

·信号与信息处理·

一种地背景下的运动目标检测算法研究

魏俊杰,张宇佳

(中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300308)

摘要 针对机载光电探测设备对位于地面背景下的运动目标检测虚警率高、实时性低的问题,提出了一种基于航姿信息的运动目标检测算法。首先,提取图像中的疑似目标点,然后利用疑似目标点在图像中的位置和载机的航姿信息解算得到目标在惯导坐标系下的位置信息,并根据目标在惯导坐标系下的位置变化,将目标分类为背景目标和备选目标,最后,通过计算备选目标与背景目标的角度变化关系确定备选目标是否运动。通过半实物仿真的方式对算法进行验证。

关键词 小目标检测;航姿信息;坐标转换;仿射不变

中图分类号:TP311.562

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2018)-02-0024-04

Research on Algorithm for Moving Object Detection in Ground Background

WEI Jun-jie, ZHANG Yu-jia

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

Abstract: A moving object detection algorithm based on attitude information is proposed to solve the problem of high false alarm rate and low real-time for airborne electro-optic detection equipments for moving object detection in ground background. At first, the suspected target points in images are extracted. And then, the position of suspected target points in images and the attitude information of airborne equipments are used to calculate the position of the target in the inertial navigation coordinate system. According to the change of target position in the inertial navigation coordinate system, the suspected targets are divided into a background target and an alternative target. At last, whether the alternative target is moving or not is determined through calculating the angle relationship change of the alternative target and the background target. The algorithm is verified by the simulation.

Key words: small target detection; attitude information; coordinate transformation; affine invariance

运动目标检测是计算机视觉、图像理解、精确制导、目标跟踪、机载光电探测等领域非常重要的研究内容。当观测设备安装在机载平台时,由于地面场景复杂,图像中会有大量的目标被检出,同时,由于载机的机动飞行,这些目标在图像中都会快速运动^[1],因此,将相对场景运动的目标从复杂背景中检测出来变得十分困难。光流法^[2]和差分法是图像处理领域比较经典的运动目标检测方法。差分法原理简单、运算速度快,通过差分运算来获得被比较对象的差异来检测运动对象,但是在复杂场景下易受环境的影响,检测出的物体位置不准确,且不适用于摄像头运动的情况^[3]。光流法利用的是运动

物体在连续图像的像素点运动产生的瞬时速度场光流场,该方法可以在场景信息未知的情况下进行运动物体的检测,同时还可精确地进行速度计算,能够用于动态场景,但根据 Bruhn 等^[4]对光流法的实时性实验数据发现,传统的光流法无法满足机载平台对地运动目标检测对实时性的要求。所以需要研究新的算法对地背景下的运动目标进行检测,通过对图像的进一步分析发现,图像中的目标点可以分为两类:

(1)背景目标点,该类目标主要是地面固定物体在光电探测设备的成像,其在图像中运动是由载机的姿态变化引起的,相对于惯导坐标系是固定不变的。

收稿日期 2018-02-12

作者简介 魏俊杰(1984-),男,吉林省和龙市人,硕士,主要研究方向为图像处理。

(2)真实运动目标,该类相对惯导坐标系是运动的,并且随着时间的积累其周围的背景目标是变化的。

因此,文中提出了一种基于航姿信息的地面背景下的运动目标检测算法。首先,对图像进行预处理,提取图像中的疑似目标;然后,利用载机的航姿信息,进行航姿融合^[5-6],解算疑似目标在惯导坐标系下的坐标信息,并利用该信息将疑似目标划分背景目标和备选目标;最后,以备选目标附近的背景目标构建备选目标的特征向量,在时间域上对进行特征匹配,当匹配相似度低于给定阈值时,认为该备选目标是运动目标。

