

目标运动参数的交汇跟踪测量

Intersection-Tracking Measurement of Target's Moving Parameters

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 2.中国科学院研究生院 3.吉林大学南岭校区) 王习文^{1,2,3} 陈娟¹ 王秋平^{1,2}
WANG Xi-wen CHEN Juan WANG Qiu-ping

摘要: 目标的运动速度、加速度,是估计目标后续空间位置必需的重要参数,对光电设备持续捕获目标具有重要现实意义。在分析经纬仪交汇跟踪目标原理的基础上,将目标的运动分解到 X、Y、Z 三个方向上,应用最小二乘拟合法建立目标在各方向的运动曲线,进而得到其速度、加速度分量与时间的函数关系,运用矢量运算确定目标的瞬时速度、加速度运动参数。仿真经纬仪交汇跟踪目标的跃升机动飞行,验证了方法的可行性。

关键词: 光电经纬仪; 跟踪目标; 运动参数; 曲线拟合

中图分类号: TP 391.77

文献标识码: A

Abstract: The velocity and acceleration of target are necessary parameters to forecast the target's dimensional position, and have important value to capture continuously for photoelectrical tracking equipment. Base on the principle of tracking target by photoelectrical theodolite intersection measure, decompose the target's moving to X, Y, Z direction, adopt the method of least square to fit the moving functions of target in X, Y, Z direction respectively, then obtain the functions between the target's instantaneous velocity, acceleration and time instinctively by mathematical operation. Using algorithm of vectors determines the instantaneous velocity and acceleration of target at any measure time spot. Simulate the target's mobile climbing fly, which intersection tracked by photoelectrical theodolite, indicates the above-mentioned method is valid.

Key words: Photoelectrical theodolite; Track target; Moving parameters; Curve fitting

1 引言

经纬仪跟踪目标时,采用相应的处理方式可获取目标在各测量时间节点的空间坐标。如果据此求得目标速度、加速度与测量时间的函数,则可外推目标在后续时刻的位置、速度、加速度等运动参数,提供给经纬仪自身的伺服控制系统,为目标继续捕获提供相应的依据,这在目标跟踪测量中具有重要的现实意义。

2 目标空间坐标序列的获取

利用两相距较远的经纬仪交汇跟踪飞行目标,可同时测得目标的方位角 A_{1i} 、 A_{2i} 和高低角 E_{1i} 、 E_{2i} ,得到两条方向线,加上两经纬仪光心的直线距离(即基线长度) L 和光心连线与 Y 轴的夹角 α ,可计算出目标在测量坐标系内的空间位置 (X_i, Y_i, Z_i) 。如图 1 所示, OXYZ 为发射坐标系, P_1, \dots, P_i 为飞行目标在空间某一时刻的位置,经纬仪分置在目标飞行轨迹的两侧,光心位置分别为 O_1, O_2 , 距离为 L 。为简便且不失一般性,将 O_1, O_2 设置于发射坐标系 OXYZ 的同一平面上,以 O_1, O_2 为坐标原点建立两经纬仪的测量坐标系 $O_1X_1Y_1Z_1, O_2X_2Y_2Z_2$, 其方向与发射坐标系完全相同且符合右手定则(若不同,可通过平移、旋转变换统一到发射坐标系)。 P_1, \dots, P_i 点在测量水平面的投影点为 P_1', \dots, P_i' , 目标在 P_1, \dots, P_i 点时两经纬仪对目标同时测出的方位角和高低角分别为 $A_{1i}, A_{2i}, E_{1i}, E_{2i}, \dots, A_{1i}, A_{2i}, E_{1i}, E_{2i}$ 。角度顺时针旋转为正,逆时针旋转为负,则基线同坐标系 y 轴夹角 α 及俯仰角为正值,据三角形正弦定理,目标在 $O_1X_1Y_1Z_1$ 测量坐标系的空间

坐标为:

