

低空目标的多级图像投影检测方法

张宇^{1,2*}, 王晓燕¹

(1. 西安建筑科技大学 机电工程学院, 西安 710055; 2. 西北工业大学 自动化学院, 西安 710072)

(*通信作者电子邮箱 zhagyu@163.com)

摘要:为解决地面背景干扰和雨天弱小目标难以检测的问题,提出一种低空目标多级图像投影检测算法。首先,分析地面背景与天空区域在图像中的分布位置以及灰度特征,根据水平灰度投影的阶跃变化将图像分割为天空区域和地面背景区域两部分;然后,由天空区域图像的水平投影和垂直投影一阶差分极大值截取目标所在的水平和垂直带状区域,分别计算水平带状区域的垂直灰度投影和垂直带状区域的水平灰度投影,并根据它们的一阶差分极大值点确定两组候选目标位置坐标;最后,验证获取的两组目标坐标,并计算目标位置坐标。实验结果表明:所提算法能检测出具有复杂地面背景的低空目标,也适用于雨天弱小目标的检测;该算法的速度较快,满足视频图像处理的实时性要求。

关键词:低空目标检测;图像处理;复杂地面背景;图像灰度投影;雨天弱小目标

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

Multi-level image projection detection algorithm for low-altitude targets

ZHANG Yu^{1,2*}, WANG Xiaoyan¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi 710055, China;

2. School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China)

Abstract: For solving the problems of earth surface background disturbance and small weak target detection in rain, a multi-level image projection detection algorithm for low-altitude targets was proposed. Firstly, the position and the gray characteristics of ground and sky area in the original image were analyzed, and the image was splitted into sky and ground area according to the step change of horizontal gray-level projection. Secondly, the horizontal and vertical strip areas including target were intercepted from the sky area image based on the maximum value of the horizontal and vertical projection first-order differences respectively, then the vertical gray projection of the horizontal strip area and the horizontal gray projection of the vertical strip area were calculated, as a result, two candidate target coordinates were determined by the maximum values of the horizontal and vertical projection first-order differences. Finally, the two candidate target coordinates were verified and the target coordinates were calculated. The experiment results show that the proposed algorithm can detect both low-altitude targets with complex earth surface background and small weak target in rain. In addition, this new method is fast to satisfy the requirement of real-time video image processing.

Key words: low-altitude target detection; image processing; complex earth surface background; image gray projection; small weak target in rain

0 引言

低空目标检测是空中交通管制的重要手段,对保证低空空域飞行安全具有重要意义。我国即将全面放开 3 000 m 以下的低空空域,未来十年,通用航空必将迎来爆发式的增长,民用航空器数量将急剧增加,空中安全形势也开始变得严峻,因此,迫切需要研究低空通航飞机目标的可靠监测技术,为低空飞行安全提供保障。

国内外学者提出了一系列算法来实现对空中目标的图像检测和跟踪监视,但专门针对低空目标的研究比较少。文献[1]使用基于序列的模板匹配方法对飞行器进行自动视觉跟踪,并使用运动预测方法降低算法对地面干扰和模糊背景等

环境因素的敏感性。文献[2]采用一种新的形状匹配算法识别低空飞行器目标;但是,模板匹配方法需要在系统中预先存储大量的模板进行训练,并且匹配算法比较费时,运算速度慢。文献[3]讨论了使用机翼、发动机、机身和尾翼特征提取飞机形状特征,并将这些特征作为智能视觉自动目标识别系统的输入来识别飞机目标。文献[4]提出一种在红外图像序列中基于尺寸、连接性和运动判据自动检测和跟踪目标的算法。文献[5]研究了基于成分分析的前视红外图像目标检测,通过图像分析算法提取连通区域,并用支持向量机对目标区域进行分类。文献[6]为了解决红外图像中二维形状分类与位置、大小、方向相关的问题,用小波不变矩提取特征。文献[7]首先对图像进行灰度形态学操作,找出潜在目标,并用