1 对地运动目标检测算法

对地运动目标检测算法由疑似目标的检测与跟踪、基于航姿信息的背景目标提取和运动目标判别三个模块组成,整个算法的流程如图1所示。

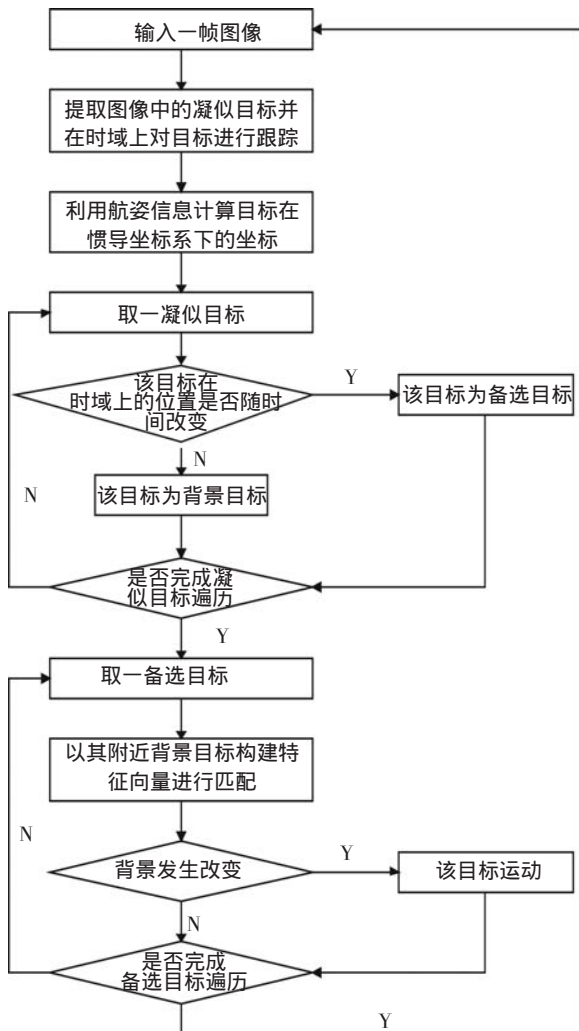


图1 运动目标检测算法流程图

1.1 疑似目标检测与跟踪

在机载光电探测设备拍摄的图像中,运动目标位于图像灰度变化较剧烈的区域即图像的特征点附近^[7],因此采用Shi-Tomasi Harris^[8]特征点检测方法进行疑似目标提取,该方法利用二维高斯核函数计算像素点的度量函数 R_m ,根据 R_m 的阈值判断提取目标是否为特征点,通过对大量图像的试验发现,当 R_m 的强度阈值设为0.09时能在保证检测概率的同时尽可能降低运算量。同时,由于图像采集的频率足够高,可以将目标的运动近似看成线模型,因此可以采用Kalman滤波^[9]算法对目标进行跟踪。

1.2 基于航姿信息的背景目标提取

如何将疑似目标划分为背景目标和备选目标是整个算法的核心。通过对机载平台的光电探测设备采集的图像数据分析发现,属于背景的目标在图像上运动是因为探测器随载机运动产生的,而在惯导坐标系下,其是静止的。因此文中提出了一种基于航姿信息的背景目标提取算法,将疑似目标从图像坐标系下转换到惯导坐标系下,如果疑似目标在惯导坐标系下的位置不随时间变化则认为疑似目标是背景目标。疑似目标在惯导坐标系下的位置函数如下

$$(X, Y, Z) = G(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \sigma_1, \tau_1, H, \alpha_2, \beta_2, \gamma_2, L_x, L_y, L_z, x, y) \quad (1)$$

式中, $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \sigma_1, \tau_1, H$ 分别为载机的方位角、俯仰角、横滚角、经度、纬度和地高,这些信息可以通过载机的航姿信息获取; $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, L_x, L_y, L_z$ 为探测器安装信息(在机体坐标系下的方位角、俯仰角、横滚角和探测器光学中心在机体坐标系下的坐标),这些信息可以在安装完成后通过测量获取并记录; x, y 为目标在探测器中成像的位置,可以通过图像计算得到。因此,只要得到函数 G 的准确表达式,就可以建立目标在两个坐标系间的映射关系,从而可以判别目标是否运动,实现对背景目标的提取。

在介绍映射函数 G 的推导过程前,先给出三个基础坐标系的定义。

(1)探测器坐标系:定义探测器坐标系一镜头光学中心为原点, ox 轴与光轴方向相同,垂直于镜头向外; oy 平行于成像面,指向成像面的下方, oz 平行于成像平面,指向成像面的左方,探测部件坐标系用 $o-xyz$ 表示。

(2)机体坐标系:定义机体坐标系以飞机惯导位置为原点 o_p ,以机身轴线为 y 轴, y 轴正向指向机头; x 轴垂直于 y 轴指向飞机右侧; z 轴与机身 oxy 平面垂直指向飞机上方,机体坐标系用 o_p-xyz 表示。

(3)惯导坐标系:定义惯导坐标系以地心 o_g 为原点, y 轴指向真北, x 轴指向真东, z 轴与 xy 平面垂直指向天,惯导坐标系用 o_g-xyz 表示。

