

文章编号 1004-924X(2008)08-1478-05

多目标轨迹分离方法研究

刘岩俊^{1,2}, 王永新³, 何昕¹, 魏仲慧¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 白城兵器试验中心, 吉林 白城 137001)

摘要: 为了实现多目标落点测量, 建立了多目标测量方案, 并对大视场光电测量设备在像面坐标系下进行多目标分离的方法进行了研究。该方法按目标运动方向、运动速度、运动加速度的变化, 建立了相关性评价函数, 根据评价函数判断像点与目标轨迹的关联程度, 从而实现多目标轨迹分离工作。在分离过程中, 考虑了同一目标像点在不同幅图像上的丢失情况, 根据已有目标轨迹数据, 使用卡尔曼滤波器补充丢失的像点, 保证同一目标轨迹的连续性。实验结果表明, 该方法可以分离 50 条目标轨迹, 满足多目标落点测量的设计要求。

关键词: 光学测量; 多目标; 大视场; 轨迹分离; 交会测量

中图分类号: V556.2 **文献标识码:** A

Research of track recognition method for multiple targets

LIU Yan-jun^{1,2}, WANG Yong-xin³, HE Xin¹, WEI Zhong-hui¹

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*; 2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*; 3. *Baicheng Weapen Test Center, Baicheng 137001, China*)

Abstract: In order to realize the position measurements of multiple targets on the ground, a project of track recognition for multiple targets is established, and the recognition method in pixel coordinates for large area optical electronic measurement sets is researched. An evaluation function based on target motion, such as the direction, speed and the acceleration is established. According to the correlation degree between point and track decided by the evaluation function, the track recognitions for multiple targets are accomplished. By considering the losses of some points in some frames, the lost points are replenished by the track data with Kalman filter to ensure the track continuance during the course of recognition. The experimental results show that this method can recognize 50 tracks, which meets the requirements for position measurements of multiple targets.

Key words: optical measurement; multiple targets; large area; track recognition; intersection measurement

1 引言

光电测量是通过前方交会法,将同一时刻两台光电测量设备对应同一时刻像点进行交会处理,从而确定该时刻目标在大地坐标系下的位置坐标。每台光电测量设备的外方位元素通过精确大地测量方法获得,内方位元素由相机标定获得。进行交会处理和多目标轨迹识别有两种不同的处理方案^[1-2],一种是先进行测量设备间像点的匹配对应和交会处理,再进行三维空间的轨迹识别,称之为先交会后识别;另一种是各测量分站先进行轨迹识别,即像面坐标系下像点之间的对应,再进行测量分站间多目标轨迹的匹配对应和交会处理,称之为先识别后交会^[3-4]。由于先交会后识别方法在进行像点关联时,是在三维坐标系下进行计算的,其复杂程度要高于先识别后交会方法,所以本文使用先识别后交会方法进行多目标轨迹识别。

先识别后交会方法的重点是在二维的像素坐标系内,识别出各幅图像上属于同一目标轨迹的像点,即一条目标的轨迹,建立所有图像上同一目标像点之间的联系^[5-7]。本文使用目标运动相关性评价函数,建立目标轨迹模型,根据评价函数的结果,选择该幅图像中属于该目标轨迹的像点,然后根据轨迹平滑函数,将像点坐标进行修正,依次类推,可以获得目标在所有图像中的像面坐标,从而完成目标轨迹分离工作。在分离过程中,考虑了由于像点丢失的现象,补充了丢失的像点,从而保证了目标轨迹的连续性。

2 目标轨迹分离方法

2.1 相关性评价函数

对于目标的运动,一般来说,其运动速度、运动方向、运动加速度都不会有突然变化,或者说剧变。因此可以说轨迹是连续的,多目标的各目标轨迹是路径相关的。特别是当拍摄时间间隔短,或者说目标轨迹的成像点非常多的情况下,其连续性更加满足。目标轨迹识别,或者说不同时刻像点之间的对应问题,是建立在轨迹连续的基础上的。根据轨迹的连续性,选择判断轨迹相关性的评价函数,其选择原则为运动速度越接近,其值

