

基于双变焦摄像头的空中目标跟拍系统

何紫阳,赵敏,周宇阳

(南京航空航天大学 自动化学院,江苏 南京 210016)

摘要:针对空中目标的跟拍画面不清晰、不稳定的问题,设计了一种基于双变焦摄像头的空中目标跟拍系统,采用高精度云台、双变焦摄像头及高性能计算机,能够根据目标距离动态调整双变焦摄像头的焦距,在跟踪目标并拍摄清晰、稳定的运动图像。该系统采用了基于深度学习的目标检测算法,通过加权质心算法计算目标质心位置;采用卡尔曼滤波与轨迹拟合相结合的位置预测算法,利用三面交汇原理计算目标的空间位置。实验结果表明:该系统能够获得目标稳定清晰的图像并计算目标的空间位置,验证了系统的可靠性和实用性。

关键词:目标检测;目标跟拍;目标空间定位;双变焦摄像头

中图分类号:TP275 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)01-0219-03

Air Target Tracking System Based on Two Zoom Cameras

HE Ziyang, ZHAO Min, ZHOU Yuyang

(College of Automation, Nanjing University of Aerospace Science and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Aimed at the problem of indistinct and unstable tracking picture of air target, an air target tracking system based on two zoom cameras is designed. The system, equipped with a high-precision pan tilt, two zoom cameras and a high-performance computer, can dynamically adjust the focal length of the dual zoom camera in line with the target distance, and capture a clear and stable moving image of the target while tracking the target. The system adopts the target detection algorithm based on deep learning and calculates the target centroid position through the weighted centroid algorithm. The system also employs the position prediction algorithm combining Kalman filter and trajectory fitting to calculate the spatial position of the target by three-sided intersection principle. The experimental results show that the system can obtain a stable and clear image of the target and accurately calculate the spatial position of the target, which verifies the reliability and practicability of the system.

Keywords: target detection; target tracking; target space positioning; two zoom cameras

0 引言

为了记录空中目标的运动过程,需要对目标进行跟踪拍摄。空中目标具有运动速度快、运动方向不定、体积小等特点,这给基于图像的空中目标跟踪造成了巨大困难。传统的方法是由手持摄像设备对目标进行跟拍,这容易造成拍摄画面抖动、模糊等。目前,大部分的目标自动跟踪系统采用单个定焦摄像头,这不仅容易丢失目标,而且无法根据目标距离调整摄像头焦距,最终无法拍摄目标的清晰图像。针对上述问题,本文提出了一种基于双变焦摄像头的空中目标跟拍系统。该系统包含多座基站,每座基站都带有一对长短焦摄像头,各基站在不同位置跟拍目标;同时该系统能够根据多组基站的目标跟踪信息对目标进行空间定位,以合理调整摄像头焦距。该系统相对于传统的目标跟踪系统,不仅能够监控更大的空间区域、更迅速地发现目标,而且采用了长短焦摄像头相结合的目标跟拍策略,既能获得较大的视野而不丢失目标,又能获得较为清晰的目标图像。

1 系统设计

1.1 系统硬件组成

该空中目标跟拍系统包含多座基站,基站的结构示意图如图1所示。基站包括基座以及包含在基座内的工控机,置于基座顶部的无线通信模块、授时定位模块、跟踪摄像头、跟拍摄像头、云台分别与工控机有线连接;跟踪摄像头和跟拍摄像头并排固定于云台上并且保持光轴平行;系统利用无线通信模块建立无线通信网络,并利用该网络共享目标信息;系统利用授时定位模块实现时间同步,确保各基站同步拍摄目标跟踪图像;系统利用授时定位模块获取各基站的空间位置;云台转动带动两座摄像机对准同一空域;跟踪摄像头拍摄的目标图像输入工控机进行处理;跟拍摄像头拍摄的目标高清图像直接输入存储卡进行存储。