收稿日期:2014-05-20;修回日期:2014-07-08。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61304098);陕西省教育厅科研计划项目(14JK1427)。

作者简介:张宇(1972-),女,陕西丹凤人,讲师,博士,主要研究方向:目标跟踪、模式识别、融合估计; 王晓燕(1976-),女,河南洛阳人,副教授,博士,主要研究方向:目标跟踪、飞行控制。

时间滤波器对目标的固有特征进行检测。文献[8]采用形态滤波方法进行红外图像中远距离弱小目标检测跟踪。文献[9-10]对滑动窗目标检测算法进行了改进,以缩短目标检测的时间。文献[11]利用混合优化, Powell 和粒子群交替优化得到图像间的最佳平移旋转参数,将图像进行空间配准,以实现背景变化下运动目标的检测。在已有算法中,光流法、模板匹配、粒子群等算法的运算量大,无法实时检测和跟踪目标;基于运动的算法由于摄像机跟踪时处于移动状态,导致图像序列中的背景和前景同时运动,因此算法会失效;基于特征的方法^[12]容易受到地面背景的干扰,并且低空目标外形特征变化剧烈,也容易检测失败。

为了满足快速性的要求,目前空中目标检测算法力求简单实用,能够实时在线处理。低空目标具有速度快、外形变化剧烈的特点,加之飞行器在低空飞行时容易受到地形的影响和地物的遮挡,在雨天目标距离较远时更加难以检测,因此需要研究一种既能满足快速性要求,又具有较好检测效果的低

空目标检测算法。本文提出一种基于多级灰度图像投影的低空目标检测算法,首先根据图像的水平灰度投影特性分割天空区域和地面背景区域,然后在天空区域由水平和垂直灰度投影特征确定目标位置。

1 目标检测方法对比

不同的检测算法对低空图像的处理结果具有很大差异,为了检测各种算法对地面复杂背景下目标和雨天弱小目标等特殊情况下的检测效果,本文选取边缘检测方法、帧差法和灰度阈值分割3种方法进行实验。这3种检测方法较为常用,并且运算简单,能够满足实时性要求。下列图像是在机场采集的视频图像,实验结果如图1~2所示。经过观察对比发现,当存在复杂地面背景干扰时,边缘法、帧差法和灰度阈值分割法都无法直接检测目标;而对于雨天弱小目标,由于雨点的干扰影响较大,而目标又较小,边缘法和灰度阈值分割法均无法检测出目标,帧间差分法可根据目标区域比雨点干扰区域面积大来定位目标,但是容易发生误识别。



图1 3种常用检测方法在有地面背景干扰时的检测结果

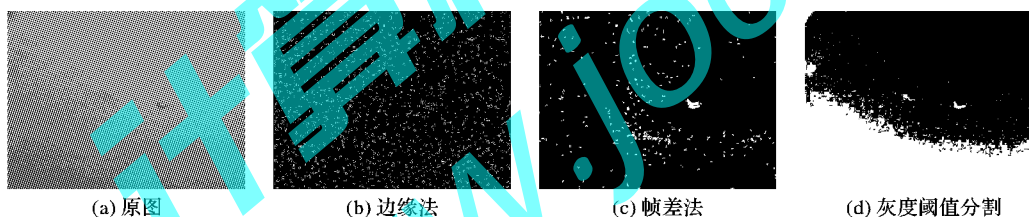


图2 3种常用检测方法对雨天弱小目标的检测结果

2 多级图像投影目标检测

当图像中仅存在天空背景时,可以采用灰度投影法检测目标。分别在水平和垂直方向计算图像的灰度投影。令 $I(i, j)$ 为图像中像素点 (i, j) 的灰度值,则一幅 $M \times N$ 图像在第 i 行的水平灰度投影为:

$$S_x(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N I(i, j); i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

在第 j 列的垂直灰度投影为:

$$S_y(j) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I(i, j); j = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