下面给出映射函数 G 的详细推导过程:

(1)目标在探测器坐标系下的位置计算

设目标在红外图像中成像位置为 (x, y) ,根据镜头内部参数和实际测量得到的镜头视场大小,通过计算能够得到目标在无畸变图像中的坐标 (x_1, y_1) 。再根据镜头实际视场大小 s 和输出图像分辨率大小 d ,能够计算得到目标在探测部件坐标系下空间坐标 (x_2, y_2, z_2) 。

$$\begin{aligned} x_2 &= \frac{d}{2 \tan(s/2)} \\ y_2 &= y_1 - d/2 \\ z_2 &= d/2 - x_1 \end{aligned} \quad (2)$$

(2)探测器坐标系与机体坐标系的转换

设目标在探测器坐标系下的坐标为 (x_2, y_2, z_2) ,在机体坐标系下的坐标为 (x_3, y_3, z_3) ,根据欧拉角公式有

$$[x_3, y_3, z_3]^T = A \times B + C \quad (3)$$

其中,

$$A = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_2)\cos(\beta_2) - \sin(\beta_2)\cos(r_2) + \sin(\alpha_2)\cos(\beta_2) \cdot \sin(r_2) & \sin(\beta_2)\sin(r_2) + \sin(\alpha_2)\cos(\beta_2)\cos(r_2) \\ \cos(\alpha_2)\sin(\beta_2) & \cos(\beta_2)\cos(r_2) + \sin(\alpha_2) \cdot \sin(\beta_2)\sin(r_2) - \cos(\beta_2)\sin(r_2) + \sin(\alpha_2)\sin(\beta_2)\cos(r_2) \\ -\sin(\alpha_2) & \cos(\alpha_2)\sin(r_2) & \cos(\alpha_2)\cos(r_2) \end{bmatrix}$$

$$B = [x_2, y_2, z_2]^T$$

$$C = [L_x, L_y, L_z]^T$$

其中, $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, L_x, L_y, L_z$ 为探测器安装信息(在机体坐标系下的方位角、俯仰角、横滚角和探测器光学中心在机体坐标系下的坐标)。

(3)机体坐标系与惯导坐标系的转换

设目标在机体坐标系下的坐标为 (x_3, y_3, z_3) ,在惯导坐标系下的坐标为 (x_4, y_4, z_4) 根据欧拉角公式有 $(y_1, p_1, r_1) \alpha_1, \beta_1, \gamma_1$

$$[X, Y, Z]^T = A_1 \times B_1 + C_1 \quad (4)$$

其中,

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_1)\cos(\beta_1) - \sin(\beta_1)\cos(r_1) + \sin(\alpha_1)\cos(\beta_1)\sin(r_1) & \sin(\beta_1)\sin(r_1) + \sin(\alpha_1)\cos(\beta_1)\cos(r_1) \\ \cos(\alpha_1)\sin(\beta_1) & \cos(\beta_1)\cos(r_1) + \sin(\alpha_1)\sin(\beta_1)\sin(r_1) - \cos(\beta_1)\sin(r_1) + \sin(\alpha_1)\sin(\beta_1)\cos(r_1) \\ -\sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1)\sin(r_1) & \cos(\alpha_1)\cos(r_1) \end{bmatrix}$$

$$B_1 = [x_3, y_3, z_3]^T$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} (R+H)\cos\sigma_1 \cos\tau_1, (R+H)\sin\tau_1 \\ (R+H)\sin\sigma_1 \cos\tau_1 \end{bmatrix}$$

其中, $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \sigma_1, \tau_1, H$ 分别为载机的方位角、俯仰角、横滚角、经度、纬度和地高; R 为地球半径。

式(2)~式(4)最终得到下式

$$[X, Y, Z]^T = A_1 * A * B + A_1 * C + C \quad (5)$$

式(5)即映射函数 G ,式中不再含有未知数,因此对与地面上的每一个物体,都可以建立其在惯导坐标系与其在图像上位置的映射关系。对于图像中的每一个疑似目标,都先假定其为地物目标的成像,通过式(5)可以解算其在惯导坐标系下的实时位置坐标,如果疑似目标的位置在时域上不发生改变则认为该目标为背景目标,否则认为目标为备选目标。

1.3 运动目标判别

对于图像中备选目标,选取以其位置为中心 $M*N$ 范围内的背景目标构建目标的背景特征向量,并在时域上采用基于角仿射不变的特征匹配算法^[10]对备选目标的背景进行匹配,当备选目标的背景发生改变时,认为备选目标为运动目标。

