



DOI: 10.12086/oe.2018.170654

一种快速搜索空中低慢小目标的光电系统

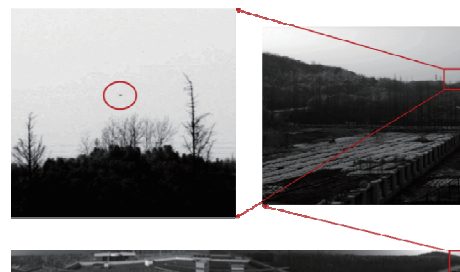
奚玉鼎^{1,2,3}, 于涌^{2,3*}, 丁媛媛², 李岩²,
曾令晖⁴, 唐正宏^{2,3}

¹上海大学通信与信息工程学院, 上海 200444;

²中国科学院上海天文台光学天文技术研究室, 上海 200030;

³中国科学院大学天文与空间科学学院, 北京 100049;

⁴上海天文光电科技有限公司, 上海 200030



摘要: 面向国内开放低空的发展趋势和重点区域的防护要求, 结合最新的光机电控技术, 提出一种可对低空空域进行快速目标搜索的光电技术, 并研制了一套样机系统。该系统利用搭载在高精度一维转台上的线阵 CCD 相机连续采集 360° 低空全景图像, 图像数据通过千兆以太网滑环实时传输至数据处理工作站; 数据处理工作站对全景图像进行实时检测, 解算得到可疑目标的方向, 进而实现对低慢小目标的搜索发现。利用该样机系统开展了初步的观测试验, 结果表明: 利用该系统可以对低空空域的慢速飞行目标进行全方位的搜索侦查, 在大气透明度良好的情况下, 最远可以探测到 2300 m 处的 300 mm×300 mm×200 mm 大小的无人机目标, 测向精度达到 60"。本研究为解决低慢小目标搜索发现问题提供了一种有效手段。

关键词: 低慢小目标; 目标检测; 低空防护; 全景图像采集

中图分类号: E926.4; TN249

文献标志码: A

引用格式: 奚玉鼎, 于涌, 丁媛媛, 等. 一种快速搜索空中低慢小目标的光电系统[J]. 光电工程, 2018, 45(4): 170654

An optoelectronic system for fast search of low slow small target in the air

Xi Yuding^{1,2,3}, Yu Yong^{2,3*}, Ding Yuanyuan², Li Yan², Zeng Linghui⁴, Tang Zhenghong^{2,3}

¹School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China;

²Optical Astronomy Technology Laboratory, Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China;

³School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

⁴Shanghai Astronomical Optoelectronic Technology Co. LTD, Shanghai 200030, China

Abstract: On the development trend of opening low altitude airspace in our country and the protection requirements for key areas, combined with the latest optoelectronic technology, a fast search method to detect low slow small target for low altitude airspace was presented, and a set of prototype system was developed. The system uses a linear CCD camera mounted on a high-precision one-dimensional turntable to collect 360-degree panoramic images

收稿日期: 2017-12-09; 收到修改稿日期: 2018-01-03

基金项目: 上海市科技成果转化和产业化项目(15DZ1160110)资助

作者简介: 奚玉鼎(1993-), 男, 硕士, 主要从事信号与信息处理的研究。E-mail: xiyuding@shao.ac.cn

通信作者: 于涌(1977-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事天体测量的研究。E-mail: yuy@shao.ac.cn

of low altitude airspace. The image data is transmitted to the data processing workstation in real time through gigabit Ethernet slide ring. The data processing workstation detects small targets in the area above the skyline and figures out the orientation of target. Preliminary observation experiments of the prototype are conducted, the result shows that the system can detect low slow small target in broad low airspace in all directions. In the case of good atmospheric transparency, it can detect unmanned aerial vehicle (UAV) in size of 300 mm×300 mm×200 mm within 2300 m. The accuracy of the direction of measurement is 60 arcsecond. This research provides an effective mean to solve the problem of searching and finding low slow small targets.

Keywords: low slow small target; target detection; low airspace protection; panoramic image acquisition

Citation: Xi Y D, Yu Y, Ding Y Y, *et al.* An optoelectronic system for fast search of low slow small target in the air[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, **45**(4): 170654

1 引言

随着技术的发展, 各类航空飞行器的机动性、操控性不断增强。其中具有低空飞行、飞行速度慢、不易被侦测发现等特征的小型航空器和漂浮物被称为低空慢速小目标(以下简称低慢小目标)。常见的低慢小目标主要包括多旋翼无人机、系留气球、航拍气球和动力三角翼等。低慢小目标体积小、操控简单、可搭载一定的重物, 容易突破地面防空火力网, 进而可能会威胁一些重要的地面目标。因此, 防范处置低慢小目标的干扰破坏, 已经成为重大安保活动的世界性难题, 突出表现为管控难、侦测难、处置难^[1]。

目前针对低空领域中飞行目标的探测手段多种多样, 主要包括雷达探测、无线电探测和光电探测等。单一探测手段各有优缺点, 例如, 雷达探测手段主要用来监测高空中速度较快、金属成分较高和雷达散射截面积(radar scattering cross section area, RCS)较大的飞行目标, 如飞机等, 这类目标比较容易被发现和跟踪。2013年, 空军预警学院对脉冲多普勒(pulse doppler, PD)雷达探测低慢小目标的能力进行了评估^[2], 验证了PD雷达在野外条件下具有一定的探测低慢小目标的能力。但是, 在人口密集、建筑物较多的环境下, 利用雷达探测低慢小目标时, 会接收到较多的高大建筑物反射杂波, 并且容易与汽车等地面移动目标形成的慢动杂波混淆, 信号干扰大。此外, 低慢小目标的制作材料中金属含量低、RCS小, 也不易被雷达设备发现与识别^[3]。无线电探测手段要求被探测目标具有配合性, 对于有意隐藏的保持无线电静默的目标则受到限制。

