

# 电视经纬仪跟踪测量中运动目标快速识别定位算法

马彩文<sup>1,2</sup> 柴饶军<sup>2,3</sup> 苏红宇<sup>2,3</sup>

(1 西北工业大学自动控制系,西安 710072)

(2 中国科学院西安光学精密机械研究所,西安 710068)

(3 中国科学院研究生院,北京 100039)

**摘要** 为解决电视经纬仪跟踪测量系统中对运动目标快速识别定位的要求,在深入分析运动目标特性和电视经纬仪跟踪测量系统特点的基础上,利用经纬仪角度变化信息,对运动目标图像序列进行帧间差值计算以获得目标残差图,并基于残差图提出了一种新型的运动目标快速识别方法,大大减少了运算量.结合中值滤波和图像二值化,实现了运动目标的快速定位.通过对目标实测图像序列的实验,结果证明:该算法具有快速、稳定、有效等优点,能够满足电视经纬仪跟踪测量系统对运动目标快速识别定位的要求.

**关键词** 电视经纬仪;跟踪测量;运动目标;残差图

**中图分类号** TP317.4 **文献标识码** A

## 0 引言

在电视经纬仪跟踪测量系统中,如何有效地对运动目标进行快速识别定位,一直是从事图像处理与目标识别研究及相关人员所关注的问题.只有实现目标的快速识别与定位,及时获取目标的运动信息,才能控制电视经纬仪对目标进行实时跟踪<sup>[1]</sup>.为此,研究相关人员提出了许多方法,例如 M 估计<sup>[2]</sup>,特征匹配法<sup>[3]</sup>,基于光流的主运动估计,傅氏变换法等.但是,上述方法普遍存在某些不足之处:变换复杂,运算量大,在高速摄像机实时跟踪的情况下,跟踪测量系统难以有效工作;或者需要辅助 ASIC、FPGA、DSP 组件实现,使得系统成本增加,操作复杂,可移植性差.然而,在长焦距摄像机远距离跟踪运动目标的过程中,邻近两帧图像的帧间角度差变化一般较小,连续两帧图像大部分相似.基于这一特点,本文利用电视经纬仪角度变化信息,快速而准确的进行目标识别.再根据背景与噪声特点,对残差图采用中值滤波,抑制噪声干扰;选择恰当的阈值进行二值化,平滑背景杂波,从而准确地定位运动目标.通过对目标实测图像序列的实验结果证明:该算法具有快速、稳定、有效等优点,能够满足电视经纬仪跟踪测量系统对运动目标快速识别定位的要求.

## 1 跟踪系统中运动目标特性分析

在实际测量中,电视经纬仪(单站)布站位置随地形限制和测量精度要求等因素而变化,拍摄时间

不定,天气一般晴朗或多云,风力 1~5 级.电视经纬仪以 60 帧/秒的速率实时记录,经图像采集模块转换后,生成  $M \times N$  分辨率、像素灰度等级为 256、BMP 格式的伪彩色无压缩图像序列.目标示意图如下,为突出目标,源图经过反色处理.



图 1 前一帧反色图像  
Fig. 1 Previous inverted image



图 2 当前帧反色图像  
Fig. 2 Current inverted image

通过对目标前后帧图像的统计分析发现:目标是有运动规律的刚体,机动性低.在实际使用中,摄像机镜头焦距为 24mm,目标距离电视经纬仪较远(大于 2 km).摄像机视场保持在  $2^\circ$  左右.因此,帧间角度变化非常小,约  $0.25^\circ$  ( $0.0043$  弧度).对上述目标,电视经纬仪在跟踪过程中一般以水平转动为主,方位角连续变化,高低角基本不变.

从单帧图像来看,背景较为复杂,如果仅仅对单帧图像进行处理,并有效稳定的检测出运动目标,将导致算法复杂,计算量大,实时性差.若能显著地去除相似背景,抑制噪声干扰,突出目标信息,则目标

识别定位的精度和效率就能满足跟踪系统实时性要求.

## 2 运动目标识别定位

### 2.1 残差图

电视经纬仪对运动目标的跟踪必然带来经纬仪转动,目标图像中,背景也随之发生变化.对运动目标进行识别定位,就必须消除由经纬仪运动和背景变化所带来的影响.常见的方法主要基于鲁棒估计、光流法等原理对背景运动模型参数进行估计,不仅运算量过大,而且跟踪精度易受背景与噪声干扰,难以满足实时跟踪要求.

根据上述目标特性和经纬仪运动规律,经纬仪帧间角度变化非常小,远远小于1弧度,因而,测量坐标系下的坐标旋转矩阵: $R \approx I_3^{[3]}$ .无论是建立仿射运动模型,还是应用刚体变换公式,二维图像中点坐标映射矩阵: $A \approx I_2^{[4]}$ ,即背景在连续两帧图像中基本上只有平移运动,连续两帧图像存在显著重合.