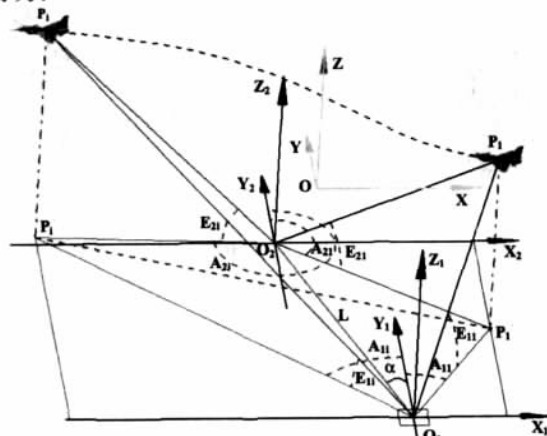


图 1 两台经纬仪交汇测量原理

$$\begin{cases} X_{1i} = \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{2i} + \alpha) \cdot \sin A_{1i} \\ Y_{1i} = \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{2i} + \alpha) \cdot \cos A_{1i} \\ Z_{1i} = \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{2i} + \alpha) \cdot \tan E_{1i} \end{cases} \quad (1)$$

同理,目标在 $O_2X_2Y_2Z_2$ 测量坐标系的空间坐标为:

$$\begin{cases} X_{2i} = \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{1i} + \alpha) \cdot \sin A_{2i} \\ Y_{2i} = \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{1i} + \alpha) \cdot \cos A_{2i} \\ Z_{2i} = \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{1i} + \alpha) \cdot \tan E_{2i} \end{cases} \quad (2)$$

对于给定的发射坐标系 OXYZ, 光心 O_1, O_2 在该坐标系的坐标分别为 $(x_{10}, y_{10}, z_{10}), (x_{20}, y_{20}, z_{20})$, 则目标在发射坐标系下的位

置可用下述完全等价的两个方程表示:

$$\begin{cases} X_i = x_{i0} + \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{2i} + \alpha) \cdot \sin A_{1i} \\ Y_i = y_{i0} + \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{2i} + \alpha) \cdot \cos A_{1i} \\ Z_i = z_{i0} + \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{2i} + \alpha) \cdot \tan E_{1i} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} X_i = x_{i0} + \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{1i} + \alpha) \cdot \sin A_{2i} \\ Y_i = y_{i0} + \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{1i} + \alpha) \cdot \cos A_{2i} \\ Z_i = z_{i0} + \frac{L}{\sin(A_{2i} - A_{1i})} \cdot \sin(A_{1i} + \alpha) \cdot \tan E_{2i} \end{cases} \quad (4)$$

据此可以得到目标相对任何已知坐标系(如发射坐标系、大地坐标系等)的空间位置。

3 确定目标运动参数的最小二乘拟合法

以时间为序的目标空间坐标序列 $(t_i, X_i, Y_i, Z_i), (i=1, 2, \dots, n)$, 反映了目标在测量坐标系下各个位置信息, 以离散形式给出了目标的运动轨迹。求一条近似曲线 $Z = f(X, Y)$, 与这些离散点距离的平方和为最小值, 即将目标运动轨迹的求解转化为曲线最小二乘拟合问题。但三维空间的曲线拟合复杂, 属多变量范畴, 实际操作非常繁复、计算量大。为简化计算, 根据矢量合成与分解理论, 将目标的复杂运动分解成几个简单运动叠加, 即: 沿 X 轴随时间变化分量 (t_i, X_i) 、沿 Y 轴随时间变化分量 (t_i, Y_i) 、沿 Z 轴随时间变化分量 (t_i, Z_i) 。分别用 m 次多项式:

$$\begin{cases} F(X) = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + \dots + b_m \cdot t^m = \sum_{i=0}^m b_i \cdot t^i \\ F(Y) = c_0 + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2 + \dots + c_m \cdot t^m = \sum_{i=0}^m c_i \cdot t^i \\ F(Z) = d_0 + d_1 \cdot t + d_2 \cdot t^2 + \dots + d_m \cdot t^m = \sum_{i=0}^m d_i \cdot t^i \end{cases} \quad (5)$$

