

文章编号 1004-924X(2018)01-0245-08

基于目标特征尺寸的可视化被动测距系统

杨金宝^{1,2,4*}, 杨晨⁴, 刘建国^{1,2}, 祝宁华^{1,3}, 于丽娟¹, 刘亚超⁴

(1. 中国科学院半导体研究所 固态光电信息技术实验室, 北京 100083;

2. 中国科学院大学 电子电气与通信工程学院, 北京 100049;

3. 中国科学院大学 材料科学与光电技术学院, 北京 100049;

4. 北京环境特性研究所 光学辐射重点实验室, 北京 100854)

摘要:为克服传统光电被动测距系统稳定性差、远距离条件下测距精度收敛性差、系统难以小型化等不足,本文提出一种基于目标特征尺寸的可视化光电被动测距系统。建立了被动测距模型并分析测距原理,从理论上分析获得距离反演公式和测距误差精度;设计了被动测距算法并分析相关成像参数获取途径和方法;通过高清成像器、半导体激光器和信号处理器等软硬件设计,实现了系统的可视化被动测距功能和全天候图像信息获取;最后通过目标特征尺寸及其成像系统参数反演目标距离,实现了在成像过程中实时测距并进行被动测距实验验证。实验结果表明,被动测距精度优于 10%,当前软硬件参数配置下,目标的测距距离大于 1 km,测距鲁棒性好,性能稳定,可广泛应用于全天候目标图像信息获取和光电被动测距的实际工程实践中。

关键词:特征尺寸;被动测距;可视化

中图分类号:TN29; TP391.4; TN971. +5 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20182601.0245

Visual passive ranging system based on target feature size

YANG Jin-bao^{1,2,4*}, YANG Chen⁴, LIU Jian-guo^{1,2}, ZHU Ning-hua^{1,3}, YU Li-juan¹, LIU Ya-chao⁴

(1. *Laboratory of Solid State Optoelectronic Information Technology, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China;*

2. *School of Electronic, Electrical and Communication Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3. *College of Materials Science and Opto-Electronic Technology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

4. *Science and Technology on Optical Radiation Laboratory, Beijing Institute of Environmental Features, Beijing 100854, China)*

* *Corresponding author, E-mail: yangjinbao20054723@126.com*

Abstract: In order to overcome the shortage of traditional optical passive ranging system such as low stability, difficult to guarantee insufficient ranging accuracy in long-distance condition and difficult to reduce the system volume and weight, a method for visualization of optical passive ranging system based on target feature size was presented in this paper. Passive ranging model was established and

收稿日期:2017-07-06;修订日期:2017-08-20.

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(No. 2014CB340102)

ranging principle was analyzed. Theoretical analysis was carried out to obtain the distance inversion formula and the ranging error accuracy. Through hardware and software design, the visual passive ranging function of the system was achieved and the all-weather image information acquisition was realized. Finally, target distance was retrieved by the target feature size and the imaging system parameters, real-time ranging was realized during the imaging process, and the passive ranging experiment was carried out. Experimental results show that the accuracy of passive ranging is better than 10%. Under the current hardware and software configuration, the target ranging distance is greater than 1km. The method has good robustness and stable performance. It can be widely used in the practical engineering of all-weather target imaging information acquisition and photoelectric passive ranging.

Key words: feature size; passive ranging; visualization

1 引言

距离信息作为光电定位的基础,是在以精确制导、定点打击为代表的高科技武器的新军事技术变革中最为核心的态势信息之一^[1-3]。被动测距技术的最大优势在于其强隐蔽性,能够满足当前日益复杂的光电对抗需求^[4-5]。在多种光电被动测距方法中,可视化光电被动测距技术一直是各国研发机构的重点研究对象在成像的过程中同时获取目标的距离,进而反演目标的三维信息,能够满足未来光电信息对抗的迫切需求^[6]。可视化被动测距技术通过探测物体的自然光辐射并进行分析来确定物体的距离^[7-8],目前,最为典型的有双目三角测距技术和基于透镜成像公式测距技术,基于目标辐射与传输特性测距技术等^[9-12]。近年来,光电被动测距技术正向小型化、低功耗和实战可靠性方向发展,基于图像信息的被动测距方法是未来被动测距的重要方向^[13]。但目前的被动测距装置系统体积和重量难以小型化,且测距精度收敛性差,难以做到实际工程化应用^[14-15]。