光电探测手段具有抗干扰性强、直观清晰、布站灵活等特点, 因此可以在复杂城市环境下对低慢小目标的搜索发现发挥作用。光电探测手段主要包括激光

测距和光学成像两种技术。2014年, 空军工程大学研发了利用面阵推进式激光成像系统^[4]探测低慢小目标的光电技术。2016年, 中北大学电子测试技术国防科技重点实验室也研制了基于激光技术的低慢小目标光电探测与定位系统^[5]。但是, 激光探测技术普遍存在成本高、探测范围小等问题。利用光学成像技术可以在被动情况下实现远距离低慢小目标的探测, 进而实现目标预警。但是该技术存在大视场和高分辨率的矛盾。2012年, 美国海军实验室开发了10亿级像素的宽视场高清摄像机^[6], 视场角最大可达100°×60°, 但是该设备成本达数百万美元, 目前还未大量应用于对低慢小航空器探测。

针对现有光电成像探测技术的不足, 提出了一种低慢小目标广域快速搜索方案: 将配备高分辨率线阵CCD相机的光学系统搭载至一维转台上, 在转台匀速转动过程中, 通过线阵相机的扫描观测, 持续形成360°全景高分辨率图像, 通过配套的图像处理方法, 实时提取观测区域内的低慢小目标。2017年7月, 基于上述方案研制了一套系统样机, 并开展试验观测。

2 低慢小目标搜索发现系统简介

该系统主要包括图像采集平台、数据处理计算机两部分。图1为图像采集平台实物照片, 它由高精度一维转台、光学镜头和线阵CCD相机构成, 其中高精度一维转台由伺服电机直接驱动, 可以进行顺时针或逆时针360°无限位连续旋转, 旋转周期为8 s/r, 转台旋转时上下起伏小于5 μm; 光学镜头口径为50 mm, 焦距为100 mm; 线阵CCD相机的像元数目为4096, 像元尺寸为0.01 mm。每个像元对应的视场角度为

$$r = \arctan\left(\frac{s}{d}\right), \quad (1)$$

其中： s 为像元尺寸， d 为镜头焦距，该系统单像元视场约为 $20''$ 。

工作时，在一维转台驱动下，线阵 CCD 相机在 360° 范围内连续扫描，通过千兆以太网滑环，实时将观测数据回传至数据处理计算机进行目标检测。为了实现目标的精确定向，设计了一种特殊的图像采集方式，如图 2 所示，通过高精度编码器控制，转台每转动一个等分的角度(约 $20''$)，就触发一个曝光信号使相机拍照，并产生一系列图像数据。转台不断旋转，同时不断触发相机连续拍照，每完成一次 360° 的旋转，相机产生一幅 360° 的全景图像。采取这样方式可以使得全景图像中的每一列数据对应固定的方位，根据被检测出目标所在的行和列位置，可以直接换算至目标相对于监测设备的方向(包括方位和俯仰)。然后，可以将该方向发送至搭载有长焦相机的二维追踪平台，进行后续的目标追踪和识别。图 3 为低慢小目标搜索发现系统的组成框图。

3 数据处理方法

3.1 全景图像及特征

该系统采集的全景图像具有以下特点：1) 图像尺寸大，每幅图像为 $65536 \text{ pixels} \times 4096 \text{ pixels}$ ，总计 2.56 亿像素，可以保证全方位 360° 的高分辨率探测；2) 全景图像中包含天空背景和部分地面景物；3) 受到天气变化、光线变化以及人类活动等影响，全景图像背景复杂且多变，并且存在低云、烟雾排放的干扰；4) 低慢小目标体积小，在全景图中不容易被发现。图 4 是天空背景下的一架无人机，可以看出在广阔的天空背景下，目标占据面积小，不易被肉眼发现。图 5 是低慢小目标所在列的灰度值分布，图像每列有 4096 pixels ，其中方框标记了无人机目标所在位置。可以看出，天空背景总体表现为缓慢起伏，空中小目标表现为天空背景中的高频信号。相对于天空背景，地面背景的整体亮度较低，由于地面景物复杂，地面背景的



