练工作人员进行培训,操作上位测控计算机。上位机操作软件采用面向对象的程序设计方式,是一款基于 Visual C++ 语言,MFC 类库框架下开发的的利于人机交互的应用程序,在 Windows 环境下运行。图 2 所示为上位测控计算机软件总体设计

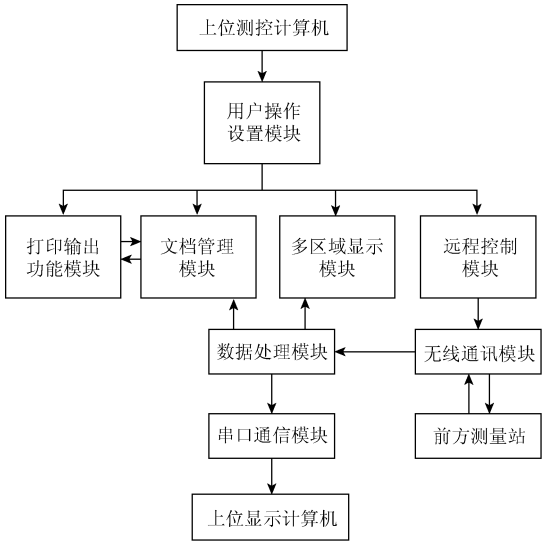


图 2 上位测控计算机软件功能框图

Fig.2 Block diagram of the upper control computer software function

功能框图,共包含若干功能模块。

用户操作设置模块包括控制按钮面板及菜单控制。无线通信模块,包括通信端口侦听、弹落点信息接收及反馈信息接收。串口通信模块,包括接收呼叫命令、发送弹落点信息至上位显示计算机及总成绩评估。数据处理模块,包括弹落点匹配、数据存储及手动补测功能。

用户首先登陆该软件,输入登录名及密码。上位测控计算机主操作界面,包括成绩统计、训练批次、弹落点信息、控制按钮面板及弹落点位置示意窗口,如图 3 所示。

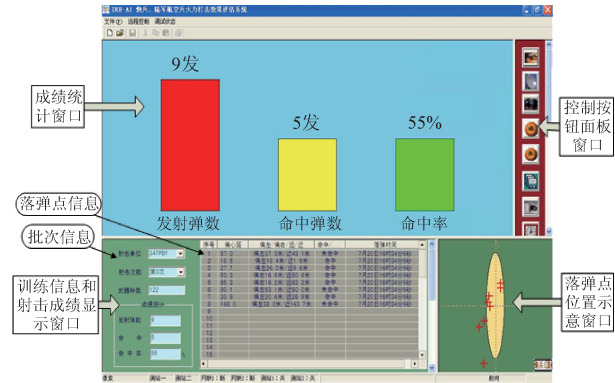


图 3 上位测控计算机主操作界面

Fig.3 The main operation interface of the upper control computer

3 双目立体视觉测量模型

结合测量系统的应用实际环境,物体距离透镜距离远远大于透镜焦距,同时摄像机镜头不存在畸变,本文选用摄像机透视成像模型作为系统的测量模型^[13-14],模型可以较好地反映客观实际空间,如图 4 所示。

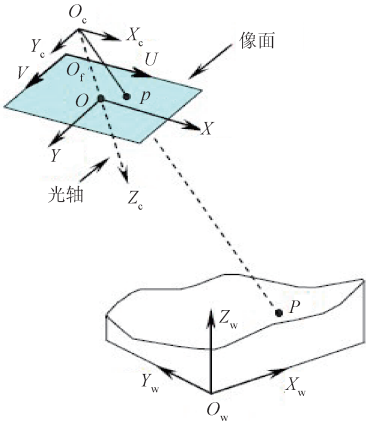


图 4 摄像机透视变换模型

Fig.4 The camera perspective transformation model

利用透视矩阵变换建立世界坐标系、摄像机坐标系及像面坐标系之间的映射关系。

$$z_c = \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{d_x} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{d_y} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