本文针对传统光电被动测距技术的不足,提出一种基于目标特征尺寸的可视化光电被动测距系统,建立被动测距模型和设计测距算法,通过软硬件设计,实现了成像过程中对目标的实时可视化被动测距。

2 测距原理

可视化被动测距技术利用光电成像原理,对图像、目标特征尺寸和成像器参数间的耦合关系反演目标距离。所谓目标特征尺寸,是指该物体具有代表意义的尺寸长度,如考察一个球体,那么其特征尺寸就是该球体的半径或直径。对于自然界中具有特征尺寸的物体或图形,只要其特征尺寸不变,其性质就不会发生什么变化。在已公开发表的文献中,相关研究人员也予以引用^[16-17]。设目标特征中心点与成像器观测点之间的距离为 R ,以目标在水平方向的特征尺寸为 h ,成像器水平方向成像视场角为 θ_H ,成像探测器水平分辨率为 M ,即探测器水平方向最多有 M 个像元,目标横向特征在成像靶面上为 m 个像素,成像光学系统等效为一透镜,如图 1 所示。

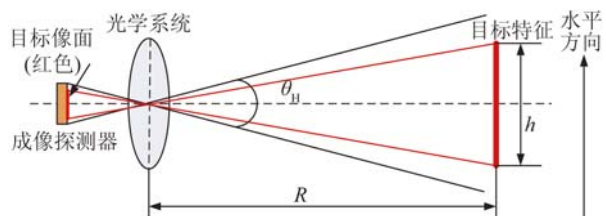


图 1 目标成像原理图

Fig. 1 Schematic diagram of target imaging

由几何光学可知,在像面端,成像器的像素尺寸为 d ,成像器焦距为 f ,成像器等效为由规则像素组成的阵列,以水平方向为例, O 为透镜中心, OO' 为光轴中心线,成像几何关系如图 2 所示。

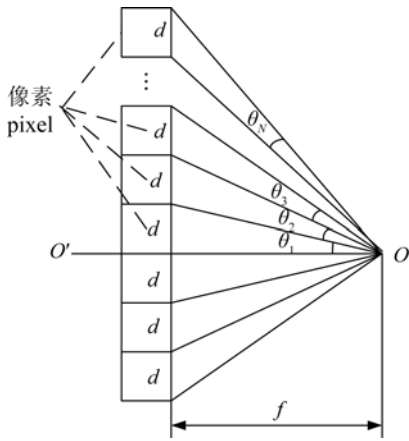


图 2 像面端成像原理图

Fig. 2 Imaging principle diagram of image plane

其中:

$$\theta_1 = \arctan \frac{d}{f}, \quad (1)$$

$$\theta_2 = \arctan \frac{2d}{f} - \theta_1, \quad (2)$$

$$\theta_3 = \arctan \frac{3d}{f} - \theta_1 - \theta_2, \quad (3)$$

依次类推,可以得出:

$$\theta_N = \arctan \frac{Nd}{f} - \sum_{n=1}^{N-1} \theta_n, N \geq 2. \quad (4)$$

一般地,当 $10Nd < f$ 时,

$$\arctan \frac{Nd}{f} \approx \frac{Nd}{f}. \quad (5)$$

以 1/3 inch 可见光 CMOS 芯片为例,像素尺寸一般为 $2.4 \mu\text{m}$,传感器芯片的总尺寸为 4.8 mm,所以,当焦距 $f > 24 \text{ mm}$ 时,在整个探测器平面内:

$$\theta_1 = \theta_N, N \geq 2. \quad (6)$$

一般地,设在距离中心线第 K 个像元处,

$10Kd < f$, K 取小于 $\frac{f}{10d}$ 的最大整数,

$$K = \left[\frac{f}{10d} \right]. \quad (7)$$

将反方向记为负,得出:

