

上升段飞行器目标的视频图像跟踪

赵麒瑞 韩耀斌 沈惠 刘光花

(中国人民解放军 63601 部队, 酒泉, 732750)

摘要: 粒子滤波是一种基于贝叶斯估计理论和蒙特卡罗理论的实时目标跟踪方法, 具有较为灵活的并行化跟踪方式, 能够较好地维持跟踪目标的假设状态, 具有较好的跟踪效果和鲁棒性。上升段飞行器目标飞行视频图像跟踪是火箭等目标飞行监控的重要阶段, 但现阶段对飞行器上升段的视频图像跟踪主要依靠人工手动操作云台控制器, 实现视频图像中的飞行器跟踪, 跟踪图像存在跟踪滞后、画面抖动等现象, 跟踪效果受人为因素影响较大。本文提出一种基于粒子滤波方法的上升段飞行器目标视频图像跟踪方法, 建立飞行器目标粒子滤波跟踪模型实现对飞行器目标的识别和跟踪, 在识别和跟踪的基础上建立云台控制模型, 通过对云台的智能控制获得飞行器上升段的高质量图像。采用火箭发射的视频图像作为模型验证的实验数据, 检验飞行器目标的跟踪效果。

关键词: 粒子滤波; 飞行器目标跟踪; 云台控制

中图分类号: TP37 文献标志码: A 文章编号: 1005-2615(2019)S-0068-05

Video Image Tracking of Ascending Segment Aircraft Targets

ZHAO Qirui, HAN Yaobin, SHEN Hui, LIU Guanghua

(63601 Troops of PLA, Jiuquan, 732750, China)

Abstract: Particle filter is a real-time target tracking method based on Bayesian estimation theory and Monte Carlo theory with flexible parallel tracking method, which can better maintain the hypothetical state of tracking targets, and has better tracking effect and robustness. The video image tracking of the ascending segment aircraft is an important stage of target flight monitoring such as rockets. However, the video image tracking of the ascending segment of the aircraft mainly relies on manual operation of the PTZ controller to realize the tracking of the aircraft in the video image, which leads to some phenomena such as tracking lag and picture jitter, and the tracking effect is greatly affected by human factors. In this paper, the video image tracking method of the ascending segment aircraft based on particle filter method is proposed. The target particle filter tracking model of the aircraft is established to realize the identification and tracking of the aircraft target. Based on the identification and tracking, the PTZ control model is established. Through the intelligent control of the gimbal, the high-quality image tracking of the rising section of the aircraft is obtained. Finally, the video image emitted by the rocket is used as experimental data for model verification to verify the tracking effect of the aircraft target.

Key words: particle filter; aircraft target tracking; PTZ control

视频图像中的目标跟踪是计算机视觉领域的一个重要研究方向, 是视频图像监控领域的一个重要应用方向, 是图像识别应用领域研究的热点问题

之一。视频图像中的目标跟踪, 是多领域知识的交叉综合, 涉及计算机技术、模式识别技术、图像处理技术、人工智能等各个领域, 在智能交通监控、人机

收稿日期: 2019-05-10; 修订日期: 2019-06-29

通信作者: 赵麒瑞, 男, 助理工程师, E-mail: zhaqirui08@163.com。

引用格式: 赵麒瑞, 韩耀斌, 沈惠, 等. 上升段飞行器目标的视频图像跟踪[J]. 南京航空航天大学学报, 2019, 51(增刊): 68-72. ZHAO Qirui, HAN Yaobin, SHEN Hui, et al. Video Image Tracking of Ascending Segment Aircraft Targets[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2019, 51(S): 68-72.