越小;运动方向越接近,其值越小;运动加速度越接近,其值越小。

根据以上原则按运动方向、运动速度、运动的加速度建立相关性评价函数,如式(1)所示。设有 M 条目标轨迹, N 幅图像,第 i 条轨迹在第 k 幅图像上的像点位置为 $(x_{i,k}, y_{i,k})$,并且已经确定了该条轨迹的前三个像点 $(x_{i,k-2}, y_{i,k-2})$ 、 $(x_{i,k-1}, y_{i,k-1})$ 、 $(x_{i,k}, y_{i,k})$,需要在第 $k+1$ 幅图像上确定第 i 条轨迹的像点 $(x_{i,k+1}, y_{i,k+1})$ 。

$$\Psi = \omega_1 \left(1 - \frac{\Delta A_{i,k}}{\Delta d_{i,k}}\right) + \omega_2 \left(1 - \frac{2\sqrt{\Delta d_{i,k}}}{\Delta d_{i,k} + \Delta d_{i,k-1}}\right) + \omega_3 \left(1 - \frac{2\sqrt{\Delta d'_{i,k}}}{\Delta d'_{i,k} + \Delta d'_{i,k-1}}\right), \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Delta x_{i,k} &= x_{i,k} - x_{i,k-1}, \Delta y_{i,k} = y_{i,k} - y_{i,k-1}, \\ \Delta A_{i,k} &= \Delta x_{i,k} \cdot \Delta x_{i,k-1} + \Delta y_{i,k} \cdot \Delta y_{i,k-1}, \\ \Delta d_{i,k} &= \Delta x_{i,k}^2 + \Delta y_{i,k}^2, \\ \Delta d'_{i,k} &= \Delta d_{i,k} - \Delta d_{i,k-1}, \\ i &= 1, 2, \dots, M, \quad k = 1, 2, \dots, N \end{aligned}$$

ω_1 、 ω_2 、 ω_3 为加权因子。评价函数的第一项相当于运动方向的变化,其意义为相邻三个像点连线夹角的方向余弦。评价函数的第二项相当于运动速度的变化,其意义为相邻三个像点的距离变化。若运动速度不变,即中间一个像点的位置为前后两个像点的几何比例中项,其值为零。评价函数第三项相当于加速度的变化,其意义为相邻三个像点的速度变化。

2.2 补充丢失像点

根据式(1)所示的目标轨迹相关性评价函数,同一目标在所有图像中没有像点丢失的情况下进行轨迹分离是有效的,但是当目标的像点由于客观原因发生丢失时,会导致目标轨迹不连续现象发生。为了不发生同一目标轨迹分成多个目标轨迹而导致交会结果不正确的现象,这里使用卡尔曼滤波方法补充丢失像点。

通过对评价函数 Ψ 的判断可以判断出是否发生同一目标像点丢失情况,当所有像点的评价函数值 $>$ 阈值 Ψ_T 时,说明当前轨迹在第 k 幅图像上没有像点,需要补充像点。根据目标在运动方向、运动速度、运动加速度不会发生突然变化的运动特性,使用卡尔曼滤波器对像点位置进行预测^[8-10]。目标轨迹在像面坐标系下可用状态方程描述,如式(2)所示:

$$\begin{cases} \mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k \\ \mathbf{z}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{V}_k \end{cases}, \quad (2)$$

其中, \mathbf{A}_k 是轨迹模型的状态方程, \mathbf{w}_k 为均值为零的高斯噪声, \mathbf{H}_k 是测量方程, 如式(3)所示:

$$\mathbf{A}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} x_k \\ \Delta x_k \\ \Delta x'_k \\ y_k \\ \Delta y_k \\ \Delta y'_k \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