$$\theta_1 = \theta_n, -K \leq n \leq K, n \neq 0. \quad (8)$$

$[-K, K]$ 为测距条件下成像器的线性区间。目标横向特征在成像靶面上为 m 个像素,设在 $[-K, K]$ 范围内有 m_1 个目标像素,在 $[1, K]$ 区间正方向范围外有 m_2 个目标像素,在 $[-K, -1]$ 区间负方向范围外有 m_3 个目标像素,有:

$$m = m_1 + m_2 + m_3. \quad (9)$$

目标特征尺寸相对于透镜中心点的张角

为 θ_h :

$$\theta_h = m \sum_{n=-K}^K \theta_n + \sum_{n=K+1}^{K+m_2} \theta_n + \sum_{n=-(K+1)}^{-(K+m_3)} \theta_n, n \neq 0. \quad (10)$$

当目标中心轴线与成像系统视轴重合时,如图 2 所示。则有:

$$\tan \frac{\theta_h}{2} = \frac{h}{2R}, \quad (11)$$

$$R = \frac{h}{2 \tan \left(\frac{\theta_h}{2} \right)}. \quad (12)$$

对公式(10)进行简化,设成像器靶面像素均在线性区内,一般地 $h \ll R$,公式(12)可简化为:

$$R = \frac{Mh}{m\theta_H}. \quad (13)$$

当目标中心轴线与成像系统的视轴夹角为 φ 时,如图 3 所示。此时 $R' = R / \cos \varphi$,目标实际投影到成像靶面的水平方向特征尺寸长度 $h' = h \cos \varphi$,由于非线性区内计算复杂度较高,且一般成像系统中,成像焦距很容易满足公式(5)的要求,非线性区范围很小,因此本文分析重点集中在线性区,其像素个数 $m' = m \cos \varphi$,将上述关系代入公式(13),可得到:

$$R' = \frac{Mh'}{m'\theta_H \cos \varphi}, \quad (14)$$

因此公式(13)、(14)可统一表达为公式(13)。

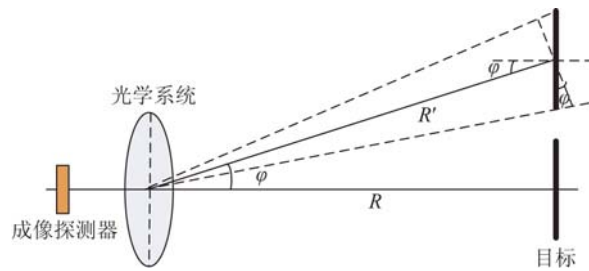


图 3 目标中心轴线与成像系统的视轴不重合

Fig. 3 Target central axis and optical axis of imaging system with misalignment

此时 m 为实际投影到探测器靶面的像素个数。该公式与目标中心轴线与成像系统的视轴夹角 φ 无关。

垂直方向特征尺的分析与水平方向类似,其计算公式为:

$$R = \frac{Nv}{n\theta_V}, \quad (15)$$

其中:目标垂直方向特征尺寸为 v ,系统垂直方向成像视场角为 θ_v ,成像探测器垂直分辨率为 N ,目标垂直特征在成像靶面上为 n 个像素。

实际应用中,成像探测器水平分辨率 M 和水平方向成像视场角为 θ_H 一般为定值,对公式(13)或公式(15)中 R 进行全微分得:

$$\delta_R = \frac{M}{\theta_H} \left(\frac{\delta_h}{m} + \frac{h}{m^2} \delta_m \right). \quad (16)$$

相对测距精度:

$$\frac{\delta_R}{R} = \frac{1}{h} \delta_h + \frac{1}{m} \delta_m. \quad (17)$$

当前的计算机图像处理技术能够实现目标特征尺寸的亚像素级提取,取 $\delta_m = 1$ 。随着成像器分辨率的不断提高, $m > 100$,由公式(17)可知,相对测距精度主要取决于目标特征尺寸相对误差。将实际目标特征尺寸的相对误差控制在 10% 以内,即可保证在工程实践中相对测距误差小于 10%,因此系统相对测距精度一般小于 10%,能够满足当前测距需求。