图 1 图像采集平台实物图
Fig. 1 Image of acquisition platform

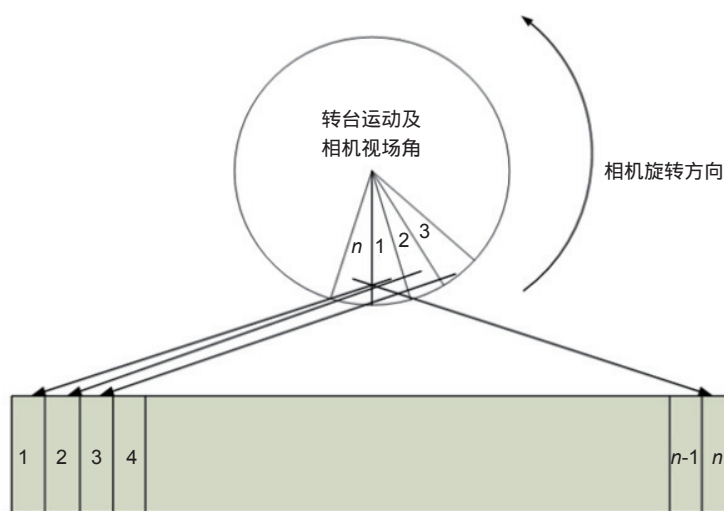


图 2 图像采集方式
Fig. 2 Image acquisition methods

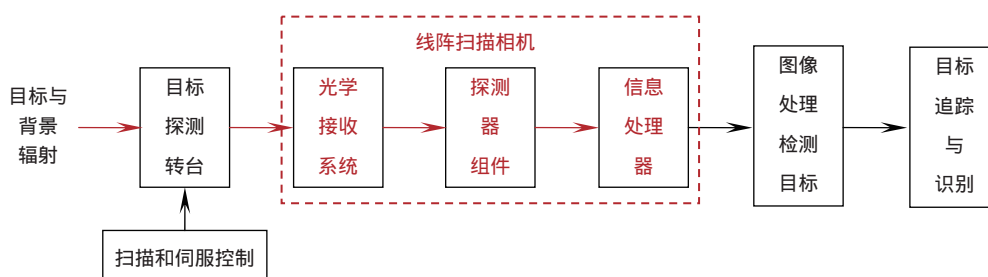


图 3 低慢小目标搜索发现系统组成框图
Fig. 3 Low and slow small target search discovery system composition block diagram

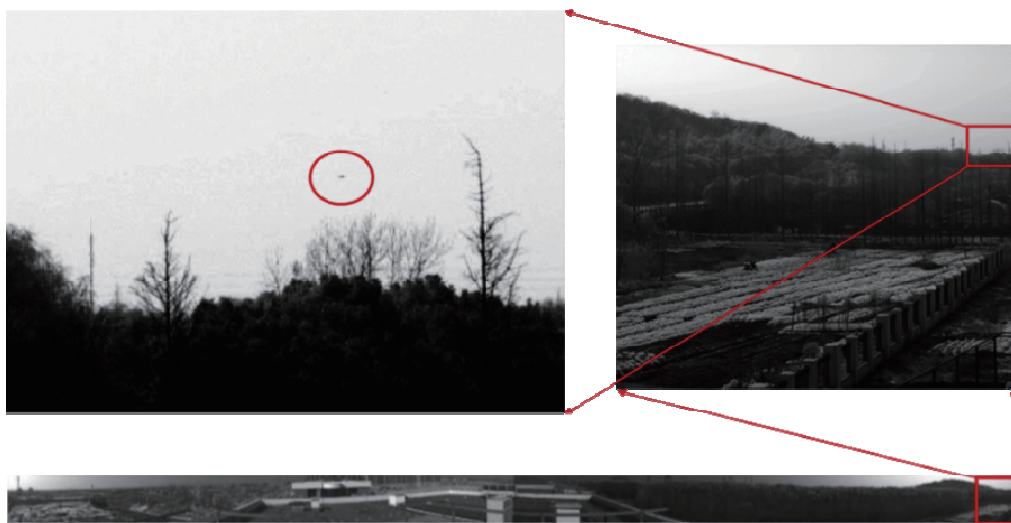


图4 全景图像中的无人机

Fig. 4 UAV in panoramic images

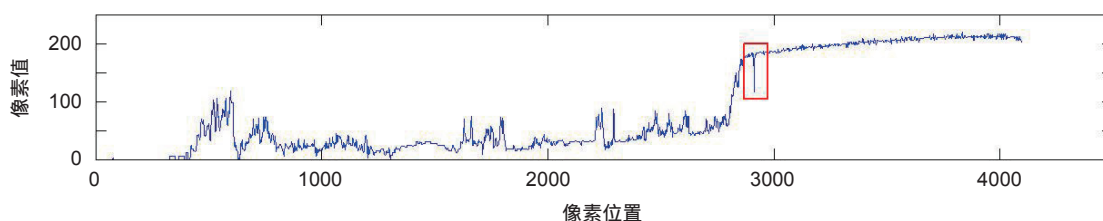


图5 无人机目标所在列的灰度值分布

Fig. 5 Gray value distribution of the image column UAV target located

灰度值分布较为剧烈。

3.2 低慢小目标的快速搜索原理和方法

受到人类活动、树木晃动和光线变化等因素的影响,天际线以下区域的低慢小目标的检测难度较大。现阶段,我们重点实现了天际线以上区域,即空中区域的目标检测和预警。主要包括两个模块:1) 低空空域的提取,自动识别天际线,提取全景图像中的地面以上的图像数据;2) 空中目标的检测,通过抑制图像背景,将天空中的低云、烟雾等空间低频起伏的背景扣除,然后利用连通域方法检测目标。

3.2.1 低空空域提取

低空空域的提取是指利用图像分割方法把天空区域和非天空区域(地面、建筑、水面和山川等)分割开来。由于全景图像中天际线是区分低空区域和地物的分界线,通过检测天际线,即可提取低空空域。

在全景图像中,低空区域和地物的灰度值在天际线边缘呈现出阶跃性变化,本文基于边缘检测的图像分割方法提取低空区域,提取流程如图6所示。首先

选出晴朗无云的天气条件拍摄全景图像,以减少天空中的复杂背景噪声的干扰,获取清晰的天际线边界。然后,通过 Canny 边缘检测算子^[7-9]检测地物边缘,可以有效地抑制噪声,获得较为连续稳定的边缘,其原理如下。

设 $f(x, y)$ 为原始图像, $h(x, y)$ 为高斯平滑函数,平滑滤波后的图像表示为原图像与平滑函数的卷积:

$$g(x, y) = f(x, y) \otimes h(x, y) \quad (2)$$

平滑后的图像梯度为

$$\nabla g(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial x} \\ \frac{\partial g}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g'_x \\ g'_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