将图像分别沿水平和垂直方向投影,得到图像的水平灰度投影曲线。当图像中仅存在天空背景时,背景灰度比较均匀单一,与目标的灰度特性具有明显差异,投影曲线在目标位置处存在跳变,可以根据跳变位置定位目标。但是,由于低空目标飞行高度比较低,图像下部往往会出现地面背景,对图像的水平灰度投影曲线产生剧烈的干扰,此时,灰度投影法无法确认目标。

根据实际情况以及低空目标图像的特点,作如下合理假设:

1) 地面复杂背景集中在图像的下部,天空区域位于图像的上部;

2) 地面背景和天空背景的灰度值和灰度特征具有明显差异;

3) 飞机处于天空区域内。

根据上述假设,可以首先移除图像下部的地面背景区域,然后对天空区域单独进行分析,从而定位目标。

天空部分比较明亮且亮度均匀,因此水平灰度投影曲线的数值较小且比较光滑,仅在目标位置处存在跳变;而地面部分的情况则恰好相反,其水平灰度投影曲线数值较大且变化剧烈;在天空和地面背景的交界处,由于灰度值发生了剧烈变化,因此水平灰度投影曲线会发生阶跃跳变,能够据此分割天空和地面背景区域。在去除地面背景后,图像中仅包含天空区域,可以直接根据天空区域的垂直灰度投影曲线变化确定目标的位置。

多级图像投影目标检测方法步骤如下:

步骤1 分割地面背景和天空区域。

1) 将图像转换为灰度图像,并进行滤波平滑。

2) 根据式(1)计算滤波后图像的水平灰度投影 $S_x(i)$ 。

3) 确定是否有地面背景。如果在图像的水平灰度投影曲线上有阶跃跳变,且在跳变上方灰度值较大,下方灰度值较小,说明图像中存在地面背景区域,进行下一步;否则,说明没有地面背景区域,直接跳转至步骤2。

4) 设定阈值 T_1 等于 $S_x(i)$ 的中值,求 $i_0 \in [1, N]$,使得在第 i_0 行:

$$\begin{cases} S_x(i) \leq T_1, & i \geq i_0 \\ S_x(i) > T_1, & i < i_0 \end{cases}$$

考虑到地面物体的起伏,取 $i'_0 = i_0 - 20$,在图像上第 i'_0 行位置沿水平方向画一条直线,将图像分成直线下方的地面背景和直线上方的天空区域,并移除地面背景区域。

步骤2 提取目标的第一组候选位置坐标。

1) 截取的天空区域图像大小为 $M_1 \times N$,根据式(1)对天空部分图像作水平灰度投影 $S_x(i) (i = 1, 2, \dots, M_1)$,并计算其一阶差分 $S'_x(i)$:

$$S'_x(i) = \begin{cases} S_x(i+1) - S_x(i), & i = 1, 2, \dots, M_1 - 1 \\ 0, & i = M_1 \end{cases}$$

设定阈值 T_2 等于 $S'_x(i) (i = 1, 2, \dots, M_1 - 1)$ 的平均值,求使 $|S'_x(i)|$ 最大的点 i_1 ,并求取邻域半径 Δi_1 ,使得对 $\forall i \in [i_1 - \Delta i_1, i_1 + \Delta i_1]$,满足 $|S'_x(i)| > T_2$,则 $[i_1 - \Delta i_1, i_1 + \Delta i_1]$ 为跳变区域,在第 $i_1 - \Delta i_1$ 行和第 $i_1 + \Delta i_1$ 行沿水平方向画两条直线,截取两条直线内的水平带状图像区域,并且认为 i_1 为目标在图像中的候选水平位置坐标。

2) 截取的水平带状区域大小为 $M_2 \times N$,根据式(2)求其垂直灰度投影 $S_y(j)$,并求其一阶差分:

$$S'_y(j) = \begin{cases} S_y(j) - S_y(j-1), & j = 1, 2, \dots, N-1 \\ 0, & j = N \end{cases}$$

