

飞行目标姿态测量中的图像处理方法

王 锋^{1,2} 曹剑中¹ 周仁魁¹ 刘 波¹ 梁义涛^{1,2} 邹永星^{1,2}
罗秀娟¹ 车 嵘^{1,2,3}

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3 中国人民解放军西安通讯学院, 西安 710106)

摘 要 基于一种利用光测图像获取目标空中飞行姿态的方法, 对高速电视获取的目标图像进行预处理的问题进行了研究, 检验了姿态获取方法的可行性. 人工模拟目标的试验结果证明了该图像处理方法的高准确度、有效性和易实现自动化等特点, 为姿态获取方法的实际应用提供了依据.

关键词 姿态测量; 边缘检测; Hough 变换; 准确度

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

0 引言

用于测量各类飞行目标外部参量的光学精密测量系统, 通常是将被测目标作为“质点”进行处理. 这类测量系统, 如光电经纬仪、各类电视跟踪测量系统、航迹测量系统等, 都可以实现对空间运动目标轨迹的测量和监控, 得到目标的速度、加速度和运动轨迹等参量^[1], 但无法得到目标的三维姿态参量(俯仰角、偏航角、滚动角). 而目标运动三维姿态是测试试验中反映目标飞行状态的重要运动参量, 它对试验鉴定、事故分析、工业设计等有重要价值, 受到越来越多的关注和重视.

本文基于一种利用光测图像获取目标空中飞行姿态的方法^[2], 主要研究对高速电视拍摄图像进行预处理的方法.

1 基于图像的姿态测量方法

大多数的飞行目标, 可认为是轴对称的. 如果能求出目标在空间的中轴线方程, 则目标在空中的飞行姿态(俯仰角和偏航角)可以用此中轴线的方向数来表示, 并用两站交会的方法求得目标的中轴线方程.

实际上, 空中飞行目标的中轴线是观察不到的, 假想空间存在这样一条直线 L , 如图 1. L 经高速电视的摄像系统在像面上成像为直线 l . 由透视投影知识知, L 、 l 以及摄像系统的光心 O 在同一空间平面内, 设此平面为 π . 如果同时有另一台高速电视对此目标拍摄成像, 同理可知, L 的像直线 l' 和此电视摄像系统的光心也是共面的, 设所在平面为 π' . 显然, L 是平面 π 和 π' 的交线, 只要能求出直线 l 和 l'

的方程, 就能确定空间平面 π 和 π' , 进而求出空间直线 L 的方程, 最终确定空间目标的姿态.

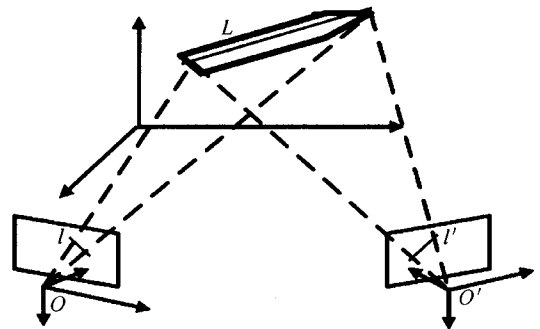


图 1 姿态测量方法原理

Fig. 1 Principal of pose measurement

如果目标具有直线或近似直线的边缘, 则由高速电视拍摄得到的二维数字图像中目标的轮廓线也会包含两条明显的直线边缘. 一般情况下, 高速电视跟踪的目标距离地面较远, 摄像系统焦距较长, 透视投影可以近似看作平行投影, 这时空间目标的中轴线在像面上的投影可以认为是图像轮廓中两条直线边缘的中心线. 用图像处理的方法, 高准确度地提取出目标的两条直线边缘的方程, 求得其中心线方程, 即可认为是前述的 l 和 l' 的方程.