进行最小二次拟合, 得到目标位移的三个分量方程, 实质上就是时间 t 的参数方程:

$$\begin{cases} X = X(t) \\ Y = Y(t) \\ Z = Z(t) \end{cases} \quad (6)$$

对位移参数方程分别求一阶导数、二阶导数, 即得到目标沿 X、Y、Z 三个方向的速度、加速度随时间变化的函数关系:

$$\begin{cases} V_x = \dot{X} = X'(t) \\ V_y = \dot{Y} = Y'(t) \\ V_z = \dot{Z} = Z'(t) \end{cases} \quad (7) \quad \begin{cases} a_x = \ddot{X} = X''(t) \\ a_y = \ddot{Y} = Y''(t) \\ a_z = \ddot{Z} = Z''(t) \end{cases} \quad (8)$$

将时间 t_i 代入方程(6)、(7)、(8), 即可解出目标各时间节点的位置坐标、速度、加速度分量。

完整描述一个矢量需要明确三个要素: 矢量的起点、大小和方向。目标在空间运动时相对测量坐标系的位移、速度、加速度均为矢量, 根据运动轨迹方程(6)可以确定各时间节点目标的位置, 即该时刻目标瞬时位移的起点、大小和方向, 并确定了速度和加速度矢量的起点, 方程(7)、(8)确定目标在该时刻速度和加速度矢量的方向和大小。在目标空间位置点, 运用矢量合成方法, 可得到目标在该测量时间节点的速度、加速度运动参数。如图 2 所示, 目标在空中沿 P_1P_2 轨迹运动, 根据方程(6)确定目标在 P_1 点的坐标 (X_1, Y_1, Z_1) , 即为该时刻目标瞬时速度矢量的起点, 由方程(7)求出目标在 P_1 点时 X、Y、Z 三个方向的速度分量 V_{x1}, V_{y1}, V_{z1} (包含大小和方向), 将三个速度矢量分量进行合成, 最终求得目标 P_1 点处的瞬时速度 V_1 。对加速度矢量可类似求解。

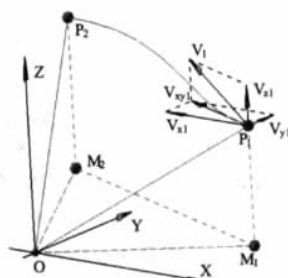


图2 矢量的合成与分解

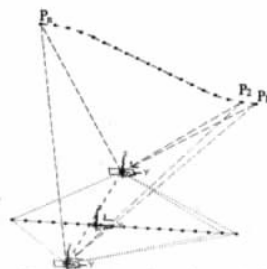


图3 交汇跟踪目标跃升仿真模型

通过曲线拟合, 目标运动的位移、速度、加速度方程在测量起点和终点的时间段内都是连续的, 因此可以外推目标在下一时刻的空间位置、运动速度和加速度参数。

4 双站交汇跟踪目标跃升机动的仿真

为验证上述方法的可行性, 设置两经纬仪交汇跟踪目标跃升机动的仿真试验如下: 目标沿 $P_1P_2 \dots P_n$ 轨迹作 1000 m 到 1500 m 高度的跃升机动, 经纬仪 1、2 分置于目标飞行轨迹两侧, 其测量坐标系原点相对某一特定坐标系的位置分别为 $(900\text{m}, -200\text{m}, 0\text{m})$ 和 $(-1200\text{m}, 200\text{m}, 0\text{m})$, 即两站的基线长度 L 为 2137.756 m, 夹角 α 为 $79^\circ 12' 56''$ 。相对特定坐标系而言, 目标跟踪的起点为 $(0\text{m}, 769.951\text{m}, 1000\text{m})$ 、终点为 $(0\text{m}, -450\text{m}, 1500\text{m})$, 对应关系如图 3 所示。结合文献的方法建立经纬仪交汇跟踪目标的仿真试验, 跟踪起点为测量记时的零点, 跟踪帧频为 50 帧/秒, 隔 10 帧选 1 帧, 将方位、俯仰角值、基线长度、夹角 α 代入公式(1)、(2)、(3), 得到目标在两测量坐标系、特定坐标系下各跟踪位置坐标分量与跟踪时间的关系, 按公式(6)分别用最小二乘法进行拟合, 得到相应的函数关系, 对坐标分量函数求一阶、二阶导数, 获得目标在各坐标系下的速度、加速度函数, 相应曲线如图 4 所示。