设定阈值 T_3 等于 $S'_y(j) (j = 1, 2, \dots, N-1)$ 的平均值,求使 $|S'_y(j)|$ 最大的点 j_1 ,并求取邻域半径 Δj_1 ,使得对 $\forall j \in [j_1 - \Delta j_1, j_1 + \Delta j_1]$,满足 $|S'_y(j)| > T_3$,在第 $j_1 - \Delta j_1$ 列和第 $j_1 + \Delta j_1$ 列沿垂直方向画两条直线,截取两条直线内的区域作为目标所在区域,并认为 j_1 为目标在图像中的候选垂直位置坐标。至此,得到目标在图像中的第一组候选位置坐标 (i_1, j_1) 。

步骤3 提取目标在图像坐标系的第二组候选位置坐标。

1) 与步骤2的顺序相反,首先做天空部分图像的垂直灰度投影 $S_y(j)$ 及其一阶差分 $S'_y(j)$,找出 $S'_y(j)$ 的绝对值极大值点 j'_1 和垂直灰度投影曲线跳变区域 $[j'_1 - \Delta j', j'_1 + \Delta j']$,在第 $j'_1 - \Delta j'_1$ 列和第 $j'_1 + \Delta j'_1$ 列沿垂直方向画两条直线,截取两条直线内的垂直带状区域, j'_1 为目标的候选垂直位置坐标。

2) 再计算该垂直带状区域的水平灰度投影 $S_x(i)$ 及其一阶差分 $S'_x(i)$,找出 $S'_x(i)$ 的极值点 i'_1 和水平灰度投影曲线跳变区域 $[i'_1 - \Delta i'_1, i'_1 + \Delta i'_1]$,在第 $i'_1 - \Delta i'_1$ 行和第 $i'_1 + \Delta i'_1$ 行沿水平方向画两条直线,截取两条直线内的图像区域,作为目标区域, i'_1 为目标的候选水平位置坐标,得到目标的第二组候选位置坐标 (i'_1, j'_1) 。

步骤4 验证和计算目标位置坐标。

若两组候选目标位置坐标 (i_1, j_1) 和 (i'_1, j'_1) 满足:

$$\begin{cases} |i_1 - i'_1| \leq 10 \\ |j_1 - j'_1| \leq 10 \end{cases} \quad (3)$$

则认为得到的两组候选目标位置有效,计算目标位置 (i, j) :

