

doi: 10.7690/bgzd.2015.02.008

一种车载光电平台图像跟踪系统设计

朱 江, 李跃江, 邹 效

(总装重庆军代局驻重庆北碚区军代室, 重庆 400700)

摘要: 为了对活动目标进行精确引导打击, 设计一套新的图像跟踪系统以适应该平台。基于图像跟踪系统原理, 论述了复杂背景下的跟踪技术、模板更新机制、低对比度下对弱小目标的跟踪技术、记忆跟踪功能以及对典型目标的跟踪功能等多项技术。介绍了所采取的波门漂移补偿、目标重新捕获和相似目标判断等措施, 并以炮兵侦察车搭载该光电平台图像跟踪系统进行了多批次的跟踪试验。试验结果表明: 该系统跟踪器的改进方法有效, 整体跟踪效果提升显著。

关键词: 记忆跟踪; 波门漂移; 捕获

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Design of Vehicle with Optoelectronic Platform's Tracker

Zhu Jiang, Li Yuejiang, Zou Xiao

(PLA Presentation Office in Beibei District, PLA Representation Bureau of General Equipment
Department in Chongqing, Chongqing 400700, China)

Abstract: For guiding and attacking moving target accurately, design a set of new image tracking system to adapt to the platform. Based on the principle of image tracking system, discussed the complex technology of background tracking, update mechanism of the template, tracking technology of low contrast of dim and small target, memory tracking function, the typical target tracking function and so on. This paper introduced the measures taken, such as gate drift compensation, the goal of recapture and similar objective judgment, and completed tracking test of the photoelectric platform image tracking system on artillery reconnaissance vehicle. The results show that: the improved method of this system's tracker is effective, tracking effect increased significantly.

Keywords: memory tracking; frame drifting; capture

0 引言

某炮兵侦察车主要编配我军数字化部队和重型机械化部队, 以侦察敌情、地形, 观察战场为主, 同时具备为激光末制导武器指示目标及对活动目标进行精确引导打击。光电平台图像跟踪系统是该侦察车重要组成部分, 由平台和软件组成。因需要对活动目标进行精确引导打击, 对图像跟踪系统的要求更高。基于此, 笔者设计一种车载光电平台图像跟踪系统。

1 总体设计

图像跟踪系统接收并处理 CCD 摄像机和红外热像仪图像信号, 能快速响应系统指令、可靠锁定和捕获目标并稳定跟踪指定目标, 并具备消除系统命令延迟的功能, 图像跟踪系统中集成各种目标捕获和跟踪等算法, 可完成对运动目标的自动捕获与自动跟踪, 捕获在跟踪、人工或数字引导随动跟踪下完成, 具有重心、相关跟踪方式。CCD 摄像机和红外热像仪在系统内部是 Camera-link 制式数字视

频信号输出, 图像跟踪系统选择红外与可见图像任一路切换输出。

图像跟踪系统的硬件平台专门设计了高性能多 DSP 小型数字图像实时处理器, 该图像处理器以大规模 FPGA 为中心, 以目前最高性能的数字信号处理器作为主要运算部件, 共同完成图像实时处理, 图像处理器接收系统中心控制器发出的指令, 并按指令工作。图像跟踪系统设计中核心电路部分采用高速 DSP 芯片 TMS320C6416 作为数据处理器, 结合大面阵 FPGA 实现图像处理器的算法运算。在 FPGA 内, 还完成图像数据的缓存、图像预处理、字符显示控制以及外部接口控制等功能^[1]。DSP 收到预处理后的图像数据, 对其进行目标提取, 计算出目标脱靶量, 通过 RS422 串口发送给中心控制器, 并接收中心控制器的命令, 进行相应的操作。整个硬件系统分为视频解码单元、图像存储单元、数据处理单元、通信串口单元等部分组成。图像跟踪系统原理框图如图 1 所示。

收稿日期: 2014-10-31; 修回日期: 2014-12-03

作者简介: 朱 江(1987—), 男, 湖北人, 助理工程师, 从事光电专业研究。

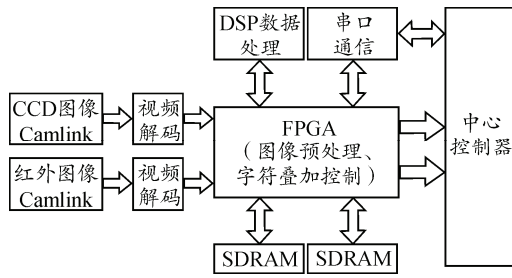


图 1 图像跟踪系统原理

2 关键技术

2.1 复杂背景下目标跟踪技术

在相关匹配算法中，目标检测就是匹配模板的选取问题。模板选的过大，就会包容大量的背景信息，致使匹配精度下降；模板选的太小，又会丢失目标信息，产生错跟的现象^[2]。