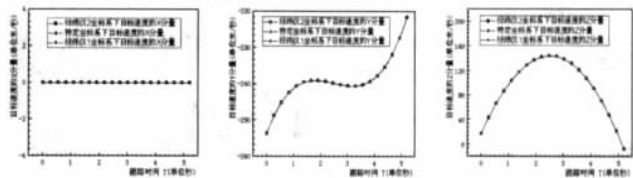


图4a、各坐标系下目标空间速度 X、Y、Z 分量与跟踪时间的关系曲线

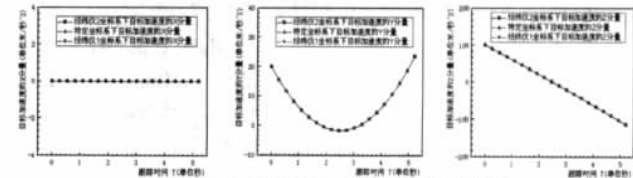


图4b 各坐标系下目标空间加速度 X、Y、Z 分量与跟踪时间的关系曲线

仿真试验设置经纬仪 1、经纬仪 2 与特定坐标系的取向一致, 目标飞行轨迹在测量平面的投影与特定坐标系的 Y 轴重

合,从正向运动到负向,即目标在X方向没有位移,跃升发生在Z方向。三个坐标系的取向一致,因而目标在三个坐标系中的曲线重合,图4a中目标Y方向速度为负值表示目标速度方向为Y轴负向,在跃升初始阶段Y向速度降低较快,尔后平稳,至终了阶段又快速降低。与此对应的图4b的加速度为正值,表示方向为Y轴正向,其抛物线性关系正好与速度的变化情况对应。目标逐渐升高,Z向速度从0逐渐增加,然后又逐渐降低为0,反映了目标平稳飞行-跃升-平稳飞行的情况,对应的加速度也由正方向的值逐渐减小至0,然后从负方向逐渐增大。因此,图4的曲线关系与跃升的实际情况吻合。

5 结论

在分析经纬仪跟踪目标原理的基础上,提出将目标空间位置分解为X、Y、Z三个方向分量,分别与测量时间节点构成三组系列点对,用最小二乘法拟合建立目标在三个方向的运动实时曲线方程,据此导出了目标运动的速度、加速度函数,不但算法简单,而且可以外推目标在后续时刻的位置、速度、加速度等运动参数。将这些参数应用到经纬仪自身的伺服控制系统,则可对目标后一时刻的位置进行预测,为目标的持续捕获提供参考。

本文作者创新点:据交汇坐标序列,应用最小二乘拟合得到目标XYZ方向的运动分量,通过矢量运算确定目标瞬时速度、加速度参数。用交汇跟踪目标跃升机动飞行为例验证该法的可行性。

参考文献

- [1]马佳光.捕获跟踪与瞄准系统的基本技术问题[J].光学工程,1989,81(3),1-42.
- [2]侯宏录,李宏.光电经纬仪测量飞行器三维坐标方法及误差分析[J].光电工程,2002,29(3),4-8.
- [3]张密太等.光电经纬仪多站交会测量布站方法及仿真[J].西安工业大学学报,2005,25(1),20-22.
- [4]吕帅华等.一种基于高斯-牛顿法的光电经纬仪交会测量算法[J].光电工程,2006,33(11),22-25.
- [5]谭振江等.经纬仪目标交汇测量及航迹曲线拟合[J].光电工程,2002,29(6),17-20.
- [6]Jens Hacker and Bernd-H.Kroplin. An experimental study of visual flight trajectory tracking and pose prediction for the automatic computer control of a miniature airship [J].Intelligent computing: Theory and Applications.2003 SPIE, 25-63.
- [7]杨光等.基于Vega的经纬仪虚拟训练仿真研究[J].微计算机信息,2008,26(5),230-232.
- [8]王习文等.光电经纬仪跟踪飞行目标的一种仿真方法[J].计算机仿真,2009,26(5),页码待定.