交互、视频图像索引、智能驾驶导航、目标飞行器跟踪。以及天文观测等多个方面有着广泛的应用。通常,视频图像跟踪的目标,是视频帧序列中每一帧图像的运动对象,跟踪目标中包含了大量目标颜色、位置等特征,所以视频图像目标跟踪需要对跟踪视频图像序列的某一帧或者多帧结合起来的图像进行颜色变换、滤波和提取背景等操作,提取视频图像跟踪目标的固有特征。目前,主要的视频图像跟踪方法有基于均值偏移的视频图像目标跟踪方法^[1],基于卡尔曼滤波器的视频图像目标跟踪方法^[2]以及基于粒子滤波器(Particle filter)的视频图像目标跟踪方法^[3-4]。

粒子滤波^[5]在20世纪90年代后期才逐渐发展起来,并逐渐应用于视频图像目标跟踪领域。粒子滤波的基本思想是用随机样本描述概率分布,以递归的方式对测量数据进行序贯处理,采用测量数据来调节样本权值的大小和样本的位置,把概率密度函数用一组随机样本来表示,用样本均值代替积分运算,进而获得系统状态的最小方差估计的过程,这些样本被形象地称为“粒子”,故叫粒子滤波。这种粒子滤波跟踪方法较为灵活,并且可以并行化处理,在最大程度上维持跟踪目标的假设状态,在跟踪目标被遮挡或者跟踪的目标运动速度较快时具有较好的跟踪效果。

在航天飞行器发射过程中,对飞行器飞行的视频图像跟踪是测控的重要方面,对飞行器的飞行控制具有重要意义。图1为现阶段对飞行器上升段的视频图像跟踪模式,依靠岗位操作手人工操作云台控制器,实现视频图像中的飞行器跟踪拍摄。在跟踪过程中,主要依靠操作手对视频图像中的飞行器位置进行判断,然后手动控制云台控制器操纵杆实现目标跟踪,跟踪图像容易出现抖动,且存在跟踪滞后的现象,跟踪效果受人为因素影响较大,难以在跟踪过程中获得高质量的稳定跟踪视频图像。

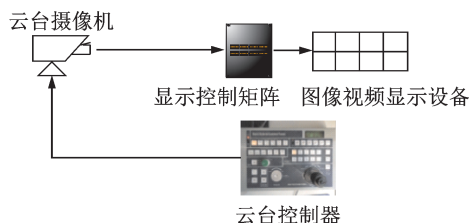


图1 传统的上升段飞行器目标视频图像跟踪模式

Fig.1 Target video image tracking mode of traditional ascending segment aircraft

本文基于粒子滤波理论,提出一种基于粒子滤波方法的上升段飞行器目标视频图像跟踪模型,实

现对视频图像中的飞行器目标的识别和跟踪,在识别和跟踪的基础上建立云台的控制模型,通过对云台的智能控制得到飞行器上升段的高质量图像,实现对飞行器目标的跟踪。图2为本文提出的模型,是将输入的视频图像作为分析识别对象,在视频图像中捕捉飞行器目标,确定目标的中心,以图像边界为基准框,建立以图像中心点为核心的立云台控制模型,将目标中心向图像中心的运动信号输出为云台运动控制信号,实现对飞行器上升段的目标跟踪。本文模型采用图像识别跟踪和智能控制方法代替人为跟踪方法,具有较好的跟踪效果和鲁棒性。

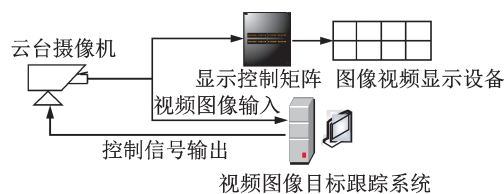


图2 基于粒子滤波的上升段飞行器目标视频图像跟踪模型

Fig.2 Target video image tracking model of ascending segment aircraft based on the particle filter

1 基于粒子滤波的视频图像识别

1.1 粒子滤波基本原理

粒子滤波是一种基于贝叶斯估计理论^[6]和蒙特卡罗理论^[7]的实时推理算法,其基本思想是利用蒙特卡罗方法,采用可以用在任何形式状态空间模型上的粒子集来表示概率,通过从后验概率中抽取的随机状态粒子来表达其分布,实现一种顺序重要性采样法。