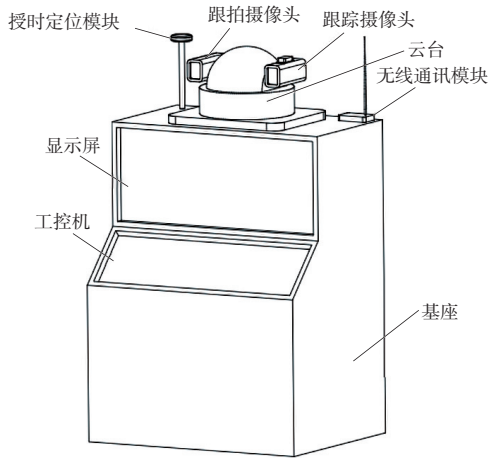


图1 基站结构示意图

1.2 系统工作原理

系统工作前,三座基站沿顺光方向面对目标空域,并呈环形分布,相邻基站间间隔 20m 以上,基站布置图如图 2 所示。在系统工作过程中,系统会根据翼伞距离将云台两侧摄像头的焦距调整至不同值。其中短焦摄像头用于跟踪翼伞,同时通过云台带动长焦摄像头对准翼伞,长焦摄像头只用于清晰拍摄翼伞。这种长短焦摄像头结合的跟拍方式既能够防止翼伞丢失,又能够拍摄翼伞清晰的图像。

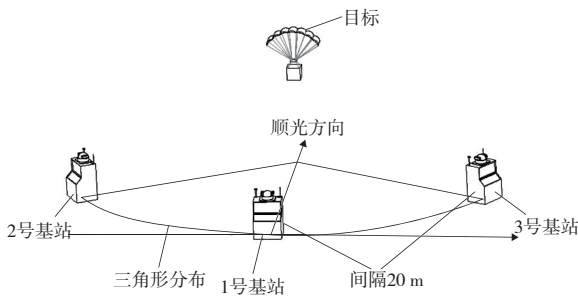


图2 基站布置图

系统工作包括以下步骤:1)各基站跟踪摄像头、跟拍摄像头的焦距同时初始化到较小的默认值;2)基站探测到翼伞后,调整云台角度,使翼伞成像在图像中心区域,该基站进入跟踪状态,跟踪状态的基站估算翼伞距离和翼伞空间位置,计算跟踪摄像头理想的焦距值,将两座摄像头的焦距同时调整至该值,同时基站向系统广播翼伞的空间位置,其他基站据此调整云台的角度,发现翼伞后进入跟踪状态;3)整个系统进入跟踪状态后,各基站定时、同步向系统广播翼伞的方位信息,系统利用3组翼伞方位信息确定翼伞具体的空间位置;4)各基站开始采用卡尔曼滤波与轨迹拟合相结合的位置预测方法,预测翼伞下一时刻的位置,提前调整云台,以保证翼伞在下一帧中成像在图像中心区域;5)各基站计算跟拍摄像头理想的焦距值,并将跟拍摄像头的焦距逐步调整至该值,根据翼伞距离的变化,动态调整跟拍摄像头的焦距,使翼伞在拍摄画面内始终占据 1/4 的中心区域。

跟踪摄像头理想的焦距值 f_1 及跟拍摄像头理想的焦距值 f_2 的计算方法如下:

$$\begin{cases} f_1 = \frac{M_1 \times L \times d}{D} \\ f_2 = \frac{M_2 \times L \times d}{D} \end{cases} \quad (1)$$

式中: D 为目标二维尺寸; L 为基站到目标的距离; d 为像素尺寸; M_1 为目标能够清晰识别所需的最少像素个数; M_2 为目标成像区域占据图像 1/4 画面时的像素个数。

2 空中目标检测、跟踪、定位方法

2.1 目标检测方法

目标检测识别是指提取图像中发生空间位置相对变化的物体^[1-2],并确定其是否为目标。其主要通过图像处理的相关算法对一些时间或空间上的冗余信息进行剔除从而确定目标的出现^[3-4]。常见的目标检测算法存在着算法复杂性高、抗噪声能力差、对光照变化十分敏感等问题。

随着深度学习理论的发展,基于深度学习的目标检测识别技术对复杂背景条件下的目标探测精度越来越高,利用该技术可以直接实现对目标的检测与识别。同时该方法的速度较快,自适应能力较强。因此,本文采用深度学习的方法实现对目标的检测与识别。该方法只需前期利用大量的目标图像训练神经网络,训练成功后即可快速准确地识别并定位图像中的目标。该方法相较于传统的方法可以避免繁琐的图像处理步骤,在目标识别的精度与速度上都得到了提升^[5-6]。