参数说明如表 1 所示。

表 1 参数列表
Table 1 Parameter list

参数符号	参数名称	单位	备注
u_0	图像中心点二维坐标	像素	
v_0			
d_x	CCD 像元对应		
d_y	物理尺寸	μm	
f	摄像机焦距	mm	
X_w			
Y_w			
Z_w	弹落点世界坐标系 三维坐标	m	
R	摄像机姿态旋转矩阵		与摄像机滚转角 α 、俯仰角 β 、倾斜角 γ 有关
T	摄像机平移向量		

摄像机参数包括内部参数和外部参数^[15-16],参数列表中前 5 项属于内部参数,从摄像机参数说明中可获得。外部参数包括 3 个平移矢量和 3 个旋转角度 α 、 β 、 γ 。俯仰角 β 、倾斜角 γ 可认为近似为 0。摄像机平移矢量的 3 个值可以通过放置在摄像机上的 GPS 获得。滚转角 α 也可以通过摄像机标定得到^[17]。

摄像机姿态旋转矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha \end{bmatrix} \tag{2}$$

式(1)可写为:

$$z_c \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha S_x - \sin\alpha S_z \\ 0 & 1 & 0 & S_y \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha S_x + \cos\alpha S_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

将式(3)按矩阵相乘,结果如式(4)的方程组。

$$\begin{cases} f\cos\alpha X_w - f\sin\alpha Z_w + f(\cos\alpha S_x - \sin\alpha S_z) = z_c X \\ fY_w + fS_y = z_c Y \\ \sin\alpha X_w + \cos\alpha Z_w + \sin\alpha S_x + \cos\alpha S_z = z_c \end{cases}$$

(4)

将方程组中第 3 个等式代入第 1 个方程得到:

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

(5)

式(5)是单一摄像机某弹落点的像面横坐标和三维空间世界坐标系下坐标满足的方程。

设左、右两摄像机的焦距分别为 f_1, f_2 , 滚转角分别为 α_1, α_2 , 平移矢量为 $(S_{x1}, S_{z1}), (S_{x2}, S_{z2})$, 弹落点像面横坐标为 X_1, X_2 , 对式(5)的各项系数设为 $i=1, 2$:

$$\begin{cases} A_i = f_i - X_i \tan\alpha_i \\ B_i = -(f_i \tan\alpha_i + X_i) \\ C_i = (f_i - X_i \tan\alpha_i) S_{xi} - (f_i \tan\alpha_i + X_i) S_{zi} \end{cases}$$

(6)

左、右两摄像机的方程联系为:

$$\begin{cases} A_1 X_w + B_1 Z_w + C_1 = 0 \\ A_2 X_w + B_2 Z_w + C_2 = 0 \end{cases}$$

(7)

目标点坐标的表达式为:

$$X_w = \frac{C_2 B_1 - C_1 B_2}{A_1 B_2 - A_2 B_1}$$

(8)

$$Z_w = \frac{A_1 C_2 - A_2 C_1}{A_2 B_1 - A_1 B_2}$$

(9)

4 多目标定位解算

某数字化训练基地进行实弹演习,使用本文的靶场远程监测自动评估系统,监测区域 $\Phi 400\text{ m}$,测量站距离监测区域 2 km 。图 5 所示为左、右两站采集的包含对应两个弹落点的一对图像。

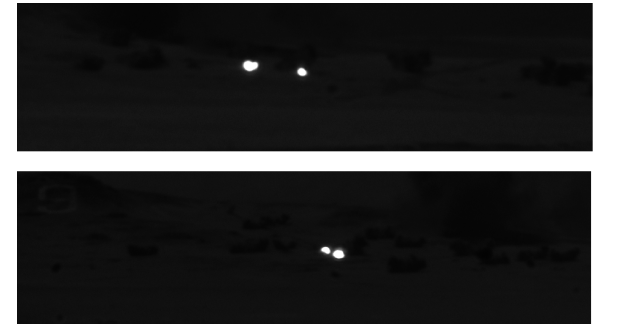


图 5 原始图像
Fig. 5 Original image

从图 5 可以看出,弹落点在图像中所占像素面积小,没有纹理及形状特征,由于目标数量多,并且两测量站位置及采集角度原因,图像背景及弹落点间无固定联系,给对应弹落点配准造成很大困难。目前,弱小目标检测已