3 系统实现

3.1 硬件组成

基于目标特征尺寸的可视化光电被动测距系统主要由高清成像传感器、半导体激光器和信号处理器组成,组成原理图如图 4 所示。

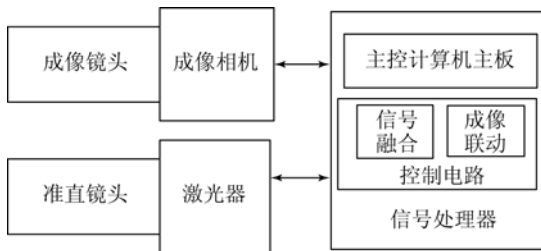


图 4 系统组成原理图

Fig. 4 Schematic diagram of system composition

高清成像器包括高清相机、高清镜头和光学元件。高清相机采用高清低照度宽动态相机,对 CMOS 传感器图像信息进行 ISP 处理,包括低照度增强、宽动态拉伸等。高清成像镜头采用光学增透技术,能够实现透雾增强功能。选用的镜头

为 32 倍变焦镜头,最大焦距为 128 mm。

半导体激光器作为夜视主动照明光源,能够让系统实现全天候工作。激光器波长为 940 nm,人眼对该波段激光不敏感,隐蔽性好,半导体激光器快慢轴不对称,因此采用柱透镜进行匀化并采用旋转柱透镜的方式消除激光散斑,实现高均匀度照明。

信号处理器包括主控计算机主板和控制电路。主控计算机主板为系统控制、测距算法的运行平台。控制电路完成系统控制,包括相机、激光器的成像联动、视频信号与通讯信号融合等。

3.2 被动测距算法

由公式(13)或公式(15)可知,目标距离的反演需要系统成像器参数和目标参数。这些参数分别为目标的横向或纵向特征尺寸,目标的成像像素大小及成像器视场角。

3.2.1 目标特征尺寸参数

获得目标的横向和纵向特征尺寸 $h \times v$ 的方式有两种:在有雷达引导的系统中,当雷达和光电交接时,雷达给出最近一次的目标距离,依据该距离参数,反演出目标的物理特征尺寸 $h \times v$;在没有雷达引导情况下,通过建立目标的特征尺寸数据库,首先识别目标的类型,根据数据库内的参数获得目标的特征尺寸。该方法的工作流程如图 5 所示:

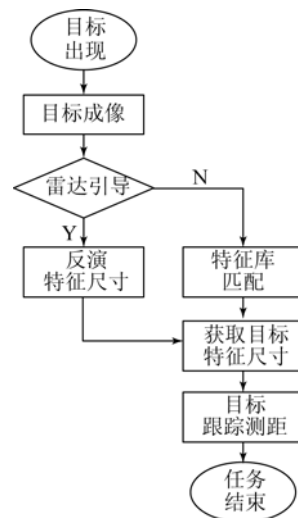


图 5 工作流程图

Fig. 5 Working flow chart

3.2.2 目标靶面成像参数

另一个重要参数是目标在成像靶面上的成像像素大小 $m \times n$, 该部分要求对目标进行边缘特征提取。对于静止目标, 可以通过手动选取, 提取目标特征; 对于运动目标, 通过对运动目标的自动跟踪检测提取目标特征, 本文重点阐述运动目标的特征提取。

图像画面中, 每个像素其运动变化特性是不一样的, 普通的二值化目标分割, 由于整个画面采用同一阈值, 导致传统帧差法等运动前景提取算法在提取目标轮廓特征方面存在不稳定, 而基于混合高斯模型 (Mixture of Gaussian, MOG) 的运动前景提取^[18-20] 较为稳定。在目标跟踪方面, J. F. Henriques 等提出核相关滤波 (Kernelized Correlation Filters, KCF) 跟踪算法, 作为一种鉴别式跟踪算法, 其在实时性、稳定性和准确性方面相比传统跟踪算法均有极大的改善^[21]。