本文以翼伞目标为例,利用深度学习技术进行翼伞的检测与识别。利用工业级机器视觉软件 Halcon 进行图像的处理。借助 Halcon 中的深度学习功能,训练神经网络,利用训练好的网络对翼伞进行识别定位。首先收集大量的翼伞图像作为训练数据集,对神经网络进行训练,之后将其他来源的翼伞图像输入网络,验证是否能够对图像中的翼伞进行识别与定位。神经网络对翼伞检测的结果如图 3 所示。



图3 翼伞检测结果

2.2 目标跟踪方法

目标跟踪是指在每帧图像中确定目标的位置并及时调整摄像头的角度使得目标始终成像在图像中心区域。在利用基于神经网络的目标检测识别算法确定目标区域

后,对该目标区域采用改进的质心跟踪算法以获取目标的质心。

要实现对目标的稳定跟踪,必须准确预测目标下一时刻的位置,以便提前调整云台角度。这可以应对目标运动速度过快和目标被障碍物遮挡的情况。本文采用卡尔曼滤波与轨迹拟合相结合的位置预测方法。建立目标的运动模型和观测模型如式(2)所示。

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x_k \\ v_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ v_{k-1} \end{bmatrix} + w_k \\ [z_k] = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_k \\ v_k \end{bmatrix} + u_k \end{cases} \quad (2)$$

状态转移矩阵 $A = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, 观测矩阵 $B = [1 \quad 0]$ 。

式中:系统噪声 w_k 和测量噪声 u_k 是相互独立的零均值高斯白噪声,方差分别为 Q 和 R ; x_k 和 v_k 分别代表 k 时刻翼伞的空间位置和速度的状态值; z_k 代表 k 时刻翼伞的空间位置的观测值; Δt 代表采样间隔。

利用卡尔曼滤波法减小当前时刻 k 翼伞位置状态量的误差,设 $k-1$ 时刻的协方差矩阵为 $P(k-1|k-1)$, k 时刻的预测协方差矩阵为 $P(k|k-1) = AP(k-1|k-1)A^T + Q$ 。 k 时刻滤波增益矩阵为 $K(k) = P(k|k-1)B^T \times [BP(k|k-1)B^T + R]^{-1}$, 则可以获得当前时刻 k 的状态量滤波值为

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_k \\ \hat{v}_k \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \hat{x}_{k-1} \\ \hat{v}_{k-1} \end{bmatrix} + K(k) \left\{ [z_k] - BA \begin{bmatrix} \hat{x}_{k-1} \\ \hat{v}_{k-1} \end{bmatrix} \right\} \quad (3)$$

式中: \hat{x}_{k-1} 、 \hat{v}_{k-1} 为 $k-1$ 时刻状态量的滤波值; z_k 为当前时刻 k 的观测值。

利用当前时刻 k 和前 $k-1$ 个时刻的翼伞空间位置状态量的滤波值进行轨迹拟合,获得轨迹拟合曲线 $x_k = f(k)$, 由此预测 $k+1$ 时刻翼伞空间位置为 $x_{k+1} = f(k+1)$ 。

在对目标下一时刻的位置进行预测以后,需要根据目标预测位置与目前位置的偏差量来调整云台。设预测目标在下一时刻在图像中的成像位置的坐标为 (x, y) , 摄像头焦距为 f_0 , 设摄像机的水平视场角和垂直视场角分别为 φ 和 θ , 水平方向和垂直方向像平面像素总长为 W_{idth} 和 H_{eight} 。水平旋转调整角度为 $\Delta\alpha$, 垂直旋转调整角度为 $\Delta\beta$ 。根据公式:

$$\begin{cases} f_0 \times \text{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{H_{\text{eight}}}{2} \\ f_0 \times \text{tg} \Delta\beta = X \\ f_0 \times \text{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{W_{\text{idth}}}{2} \\ f_0 \times \text{tg} \Delta\alpha = Y \end{cases} \quad (4)$$

求得调整角度为:

$$\begin{cases} \Delta\alpha = \arctg \frac{2Y \times \text{tg} \frac{\varphi}{2}}{W_{\text{idth}}} \\ \Delta\beta = \arctg \frac{2X \times \text{tg} \frac{\theta}{2}}{H_{\text{eight}}} \end{cases} \quad (5)$$