对于图像处理器来讲，在开始跟踪的第 k 帧时，只知道目标位置信息 (x_0, y_0) ，没有目标形状、大小等其它信息，因而具有任意性，这就决定了系统对目标不具有任何先验知识。令波门图像为 $f(x, y)$ ， $I_f(x, y)$ 是利用 sobel 算子提取的边缘图像，选取合适的阈值 T_e 对 $I_f(x, y)$ 二值化，得到二值图像

$$S_f(x, y) = \begin{cases} 1 & I_f(x, y) \geq T_e \\ 0 & I_f(x, y) < T_e \end{cases} \quad (1)$$

式中确定阈值 T_e 的方法有很多。一种求自适应阈值的方法是根据一维特征聚类准则，计算图像边缘点和非边缘点类间最大方差的办法获得。

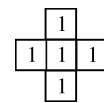
2.2 模板更新机制

在图像相关跟踪系统中，模板的更新机制是非常重要的。由于模板更新机制将直接影响跟踪性能：若更新频率过低，则跟不上目标的变化；而更新过于频繁，则在更新时，容易受到光照和噪声的影响而引入误差，并使误差不断地积累，从而导致跟踪窗口的漂移。传统的模板修正法是将模板与当前帧的最佳匹配区加权求和，由于这种策略并没有区分目标和背景，因而波门内变化的背景将会大大降低匹配的精度。此外，传统的模板更新算法中，模板的大小和形状是保持不变的，而实际上，目标的形状和尺度总是在发生变化。针对这些问题，以最佳匹配点图像与模板的相关值作参考来构造模板评价函数，再用评价函数结合当前模板形状和尺度的变化情况来决定是否更新模板，并在模板更新时引入前面的目标检测过程，先将背景和目标分离开，进而有针对性地更新模板，以消除传统算法中盲目更新模板的缺点，并有效提高跟踪的鲁棒性^[3]。

2.3 低对比度下对弱小目标的跟踪

当能见度较差的时候，会出现对低对比度图像中的弱小目标进行跟踪的情况。跟踪器设计中通过以下手段解决该问题：

1) FPGA 中利用采集 2 行图像的时间差，在缓存中对采集图像进行图像增强和拉伸处理，使图像的对比度和目标的特性增强，同时又不额外增加图像处理的时间。然后利用 4 邻域中值滤波算法，对增强后的图像进行滤波处理，滤出背景中干扰噪声，保留目标特征(灰度、边缘)，具体原理如图 2。



(a) 滤波器模板

49	51	50	50	49	51	49
51	50	51	50	53	52	51
52	49	58	58	58	52	52
52	247	58	58	56	48	52
48	48	57	57	58	47	48
47	49	50	8	50	51	47
49	51	50	50	49	51	49

(b) 原始灰度图像

49	51	50	50	49	51	49
51	51	50	53	52	52	51
52	52	58	58	58	52	52
52	52	58	58	56	52	52
48	49	57	57	58	48	48
47	49	50	50	50	51	47
49	51	50	50	49	51	49

(c) 滤波后图像

图 2 滤波器原理

图 2(b) 中每 1 个方格数字代表 1 个像元灰度(范围 0~255)，其中粗线内为目标像元大小 3×3，灰度为 247 的像元为亮噪声点，灰度为 8 的像元为暗噪声点。滤波时，用图 2(a) 中的模板去遍历图像，这样滤波后的图像为图 2(c) 可见，该方法可有效滤除图像中的亮、暗噪声，同时又可保留大小在 3×3 像元以上目标的灰度和边缘特征。

2) 针对图像中目标小、背景大的特征，在进行目标二值化分割阈值的选取采用。滤波后图 2(c) 中图像平均灰度为 51.6，背景平均灰度为 50.3，而目标的平均灰度为 57.4，可计算出目标的对比度：

$$\frac{57.4 - 50.3}{255} = 2.78\% < 3\% \quad (2)$$

这样分割阈值 = $(57.4 \times 3 + 51.6 \times 2) / 2 = 137.7$ ，取整数值 138。一对图像以 4×4 像元窗口对波门内图像做灰度统计，根据统计结果产生自适应分割阈值，进而提取出目标。

算法是对于地面复杂背景小目标的跟踪性能可靠，特别是针对地面复杂背景情况下，能够有效地对目标进行跟踪，排除其他地面背景的干扰，完全能够满足本系统的战术指标要求，在其他型号的无人机电平台已经得到认证。

2.4 记忆跟踪功能的实现

记忆功能的具体实现过程：在跟踪中，在被跟踪目标被遮挡(如建筑物遮挡等)的时刻，跟踪器通过目标丢失判断算法得出目标丢失标志，并向伺服系统发送该标志，伺服系统受到该标志后启动惯性跟踪，保持对被遮挡目标的持续跟踪。此时，跟踪器转入目标搜索程序，利用目标丢失前保存的模板，在一定范围内搜索目标。当目标再次出现时，跟踪器搜索到目标，清楚目标丢失标志，并发送给伺服系统。伺服收到后，停止惯性跟踪，转入正常跟踪。