本文所采用的 MOG+KCF 算法, 其结合运动前景提取与目标跟踪检测, 能够有效利用 MOG 在运动目标提取方面灵敏性和 KCF 在目标检测方面的稳定性和快速性, 能够消除光照、非刚性形变等噪声的影响, 自动设定 KCF 初始跟踪目标框, 实现实时检测待测目标轮廓框的目的。其算法流程如图 6 所示, 该算法首先利用 MOG 混合高斯方法提取目标运动前景图像框, 进而将

此前景框作为 KCF 待跟踪检测的初始目标框, 因而无需人工设定和输入 KCF 初始目标, 并由此利用 KCF 算法计算后续每一帧图像中的跟踪框, 该跟踪框即为待测目标的轮廓框, 同时当目标发生突变或跟踪框丢失、漂移时, 算法可再次启动 MOG 算法进行重检测。该算法能够实时、稳定获取运动中的目标轮廓框, 并以此作为测距算法的重要参数之一。图 7 是 MOG+KCF 算法测试效果图。图 7(a) 为原始图, 图 7(b) 为运动前景图, 图 7(c) 为 KCF 跟踪检测效果图。

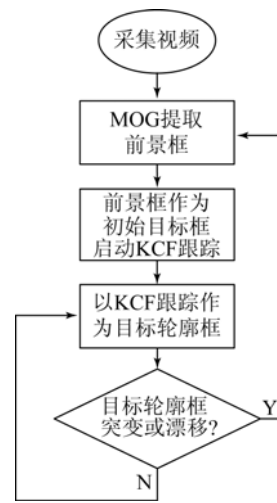


图 6 MOG+KCF 算法流程图

Fig. 6 Flow chart of MOG+KCF algorithm

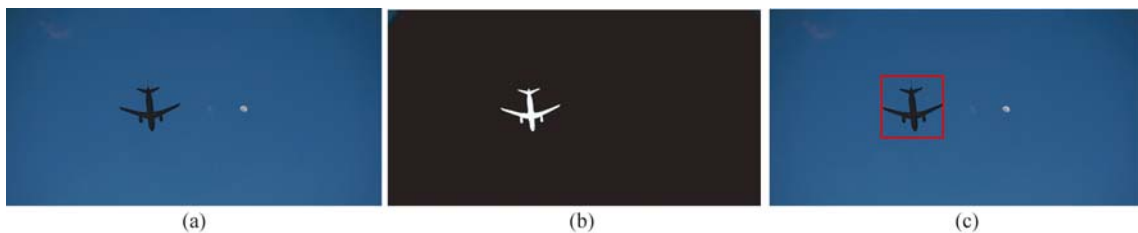


图 7 MOG+KCF 算法效果图

Fig. 7 Impression drawing of MOG+KCF algorithm

3.2.3 成像器视场角参数

反演目标距离的最后一个参数是成像器视场角, 即公式 (13) 或公式 (15) 中的 θ_H 和 θ_V 。常规的长焦变焦镜头, 均是电动调节模式, 内嵌有驱动电机和变焦电位器 (或计数器), 以记录不同逻辑焦

距值 (电位值或计数值, 可参见富士能公司电动变焦镜头 D60×12.5A-V41 型监控镜头)。如为电位器, 该电位器值可经模数转换后转换为数字信号, 输入主处理器; 如为计数值, 则直接反馈至主处理器。

本文提出了一种电动变焦镜头成像视场角实时获取方法,其计算流程包括:镜头标定、数据整理、数据拟合、实时获取,流程如图 8 所示:

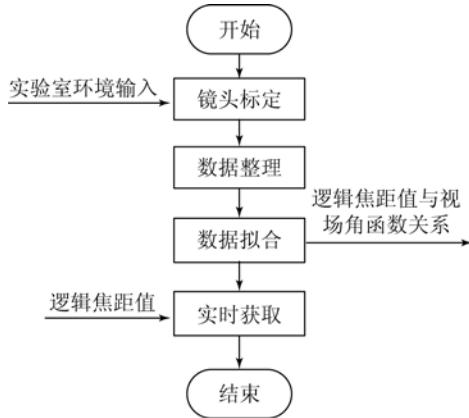


图 8 视场角获取方法流程图

Fig. 8 Flow chart of FOV angle acquisition method

在实验室条件下进行镜头标定,将视场从大到小调节,依次记录不同视场对应的逻辑焦距值;视场角的测量可依据成像几何关系,如图 9 所示,标定的次数越多越好,次数一般保证是镜头焦距变倍数的 2~3 倍为宜。