由卷积计算特性可以得到:

$$\begin{aligned} g(x, y) &= f(x, y) \otimes h(x, y) \\ &= f(x, y) \otimes \nabla h(x, y) \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $\nabla h(x, y)$ 为一阶微分高斯算子,经过卷积之后可以得到全局的图像梯度。为了确定边缘,保留局部梯度最大的点,对梯度幅值进行非极大值抑制^[9]。为了

排除虚假检测,这里设定高低两个阈值,使用双阈值法^[7]检测和连接边缘。

对于试验观测情况,采用了 5×5 的 Canny 算子进行检测。为了抑制树木晃动、光线变化等因素的影响,对提取到的地物边缘整体上移 10 pixels,以适当扩张地物范围,减少天际线处的目标误检。图 7 为天际线检测结果示例。由于天际线位置在短期内稳定不变,可以将检测到天际线的位置信息存储,在一定时期内持续使用,根据需要定期更新。

3.2.2 空中目标检测

基于观测图像的目标检测方法通常包括光流法、帧间差分和背景减除法三种^[10-11]。帧间差分是指利用相邻帧图像作为当前帧图像的背景,通过相减提取当

前帧的前景信号,然后从中提取目标。该系统图像采集周期为 8 s,实测表明,在此期间会存在明显的云层飘移和光线变化,使得帧间差分出现很多虚假信号,对目标造成极大干扰。因此,本文基于单帧图像的背景减除法进行目标检测,其原理为:对于当前帧图像天际线以上部分,首先利用形态学中的开运算^[12-14]滤掉目标在内的高频信号,保留云层和天空背景低频信号作为背景。然后,背景与原始图像进行相减,并利用连通域方法^[15]提取目标。检测流程如图 6 所示,其中 Top-Hat 变换为目标检测的核心模块,它包括图像腐蚀和图像膨胀两个部分。为提高计算速度,采用“逐列操作”的方式,对图像中的每列数据单独作 Top-Hat 变换。

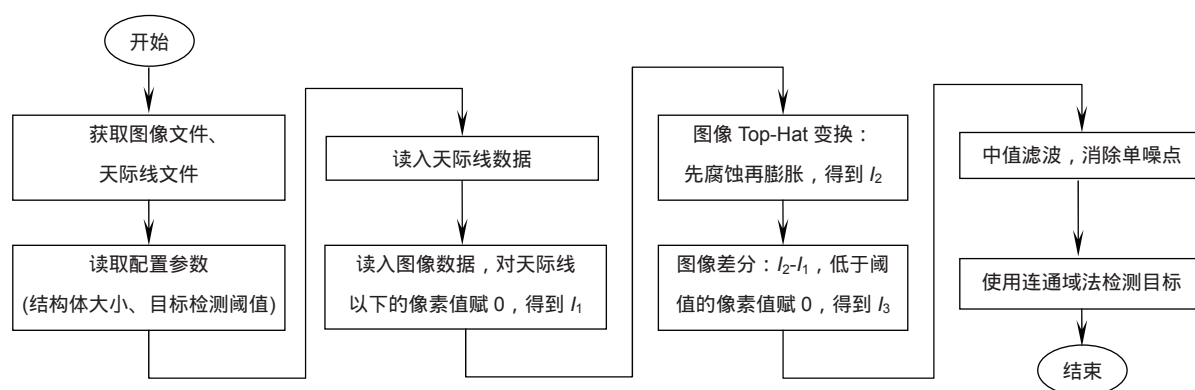


图 6 基于单帧图像的目标检测流程

Fig. 6 Image target detection process based on single frame



图 7 天际线提取结果示例

Fig. 7 Example of extracting results from the skyline

获得差分图像后,利用中值滤波去除图像中的单点噪声,利用连通域方法标记目标位置。最后对目标的峰值信噪比进行约束。峰值信噪比^[16]的计算公式为

$$R_{\text{PNSR}} = I_{\text{max}} / \sigma_B, \quad (5)$$

其中: I_{max} 为目标峰值的强度, σ_B 为疑似目标所在区域的背景噪声。

为了达到实时处理的目的,在局域网中设置了两台工作站,对实时采集到的数据进行分布式处理,每采集一幅图像,将路径分发至空闲的工作站中进行处理,如图 8 所示。

4 系统测试结果

4.1 系统的重复指向精度测试

为了测试该系统对目标的测向精度,利用该系统连续采集了 80 幅全景图像,将全景图像中某远处建筑物尖端中间像素作为固定点,如图 9 所示,对该点处

像素坐标位置进行统计,经统计得水平坐标均方差 2.4 pixels,垂直坐标的均方差 0.9 pixels,根据式(1)可得测向重复精度在 60"内。

4.2 低慢小目标检测试验

为了提高低慢小目标的发现率,需要将该系统架设在监控区域的制高点,获取较为开阔的 360°低空全景图像。2017 年 3 月,将图像采集平台架设在某办公楼的楼顶处,开展低慢小目标的搜索试验。低慢小目标搜索平台采集到的图像实时传回控制计算机进行展示,显示系统界面如图 10 所示。系统界面将实时显示采集到的低空全景图像及检测到的低慢小目标图像。根据目标的像素位置,可以计算出目标的方向(方位和俯仰),并以极坐标的形式标识在图 10(b)的绿色区域内。本系统采用两台配置有 Intel i7-6700 处理器的 ThinkStation 数据处理工作站进行分布式处理,将全景图像分割成 8 个天区,利用两台工作站交替处理