是研究难点。由于本文研究实弹训练图像涉及军事应用,公开发表文献较少。对多个弱小目标检测及配准的研究更少。因此,本文研究采用利用时间信息,对应帧及相邻帧范围内搜索的方法,配准弹落点,进行定位解算。

表 2 所示为某数字化训练基地实弹演习的一批弹落点信息,帧号表示对应弹落点所在图像帧序号。

表 2 弹落点信息
Table 2 The explosion points information

前端测量站 1				前端测量站 2			
帧号	序号	帧号	序号	帧号	序号	帧号	序号
1	1	70	11	1	1	49	11
4	2	72	12	7	2	53	12
6	3	80	13	17	3	63	13
20	4	83	14	20	4	70	14
28	5	91	15	27	5	71	15
40	6			28	6	75	16
49	7			33	7	80	17
53	8			35	8	83	18
63	9			39	9	91	19
64	10			41	10	93	20

根据表 2 绘出前端测量站 1、2 弹落点在帧序列的分布,如图 6 所示,横轴表示帧号序列,纵轴表示弹落点数。

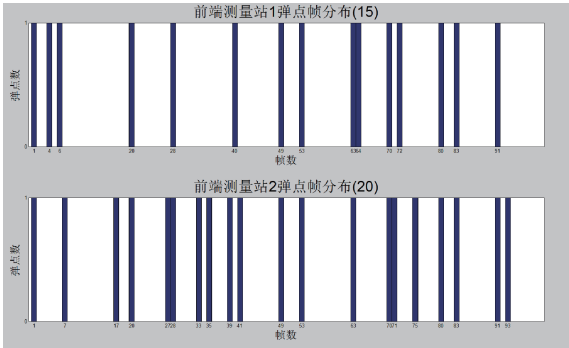


图 6 弹落点分布
Fig. 6 The explosion points distribution

图 5 清晰可见,部分弹落点,如 1 号站第 4 帧目标,2 号站第 17、33、35 帧目标,由于另一侧前端测量站目标遮挡,并未采集到目标,因此属于目标丢失问题,无法匹配定位。其余 13 个弹落点可以与另一侧前端测量站同一帧(或相邻前后两帧)的目标认为是同一个弹落点,再根据式(9)进行定位解算,即可获得此弹落点深度信息。

5 结 论

本文介绍一种基于无线传输终端和 RS485 的靶场远程监测自动报靶系统,该系统能够为演习及数字化靶场

训练提供多靶区实时准确的弹落点定位信息。经过多次演习及多个靶场使用,系统具有较高可靠性,节省了人力,且提高了训练的安全性及科学性。多数双目立体视觉测量系统对于本文的野外大视场环境不太适用。本文给出的测量模型适用于该系统使用环境。并且多个弹落点匹配利用了时间-空间关系。根据实弹演习图像,基于此模型解算出弹落点定位数据,定位精度 10 m 以内,在此野外大视场环境下为较高精度。