$$\begin{cases} i = (i_1 + i'_1)/2 \\ j = (j_1 + j'_1)/2 \end{cases}$$

若 (i_1, j_1) 和 (i'_1, j'_1) 不满足式(3),则认为得到的两组候选目标位置无效,将其剔除。

3 实验与分析

为了验证本文算法的检测效果,分别对存在地面复杂背景的低空目标和雨天弱小目标两种情况进行目标检测实验,实验结果如图3~4所示。

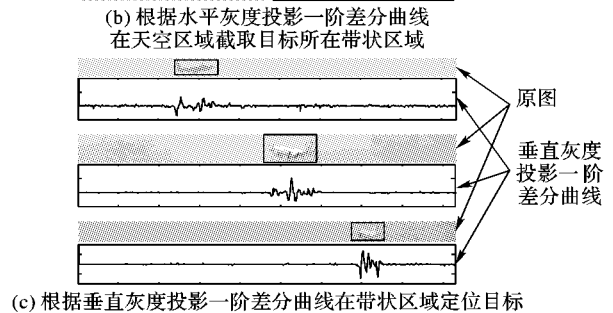
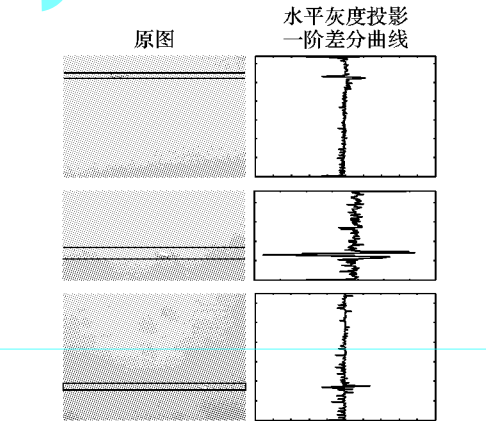
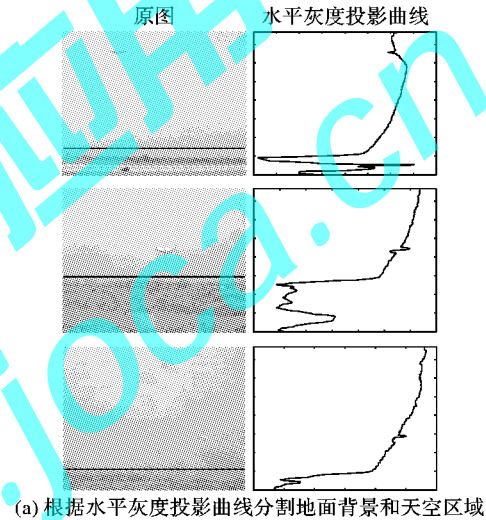


图3 存在复杂地面背景时的低空目标检测结果

图3(a)是地面和天空区域的分割结果,原始图像中黑色

水平直线为地面和天空的分割线,三幅图中地面背景在图像中所占的比例不同,但是本文算法都能够正确分割地面背景和天空区域。图 3(b)是对天空区域进行目标水平位置检测的实验结果,左图中两条水平线之间的区域为截取的水平带状区域,可以看到三幅图截取的水平带状区域均包含目标。图 3(c)中,由于带状区域仅包含目标及其所在的水平局部天空背景,已经将干扰减小到最小,因此由带状区域的垂直投影一阶差分极值点可以准确定位目标垂直位置,三幅图中的目标都能被正确地检测出来。

图 4 是本文算法对雨天弱小目标的检测结果。由于目标很小且背景中存在较强的雨点干扰,因此水平投影图的一阶差分曲线有 2 个极值点(如图 4(a)右图中圈出的两个位置),能够提取 2 条水平带状区域,如图 4(b)和(c)所示;对这 2 条水平带状区域做垂直投影一阶差分曲线,无目标区域的曲线中没有明显的跳变出现(如图 4(c)),而目标所在区域有明显的跳变(如图 4(b)),因此可根据垂直投影一阶差分的极值点确定目标位置。

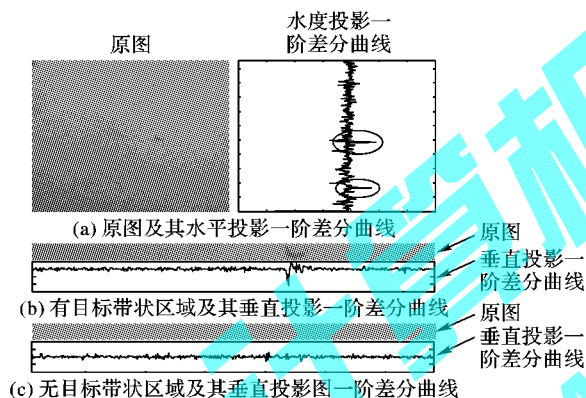


图 4 雨天弱小目标图像检测结果

图像处理程序用 C++ 编写,笔记本电脑配置为 Intel Core i3-3110M 2.4 GHz,内存为 4 GB,图 3~4 中的原始图像分辨率为 380×470 ,本文算法处理图 3(a)中的三幅图和图 4(a)中的一幅图所用的时间分别为 28.5 ms、23.3 ms、27.8 ms 和 21.4 ms。我国视频标准为 25 帧/秒,实时处理只需要每一帧的处理时间小于 40 ms,本文算法符合要求,因此可实现对视频序列图像的实时处理。