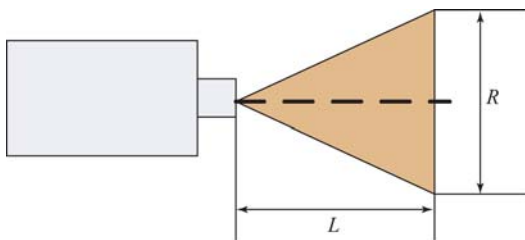


图 9 镜头实验室标定原理图

Fig. 9 Schematic diagram of lens calibration in laboratory

设标定板距离成像器的距离为 L ,在成像器全视场下观察到的标定板水平或垂直方向的尺寸为 T ,则相机在水平或垂直方向的视场角为:

$$\theta = 2 \arctan \frac{T}{2L} \quad (18)$$

将所有标定的数据记录下来进行数据整理,成一一对应关系,二者应是单调的,因此如果存在非单调数据,应予以去除。

数据拟合将整理后的两组数据(一组为逻辑焦距值,一组为标定的视场角)输入 Matlab 软件的 CFTOOL 函数中,进行数据拟合;在拟合函数中选用傅里叶拟合方式,调整傅里叶函数拟合阶

数,使之能够有效拟合,最后记录该傅里叶函数表达式。

实时获取是根据现场实际应用条件下,通过获取当前的逻辑焦距值,代入拟合的傅里叶函数中,反演出当前的视场角度值。

根据镜头的实验室标定结果记录数据进行拟合,获得原理样机的镜头逻辑焦距值和视场角的 4 阶傅里叶函数拟合曲线如图 10 所示。获得该函数曲线后,根据镜头返回的当前逻辑焦距值,可实时获取成像视场角 θ 。

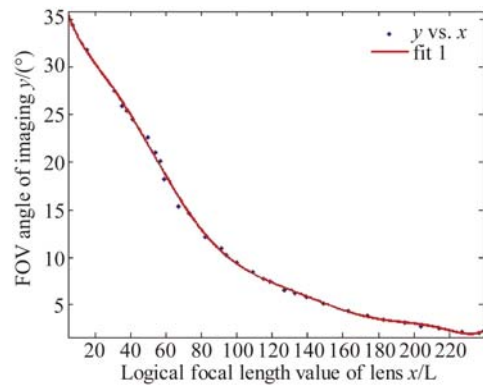


图 10 视场角实际拟合曲线

Fig. 10 Actual fitting curve of FOV angle

4 系统实验

经软硬件设计,基于目标特征尺寸的可视化被动测距系统效果如图 11 所示,系统设计为手持或支架多用途安装方式,内部嵌有可编程信号处理器,可进行多种算法和软件的更新。



图 11 系统实物效果

Fig. 11 Physical effects of system

对系统进行目标现场被动测距实验,对于静

止目标,选取地面楼宇作为测距对象,将楼宇的层高作为特征尺寸,其大小在目标库中设置为 3 m,即目标垂直特征参数 $v=3$ m;通过选取层高,获得层高的垂直方向成像参数。对于运动目标,选取地面行人和空中飞机作为测距对象,其中在特征库中,行人的特征尺寸为身高 1.8 m,中型飞机特征尺寸为横向翼展 30 m。选用的探测器为 1/3 inch CMOS(4.8 mm×3.6 mm),成像分辨率 1 280×720,为保证测试的准确性,保证成像靶面的每个像元均在线性区内,如公式(6)所述,设置成像焦距 $f>24$ mm,实验效果如图 12 所示。