这样根据已经建立的目标轨迹数据, 可以把第 k 幅图像上像点的像面坐标预测出来, 保证轨迹的连续性, 从而进一步搜索第 $k+1$ 幅图像上像点的像面坐标。

3 目标轨迹分离实现策略

3.1 建立目标轨迹模型

由于目标群越向后越分散, 因此从后向前进行轨迹分离, 可以减小轨迹分离的难度, 提高轨迹分离效果。为了减小初始模型误差, 对最初 5 帧进行了轨迹识别, 对前 5 帧中像点的所有组合计算轨迹相关性评价函数, 依次找出最小者。设 $(x_{i,k}, y_{i,k}), k=1, 2, 3, 4, 5$ 是前 5 幅图像上的所有像点, 根据评价函数公式(1)建立初始目标轨迹模型 G_i 。并将前 5 帧轨迹相关性评价函数的平均值作为评价函数阈值 Ψ_T , 进行丢失像点判断。

3.2 轨迹平滑

在测量分站预处理和像点的提取过程中, 由于目标像体小和复杂背景的影响(比如浮动的云层和弥漫的薄云), 以及不可避免的存在一定的系统误差和随机误差, 很可能出现噪声点遗留过多、像点丢失以及轨迹抖动的情形。为了提高轨迹识别的速度, 增强可靠性, 在目标轨迹识别过程中, 有必要确定识别轨迹的搜索范围和平滑抖动的轨迹, 以使轨迹上的各点与拟和曲线的距离均方差最小。考虑到轨迹一般为抛物线, 采用了抛物线逼近法, 运用五点平滑函数进行曲线拟和, 修正误差引起的曲线抖动, 提高测量精度。目标轨迹模型 G_i 经过轨迹平滑后形成轨迹模型 G'_i 。

3.3 轨迹搜索

经过平滑后的每一条轨迹模型 G'_i 根据式(1)对第 k 幅图像的所有像点的相关性进行评价, 搜索出评价函数值 $<$ 阈值, 并且最小的像点为 G'_i 在第 k 幅图像上的像点。

当所有像点的评价函数值大于轨迹模型建立时评价函数的阈值 Ψ_T 时, 需要在第 k 幅图像上根据式(2)补充第 i 条轨迹的像点 $(x_{i,k}, y_{i,k})$, 保证该条轨迹连续, 然后在第 $k+1$ 幅图像上搜索属于该目标的像点。依此循环, 完成全部图像上像点的搜索, 从而完成目标轨迹分离。

实验中使用卡尔曼滤波器进行 3 次丢失像点补充。因为使用卡尔曼滤波器进行多次丢失像点补充, 多目标轨迹分离结果不能完全反映测量数据, 会对最后的交会结果产生影响。

3.4 轨迹分离结果的验证

在完成全部目标轨迹分离, 形成分离结果后, 其搜索像点的顺序为第 0 幅图像到第 n 幅图像。需要根据评价函数公式(1)和像点补充公式(2)将像点从第 n 幅图像向第 0 幅图像进行搜索, 判断目标轨迹分离是否正确。当第 i 条轨迹发生错误时, 需要将第 i 条轨迹删除, 从而保证分离结果的正确性。

4 实验结果分析

4.1 多目标轨迹仿真数据分离实验

通过使用 VC6.0 建立多目标抛散模型。仿真实验使用了 50 条目标轨迹的数据, 仿真数据的目标轨迹连续, 如图 1 所示。使用 $\omega_1=0.8$ 、 $\omega_2=0.1$ 、 $\omega_3=0.1$ 的参数进行多目标轨迹分离, 轨迹识别结果为 50 条。这是由于多目标轨迹是由模型建

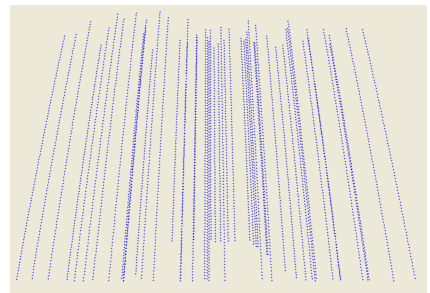


图 1 多目标轨迹仿真数据

Fig. 1 Simulation data of multiple target tracks

立的,其数据的平滑性很好,而且不存在连续轨迹中丢失像点情况,所以直接使用式(1)进行多目标轨迹分离,分离效果可以达到 100%。分离结果使用线段连接,并将轨迹序号在图中标记,将属于同一目标轨迹的像点保存一个文件中,如图 2 所示。