在完成上述步骤后,就能够实现对目标的稳定跟踪,使得目标始终成像在图像的中心区域。

2.3 目标空间定位方法

利用多个摄像头在多个角度对翼伞稳定跟踪拍摄后,根据各个摄像头的俯仰和水平角度、翼伞在图像中的成像位置、摄像头之间的相对位置等信息,解算翼伞的方位^[7-8]。拟采用一种利用3组摄像机中的翼伞成像信息确定翼伞具体空间位置的方法^[9]。该方法的示意图如图4所示。图中 O_1 、 O_2 、 O_3 分别为3台摄像机的成像平面中心, P_1 、 P_2 、 P_3 分别为翼伞在3台摄像机的成像平面中的位置。已知3台摄像机的相对位置、水平和俯仰角度以及焦距等信息,根据三面交汇原理,就可以确定空间一点为翼伞的位置。

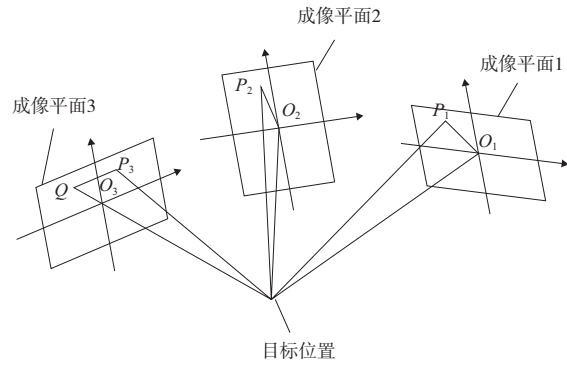


图4 目标空间定位示意图

3 系统测试与实验结果

本文选用52倍光学变焦摄像头,焦距范围为5.7~296.4 mm,发送指令即可实现变焦及焦距查询,且能够实现自动聚焦。本文选用的高精度云台采用伺服电机,最大速度 $10^\circ/\text{s}$,最小稳定跟踪速度 $0.02^\circ/\text{s}$;水平旋转角度范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$,俯仰角度范围为 $-90^\circ \sim 90^\circ$,精度为 $\pm 0.05^\circ$ 。在 Microsoft Visual Studio 平台上采用 C++ 语言实现目标检测跟踪与定位算法的验证。

以小型翼伞为目标进行系统测试实验。实验时,一共设置3组基站。翼伞的最大飞行高度为200 m,距离基站的水平距离控制在500 m以内,控制翼伞在此空间范围内运动,系统跟踪翼伞并拍摄翼伞的运动图像,计算翼伞空间位置后实时绘制翼伞的运动轨迹。

某一时刻,基站中长短焦摄像头拍摄的翼伞图像如图5所示。在跟拍画面中,系统成功识别出翼伞目标,并框选出目标区域,如图中的绿色方框所示;进一步利用加权质心算法确定翼伞目标的质心,如图中的红点所示。同时,相较于短焦摄像头拍摄的画面,长焦摄像头拍摄的跟拍画面中的翼伞目标更为清晰,且占据图像的中心区域,达到了清晰拍摄的目的(本刊为黑白印刷,相关问题咨询作者)。

(下转第238页)

耗大的问题展开研究。设计了一种自修复控制器,能够根据系统的故障自检信号,自主完成 FPGA 故障区域中部分位流的调度和配置刷新,通过实验验证了该自修复控制器的正确性,并从可靠性、硬件资源消耗和修复时间消耗 3 个方面对使用本文自修复控制器的 FPGA 应用系统进行性能分析,证明了该自修复控制器的可行性和高效性。

参考文献:

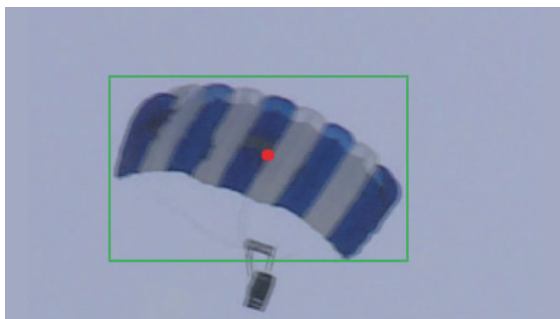
- [1] 钟敏. SRAM 型 FPGA 的 SEU 容错技术研究[D]. 成都:中国科学院大学(中国科学院光电技术研究所),2021.
- [2] 丁义刚. 空间辐射环境单粒子效应研究[J]. 航天器环境工程,2007,24(5):283-290,5.
- [3] VAVOURAS M,BOUGANIS C S. Area-driven partial reconfiguration for SEU mitigation on SRAM-based FPGAs [C]// 2016 International Conference on ReConfigurable Computing and FPGAs (ReConFig). Cancun,Mexico:IEEE,2016:1-6.
- [4] ROHANI A,ZARANDI H R. Mitigating and tolerating SEU effects in switch modules of SRAM-based FPGAs[C]//2009 5th Southern Conference on Programmable Logic (SPL). Sao Carlos, Brazil:IEEE,2009:171-176.
- [5] WANG H B,WANG Y S,WANG W C. Impact of TMR design layouts on single event tolerance in SRAM-based FPGAs [J]. Microelectronics Reliability,2021,120:114113.
- [6] SHAKER M N,HUSSIEN A,ALKADY G I,et al. FPGA-based reliable fault secure design for protection against single and multiple soft errors[J]. Electronics,2020,9(12):2064.
- [7] 张荣生. SRAM 型 FPGA 故障注入及刷新技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.
- [8] 邹逢兴. 计算机应用系统的故障诊断与可靠性技术基础[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.
- [9] 陈鹏. 平均无故障时间(MTBF)的概述与应用[J]. 电子产品可靠性与环境试验,2012,30(增刊1):272-276.
- [10] SUN H R,HAN J J. The failure of MTTF in availability evaluation [C]. //Annual Reliability and Maintainability Symposium.2002 Proceedings (Cat. No.02CH37318). Seattle, WA, USA:IEEE,2002:279-284.
- [11] 韩涛. 基于 SRAM 型 FPGA 的抗辐射加固技术研究[D]. 大连:大连理工大学,2021.

收稿日期:2021-10-19

(上接第 221 页)



(a) 短焦摄像头拍摄画面



(b) 长焦摄像头拍摄画面

图 5 翼伞跟拍画面

4 结语

本文设计了一种基于双变焦摄像头的空中目标跟拍

定位系统。该系统利用多个基站从不同角度跟拍空中目标,同时系统可以利用基站间共享的目标信息确定目标的具体空间位置,从而根据目标距离合理调整摄像头的焦距。本方法采用长短焦摄像头相结合的目标跟拍方法,既能保证基站能够拍摄足够大的空间区域而不丢失目标,又能保证基站获得较为清晰的目标图像。实验表明:该系统稳定可靠,可用于空中目标的稳定跟拍。

参考文献:

- [1] 周雄峰. 基于深度学习的多目标车辆轨迹自动采集方法[J]. 交通科技,2021(4):135-140,144.
- [2] 王伟东,罗莹,王坤,等. 基于核相关滤波的改进目标跟踪算法[J]. 数字技术与应用,2021,39(7):87-89.
- [3] 王承赞,王思卿,张龙杰,等. 融合 SVM 的多特征 DSST 目标跟踪算法[J]. 兵工自动化,2021,40(7):39-45,66.
- [4] 谢家阳,王行健,史治国,等. 动态云台摄像机无人机检测与跟踪算法[J]. 智能系统学报,2021,16(5):858-869.
- [5] 谭芳喜,肖世德,周亮君,等. 基于改进 YOLOv3 算法在道路目标检测中的应用[J]. 计算机技术与发展,2021,31(8):118-123.
- [6] 任条娟,陈鹏,陈友荣,等. 基于深度学习的多目标运动轨迹预测算法[J]. 计算机应用研究,2022,39(1):296-302.
- [7] 褚易昇. 目标物品识别与空间定位方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.
- [8] 李彤. 基于双目视觉的机器人目标定位研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2020.
- [9] 余紫娟,白志晨,王佳慧,等. 基于坐标转换的空间定位系统[J]. 科技创新与应用,2020(32):75-77.

收稿日期:2021-09-08