图 12 原理样机测距实验效果

Fig. 12 Experiment result of ranging experiment's principle prototype

实际目标距离由中电 27 所激光测距机 SFLG1A03 进行测定,实验结果如表 1 所示。从测距实验可以看出针对典型目标的被动测距算法鲁棒性好、可靠性强,可应用于实际的工程实践中。

参考文献:

- [1] MCKAY D L, WOHLERS M R, CHUANG C K, et al.. Airborne validation of an IR passive TBM ranging sensor [J]. SPIE, 1999, 3698: 491-500.
- [2] 路远, 时家明, 凌永顺, 等. 红外被动定位研究 [J]. 红外与激光工程, 2001, 30(6): 405-409.
LU Y, SHI J M, LING Y SH, et al.. Research on infrared passive location [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2001, 30(6): 405-409. (in Chinese)
- [3] JEFFREY W, DRAPER J S, GOBEL R W. Monocular passive ranging[C]. *Proceedings of IRIS Meeting of specialty Group on Targets, Back Grounds and Discrimination*, SPIE 1994: 113-130.
- [4] BALDACCI A, CORSINI G, DIANI D, et al.. Ranging by means of monocular passive systems [J]. SPIE, 1999, 3720: 473-482.

表 1 测距实验参数

Tab. 1 Experimental parameters of ranging

目标类型	测距对象	选取目标特征	特征尺寸方向	相机分辨率	实际距离/m	测距距离/m	误差/%
静止	楼宇	层高	垂直	1 280×720	92.3	99.3	+7.6
	楼宇	层高	垂直	1 280×720	1 067.6	1 158.7	+8.5
运动	行人	身高	垂直	1 280×720	35.5	33.4	-5.9
	飞机	翼展	水平	1 280×720	1 952.4	1 816.2	-7.0

实验结果表明,系统对目标的测距精度稳定性好,测距精度优于 10%,可应用于实际的工程实践中。

5 结 论

设计了一种基于目标特征尺寸的可视化被动测距系统,阐述了系统的软硬件组成和轻量化配置,特别是针对系统的被动测距模型与测距原理、目标特征提取算法和目标距离反演所需参数的获取等方面进行了详细论述,分析了测距条件下成像器的线性区间和目标俯仰或水平方位对测距的影响,结合 MOG 和 KCF 算法的优点实现了动目标的稳定检测跟踪和特征提取,最后通过相关实验对不同类型目标进行被动测距验证。实验结果表明,系统可视化被动测距精度优于 10%,当前系统配置下的作用距离高于 1 km,系统工作稳定,测距性能可靠,可广泛应用于光电对抗、光电隐蔽性侦查等技术领域。

- [5] 赵勋杰, 高雅允. 光电被动测距技术 [J]. 光学技术, 2003, 29(6): 652-656.
ZHAO X J, GAO ZH Y. Review of passive range sensing techniques [J]. *Optical Technique*, 2003, 29(6): 652-656. (in Chinese)
- [6] JARVIS R A. A perspective on range finding techniques for computer vision [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1983, PAMI-5(2): 122-139.
- [7] OKADA K, INABA M, INOUE H. Integration of real-time binocular stereo vision and whole body information for dynamic walking navigation of humanoid robot[C]. *IEEE, Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, 2003: 131-136.
- [8] ELLIS S R, BUCHER U J, MENGES B M. The relationship of binocular convergence and errors in