2 仿真分析

仿真实验平台为Windows7系统、主频2.66 GHz、内存8.0 GB的计算机,采用VC6.0编写程序测试算法。由于采集的图像中缺少真实运动的目标,所以通过在图像中叠加仿真目标的形式进行半实物仿真测试。测试程序利用文中提出的算法对图像序列进行处理,将判别为运动目标的标记并记录。测试使用的图像为中波红外图像,图像分辨率为 $512*512$,帧频为50 Hz,中时长为200 h,其中共添加不同速度的仿真目标100个。测试程序同时对算法对单帧图像处理的平均用时、和最大用时进行了统计记

录。图2~图3为对不同速度的仿真目标的检测结果,左图为仿真目标出现时刻,右图为目标判别为运动时刻,黄色圆圈圈出的为仿真目标,红框表示判别为告警。



图2 试验图像1

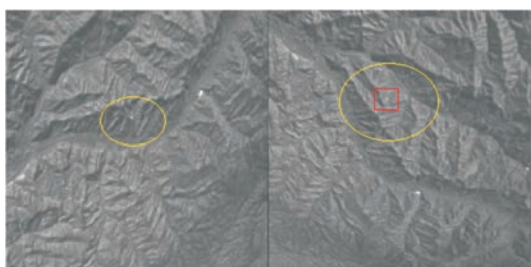


图3 试验图像2

通过记录的数据,计算了算法的检测概率、虚警率和时间消耗等指标。针对添加的1 000个仿真目标(满足疑似目标特征,能够被疑似目标检测模块有效检出),其中有704个被判别为运动目标,算法对运动目标的检测概率为70.4%;对总计两小时的测试图像,共有47个非运动目标被判别为运动目标,算法的虚警率为23.5次/h;对被检测出的运动目标,从目标出现到目标被判别为运动目标的最长用时为1.86 s,算法的反应时间不超过2 s;算法对单帧图像处理的平均用时为11.3 ms,最长的用时为18.9 ms。同时,为了对文中算法和传统光流法进行比较,同样采用VC6.0编写测试代码的进行测试,比对结果如表1所示。

表1 算法主要性能对比表

使用算法	检测概率/%	虚警率/次/h	单帧处理时间/ms
文中算法	70.4	23.5	11.3
传统光流法	65.1	148	77

通过仿真实验,可以说明算法具有很好的实时性,对运动目标的检测时间能够满足使用需求,同时,通过与传统光流法对比,所提出的检测方法能够在不降低检测概率的同时更快速的检测运动目标。

3 结论

提出了一种基于航姿信息的地背景下运动目标检测算法。该算法能够准确的检测出地面背景下的运动目标,并且虚警率较低。但该算法仍有许多有待改善的地方,比如结合深度学习等方法进一步提高算法的检测概率并降低虚警,通过对算法的优化使其能在DSP平台上运行并保证单帧检测时间不超过30 ms。

参考文献

- [1] Kirchof M, Stilla U. Detection of moving objects in airborne thermal videos[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2006, 61(3/4): 187-196.
- [2] 章毓晋. 计算机视觉教程[M]. 北京:人民邮电出版社, 2011:198-200.
- [3] 王栓,艾海舟,何克忠.基于差分图像的运动目标的检测与跟踪[J].中国图像图形学报,1999,4(6):470-475.
- [4] Bruhn A, Weickert J. Variational optical flow computation in real time[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(5): 608-615.
- [5] 张天光,王秀萍,王丽霞.捷联惯性导航技术[M].北京:国防工业出版社,2007.
- [6] 王恒立,朱卓.机载光电探测航姿信息融合算法研究[J].光电技术应用,2009,2(24):22-26.
- [7] Li Ning, ZHOU Jian-jiang, ZHANG Xing-xing. Moving object tracking in dynamic image sequence based on estimation of motion vectors of feature points[J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2009, 26(4): 295-300.
- [8] 闫钧华,朱智超,孙思佳,等.基于多尺度红外与可见光图像配准研究[J].激光与红外,2013,43(3):327-333.
- [9] 周琳娜.卡尔曼滤波在目标跟踪中的应用[J].伺服控制,2011,1:53-54.
- [10] 孙向军,曹立鑫,刘凤玉.基于角仿射不变的特征匹配[J].中国图像图形学报,2004,5(9):589-593.