作者简介:王习文(1972.12-),男(汉),江西人,讲师,博士研究生,主要研究方向为光电跟踪与计算机控制;陈娟(1965.11-),女(汉),吉林人,工学博士,博士生导师,研究员,主要研究方向为光电跟踪与计算机控制及电机的运动与控制。

Biography: WANG Xi-wen (1972.12-), Male (Han nationality), Jiangxi Province, Instructor, PHD candidate in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, majored in Photoelectrical Tracking and computer controlling.

(130033 吉林 长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 王习文 陈娟 王秋平

(100039 北京 中国科学院研究生院) 王习文 王秋平

(130025 长春 吉林大学南岭校区) 王习文

通讯地址:(130033 长春经济技术开发区东南湖大路16号长春光机所光电对抗部) 王习文

(收稿日期:2009.05.23)(修稿日期:2009.06.25)

(上接第246页)

[2]刘运通,胡江碧.模糊评判的数学模型及其参数估计[J].北京工业大学学报,2001,27(1):112-115.

[3]Zadeh LA.Fuzzy sets Information and Control.1965,8:338-353.

[4]Efron B,Tibshirani R.I An Introduction to the Bootstrap [M]. London Chapman and Hall,1993.

[5]王兆强,张光红,杜殿林.模糊综合评判在仿真培训系统中的应用[J].微计算机信息,2005,21(5):59-60.

[6]金星,洪延姬,沈怀荣.工程系统可靠性数值分析方法[M].北京:国防工业出版社,2002:219-222.

[7]Doebbling S W,Farrar C R,Cornwell P J.Comparison study of modal parameter confidence intervals computed using the Monte Carlo and Bootstrap techniques.NTIS,DE98003423/XAB,1998.

作者简介:王婷婷(1983-),女(汉族),硕士研究生,研究方向:惯性技术及应用;胡柏青(1964-),男(汉族),副教授,研究方向:惯性技术及应用。

Biography: WANG Ting-ting (1983-), Female (Han nationality), master, Reach field: Inertia technology application.

(430033 武汉 海军工程大学电气与信息工程学院导航工程系) 王婷婷 胡柏青

(College of Electrical and Information engineering, Naval University of Engineering, Wuhan, 430033, China)

WANG Ting-ting HU Bai-qing

通讯地址:(430033 武汉 海军工程大学电气与信息工程学院导航工程系) 王婷婷

(收稿日期:2009.05.23)(修稿日期:2009.06.25)

《现场总线技术应用200例》

现场总线技术是现代工厂、商业设施、楼宇、公共设施运行、生产过程中的现场设备、仪表、执行机构与控制室的监测、控制装置及与管理与控制系统之间的数字式、多点通信互连的、数据总线式智能底层控制网络。

现场总线技术保证了现代工厂、商业设施、智能楼宇、公共设施(自来水、污水处理、输变供电、燃气管道、自动抄表、交通管理等)、高可靠、低成本、安全绿色生产运行,同时易于改变生产工艺,多品种生产过程。

本书200个应用案例,介绍了profibus、FF、CANbus、DeviceNET、WorldFIP、INTERbus、CC-Link、LonWorks及OPC、工业以太网、TCP/IP在石油、化工、电力、冶金、铁路、制烟、造酒、制药、水泥、电力传动、机械、交通、设备管理、消防、自来水厂、电解铜、电解铝、继电保护、粮仓及储运、汽车检测、油库管理、造纸、气象、远程抄表、电缆生产、暖通空调、电梯、楼宇自动化及安防、……,各方面的应用。

本书是工程设计人员、设备维护人员、设备采购人员、技术领导干部、大、中专学校教师的案头参考书,同时也是大专院校本科生、研究生做课题、搞毕业设计的必备参考书。有志向有兴趣的高中以上文化水平的人均为本书读者。

本书已出版。大16开,每册定价55元(含邮费)。预购者请将书款及邮费通过邮局汇款至

地址:北京海淀区皂君庙14号院鑫雅苑6号楼601室

微计算机信息 邮编:100081

电话:010-62132436

010-62192616(T/F)

http://www.autocontrol.com.cn

http://www.autocontrol.cn

E-mail: editor@autocontrol.com.cn;

E-mail: control-2@163.com