2 图像预处理

2.1 边缘检测

边缘(Edge)是指图像局部强度变化最显著的部分. 边缘主要存在于目标与目标或目标与背景之间, 图像分析和理解的第一步常常是边缘检测(Edge detection). 边缘检测的目的是要检测图像局部特征值(如灰度)不连续或变化较为剧烈的像素点, 然后将这些点连接就构成目标的边界. 常用的边缘检测算子有 Sobel、Prewitt、Canny 等. 其中 Sobel 和 Prewitt 算子都是对图像的每一个像素通

过计算其四邻点灰度的加权和来检测边缘; Canny 方法则是使用拉普拉斯算子, 并且使用两个不同的阈值分别检测强边缘和弱边缘, 提取到边缘的好坏受选取阈值的影响很大, 需反复尝试选取最佳阈值, 且很容易产生双边缘, 并对噪音敏感. 本文要检测的对象是空中飞行目标, 背景比较复杂; 虽然上述算法也能检测出边缘, 但边缘常常存在断裂现象, 而且出现许多不感兴趣的内部细节. 文献[3]提出一种

将区域分割技术和二值形态学相结合提取图像边缘的方法, 先用高帽变换和低帽变换方法对原始图像进行变换, 再将高帽图像与低帽图像相减, 以得到最大对比度的增强图像, 然后用形态学模板连接边缘的断裂处, 最后去除目标内部的噪音点和细节. 图 2 中(a)为原始图像, (b)为增强后的图像, (c)为用上述方法检测出的目标边缘.

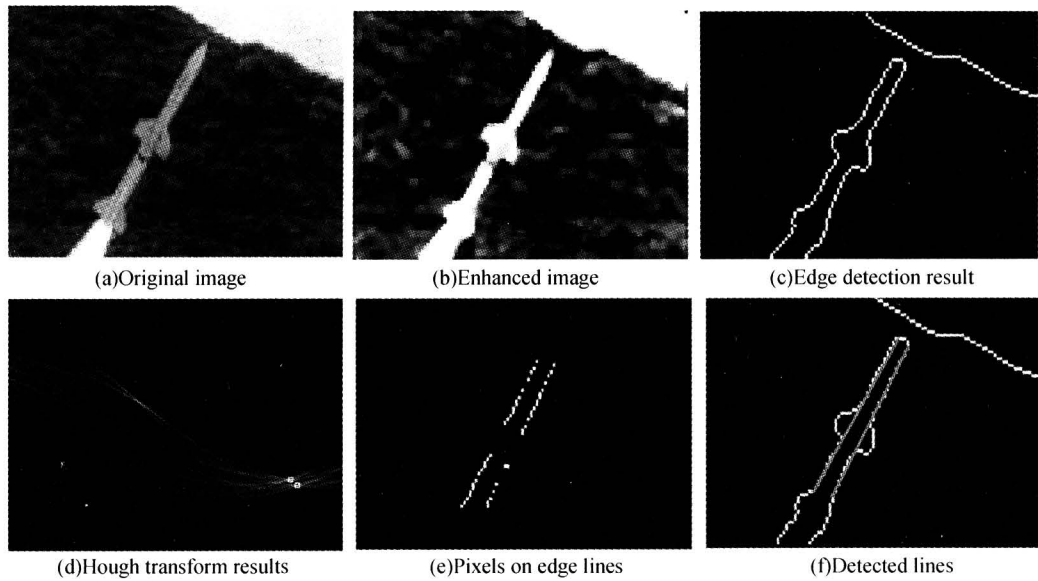


图 2 图像的预处理

Fig. 2 The image's preprocessing

2.2 边缘直线方程的提取

Hough 变换是检测图像中直线等已知形状目标的经典方法, 用它检测直线的基本思想是点一线的对偶性, 即直角坐标空间中同一直线上的点 (x_i, y_i) 对应参量空间(直线用极坐标表示)中的一个点 (ρ, θ) . 本文对 Hough 变换的原理不做详细介绍, 只给出具体应用结果.

首先对图 2(c)进行剪切, 得到感兴趣目标的躯干部分, 剪切后须将图像还原成原来大小. 然后对图像进行 Hough 变换, 结果示于图 2(d), 其中用方框标记的两个点最亮, 称为 Hough 图像的峰值点, 它们正对应着图 2(c)中的两条直线边缘. 这是由于每条直线边缘上的像素点较多, 它们又对应参量空间中的同一个累加器单元, 因此累加器单元的值较大, 反应在图像上, 对应的点较亮.

找到 Hough 变换的两个峰值点后, 接下来要确定原图像平面上与每一个峰值点对应的所有非零像素点, 并将这些点拟合成直线. 由于有时目标边缘直线中有断裂(如图 2(a)中目标侧翼的影响), 在确定直线时设置一个阈值, 如果断裂的尺寸小于阈值, 则将断裂加以弥合, 从而得到完整的直线边缘. 图 2(e)是检测到的两条边缘直线对应的非零像素点,

图 2(f)是由这些点在原图确定的两条完整的直线边缘.