粒子滤波过程,用数学语言描述为:对于平稳的随机过程,假定 $k-1$ 时刻系统的后验概率密度为 $p(x_{k-1} | y_{k-1})$,依据特定原则选取 n 个随机样本点, k 时刻获得测量信息后,经过状态和时间更新过程, n 个粒子的后验概率密度可近似为 $p(x_k | y_k)$ 。随着粒子数目的增加,粒子的概率密度函数逐渐逼近状态的概率密度函数,粒子滤波估计即达到了最优贝叶斯估计的效果,实现对特定状态的预测和估计。由此可建立粒子滤波的空间状态数学模型为

$$\begin{cases} \mathbf{x}_k = \mathbf{f}_k(\mathbf{x}_{k-1}) + \mathbf{m}_{k-1} & t \in \mathbb{N} \\ \mathbf{y}_k = \mathbf{h}_k(\mathbf{x}_k) + \mathbf{n}_k & t \in \mathbb{N} \end{cases} \quad (1)$$

式中: \mathbf{x}_k 表示系统状态向量; \mathbf{y}_k 表示系统观测向量; \mathbf{f}_k 是系统非线性状态方程; \mathbf{m}_{k-1} 是独立于系统状态向量的系统噪声; \mathbf{h}_k 是非线性观测方程; \mathbf{n}_k 是与状态向量以及系统噪声无关的观测噪声向量。

用 $\{x_i^t, w_i^t\}_{i=1}^N$ 表示系统后验概率密度函数

$p(x_{1:k} | y_{1:k})$ 的粒子集合,其中 $\{x_{0:k}^i, i=1, \dots, N\}$ 是支持样本集,其相应的权值为 $\{w_{0:k}^i, i=1, \dots, N\}$,且满足 $\sum_{i=1}^N w_k^i = 1$,用 $x_{0:k} = \{x_j, j=0, \dots, k\}$ 表示到 k 时刻系统所有状态的集合。由此可将 k 时刻的后验密度可以近似表示为

$$p(x_{0:k} | y_{1:k}) = \sum_{i=1}^N w_k^i \delta(x_{0:k} - x_{0:k}^i) \quad (2)$$

后验密度 $p(x_{0:k} | y_{1:k})$ 的近似,是一种表示真实后验密度的离散加权近似表示,可以将带有复杂的积分运算的数学期望计算过程简化为和运算,有

$$E(g(x_{0:k})) = \sum_{i=1}^N w_k^i g(x_{0:k}^i) \quad (3)$$

1.2 基于粒子滤波的飞行器目标跟踪算法实现

本文基于粒子滤波基本理论框架,采用粒子重采样的方法,以上升段的飞行器为跟踪目标,实现对视频图像中飞行器目标的实时跟踪。基于粒子滤波的飞行器目标跟踪算法实现如图3所示,包括粒子初始化、粒子状态转移、获取粒子权重和粒子重采样等过程。

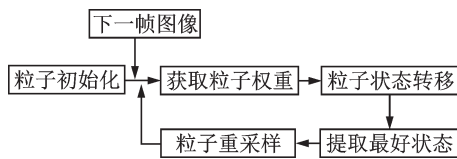


图3 基于粒子滤波的上升段飞行器视频图像目标跟踪算法实现

Fig.3 Realization of video image target tracking algorithm for ascending segment aircraft based on particle filter

(1) 粒子初始化

粒子的初始化过程是在图像中采用随机或指定方式确定粒子。在采用粒子滤波算法进行目标跟踪前需要选择要跟踪的目标物体,模型初始化就是在视频图像区域标记出飞行器目标区域,通过用人工划定的方法,划定目标的矩形区域,同时在图像中选择指定数量的粒子。本文模型初始化飞行器目标位置为 X_0 ,选定粒子 $N=300$ 个粒子。

(2) 获取粒子权重

假设模型处于 $\{X_1, X_2, \dots, X_i, i=1, \dots, N\}$ 等状态,其中 X_i 为一个粒子,要估计飞行器的准确位置 X ,需要对其对应的粒子进行运算。每个粒子对应一个矩形框,将矩形框中前景的颜色进行统计,得到颜色直方图向量 H_i 。作为历史跟踪信息的初始跟踪目标的颜色直方图 H 也是一个单位矢量。则 H_i 的权重 W_i 可以理解为 H 和 H_i 的内积,即

$$W_i = \text{EXP}(10 * \langle H, H_i \rangle), i=1, \dots, N \quad (4)$$

(3) 粒子状态转移

粒子的状态转移,是对系统状态进行评估,状态转移依据粒子滤波的空间状态模型,计算得到位飞行器目标的当前位置 X ,这里得到的飞行器目标位置是近似的后验概率估计。本文采用加权平均的方法计算 $\{X = X_1 * W_1 + X_2 * W_2 + \dots + X_i * W_i, i=1, \dots, n\}$,并对状态进行筛选和判断,提取跟踪的最好状态。