在上述过程中，对跟踪器而言，目标丢失的判断很关键。笔者采用多模匹配结合目标位置预测的方法来计算目标丢失状态，并充分利用相关绑定重心跟踪方式的计算结果来校对该状态位，进一步保证目标丢失判断的准确性。该方法已在某地面设备项目中得到实际验证，效果比较理想。

2.5 对典型目标的自动跟踪功能

在搜索过程中，如遇到典型目标，光电稳定平台会对视场内的目标进行自动跟踪。针对光电侦察系统应用环境的多样性，以及各种目标的运动特征的不同，将运动目标分为 2 大类：地面目标与低空目标。针对不同的运动特征采用不同的识别与跟踪算法，这样可以较理想地跟踪目标。

1) 对地面目标的自动跟踪。

对于地面目标，由于武器系统的作战范围以及被跟踪的目标相对较小，其目标特征为运动背景比较复杂。针对这些特点，算法采用可区分性目标表观模型的自适应建模和更新方法。

表观建模是视觉跟踪算法性能的决定性因素之一。实践表明：图像特征选择和基于图像特征的目标表观描述模型从根本上决定了算法的鲁棒性和计算复杂性。自适应目标表观建模和更新算法在动态建模过程中不仅考虑目标表观信息，同时对目标所处环境中的背景信息进行考察，从而可对目标/背景的差异信息进行有效建模，在根本上保证了模型具有从变化的背景中区分前景的能力。

2) 对低空目标的自动跟踪。

对于低空运动目标，其特征是背景简单，由于空中目标运动速度相对较快，导致图像中目标可能发生显著姿态变化，以及由于目标由远及近运动引起的目标缩放。这就要求算法既要适应目标大小、姿态的复杂变化，又要保证运算量小满足实时要求^[4]。因此，笔者采用一种基于改进的核密度估计和均值漂移目标跟踪算法，以其无需参数、快速模

式匹配的特性被广泛应用于目标跟踪领域。由于该方法是针对目标图像的灰度特征和分布概率进行建模，所以对空中目标运动所带来的缩放和旋转等形状上的改变并不敏感，大大提高了跟踪的鲁棒性。而且进一步改进的核函数以及均值漂移算法中的迭代权值，又大大简化了运算量，使算法成功嵌入硬件平台，从而实现其在工程方面的应用^[5]。

3 试验结果与分析

2010 年 6 月至今，某炮兵侦察车搭载该光电平台图像跟踪系统进行了多批次的跟踪试验。试验中的跟踪效果得到很好的验证，效果如图 3，为指挥系统和火力平台提供了清晰的图像和稳定的跟踪。

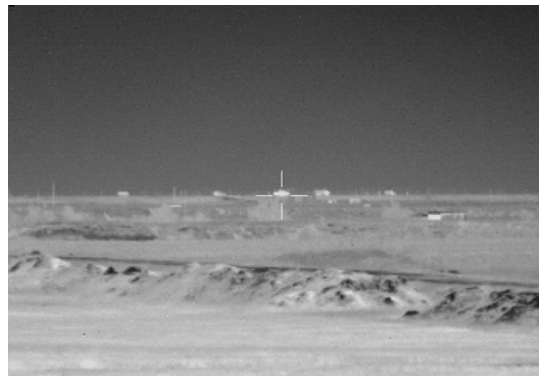


图 3 焦距 80 mm 跟踪效果图

4 结论

笔者结合作战实际需要，对炮兵侦察车光电平台图像跟踪系统进行了重新设计和改进，采取了一系列改进跟踪功能的措施，通过升级系统运行的硬件平台，改进跟踪算法，使得平台的整体跟踪性能得到了较大提高。试验结果表明：该平台图像跟踪系统的改进方法有效，整体跟踪效果提升显著，可以对感兴趣的实现稳定跟踪。

参考文献：

- [1] 尹传历, 张葆, 戴明, 等. 嵌入式雾天降质图像对比度增强系统的设计与实现[J]. 电视技术, 2009, 33(12): 90-92.
- [2] Menotti D, Najman L. Multi-histogram equalization methods for contrast enhancement and brightness preserving[J]. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 2007, 53(3): 1186-1194.
- [3] 周长发. 精通 Visual C++ 图像处理编程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 10-20.
- [4] 王志坚. 基于大气模型的图像复原改进方法及应用[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(3): 239-241.
- [5] Jean-Philippe Tarel. Fast Visibility Restoration from a Single Color or Gray Level Image[C]. I CCV, 2009: 20-28.