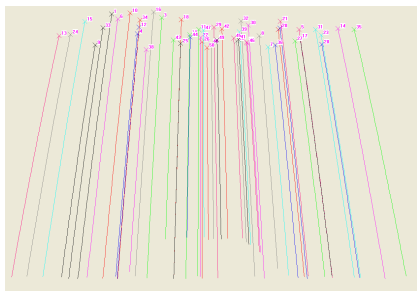


图 2 多目标轨迹仿真数据分离结果

Fig. 2 Recognition results of simulation data for multiple target tracks

4.2 实际多目标轨迹数据分离实验

图 3、图 4 为实际多目标实验数据,从图中可以看出像点非常密集,经过多目标提取处理,将连续的多目标分布数据形成文件数据,作为轨迹分离的输入数据。分离过程中,由于目标存在丢失像点的情况,这里使用卡尔曼滤波器补充丢失像点。通过对评价函数参数的分析,评价函数使用参数 $\omega_1 = 0.75$ 、 $\omega_2 = 0.15$ 、 $\omega_3 = 0.1$ 时,分离效果最好,可以满足多目标测量的要求。实验表明运动方向系数 ω_1 对评价函数的影响大。分离结果如图 5、图 6 所示,分离结果使用线段连接,将属于同一目标轨迹的像点保存一个文件中。从结果中可以看出,有些目标轨迹存在不连续现象,是由于对丢失像点情况只补充 3 次,导致了一些目标轨迹不连续。

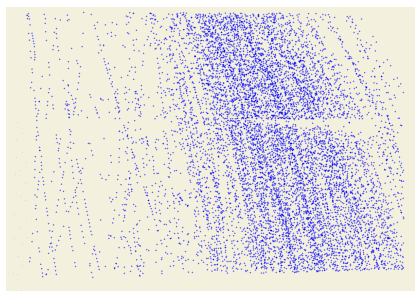


图 3 左相机实际多目标轨迹数据

Fig. 3 Actual multiple target track data of left camera

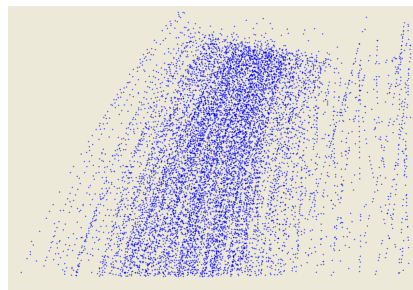


图 4 右相机实际多目标轨迹数据

Fig. 4 Actual multiple target track data of right camera

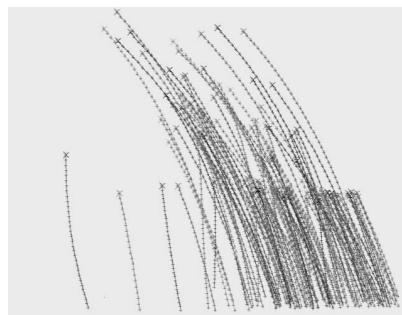


图 5 左相机实际多目标轨迹数据分离结果

Fig. 5 Recognition results of actual multiple target track data on left camera

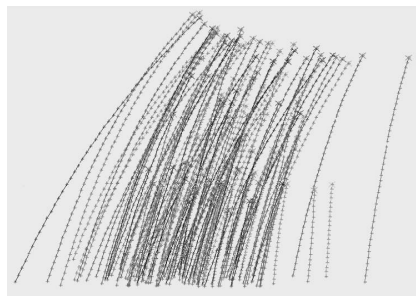


图 6 右相机实际多目标轨迹数据分离结果

Fig. 6 Recognition results of actual multiple target track data on right camera

5 结 论

本文按目标运动特点,首先根据目标运动方向、运动速度、运动加速度的变化,建立了目标轨迹相关性评价函数,然后根据评价函数判断像点与目标轨迹的关联程度,从而现实多目标轨迹分离工作。在轨迹分离过程中,充分考虑了丢失同