(4) 粒子重采样

随着视频图像帧的不断变化,粒子的权重会不断发生变化,淘汰权值低的粒子,让权值高的粒子来产生出更多的粒子,权重就会越来越集中在小部分粒子上,大部分的粒子权重很小,使得算法向权值高的地方收敛。处理的视频帧数较多,在进入对下一帧视频图像跟踪之前,需要对粒子的权重进行调整,实现对粒子进行重采样,重新生成 N 个粒子 $\{X'_1, X'_2, \dots, X'_i, i=1, \dots, N\}$ 。

当下一帧视频图像到来,发生状态转移,需对粒子进行更新。通常更新依据状态转移模型进行,实质上跟踪飞行器目标从 X_1' 状态变成 X_1'' 状态,其概率为 $p(x_k | y_{k-1})$ 。跟踪过程就是不断地对视频图像中的飞行器目标识别过程。

1.3 实验及结果分析

基于粒子滤波的飞行器目标视频图像跟踪的模型检验实验,硬件实验平台为Inter(R) Core(TM) i7-4710HQ CPU@2.50 GHz和8 GB内存,软件实验平台为Visual Studio2015,实验数据选取火箭发射时上升段人工跟踪拍摄的视频图像,实验目标是检验本文构造粒子滤波跟踪模型对上升段火箭目标跟踪的效果。

实验结果如图4所示,基于粒子滤波的上升段飞行器目标跟踪模型,能够实现对上升阶段的飞行器目标实时跟踪,在摄像机视频图像控制范围中,粒子滤波模型能够较好地发现飞行中的飞行器目

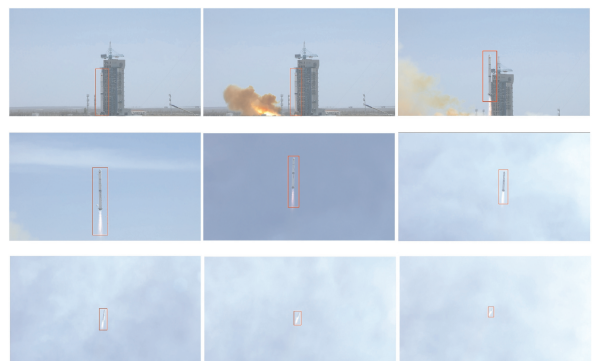


图4 上升段飞行器目标视频图像跟踪实验结果

Fig.4 Experimental results of video image tracking of ascending segment aircraft target

标,具有较好的跟踪效果。实验视频数据采集是在火箭上升段的特定场景,分别对不同尺度、不同光照条件以及不同姿态变化等情况进行了火箭目标的跟踪实验,从实验结果数据表明基于粒子滤波的模型对上升段火箭的跟踪具有较好的鲁棒性。

2 摄像机云台控制模型

2.1 摄像机云台控制基本原理

摄像机云台是视频图像监控系统中重要的配套设备,云台与摄像机配合使用扩大视频图像的监控范围,辅助监控系统捕捉有价值的目标,提高摄像机的使用价值,增强视频图像监控系统的智能化水平,拓展视频图像系统的应用领域。视频图像监控系统^[8-10]使用云台通常是全方位电动云台,全方位电动云台是以电动机为驱动,具有水平和垂直两个独立的旋转自由度,能够通过这两个自由度的旋转组合,使摄像机获得跟踪活动目标,搜寻所在范围内监控目标的能力,实现全方位摄像或跟踪监视。

电动云台主要由微型电动机、齿轮和蜗轮组成。当电动机接通电源时,电动机通过齿轮减速,使输出轴上获得所需要的转矩和转动速度,从而带动摄像机进行寻像或跟踪监视,并采用带自锁能力的蜗轮、蜗杆减速机构,当电动机停止工作时,摄像机能即时悬停于任意工作的位置,以达到在选定的范围内跟踪监视目标的目的。