上述实验结果表明,本文算法不仅能够存在复杂地面背景时检测低空目标,而且能够实现对雨天弱小目标的检测。此外,算法运算简单,处理速度快,能够实时处理序列视频图像。

4 结语

本文在比较三种常用目标检测方法的基础上,提出一种基于多级图像投影的低空目标检测方法。该方法将图像在水平和垂直两个方向分别进行投影,根据投影及其一阶差分移除地面背景区域并检测目标。实验结果表明,本文算法不仅能够适用于有地面背景干扰时的目标检测,对雨天弱小目标检测也具有较好效果。此外,本文算法运算简单,处理速度快,能够满足低空目标检测跟踪时的处理速度要求。在后续

研究中还可以采用现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)等硬件实现,以进一步提高算法对大尺寸图像的实时处理能力。

参考文献:

- [1] ALI A, KAUSAR H, KHAN M I. Automatic visual tracking and firing system for anti aircraft machine Gun [C]// Proceedings of the 2009 6th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology. Piscataway: IEEE Press, 2009: 253–257.
- [2] XU C, DUAN H. Artificial Bee Colony (ABC) optimized Edge Potential Function (EPF) approach to target recognition for low-altitude aircraft [J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 31(13): 1759–1772.
- [3] ALI S F, JAAFAR J, MALIK A S. Proposed technique for aircraft recognition in Intelligent Video Automatic Target Recognition system (IVATRs) [C]// Proceedings of the 2010 International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics. Piscataway: IEEE Press, 2010: 173–178.
- [4] YOON S P, SONG T L, KIM T H. Automatic target recognition and tracking in forward-looking infrared image sequences with a complex background [J]. International Journal of Control, Automation and Systems, 2013, 11(1): 21–32.
- [5] HU X, YU L, FENG J Y. Improved image target detection based on component analysis [J]. International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 2012, 6(6): 1–7.
- [6] ZHANG F, LIU S Q, WANG D B, et al. Aircraft recognition in infrared image using wavelet moment invariants [J]. Image and Vision Computing, 2009, 27(4): 313–318.
- [7] KONTITSIS M, VALAVANIS K. A. Cost effective tracking system for small unmanned aerial systems [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2010, 57(1/2/3/4): 171–191.
- [8] LIU Z, YU Z, GENG J, et al. Target detection in infrared image based on morphological filter algorithm [J]. Infrared and Laser Engineering, 2013, 42(S1): 249–252. (刘忠领, 于振红, 耿建君, 等. 基于形态滤波的红外图像目标检测方法[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(增刊 1): 249–252.)
- [9] SU Y, LIAN F. A quick test method for variable object in picture using reference point [J]. Journal of Zhengzhou University: Natural Science, 2013, 33(6): 1670–1673. (苏艳苹, 廉飞宇. 基于参考点的图像可变目标快速检测方法研究[J]. 郑州大学学报: 理学版, 2013, 3: 45–49.)
- [10] GU D, XU X. Fast ACCA-CFAR algorithm based on integral image for target detection from SAR images [J]. Systems Engineering and Electronics, 2014, 36(2): 248–253. (顾丹丹, 许小剑. 基于积分图像的快速 ACCA-CFAR SAR 图像目标检测算法[J]. 系统工程与电子技术, 2014, 36(2): 248–253.)
- [11] ZHANG Y, LI J. Studies on image target detection method based on mutual information [J]. Computer Simulation, 2013, 30(6): 397–400. (张永宏, 李建楠. 基于互相关信息的图像目标检测方法研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(6): 397–400.)
- [12] TIAN Y, TIAN S, XU Y, et al. Image object detection based on local feature and sparse representation [J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(6): 1670–1673. (田元荣, 田松, 许悦雷, 等. 基于局部特征和稀疏表示的图像目标检测算法[J]. 计算机应用, 2013, 33(6): 1670–1673.)