

高速摄影测量的计算机辅助

刘缠牢 阮 萍 熊仁生 孙益善

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

摘 要 本文以高速摄影测量为研究对象, 介绍了利用计算机强大的辅助功能对高速测量过程模拟的方法. 其中涉及高速摄影测量的数学建模、测量噪音的引入、测量数据处理等问题. 并通过实际测量的计算机模拟进行验证, 给出目标象点运动轨迹.

关键词 高速摄影测量; 数学建模; 计算机辅助方法

0 引言

利用高速摄影的方法进行外弹道光学测量是我国靶场测试的重要途径^[1], 究其原因, 不外乎是光电设备可靠性好, 测量精度高, 使用方便等. 但由于测量对象(如: 导弹、火箭弹、高炮炮弹等)都具有飞行速度快、危险性大等特点, 且与此相对应的测量仪器的视场较小, 有效测量持续时间短, 实弹实验费用高, 保密性强等, 从而给我们的科研机构进行靶场测试方案论证及测试设备的研制带来了极大的困难. 为了减小方案论证的盲目性, 降低试验费用, 缩短设备研制周期, 本文介绍利用计算机进行高速摄影测量的辅助方法.

1 高速摄影的数学表示

高速摄影是以极高的时间分辨率对快速过程进行照相记录的过程, 其获取的信息则记录在按时间发展为顺序的一幅幅图片上. 通过慢速放映, 再现被记录过程的运动或变形过程. 即通过对时间尺度的放大来研究快速过程的特点.

从数学观点来看, 高速摄影的过程就是对连续运动过程进行时间自变量的高分辨率离散化的过程, 所得的电影胶片即为时间序列的帧图. 作为靶场测试来说, 一般的摄影对象多为弹丸, 在胶片上的象则为点象, 故, 当测量仪凝视时, 通过高速摄影测量所得信息即为以时间自变量的离散的象点二维坐标数据. 故高速摄影的数学建模可以

分为几下部分.

1.1 几何成象的数学表示

理想状况下, 光学成象的过程是线性变换的过程^[2]. 当物位于无限远时, 象则处于光学系统的焦平面上.

设物点坐标为 $V_0 = (x \ y \ z \ l)$, 光学系统焦距为 f , 由透视原理, 由物点到象点的光学变换矩阵为

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -f^{-1} & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

则象点坐标为

$$V_i = M T_o^T = \left(\frac{fx}{f-z}, \frac{fy}{f-z}, \frac{fz}{f-z}, 1 \right) \quad (2)$$

1.2 高速摄影的数学表示

对于靶场测试的对象来说, 一般为高速运动的点目标(如弹丸等), 其运动轨迹为时间的函数, 所以, 其点坐标可表示为

$$V_o(t) = (x_o(t), y_o(t), z_o(t), 1) \quad (3)$$

故象为

$$V_i(t) = \left(\frac{fx_o(t)}{f-z_o(t)}, \frac{fy_o(t)}{f-z_o(t)}, \frac{fz_o(t)}{f-z_o(t)}, 1 \right) \quad (4)$$

由于摄影胶片只能记录象在运动轨迹上的以时间为顺序的离散的某些瞬间的位置坐标, 所以, 高速摄影的过程就是对连续的象运动轨迹进行离散化

的过程,故高速摄影离散数学表示为

$$V_o(t) = (x_o(t) \ y_o(t) \ z_o(t) \ 1) \tag{5}$$

$$V_i(t) = (\frac{fx_o(t)}{f-z_o(t)} \ \frac{fy_o(t)}{f-z_o(t)} \ \frac{fz_o(t)}{f-z_o(t)} \ 1) \tag{6}$$

$$t = t_o + k\Delta t \tag{7}$$

式中 Δt 的大小与高速摄影的摄影频率对应.

2 跟踪测量的数学表示

一般而言,高速摄影测量仪器的视场角都比较小,其视场角只有几度,当被测目标飞行速度较快时,要尽可能多的记录目标飞行轨迹信息,只有采用随动方法进行跟踪测量,常用的方法是:让测量仪器事先对准被测目标飞过航线的某一起始点,目标飞行计时开始后,测量仪处于待命状态,当目标进入测量仪视场后,测量仪启动,并追赶目标,直到跟踪保持并完成摄影记录.

2.1 测量仪跟踪保持的数学模型

由于本文侧重于计算机辅助测量方法的探讨,故暂不考虑测量仪发现和追赶被击目标的计算机实现过程,只从跟踪保持开始探讨.如图1所示.