实际上, 用 Hough 变换已经能够确定出两条边缘直线的方程(因为由 Hough 变换得到了直线对应 ρ, θ 值), 但是由 Hough 变换得到的 ρ, θ 值的精确度取决于对参量空间进行累加器单元分割的精细度; 如果分割得过细, 会大大增加运算量, 使算法变得不实用了. 因而由此得到的直线方程往往准确度不高. 为解决此问题, 采用最小二乘法对图像拟合得到直线方程, 由于最小二乘准则是进行全局意义上的匹配, 所以得到的直线方程准确度较高.

对图 2(e)中的两条边缘拟合的结果为: $\theta_1 = 57.3010^\circ, \rho_1 = 15.9269; \theta_2 = 58.5948^\circ, \rho_2 = 19.3944$.

3 处理方法的准确度分析试验

本文通过设计一套试验装置, 检验图像预处理方法提取目标轮廓直线方程的可行性和准确度.

将模拟目标安装在减速电机轴上, 用 CCD 摄像机摄取等间隔画面. 在目标与摄像机光轴基本垂直, 电机转速基本均匀的前提下, 可认为相邻画幅目标倾角的角度差为固定值. 通过对图像序列连续地、自动地进行处理, 得到每幅图像中目标的姿态倾角

值,然后对相邻图像中目标倾角差值序列进行统计,可得处理准确度.

电机旋转一周需 116 s, CCD 摄像机的拍摄速率为 25 f/s,经计算可知,前后两幅图像中目标位置的俯仰角度差的理论值为 0.124° .

为了比较目标大小不同时处理准确度的差异,分别拍摄了两组图像进行试验,一组图像目标像长 88 像素点(如图 3(a),以下简称大目标),另一组像长 28 像素点(如图 3(b),以下简称小目标).为了试验目标在不同位置时对其姿态角的处理准确度,分别选取垂直、水平、斜 45° 和斜 135° 四个方向附近目标的图像组进行处理,并对处理结果进行了统计学分析.每间隔五幅图像选择一幅处理,因此前后两幅被处理的图像理论上的俯仰角差值为 0.620° .处理结果如表 1.

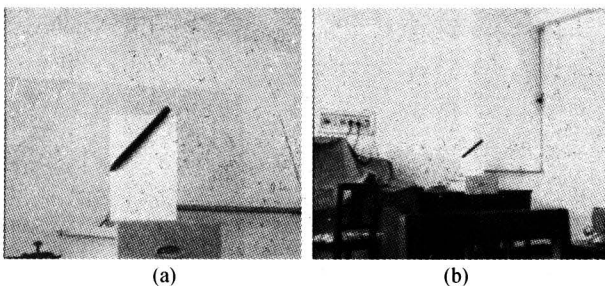


图 3 待处理的目标图像

Fig. 3 The images to be processed

表 1 不同方向段目标处理结果

角度范围/ $(^\circ)$	87~93	-5~5	40~50	130~140	
大目标	均值	0.6059	0.6119	0.6330	0.6193
	均方差	0.0776	0.0674	0.0444	0.0415
小目标	均值	0.6260	0.6361	0.6579	0.6212
	均方差	0.1213	0.1488	0.0654	0.0640

由表 1 可见,无论目标大小,统计得到的角度差的均值都在 0.62° 附近,且数据的均方差较小(整体而言,大目标图像的处理结果优于小目标图像).

对大目标图像,目标像长 88 像素点,目标头部至少改变一个像素的位置,目标图像俯仰角才有所改变,此时改变的角度:

$$\delta = \frac{1}{88} \times 57.3 = 0.65^\circ$$

对大目标,表 1 显示各个角度范围目标的均方差均小于十分之一量级,与目标长度的倒数对应的角度值相比,图像处理的准确度达到了 8~10 个细分度.同理,对小目标也有类似的结论.这说明处理准确度也达到了较高的水平,结果是可信的.

图 4 显示的是对俯仰角在 $-20^\circ \sim 65^\circ$ 范围内(飞行目标经常处于此俯仰角范围)的一段连续的小目标图像序列的处理结果.