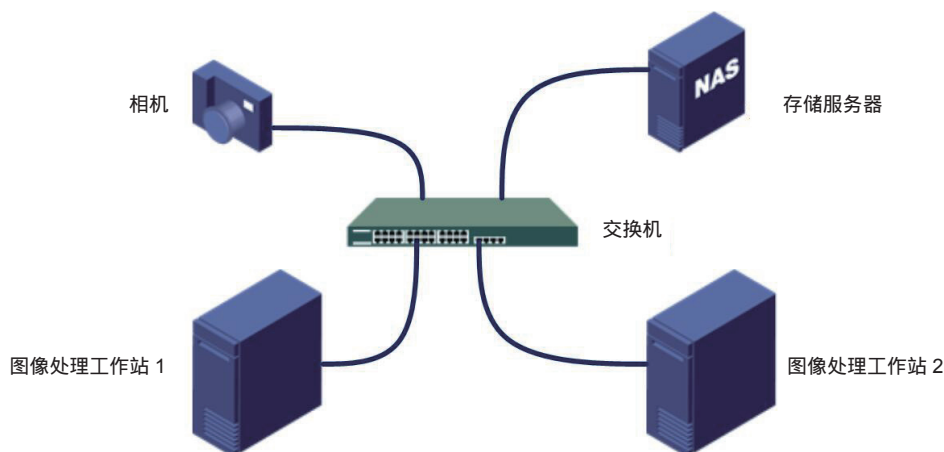


图 8 图像分布式处理原理

Fig. 8 Principle of Image distributed processing



图 9 测向点位标记

Fig. 9 Point marker for direction-finding

图像。利用上文所述图像处理算法每幅图像均可在 2 s 内处理完成，保证了数据处理的实时性。

图 11 为系统样机在试验期间，实时检测到的不同天气、不同类别的低空目标结果。分别针对晴天(无云或微云)、少云(云少且集中)、多云(云多、多为絮状且分散)、阴天(云密集且均匀遮盖天空)四种典型场景进

行了低慢小目标搜索测试，统计结果列于表 1。可见，在天空背景平坦的晴天和阴天情况下，目标虚警率较低；在云雾较多的天气下，还存在较大的目标误检概率，这是后续工作需要重点攻关的技术问题。

为了测试该系统的探测距离，在不同距离处放飞“大疆精灵 3”无人机供该系统检测，无人机长宽高

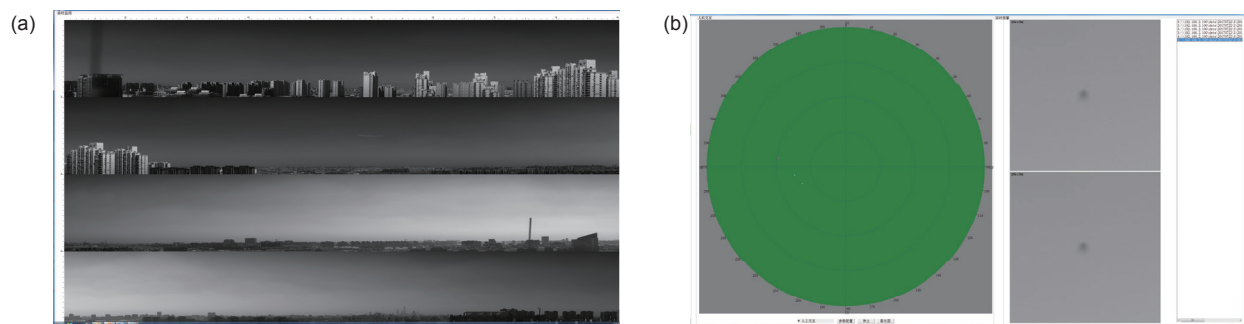


图 10 全景图像(a)及处理结果实时显示界面(b)

Fig. 10 Panoramic image (a) and processing results real-time display interface (b)