假设 $f_n, f_{n-1}$ 为相邻两帧图像,经纬仪方位角变化为 $\alpha$ ,摄像机焦距为 $f$ ,CCD相机像元大小为 $\mu \times \mu$ ,则利用相机针孔成像模型<sup>[3]</sup>,可得到相同目标在前后两帧图像中 $X$ 向坐标平移为

$$\Delta x = f \tan(\alpha) / \mu = f \alpha / \mu \quad (1)$$

式中, $f=24\text{ mm}, \mu=12\text{ }\mu\text{m}$ .当 $\alpha=0.0043$ 时, $\Delta x=9$ 个像素.实际使用时,经纬仪顺时针转动,于是,前一帧图像的右边 $(M-\Delta x) \times N$ 部分与后一帧图像的左边 $(M-\Delta x) \times N$ 部分相重合,有

$$f_{n-1}^R((M-\Delta x)N) \approx f_n^L((M-\Delta x)N) \quad (2)$$

从而可以定义残差图为

$$D_n = |f_n - f_{n-1}| \quad (3)$$

其大小为 $(M-\Delta x) \times N$ ,包含两个目标,如图3.



图3 残差图  
Fig. 3 Gray difference image

由于 $\Delta x$ 远远小于 $M$ ,目标在绝大多数情况下都位于当前帧图像的左边 $(M-\Delta x) \times N$ 部分内,对目标的识别定位可以在残差图内进行计算.

### 2.2 目标识别定位

由图3可知,残差图中依然具有明显的背景杂波和随机突发噪声,必须对残差图进行再处理,以尽可能地抑制噪声与背景干扰.

鉴于运动目标具有规则几何形状,并占有相当数目的像素,采用中值滤波不仅能滤除随机点噪声,减少背景杂波,同时能很好地保存目标细节边缘信息<sup>[5]</sup>.滤波器模板大小的选择对滤波效果影响很大,需要根据目标、背景和噪声的具体特点进行优化设计.本文定义 $5 \times 5$ 大小的“十字中值滤波器”,模板为

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

中值滤波后,残差图中,背景杂波和随机突发噪声点大部分被滤除,保留两个目标信息、一些随机突发噪声和少量低灰度背景杂波.滤波后的残差图及其直方图如下



图4 中值滤波后图像  
Fig. 4 Median filtered image

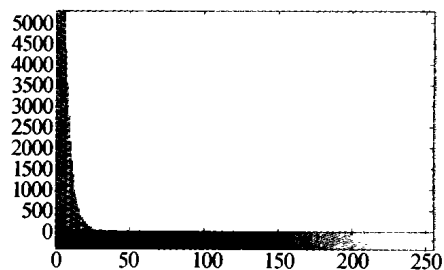


图5 滤波后直方图  
Fig. 5 Histogram of Fig. 4

基于直方图所提供的灰度统计特性,采用门限对残差图进行二值化处理,图像中第 $(i, j)$ 个像素灰度 $I(i, j)$ 变换为 $\beta_{ij}$

$$\beta_{ij} = \begin{cases} 0 & I_{ij} < T \\ 1 & I_{ij} \geq T \end{cases} \quad (5)$$

二值化后图像如图6所示.于是,背景杂波就被完全

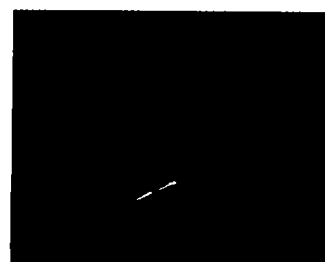


图6 二值化处理后图像  
Fig. 6 Threshold image

滤除,只剩下目标信息和极少量突发噪声点(如图中右下角的亮点所示)。然后,对目标进行边缘检测<sup>[5]</sup>,获取其形状、大小和位置等特征信息,并计算相邻两个目标的形心距离矢量  $aX + bY$ <sup>[8]</sup>。

### 2.3 虚警和漏检处理

为避免由残余噪声点引起“虚警”问题,可根据上一帧图像中目标的大小和形状,对可能目标进行甄别,确定真目标,但依然可能发生“漏检”问题,也就是当目标被遮挡或者目标在当前帧图像中位于右边的  $\Delta x \times N$  的非重合区域,在残差图中只有前一帧图像的目标。因摄像机拍摄帧率高,运动目标图像连续性很强,在两帧图像之间轨迹无突变,可运用前一

个残差图中两目标的形心距离矢量  $aX + bY$  ( $a$  表示上次  $\Delta x$  与本次  $\Delta x$  之差,以消去经纬仪两次转动角度不同所带来的影响),对目标可能位置进行线性预测<sup>[7]</sup>。如果预测位置在右边  $\Delta x \times N$  部分,则利用上一帧所提取的目标信息(形状、大小、位置),在预测位置周围进行匹配运算。若预测位置在残差图内,说明目标被遮挡,将当前目标定位在预测点上,进行下一帧处理;若连续处理 3 帧图像后,均没有发现目标,则认为目标已脱离电视经纬仪跟踪视场。综上所述,该算法流程如图 7。图中, $i$  为指向当前帧图像的指针, $N_f$  为图像序列的长度。