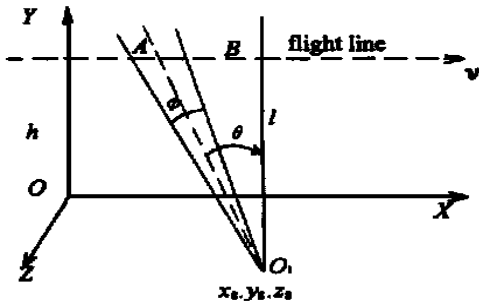


图1 跟踪保持原理

Fig 1 tracking scheme

设目标沿着 X 轴正方向以高度为 H ,速度为 v 匀速飞行.测量仪布站于点 (x_g, y_g, z_g) .那么要使测量仪视轴通过目标且跟踪保持,则视轴与目标飞行路线的交点在目标飞行方向的线速度分量与目标飞行速度相等.即

$$\omega(t) r \cos \theta = v \tag{8}$$

式中

$$\theta = \arctan[(x_g - x(t))/l] \tag{9}$$

$$r = \sqrt{(x_g - x(t))^2 + l^2} \tag{10}$$

$$x(t) = vt \tag{11}$$

$$l = \sqrt{z_g^2 + h^2} \tag{12}$$

$$t = t_o + k\Delta t \tag{13}$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, n$$

2.2 测量数据处理

由于光学摄影只能得到空间目标的二维坐标信息,所以,要获得目标在靶场坐标系中的三维坐标,只能采用多台测量仪进行交会的方法³.故对一台测量仪而言,要获得参与交会的测站坐标系数据,从计算机模拟角度来看必须经过由靶场坐标系的目标经成像向随动象面坐标系、向凝视象面坐标系转化,以便在计算机屏幕上显示高速摄影测量的过程.如图2所示,为了简化图形表示,突出数据处理流程,图中未考虑测量仪高度、地球曲率等因素.

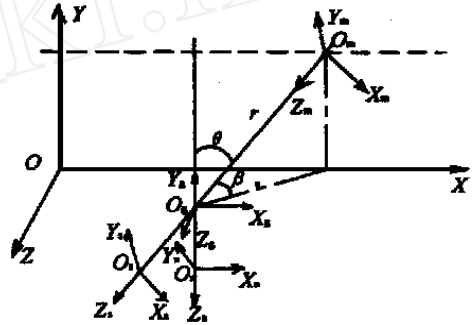


图2 数据处理原理

Fig 2 Data handling scheme

图中 $OXYZ$ 为靶场坐标系. $Ox_sY_sZ_s$ 为随动坐标系. $O_nX_nY_nZ_n$ 为凝视坐标系. $O_mX_mY_mZ_m$ 为目标移动坐标系. $O_gX_gY_gZ_g$ 为测站坐标系.

经过从靶场坐标系到凝视坐标系的转化,得凝视状态下象点的坐标为

$$x_m = m_a * m_c * (m_b * (m_d * (x_{mb} + [-x_g - h0]) + [(x_g - x(t)) \ 0 \ 0])) \tag{14}$$

式中

$$m_a = [-f/r \ 0 \ 0; 0 -f/r \ 0; 0 \ 0 -f/r] \tag{15}$$

$$m_b = [\cos \theta \ 0 -\sin \theta \ 0 \ 1 \ 0; \sin \theta \ 0 \cos \theta] \tag{16}$$

$$m_c = [1 \ 0 \ 0; 0 \cos(\beta_s - \beta) -\sin(\beta_s - \beta); 0 \sin(\beta_s - \beta) \cos(\beta_s - \beta)] \tag{17}$$

$$m_d = [1 \ 0 \ 0; 0 \cos \beta -\sin \beta; 0 \sin \beta \cos \beta] \tag{18}$$

x_{mb} 矩阵为目标矩阵, f 为高速摄影测量仪光学系统的焦距, β 为测量仪光学系统视轴与被击目标航迹垂直时的夹角.

3 系统测量噪音的引入

高速摄影测量仪的主要测量误差有指向误差和跟踪误差等.这里仅考虑指向误差,且通过随相干扰的方式引入.在离散状态下系统测量噪音就可以看作一个白噪音序列 $S(K)$,其统计特性

为⁴

$$E[S(K)]=0$$

(19)

$$E[S(K)]^2=\sigma_s^2$$

(20)

$$E[S(K)S(J)]=\begin{cases}\sigma_s^2 & K=J \\ 0 & K \neq J\end{cases}$$

(21)

$$E[X(K)S(J)]=0$$

(22)

式中 σ_s 即为高速摄影测量仪的指向精度 . 所以 , 引入噪音后的测量结果序列为

$$\lambda(k)=\lambda(k)+\delta_{\lambda}\sigma_s$$

(23)

$$\alpha(k)=\alpha(k)+\delta_{\alpha}\sigma_s$$

(24)

式中 $\lambda(k)$ 、 $\alpha(k)$ 为理想的测量结果序列 . δ_{λ} 、 δ_{α} 为 (- 1, 1) 范围内的正态分布随即数 .

4 测量模拟流程

在忽略了靶场地形环境, 空气环境等的前提下, 简化测量过程为

1) 用离散的时间 $t=t_0+k\Delta t$ 作为程序的驱动变量, 其中 t_0 为测量仪进入等待的时间起点, Δt 对应测量仪的摄影频率 .