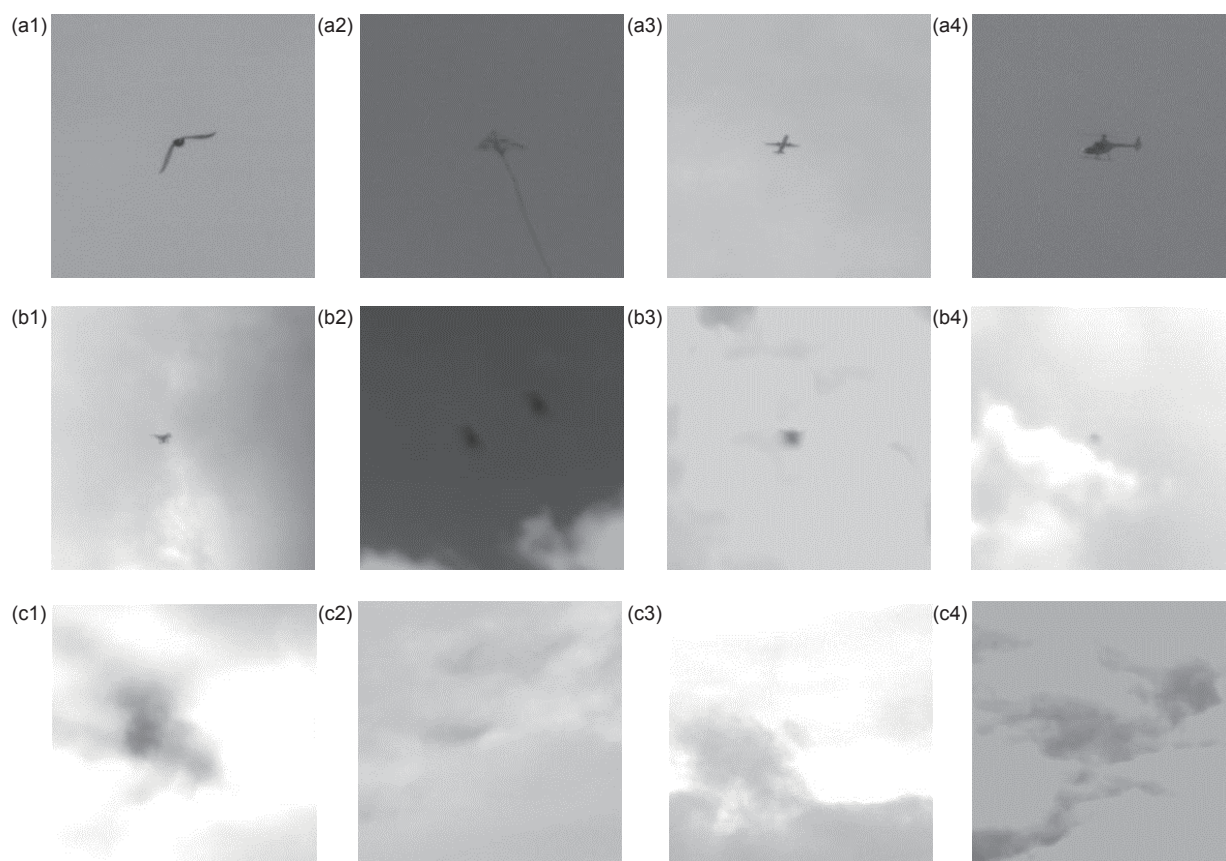


图 11 检测到的部分低空目标示例。(a1)~(a4) 不同种类的低慢小目标；(b1)~(b4) 复杂背景下的低慢小目标；(c1)~(c4) 误检目标

Fig. 11 Some samples of low slow small target detected. (a1)~(a4) Different kinds of low slow small targets; (b1)~(b4) Low slow small targets in complex context; (c1)~(c4) Mistakenly detected targets

分别为 300 mm×300 mm×200 mm。测试时的天气晴好，大气透明度较高。图 12 为在不同距离处，检测到的无人机图像。表 2 列出了不同距离处大疆无人机图像的峰值信噪比。由结果可见，当无人机距离在 2300 m 时，无人机信号的信噪比为 1.3，接近该系统的检测

距离极限。

在搜索到目标以后，通过目标中心像素位置可以解算出目标方向。将目标的方位和俯仰数据发送到追踪识别设备，实现对目标性质的判断，进而对目标进行管控。

表 1 不同天气场景下目标检测误检率
Table 1 False detecting rate in different weather

天气	检出数量	低慢小目标数量	虚假目标数量	虚警率/%
晴天	287	279	8	2.1
少云	156	139	17	10.9
多云	205	157	48	23.4
阴天	409	395	14	3.4

表 2 不同距离目标的峰值信噪比
Table 2 Peak signal-to-noise ratio of target in different distances

目标距离/m	峰值信噪比
50	13.8
100	7.6
200	4.8
500	3.1
1000	2.0
2300	1.3

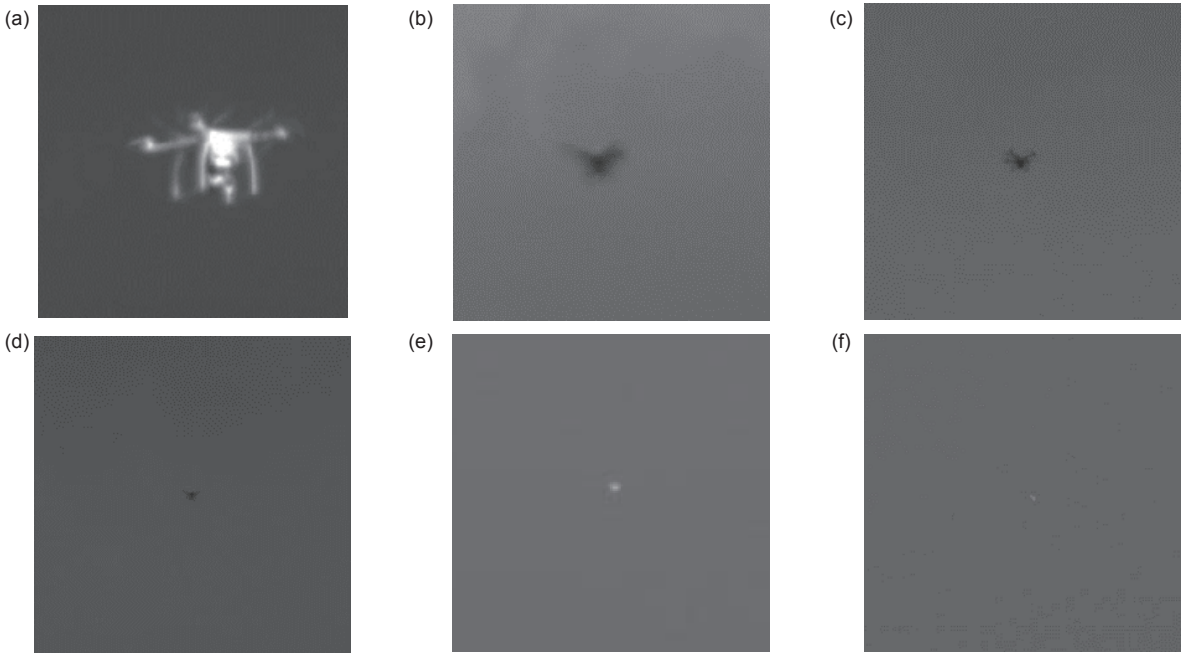


图 12 不同距离的目标检测结果。(a) 50 m; (b) 100 m; (c) 200 m; (d) 500 m; (e) 1000 m; (f) 2300 m
Fig. 12 Target detection result in different distances. (a) 50 m; (b) 100 m; (c) 200 m; (d) 500 m; (e) 1000 m; (f) 2300 m