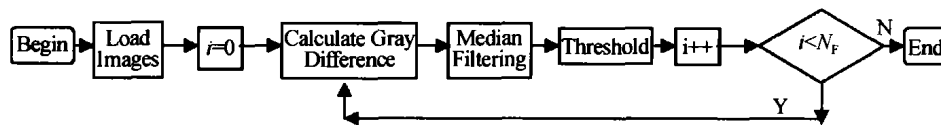


图 7 算法流程

Fig. 7 Flow chart of the algorithm

## 3 结论

本算法在 Microsoft® Windows® 2000 Professional (SP3) 平台下,采用 Microsoft® Visual C++ 6.0® (英文版) 可视化面向对象编程语言实现。针对目标在不同时段、不同环境下的不同实测图像序列,由不同操作人员在主控计算机(Dell® 工作站: Intel 2.4 GHz Xeon CPU, 1.0GB DDR266 SDRAM, Ultra 320 SCSI 硬盘: 10,000 rpm) 不同负载状态下控制伺服跟踪系统对目标进行了多次跟踪测量,均能可靠地跟踪该类运动目标(系统延迟保持在 40 ms 以内),并准确地提取了单站图像中目标形心坐标,单站目标识别定位的算术平均误差小于 1.5 个像素。将多站数据交会计算后<sup>[6]</sup>,得到目标在测量坐标系中的三维坐标精度能够满足系统测量要求。

实验证明,本快速识别定位算法具有快速、稳定、有效等优点,能够满足电视经纬仪跟踪测量系统实时跟踪的要求。

### 参考文献

- 1 周宏仁. 机动目标跟踪. 北京: 国防工业出版社, 1991. 121 ~ 132  
Zhou H R. Maneuvering targets tracking. Beijing: National Defiance Industry Press, 1991. 121 ~ 132
- 2 刘亚, 艾海舟. 基于主运动分析的野外视觉侦察系统. 机器人, 2001, 23(3): 264 ~ 267

Liu Y, Ai H Z. Robot, 2001, 23(3): 264 ~ 267

- 3 李智勇, 沈振康. 动态图像分析. 北京: 国防工业出版社, 1999. 219 ~ 225  
Li Z Y, Shen Z K. Dynamic Image Analysis. Beijing: National Defiance Industry Press. 1999. 219 ~ 225
- 4 杨枝灵, 王开. VISUAL C++ 数字图像获取处理和实际应用. 北京: 人民邮电出版社, 2003. 335 ~ 339  
Yang Z L, Wang K. VISUAL C++ Digital Image Acquisition, Processing, and Practical Application. Beijing: Post & Telecommunication Press, 2003. 335 ~ 339
- 5 章毓晋. 图像处理和分析. 北京: 清华大学出版社, 2003. 3 ~ 10  
Zhang Y J. Image processing and analysis. Beijing: Tsinghua Press, 2003. 3 ~ 10
- 6 刘利生, 张玉祥, 李杰, 等. 外弹道测量数据处理. 北京: 国防工业出版社, 2002. 294 ~ 298  
Liu L S, Zhang Y X, Li J, et al. Data processing of outside trajectory measurement. Beijing: National Defense Industry Press, 2002. 294 ~ 298
- 7 苏秀琴, 王飞, 刘文. 一种提高 CCD 目标测量数据处理速度的新方法. 光子学报, 2001, 30(7): 864 ~ 867  
Su X Q, Wang F, Liu W. Acta Photonica Sinica, 2001, 30(7): 864 ~ 867
- 8 匡纲要, 计科峰, 粟毅. SAR 图像自动目标识别研究. 中国图像图形学报, 2003, 8(A10): 1115 ~ 1120  
Kuang G Y, Ji K F, Su Y. Journal of Image and Graphics, 2003, 8(A10): 1115 ~ 1120

## A fast Identification & Location Algorithm for Moving Targets in TV Theodolite Tracking System

Ma Caiwen<sup>1,2</sup>, Chai Raojun<sup>2,3</sup>, Su Hongyu<sup>2,3</sup>

1 *Department of Automatic Control, NWPU, Xi'an 710072*

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

3 *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*

Received date: 2004-04-21

**Abstract** To meet the demand of TV theodolite tracking system, a new algorithm is proposed in this paper. According to the characteristics of moving targets and tracking system, fast image difference computing method based on angle changes of TV theodolite is found, with calculation much reduced. Then after median filtering and image segmentation of difference image, precision location for targets accomplished. Experiment results prove it a fast, stable, effective algorithm and a real-time processing mode in tracking system.

**Keywords** TV theodolite; Tracking measurement; Moving targets; Difference image



**Ma Caiwen** was born in 1965 and graduated as a Bachelor of Engineering from Xi'an Jiaotong University in 1988, then acquired Master of Engineering in 1991 at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS. Since 1999, he is pursuing his Ph. D. degree at NWPU in precision optic instruments. Now he is an Advanced Researcher and Vice President of XIOPM with his interests and researches in System Control, Target Detection and Signal Processing. In recent years, several national key projects have been accomplished after his great efforts both in science and management.