2) 人为设定测量仪跟踪保持并摄影测量的起点, 在 t 的驱动下跟踪测量 .

3) 随机添加测量噪音, 输出随动象面目标的坐标数据和测量仪视轴方位数据 .

4) 随动坐标数据向凝视坐标数据转化后“画出胶片”上目标的象点, 从而在计算机屏幕上达到显示目标飞行二维轨迹的目的 .

5 仿真实验

本文取靶场双 35 高炮射击脱把量测试方案的一部分作为模拟对象 .

(1) 将引导测量仪的被击目标作为测试模拟对象, 其飞行速度为 225m/s, 飞行高度为 1000m, 沿着靶场坐标系 X 轴的正方向飞行 .

(2) 高速摄影测量仪的布站位置为: (1000, 0, 2000) . 测量仪的光学系统焦距为 250mm . 综合指向精度为 35 . 摄影频率为 40c/s .

(3) 忽略测量仪高度, 大气影响, 地球曲率等因素 .

仿真结果如图 3、表 1、表 2 所示 .

图 3 为目标象点在凝视状态下的分布图, 表 1 为测量仪测得目标方位部分数据, 表 2 为随动象面目标的坐标数据 .

表 1 目标方位(部分数据)

$t(k)$	$\lambda(k)$	$\alpha(k)$
2.10000000	1.11642968	1.34103341
2.20000000	1.12366263	1.35586811
2.30000000	1.11600869	1.36171006
2.40000000	1.11678646	1.37477390
2.50000000	1.11733662	1.38632463
2.60000000	1.12190241	1.39310777
2.70000000	1.11517919	1.39826982
2.80000000	1.11579176	1.41395516
2.90000000	1.11050878	1.41798859
3.00000000	1.11562565	1.42696552

表 2 象面目标的坐标(部分数据)

$t(k)$	$x(k)$	$y(k)$
2.10000000	1.33525244	0.02757781
2.20000000	0.30060804	0.02743405
2.30000000	- 0.15970416	- 2.57152018
2.40000000	0.35629502	0.49467946
2.50000000	- 0.07504914	1.06511181
2.60000000	0.49615727	1.52679530
2.70000000	- 3.13290554	- 0.37264714
2.80000000	1.16292141	- 0.26113568
2.90000000	0.15857061	1.11139806
3.00000000	0.05229494	- 0.82630693

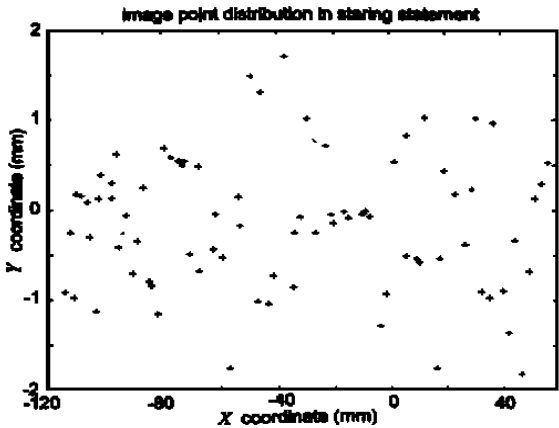


图 3 凝视目标象点分布

Fig 3 Image point distribution in staring statement

6 结论

本文只是在高速摄影测量的计算机辅助方法上进行了一次有益的尝试, 并利用计算机对高速摄影测量进行了模拟, 结果满意 . 当然, 这一方面需要解决的问题还有很多, 比如: 测量方案优化模型的建立问题, 多目标问题等, 这也是我们以后要努力解决的问题 .

参考文献

- 1 王正明等. 测量数据建模与参数估计. 长沙: 国防科技大学出版社, 1996: 1~ 30
- 2 杨宜禾, 周维真. 成像跟踪技术导论. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991: 7~ 12
- 3 周绍光, 熊仁生, 吴圣雄. 交会法测量多弹道方法研究. 测绘学报, 1997, 26(3): 213~ 220
- 4 蒋志凯. 数字滤波与卡尔曼滤波. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 175~ 221

THE COMPUTER AIDED METHOD OF HIGH FREQUENCY PHOTOGRAPHING MEASUREMENT

Liu Chanlao, Ruan Ping, Xiong Rensheng, Sun Yishan

Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

Received date: 2000-01-14

Abstract The high frequency photographing measurement was simulated through computer aided method. The whole contents of researching are the mathematical modeling of high frequency photographing measurement, the adding of measurement noise, the measurement data handling, and so on. This method was proved through practical measurement simulating. The trajectory of target image points were given.

Keywords High frequency photographing measurement; Mathematical modeling; Computer aided method



Liu Chanlao was born in Shaanxi China on Dec 30 1962. He obtained the B. S. in Optical Instrument in Nanjing University of Science and Technology in China in 1986 and the M. S. in Mechanical Engineering in Xi'an University of Science and Technology in China in 1993. He has been working on CAD technology and optical technology. Now he has been made a study of optical multiple target tracking in Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences for the Ph. D.