5 结束语

低慢小飞行器因成本低廉、操控简单、起降方便，客观存在不法分子利用其肇事的可能性。如何防范、处置低慢小目标肇事已经成为日常维护空防安全和空中飞行秩序的重点课题。

本文提出了一套低慢小目标广域快速搜索方案，将配备线阵 CCD 相机的光学系统搭载至一维转台上，在一维转台匀速转动过程中，通过线阵相机的快速扫描观测，持续形成 360°全景图像，通过配套的图像处理方法，实时提取观测区域内的低慢小目标。基于该方案，研制了一套低慢小目标广域快速搜索系统样机，进行了系统性能测试和初步的观测试验。在大气透明度良好、微云及多云天气下，分别对低空空域的慢速飞行目标进行全方位的搜索侦查，获得了预期的实验效果。结果表明：1) 该样机重复测向精度可以达到 60"以内；2) 该系统可以有效发现低慢小目标并且给出目标方位，在大气透明度良好时，最远可以探测到 2300 m 内的 300 mm×300 mm×200 mm 大小的无人机目标。

在观测试验中，也存在一些不足：目前该系统利用可见光波段的相机，在光线较暗的傍晚或黑夜，难以进行低慢小目标检测，后续拟采用激光照明手段加以补充；在雨雪天气或天空光线变化强烈等强噪声的图像背景下，会出现目标误判；目前还没有实现对天际线以下范围的低慢小目标检测；在发现到疑似目标后，需要采取进一步的措施进行目标特征识别。这些均需要在后续工作中改进和攻关。

参考文献

- [1] Zhang J W, Guo H M. Net cast interception system research aimed at low small slow target[J]. *Computer Engineering and Design*, 2012, **33**(7): 2874–2878.
张建伟, 郭会明. 低空慢速小目标拦截系统研究[J]. *计算机工程与设计*, 2012, **33**(7): 2874–2878.
- [2] Wu C, Li H F, Wang H, et al. Influence analysis of PD radar detecting LSS-target[J]. *Science Technology and Engineering*, 2013, **13**(28): 8492–8496, 8519.
吴聪, 李海飞, 王红, 等. PD 雷达探测低慢小目标性能分析[J]. *科学技术与工程*, 2013, **13**(28): 8492–8496, 8519.
- [3] Ren Q A, Lv C Y. Research on radar and photoelectric collaborative tracking algorithm[J]. *Radar Science and Technology*, 2016, **14**(2): 173–177, 183.
任清安, 吕春燕. 雷达光电智能协同探测技术研究[J]. *雷达科学与技术*, 2016, **14**(2): 173–177, 183.
- [4] Li D, Li Y X, Meng W, et al. Research of plane array propelled laser imaging detection for small targets at low altitude and slow speed[J]. *Laser Technology*, 2014, **38**(1): 44–48.
李达, 李云霞, 蒙文, 等. 低慢小目标面阵推进式激光成像探测方法研究[J]. *激光技术*, 2014, **38**(1): 44–48.
- [5] Li B, Meng L F, Li J, et al. Research on detecting and locating technology of LSS-UAV[J]. *China Measurement & Test*, 2016, **42**(12): 64–69.
李菠, 孟立凡, 李晶, 等. 低空慢速小目标探测与定位技术研究[J]. *中国测试*, 2016, **42**(12): 64–69.
- [6] Kittle D S, Marks D L, Son H S, et al. A testbed for wide-field, high-resolution, gigapixel-class cameras[J]. *Review of Scientific Instruments*, 2013, **84**(5): 053107.
- [7] Wu X, Yu W B, Ma Y H, et al. A new improved Canny image edge detection algorithm[J]. *Imaging Science and Photochemistry*, 2016, **34**(1): 116–121.
吴翔, 于微波, 马艳辉, 等. 一种新的改进 Canny 图像边缘检测算法[J]. *影像科学与光化学*, 2016, **34**(1): 116–121.
- [8] Jia D, Dong N, Meng X F, et al. A method for continuous image edge extraction[J]. *Computer Engineering & Science*, 2015, **37**(2): 384–389.
贾迪, 董娜, 孟祥福, 等. 一种图像的连续性边缘提取方法[J]. *计算机工程与科学*, 2015, **37**(2): 384–389.
- [9] Xue L X, Li T, Wang Z C. Adaptive Canny edge detection algorithm[J]. *Application Research of Computers*, 2010, **27**(9): 3588–3590.
薛丽霞, 李涛, 王佐成. 一种自适应的 Canny 边缘检测算法[J]. *计算机应用研究*, 2010, **27**(9): 3588–3590.
- [10] Liu R, Wang D J, Jia P, et al. Overview on small target detection technology in infrared image[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2016, **53**(5): 050004.
刘让, 王德江, 贾平, 等. 红外图像弱小目标探测技术综述[J]. *激光与光电子学进展*, 2016, **53**(5): 050004.
- [11] Wei M, Wen W, Zhou J, et al. Deep sky small target detection using registration difference[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2015, **42**(11): 76–82.
魏敏, 文武, 周进, 等. 配准差分在深空小目标检测中的应用[J]. *光电工程*, 2015, **42**(11): 76–82.
- [12] Tong W Q, Ling Y S, Huang C C, et al. Processing method of IR image based on mathematical morphology and wavelet transform[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, **15**(1): 138–144.
同武勤, 凌永顺, 黄超超, 等. 数学形态学和小波变换的红外图像处理[J]. *光学精密工程*, 2007, **15**(1): 138–144.
- [13] Wang D. Infrared small target detection based on morphological and neighbor information[J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2016, **31**(2): 19–21, 30.
王铎. 基于形态学和邻域差值的红外小目标检测算法[J]. *光电技术应用*, 2016, **31**(2): 19–21, 30.
- [14] Lv J M, Niu Y X, Liu H X, et al. Study of small target detection in single frame image based on local characteristics[J]. *Infrared*, 2014, **35**(2): 37–43.
吕建明, 牛燕雄, 刘海霞, 等. 基于局部特性实现单帧图像小目标检测的研究[J]. *红外*, 2014, **35**(2): 37–43.
- [15] Dai H D, Hu M F, Lu H Z, et al. Design and implementation of target detection algorithm based on connected-domain labeling[J]. *Modern Electronics Technique*, 2015, **38**(20): 71–74.
戴华东, 胡谋法, 卢焕章, 等. 基于连通域标记的目标检测算法设计与实现[J]. *现代电子技术*, 2015, **38**(20): 71–74.
- [16] Wang X W, Wang C X, Zhang Y Y. Research on SNR of point target image[J]. *Electronics Optics & Control*, 2010, **17**(1): 18–21.
王学伟, 王春歆, 张玉叶. 点目标图像信噪比计算方法[J]. *电光与控制*, 2010, **17**(1): 18–21.