摄像机云台控制的软件模型实现,是将云台控制指令采用相应的控制协议编码后发送至前端云台,通过对云台电机进行控制,实现云台控制。前端云台和软件控制模型之间通过网络通信进行交互,通常采用C/S的架构进行设计,网络层协议采用TCP协议,软件控制模型根据功能可以划分为3个模块:网络通信模块、云台控制模块和开关量控制模块。网络通信模块实现了与前端云台控制数据的接收与发送;云台控制模块支持对不同的云台协议的控制、位置信息的获取以及对前端控制板RS485接口的设置参数;开关量控制模块实现了启动或断开前端控制板。

2.2 摄像机云台控制模型

摄像机云台控制模型的建立,主要是在基于粒子滤波的图像跟踪和电机云台的控制之间建立一道沟通桥梁,实现视频图像的识别跟踪结果反馈调节云台运动的方向。如图5所示,为摄像机云台控制模型,其中矩形框为基于粒子滤波跟踪的飞行器目标,其中心为火箭中心点,交叉点为图像中心点。

云台的基本运动分别为上、下、左、右4个方向,实际归为水平和垂直两个方向上,其他方向的

运动均可分解为水平和垂直方向,故使用正负记号表示水平、垂直上的运动方向,由此以火箭中心点为原点可建立如图所示的直角坐标系。云台实现目标跟踪的控制过程,就是画面中心点向火箭中心点运动的过程,在运动过程中,将运动沿着水平和垂直两个方向分解为两个运动分量,即为模型向云台电机输出的方向控制信号,将控制信号按照云台控制协议编码输出实现云台控制。

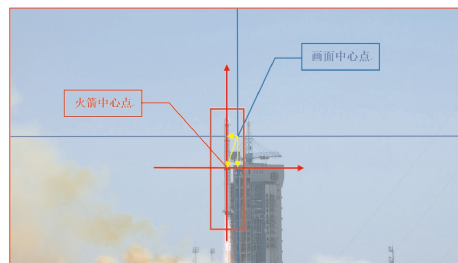


图5 摄像机云台控制模型

Fig.5 PTZ control model

2.3 实验结果及分析

云台控制模型的实验,硬件实验平台为Inter(R) Core(TM) i7-4710HQ CPU@2.50 GHz和8 GB内存,软件实验平台为Visual Studio2015,实验数据选取基于粒子滤波所得的火箭目标视频图像数据,实验目标是检验云台控制模型的效果。

实验结果如图6所示,云台控制模型能够有效地将粒子滤波的识别结果与云台控制模型相结合,能较好地利用对云台控制模型实现对火箭目标的跟踪。其中,箭头表示云台摄像机的运动方向,云台的运动方式是先沿水平方向运动,后沿垂直方向运动,两个方向的运动综合为实际所示运动方向。在实验中,云台模型发出的运动指令,能够较好地与云台实际运动相结合,表明云台控制模型能够有效地将粒子滤波的跟踪结果映射到云台控制。