参考文献

- [1] 王向军,王晶,刘峰,等. 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[J]. 光学精密工程, 2013,21(10):2664-2670.
WANG X J, WANG J, LIU F, et al. Fast calibration for binocular vision measuring system with a large field[J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(10): 2664-2670.
- [2] 鲁永为,王向军,张宁宁,等. 基于 McWiLL 和 RS-485 网络的多级报靶系统[J]. 计算机工程, 2013,39(8): 314-317.
LU Y W, WANG X J, ZHANG N N, et al. Multi-grade target-scoring system based on McWiLL and RS-485 network[J]. Computer Engineering, 2013, 39(8): 314-317.
- [3] 曲学军,张璐,张凌云. 基于新的成像模型的摄像机标定与三维重建[J]. 仪器仪表学报, 2011,32(8): 1830-1836.
QU X J, ZHANG L, ZHANG L Y. Camera calibration and 3D reconstruction based on a new imaging model[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011,32(8):1830-1836.
- [4] LI G, WANG W, WANG Y, et al. Nano-manipulation based on real-time compressive tracking[J]. IEEE Transactions on Nanotechnology, 2015, 14(5): 837-846.
- [5] 乔玉晶,王浩然,赵燕江. 大尺寸曲面零件的双目视觉测量网络规划研究[J]. 仪器仪表学报, 2015,36(4): 913-918.
QIAO Y J, WANG H R, ZHAO Y J. Study on binocular vision measurement network layout for large curved surface parts[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(4):913-918.
- [6] 欧巧凤,赵平均,熊邦书,等. 基于立体视觉的旋翼共锥度动态测量系统精度分析[J]. 仪器仪表学报, 2015,36(8):1692-1698.
OU Q F, ZHAO P J, XIONG B SH, et al. Accuracy analysis of the measuring instrument for taper angle of running rotor blades based on stereo vision[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(8): 1692-1698.
- [7] 刘通,乔立岩,罗天男,等. 基于点云配准的立方体卫星非合作姿态估计[J]. 仪器仪表学报, 2016,37(10): 2316-2323.
LIU T, QIAO L Y, LUO T N, et al. Non-cooperative pose estimation for cubesat based on point set registration[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(10):2316-2323.
- [8] 熊建平. 基于计算机视觉的墙地砖表面缺陷检测[J]. 电子测量技术, 2015,38(5):53-55.
XIONG J P. Research on the surface defect detection of floor tile based on computer vision[J]. Electronic Measurement Technology, 2015,38(5):53-55.
- [9] 王鑫. 基于双目立体视觉的特征一致物体匹配与定位研究[D]. 天津:天津大学, 2013.
WANG X. Research on objects in the same characteristics matching and positioning based on binocular stereo vision[D]. Tianjin: Tianjin University, 2013.
- [10] 王鑫,王向军,冯登超,等. 特征一致红外弱小目标匹配与定位研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(9):1405-1410.
WANG X, WANG X J, FENG D CH, et al. Research on matching and locating of infrared dim small targets with the same characteristics[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(9): 1405-1410.
- [11] 严念. 基于立体视觉的具有相同特征的多目标匹配方法研究[D]. 天津:天津大学, 2015.
YAN N. A study on matching of objects with the same feature for stereo vision[D]. Tianjin: Tianjin University, 2015.
- [12] WANG G H, WU Q M J, ZHANG W. Camera self-calibration and three dimensional reconstruction under quasi-perspective projection[C]. Canadian Conference on Computer & Robot Vision, 2008:129-136.
- [13] 刘一凡,蔡振江,索雪松. 基于基础矩阵与 HEIV 模型的双目相机标定[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(9):1425-1431.
LIU Y F, CAI ZH J, SUO X S. New calibration method Of binocular camera based on fundamental matrix & HEIV model[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(9):1425-1431.
- [14] 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 SH L, et al. Remote measuring system of bomb-fall based on computer

- vision[J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(5):624-628.
- [15] 吴渊凯,卞新高. 计算机视觉中摄像机标定的实验分析[J]. 电子测量技术,2016,39(11):95-99.
- WU Y K, BIAN X G. Experimental analysis of camera calibration in computer vision [J]. Electronic Measurement Technology, 2016, 39(11): 95-99.
- [16] 姜宏志,赵慧洁,梁宵月,等. 基于极线校正的快速相位立体匹配[J]. 光学精密工程,2011,19(10):2520-2524.
- JIANG H ZH, ZHAO H J, LIANG X Y, et al. Phase-based stereo matching using epipolar line rectification[J]. Optics and Precision Engineering, 2011,19(10):2520-2524.
- [17] 王晶. 野外大视场双目视觉坐标定位系统快速标定方法研究[D]. 天津:天津大学,2014.

WANG J. Research on the fast calibration method for the large field measurement system [D]. Tianjin: Tianjin University,2014.

作者简介



王鑫,1987年出生,分别在2010年、2013年于天津大学获得学士学位和硕士学位,现为北华航天工业学院电子工程系讲师,天津大学在读博士,主要研究方向为计算机视觉、图像处理、信号处理。

E-mail: wxtju1987@163.com

Wang Xin was born in 1987, received B. Sc. and M. Sc. from Tianjin University in 2006 and 2010, respectively. She is a lecturer in Institute of Electronic and Control Engineering, North China Institute of Aerospace Engineering, and a Ph. D. candidate in Tianjin University now. Her present research interests include computer vision, image processing, and signal processing.