An optoelectronic system for fast search of low-slow-small target in the air

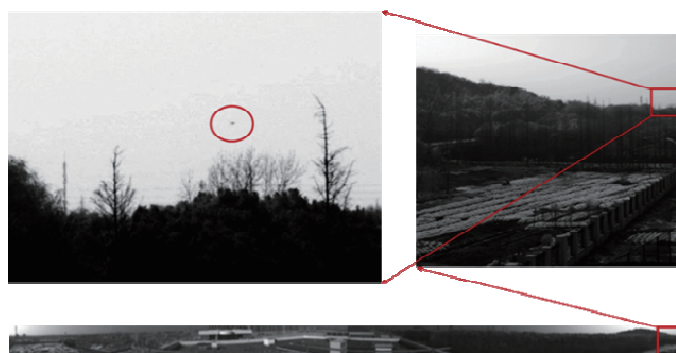
Xi Yuding^{1,2,3}, Yu Yong^{2,*}, Ding Yuanyuan², Li Yan², Zeng Linghui⁴, Tang Zhenghong^{2,3}

¹School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China;

²Optical Astronomy Technology Laboratory, Shanghai Astronomical Observatory,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China;

³School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

⁴Shanghai Astronomical Optoelectronic Technology Co. LTD, Shanghai 200030, China



UAV in panoramic images

Overview: With the development of technology, the maneuverability of all kinds of aviation aircraft are constantly enhanced. In recent years, low-altitude airspace has gradually opened up in our country, and man-kind low-altitude activities have increased, the management of aircraft in low-altitude airspace has become increasingly difficult. It has become a world-wide problem to prevent grand activities from the interference and damage of low slow small targets. At present, there are various methods to detect the flight targets in low altitude airspace, including radar detection, radio detection and photoelectric detection. Among them, the photoelectric detection method has the characteristics of strong anti-interference, intuitive and clear, flexible deployment and so on. Therefore, it is expected to play an important role in the search and discovery of low-slow-small targets in complex urban environment. In order to resolve the contradiction between the large field and the high resolution when using optoelectronic techniques to monitor small targets, Shanghai Astronomical Observatory developed an optical prototype system to search and find low slow small targets in low-altitude airspace. The system consists of a high-precision one-dimensional turntable platform, a large field-of-view refractor, a set of computers to control hardware and analysis images. Firstly, the linear CCD camera collects 360-degree panoramic images of low-altitude airspace in 8 seconds when the platform rotates continuously. Then the images are transferred to the computer through gigabit Ethernet slide ring and analyzed in real time. Due to factors such as human activity, trees shaking and illumination changes, it is difficult to detect slow small targets in the area below the skyline in one image. We extracted the skyline in the panoramic images and detect low slow small targets above the skyline by automatic program. Finally, the directions of targets are calculated so as to take further steps to them. And we developed a real-time display interface to show the panoramic images and the processing results. In order to achieve real-time detection of the target, two workstations are set up in the LAN and the panoramic images are processed in a distributed way. Observation experiment was carried out in July 2017, we flew an unmanned aerial vehicle (UAV) in size of 300 mm×300 mm×200 mm in different distance and in different weather in order to check the ability of the prototype system. The result shows that the prototype system can detect UAV at distance of 2.3 km when the weather is nice, the accuracy of the direction of UAV is about 1 arcminute.

Citation: Xi Y D, Yu Y, Ding Y Y, *et al.* An optoelectronic system for fast search of low slow small target in the air[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, 45(4): 170654

Supported by Shanghai Science and Technology Achievement Transformation and Industrialization Project (15DZ1160110)

* E-mail: yuy@shao.ac.cn