一目标像点的情况,根据已有数据,使用卡尔曼滤波器补充丢失的像点保证同一目标轨迹的连续

性。实验结果表明,该方法可以分离 50 条目标轨迹,满足多目标落点测量的设计要求。

参考文献:

- [1] 黄春光,陈振有,杨树兴. 确定目标散布等效圆半径的覆盖率法[J]. 兵工学报,2006,27(1):19-22.
HUANG CH G, CHEN ZH Y, YANG SH X. Coverage method for determining radius of equivalent circle of submunition dispersion [J]. *Acta Armamentarli*, 2006,27(1):19-22. (in Chinese)
- [2] 丁雪梅,王维雅,黄向东. 基于差分 and 特征不变量的运动目标检测与跟踪[J]. 光学 精密工程,2007,15(4):570-576.
DING X M, WANG W Y, HUANG X D. New method for detecting and tracking of moving target based on difference and invariants [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(4):570-576. (in Chinese)
- [3] 徐文旭,张靖,齐占元,等. 多目标抛撒内轨迹建模及仿真[J]. 兵工学报,2006,27(9):797-801.
XU W X, ZHANG J, QI ZH Y, *et al.*. The modeling and simulation of interior trajectory for cluster munition dispersing [J]. *Acta Armamentarli*, 2006,27(9):797-801. (in Chinese)
- [4] 苏理云,吴钦章,高晓东,等. 基于模糊聚类的光电经纬仪多目标轨迹测量[J]. 光电工程,2006,33(10):5-8.
SU L Y, WU Q ZH, GAO X D, *et al.*. Opto-electronic theodolite multiple ballistic test based on fuzzy c-means clustering [J]. *Opto-electronic Engineering*, 2006,33(10):5-8. (in Chinese)
- [5] 柴饶军,纪大山,马彩文. 电视经纬仪复杂多目标交会测量点匹配算法[J]. 光电工程,2004,31(9):29-32.
CHAI R J, JI D SH, MA C W. Points matching algorithm for sophisticated multitarget intersection of TV theodolite [J]. *Opto-electronic Engineering*, 2004,31(9):29-32. (in Chinese)
- [6] 何小勇,吴钦章,高晓东,等. 光电经纬仪子母弹多子弹轨迹交会法[J]. 光电工程,2006,33(9):15-18.
HE X Y, WU Q ZH, GAO X D, *et al.*. Trajectory intersection method for missile bullets multiple ballistic of opto-electronic theodolites [J]. *Opto-electronic Engineering*, 2006,33(9):15-18. (in Chinese)
- [7] 杨照华,祁振强,房建成. 空中目标的免疫识别算法[J]. 光学 精密工程,2007,14(5):922-928.
YANG ZH H, QI ZH Q, FANG J CH. Immune recognition algorithm and its application to air target detection and recognition [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,14(5):922-928. (in Chinese)
- [8] KAMEN E W. Multiple target tracking based on symmetric measurement equations[J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1992,37(3):371-374.
- [9] 陈浩,谭久彬. 一种用于光电目标跟踪的非线性滤波算法[J]. 光学 精密工程,2006,14(5):917-921.
CHEN H, TAN J B. Nonlinear filtering algorithm for improving opto-electric target tracking [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(5):917-921. (in Chinese)
- [10] 张文博,范大鹏,张智永,等. 光电稳定跟踪装置中微机电陀螺应用研究[J]. 光学 精密工程,2006,14(5):689-696.
ZHANG W B, FAN D P, ZHANG ZH Y, *et al.*. Research on application of MEMS gyro to servo system for E-O stabilization and tracking devices [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(5):689-696. (in Chinese)

作者简介:刘岩俊(1978-),男,吉林长春人,博士,主要从事光电测量设备、数字图像处理等方向的研究。E-mail: liuyan-jun@ciomp. ac. cn

通讯作者:何 昕(1966-),男,吉林长春人,博士生导师,研究员,主要从事光电测量设备、数字图像处理等方向的研究。E-mail: hexin6627@sohu. com