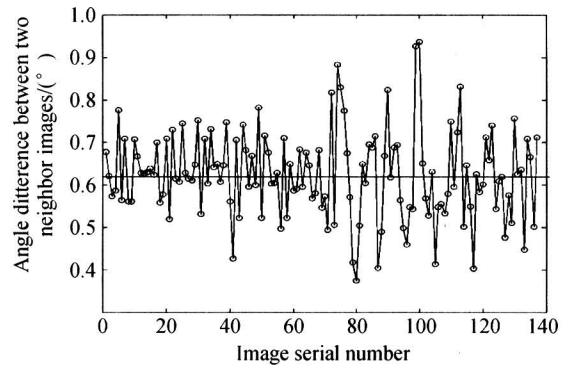


图 4 一段连续目标图像处理结果

Fig. 4 Processing result of an image sequence

4 结论

本文针对基于高速电视拍摄的光测图像测量飞行目标姿态的方法,着重研究了对目标图像进行预处理,提取目标轮廓中边缘直线方程的过程方法.经过对人工模拟目标的试验测试,证明用本方法提取目标的姿态角准确度高,并易于实现处理过程的自动化,从而为这种通过对光测图像的处理获取飞行目标空姿态的方法提供了可行性依据.

文中只考虑通过单站图像的处理,尚未考虑通过两站交会得到空间目标实际的俯仰角和偏航角.这正是下一步要完成的工作.

参考文献

- 何照才,胡保安.光学测量系统.北京:国防工业出版社,2002.1~21
He Z C, Hu B A. Optical Measurement System. Beijing: National Defence Industry Press, 2002. 1~21
- 于起峰,孙祥一,陈国军.用光测图像确定空间目标俯仰角和偏航角的中轴线法.国防科技大学学报,2000,22(2):15~19
Yu Q F, Sun X Y, Chen G J. *Journal of National University of Defense Technology*, 2000, 22(2): 15~19
- 邹永星,周仁魁,罗秀娟,等.一种提取图像目标边缘的新方法.光电工程,2005,32(6):76~78
Zou Y X, Zhou R K, Luo X J, et al. *Opto-Electronic Engineering*, 2005, 32(6): 76~78
- 唐自力,马彩文,刘波,等.单站光测图像确定空间目标三维姿态.光子学报,2004,33(12):1480~1485
Tang Z L, Ma C W, Liu B, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(12): 1480~1485
- Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing (Second Edition). Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2002. 567~642
- 章毓晋.图像分割.北京:科学出版社,2001.9~30
Zhang Y J. Image Segmentation. Beijing: Science Press, 2001. 9~30

- 7 Tobias O, Seara R. Image segmentation by histogram thresholding using fuzzy sets. *Transaction on Image Processing*, IEEE, 2002, **11**(12):1457~1465
- 8 张敏, 曹剑中, 田雁, 等. 高速电视图像及其信息的合成与慢速回放技术. *光子学报*, 2003, **32**(12):1518~1520
Zhang M, Cao J Zh, Tian Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(12):1480~1485
- 9 李哲, 苏秀琴, 杨晓君, 等. 一种基于强边缘块的时域多分辨率图像分割算法. *光子学报*, 2005, **34**(9):1408~1410
Li Z, Su X Q, Yang X J, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(9):1408~1410

Image Processing Method Used in Flying Object's Pose Measurement

Wang Feng^{1,2}, Cao Jianzhong¹, Zhou Renkui¹, Liu Bo¹, Liang Yitao^{1,2},
Zou Yongxing^{1,2}, Luo Xiujuan¹, Che Rong^{1,2,3}

1 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, Xi'an 710068

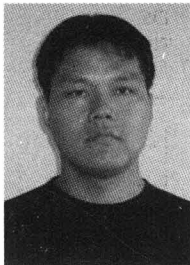
2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

3 Xi'an Communication's Institute of P. L. A, Xi'an 710106

Received date: 2005-08-02

Abstract A method for measuring flying object's 3D pose using optical images was introduced. As an important step of the method, the image's processing procedure was researched and explained in detail. The validity of image processing method was tested and verified by applying to a self-made simulative target. The results consistently show that the method has high degree of accuracy and is suitable for practical need.

Keywords Pose measurement; Edge detection; Hough transform; Accuracy



Wang Feng was born in 1974, in Kaifeng, Henan Province. He received his B. S. and M. S. degrees from Zhengzhou University in 1996 and 2003. Now he is working for his Doctor's degree. His interests are image processing and 3D pose measurement of flying object.