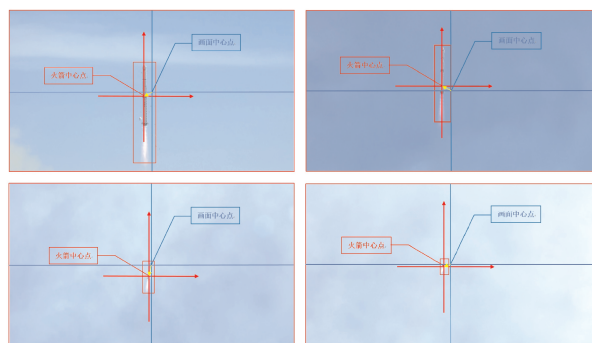


图6 云台控制模型实验结果

Fig.6 Experimental results of PTZ control model

3 结 论

随着人工智能的深入发展,视频图像中特定目

标的识别跟踪已经成为计算机视觉领域中的热点问题,在飞行器目标跟踪等航天发射试验领域中具有广泛应用,当前航天发射试验任务呈现高密度常态化趋势,提高航天发射场智能化成为一项重要课题,实现对飞行器飞行自动跟踪就是一项十分有意义的研究实践。本文基于粒子滤波理论,提出一种基于粒子滤波的上升段飞行器目标视频图像跟踪方法,建立粒子滤波目标跟踪模型实现对飞行器目标的识别和跟踪,实现在视频图像中对飞行器目标的识别提取,在识别和跟踪的基础上建立云台控制模型,通过对云台的智能控制获得飞行器上升段的高质量图像,实现对飞行器目标的跟踪。实验表明本文构建的基于粒子滤波的上升段飞行器跟踪模型能够较好地提取图像中的飞行器图像目标,对飞行器目标跟踪具有较好的鲁棒性;云台控制模型能够与飞行器跟踪模型、前端云台电机较好地融合,较好地实现云台的智能控制。

粒子滤波理论中,重要性函数的选取以及粒子的重采样方式直接影响粒子滤波性能的高低,改进基于粒子滤波的飞行器目标跟踪模型,完善重要性函数和重采样方式,提高基于粒子滤波的飞行器目标跟踪模型的跟踪能力值得深入研究,此外,加入对摄像机光圈、感光度、变焦、聚焦等因素的控制模块,完善云台控制器的综合控制能力,是改进跟踪模型的重要研究方向。

参考文献:

- [1] 文志强. 基于均值偏移算法的运动目标跟踪技术的研究[D]. 长沙: 中南大学, 2008.
WEN Zhiqiang. Research on moving target tracking technology based on mean shift algorithm [D]. Changsha: Central South University, 2008.
- [2] 王建东, 王亚飞, 张晶. 基于卡尔曼滤波器的运动目标跟踪算法[J]. 数字通信, 2009, 36(6): 53-57.
WANG Jiandong, WANG Yafei, ZHANG Jing. Moving target tracking algorithm based on Kalman Filter [J]. Digital Communications, 2009, 36(6): 53-57.
- [3] 霍玲玲, 杨莹. 运动目标跟踪算法综述[J]. 电子技术

与软件工程, 2016(24):162.

- HUO Lingling, YANG Ying. Overview of moving target tracking algorithm [J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2016(24):162.
- [4] 姚剑敏. 粒子滤波跟踪方法研究[D]. 长春: 中国科学院研究生院长春光学精密机械与物理研究所, 2005.
YAO Jianmin. Research on particle filter tracking method [D]. Changchun: Graduate School of the Chinese Academy of Sciences (Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics), 2005.
- [5] 王法胜, 鲁明羽, 赵清杰. 粒子滤波算法[J]. 计算机学报, 2014, 37(8): 1679-1694.
WANG Fasheng, LU Mingyu, ZHAO Qingjie. Particle filtering algorithm [J]. Chinese Journal of Computers, 2014, 37(8): 1679-1694.
- [6] 王亚亮. 基于最优贝叶斯估计的目标识别与跟踪研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
WANG Yaliang. Research on target recognition and tracking based on optimal Bayesian estimation [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013.
- [7] 任航. 基于拟蒙特卡罗滤波的改进式粒子滤波目标跟踪算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015(2): 289-295.
REN Hang. Improved particle filter target tracking algorithm based on quasi-Monte Carlo filtering [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2015(2): 289-295.
- [8] 郭秋鉴. 基于网络的摄像头云台控制系统[D]. 西安: 西安工业大学, 2011.
GUO Qiujian. Based network camera PTZ control system [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2011.
- [9] 李昌坤, 李昌龙, 何小海. 一种新型的智能云台控制系统[J]. 中国测试, 2005, 31(3): 30-32.
LI Changkun, LI Changlong, He Xiaohai. A novel intelligent PTZ control system [J]. China Testing, 2005, 31(3): 30-32.
- [10] 周灵. 基于视频图像的火箭识别与跟踪控制系统研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
ZHOU Ling. Research on rocket recognition and tracking control system based on video image [D]. Chongqing: Chongqing University, 2007.

(编辑: 刘彦东)