- judged distance to virtual objects [J]. *IFAC Proceedings Volumes*, 1995, 28(15): 253-257.
- [9] 闫宗群, 刘秉琦, 华文深, 等. 利用氧气吸收被动测距的近程实验 [J]. *光学精密工程*, 2013, 21(11): 2744-2750.
YAN Z Q, LIU B Q, HUA W SH, *et al.*. Short-range experiment of passive ranging by oxygen absorption [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(11): 2744-2750. (in Chinese)
- [10] 路远, 冯云松, 凌永顺, 等. 红外三色被动测距 [J]. *光学精密工程*, 2012, 20(12): 2680-2685.
LU Y, FENG Y S, LING Y SH, *et al.*. Infrared three-color passive ranging by colorimetric method [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(12): 2680-2685. (in Chinese)
- [11] 赵勋杰, 李成全. 双目立体实时测距系统的关键技术研究 [J]. *激光与红外*, 2006, 36(9): 874-877.
ZHAO X J, LI CH J. Research of key-tech in a binocular real-time ranging system [J]. *Laser & Infrared*, 2006, 36(9): 874-877. (in Chinese)
- [12] 刘红波, 赵勋杰, 彭翔. 基于双焦成像的测距技术研究 [J]. *激光与红外*, 2010, 40(10): 1136-1140.
LIU H B, ZHAO X J, PENG X. Research on range techniques based on bifocal imaging [J]. *Laser & Infrared*, 2010, 40(10): 1136-1140. (in Chinese)
- [13] 黄士科, 夏涛, 张天序. 基于红外图像的被动测距方法 [J]. *红外与激光工程*, 2007, 36(1): 109-112, 126.
HUANG SH K, XIA T, ZHANG T X. Passive ranging method based on infrared images [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(1): 109-112, 126. (in Chinese)
- [14] 辛云宏, 杨万海, 王保平. 一种基于双波段的红外搜索与跟踪系统的单站测距方法 [J]. *红外技术*, 2004, 26(1): 5-8.
XIN Y H, YANG W H, WANG B P. A method of single observer ranging based on double bands of IRSTS [J]. *Infrared Technology*, 2004, 26(1): 5-8. (in Chinese)
- [15] 钱铮铤. 一种用于红外警戒系统的被动测距方法 [J]. *红外与毫米波学报*, 2001, 20(4): 311-314.
QIAN ZH T. Passive ranging method for IRST systems [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2001, 20(4): 311-314. (in Chinese)
- [16] 尧燕玲, 陈永强, 陈君. 基于人体切片的人体特征尺寸提取 [J]. *山东纺织经济*, 2010(5): 80-82.
YAO Y L, CHEN Y Q, CHEN J. The extraction of feature size based on the Human body slice [J]. *Shandong Textile Economy*, 2010(5): 80-82. (in Chinese)
- [17] 王新伟, 周燕, 范松涛, 等. 基于深度指纹获取远距离视频监控目标特征尺寸的方法: 中国, CN201010564580.9[P]. 2011-05-25.
WANG X W, ZHOU Y, FAN S T, *et al.*. Method for acquiring characteristic size of remote video monitored target on basis of depth fingerprint: CN, CN201010564580.9[P]. 2011-05-25. (in Chinese)
- [18] 李玉, 徐艳, 赵雪梅, 等. 利用高斯混合模型的多光谱图像模糊聚类分割 [J]. *光学精密工程*, 2017, 25(2): 509-518.
LI Y, XU Y, ZHAO X M, *et al.*. Multispectral image segmentation by fuzzy clustering algorithm used Gaussian mixture model [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2017, 25(2): 509-518. (in Chinese)
- [19] 王永忠, 梁彦, 潘泉, 等. 基于自适应混合高斯模型的时空背景建模 [J]. *自动化学报*, 2009, 35(4): 371-378.
WANG Y ZH, LIANG Y, PAN Q, *et al.*. Spatiotemporal background modeling based on adaptive mixture of Gaussians [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2009, 35(4): 371-378. (in Chinese)
- [20] 方帅, 薛方正, 徐心和. 基于背景建模的动态目标检测算法的研究与仿真 [J]. *系统仿真学报*, 2005, 17(1): 159-161, 165.
FANG SH, XUE F ZH, XU X H. Moving object detection based on self-adaptive background modeling [J]. *Journal of System Simulation*, 2005, 17(1): 159-161, 165. (in Chinese)
- [21] HENRIQUES J F, CASEIRO R, MARTINS P, *et al.*. High-speed tracking with Kernelized correlation filters [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2015, 37(3): 583-596.

作者简介:



杨金宝(1987—),男,安徽安庆人,博士研究生,工程师,主要从事光电信号与信息处理方面的研究。E-mail: yangjinbao20054723@126.com