

## 望远镜系统误差动态修正的一种新方法

赵金宇<sup>1,2</sup>, 王德兴<sup>3</sup>, 李文军<sup>1</sup>, 陈涛<sup>1</sup>

(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 100080; 3.内蒙古通辽市交通工程局, 内蒙古 通辽 028000)

**摘要:**系统误差的实时修正是保证望远镜观测精度最基本的条件之一。利用靶场试验数据进行计算机仿真, 结果表明:与传统的单项误差法相比, 球谐函数法对望远镜系统误差修正的精度在方位和俯仰方向上分别提高了 30% 和 50%。并首次将该方法应用到了望远镜的系统误差动态修正中。

**关键词:**系统误差; 动态修正; 球函数

**中图分类号:** TN21    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-2276(2005)02-0244-04

## New method of dynamic correction for the system errors of telescope

ZHAO Jin-yu<sup>1,2</sup>, WANG De-xing<sup>3</sup>, LI Wen-jun<sup>1</sup>, CHEN Tao<sup>1</sup>

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130022, China; 2.Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China; 3.Neimenggu Tongliao Traffic Engineering Bureau, Tongliao 028000, China)

**Abstract:**The real-time correction of system errors is one of basic terms for guaranteeing the observation precision of telescope. Computer simulation is done by using shooting range test data. The conclusion is drawn that correction precision of spherical functions method is improved 30% and 50% than traditional monomial error method on azimuth and pitching in this paper. This method is firstly applied to dynamic correction for the system errors of telescope and the satisfied results have been obtained.

**Key words:**System error; Dynamic correction; Spherical function

### 0 引言

光电望远镜广泛应用于航天器定轨、行星跟踪、激光反卫等领域。随着科学技术的进步和发展,对望远镜的要求越来越高,不仅要求有良好的重复性和稳定性,而且还要求相对固定坐标或天体坐标有很高的

绝对精度,以满足各个领域对光电望远镜所提出的精度要求。

对于本身机械结构已经很精密的光电望远镜来说,应用所提出的精度要求,已经远远超出了传统的加工生产和装配工艺的能力。通过建立准确的误差修正模型,利用软件的方法来改善望远镜的系统误差已

成为实用可靠的途径之一。

## 1 系统误差动态修正模型的建立

由于机械加工和调准精度的限制,望远镜轴系总存有微小的系统误差,包含垂直轴倾斜误差、水平轴倾斜误差、方位照准差和视轴扰动等,使得望远镜的指向与实际方向存在偏差。由于系统误差的特点主要是在测量结果中表现出必然性,当测量条件确定后,系统误差在客观上就是一个恒定值或能用一定的函数关系表示,因而,表征系统误差的函数模型的优劣直接反映了对系统误差规律的接近程度<sup>[1]</sup>。

### 1.1 单项差法的模型

根据分析<sup>[2]</sup>得出的各单项误差综合影响的函数为:

$$f_{A_i} = V \sin(A_H - A_i) \tan E_i + k \tan E_i + c \sec E_i + g \quad (1)$$

$$f_{E_i} = l - V \cos(A_H - A_i) + d \cos E_i \quad (2)$$

式中  $A_i, E_i$  为脱靶量修正后的目标方位角和俯仰角;  $A_H$  为垂直轴倾斜的方位角;  $k$  为水平轴倾斜角;  $V$  为垂直轴倾斜角;  $c$  为照准差;  $G, l$  分别为方位角和俯仰角的定向误差;  $d$  为视轴扰动。则系统误差修正后的真值为:

$$A_i' = A_i + f_{A_i}(A_i, E_i) \quad (3)$$

$$E_i' = E_i + f_{E_i}(A_i, E_i) \quad (4)$$

经过测量 20 余颗在方位和俯仰上大致均匀分布的恒星,可获得星体在观测时刻的理论值和测量值(等精度测量)。利用最小二乘法可求出基于修正函数的各单项系统误差。用计算出的方位和俯仰理论值代替  $A_i', E_i'$ 。先利用方位角修正函数进行求值。令:  $l_i = A_i' - A_i$  则,

$$l_i = f_{A_i}(V, k, c, g) \quad (5)$$

再令:  $L = (l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n)$ ;

$$X = (V, k, c, g);$$

$$a_{i1} = \sin(A_H - A_i) \tan E_i;$$

$$a_{i2} = \tan E_i;$$

$$a_{i3} = \sec E_i;$$

$$a_{i4} = 1;$$

$$A(i, j) = a_{i,j} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, 4)$$

对公式(5)以矩阵形式表示的正规方程为<sup>[2]</sup>:

$$(A'A)X = A'L$$

令  $C = A'A$ , 则  $CX = A'L$ , 可解出向量  $X = (V, k, c, g)'$  的值:

$$(V, k, c, g)' = C^{-1}A'L \quad (6)$$

同理,可求出  $l, d$  的值。

### 1.2 球谐函数法的模型

获得望远镜指向修正模型的另外一种有效的方法是:通过对全天区的一批恒星进行观测,获得一系列恒星观测位置  $A_o, E_o$ , 以及由恒星历表计算出的对应时刻的理论视位置  $A_c, E_c$ , 从而得到望远镜在各个位置上的指向偏差:

$$\Delta A = A_o - A_c \quad \Delta E = E_o - E_c$$

令  $\Delta A = f(A, E)$ 、 $\Delta E = g(A, E)$ , 其中,  $f(A, E)$ 、 $g(A, E)$  为  $A, E$  的非线性函数, 常称为望远镜的指向修正模型。将该恒星的观测脱靶量用球谐函数表示如下<sup>[3]</sup>:

$$\begin{aligned} \Delta A \cos E = & a_0 + a_1 \sin E + a_2 \cos A \cos E + a_3 \sin A \cos E + a_4 \sin^2 E + \\ & a_5 \cos A \sin E \cos E + a_6 \sin A \sin E \cos E + a_7 \cos 2A \cos^2 E + \\ & a_8 \sin 2A \cos^2 E + a_9 \sin^3 E + a_{10} \cos A \sin^2 E \cos E + a_{11} \sin A \\ & \sin^2 E \cos E + a_{12} \cos 2A \cos^2 E \sin E \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Delta E = & b_0 + b_1 \sin E + b_2 \cos A \cos E + b_3 \sin A \cos E + b_4 \sin A \sin E + \\ & b_5 \cos A \sin E \cos E + b_6 \sin A \sin E \cos E + b_7 \cos 2A \cos^2 E + \\ & b_8 \sin 2A \cos^2 E + b_9 \sin^3 E + b_{10} \cos A \sin^2 E \cos E + b_{11} \sin A \sin^2 \\ & E \cos E + b_{12} \cos 2A \cos^2 E \sin E \end{aligned} \quad (8)$$

测量 20 余颗在方位和俯仰上均匀分布的星,可获得星体在观测时刻的理论值和测量值。由每颗星的测量值和测量残差构成一方程,对 20 余颗星的测量即可构成方位和俯仰的非线性方程组:

$$AX_A = L_A \quad (9)$$

$$AX_B = L_B \quad (10)$$

式中  $A$  为系数矩阵,  $X_A, X_B$  是方位和俯仰的待求一维系数矩阵。

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,13} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,13} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n,1} & a_{n,2} & \cdots & a_{n,13} \end{bmatrix}$$

$$X_A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_{13} \end{bmatrix} \quad L_A = \begin{bmatrix} \Delta A_1 \cos E_1 \\ \Delta A_2 \cos E_2 \\ \vdots \\ \Delta A_n \cos E_n \end{bmatrix}$$

$$X_B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_{13} \end{bmatrix} \quad L_B = \begin{bmatrix} \Delta E_1 \\ \Delta E_2 \\ \vdots \\ \Delta E_n \end{bmatrix}$$

### 2 仿真实验

为了比较上述两种误差修正模型的优劣,利用对望远镜系统靶场试验采集的实际数据和观星时刻计算的理论值对两种模型进行了计算机仿真。

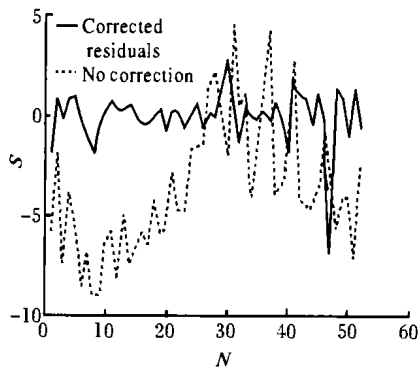


图 1 单项差法方位修正前后残差

Fig.1 Residuals before and after correction for azimuth by monomial error method

#### 2.1 仿真残差的比较

用上述两种模型分别对两组相同的数据进行处理,比较出两种方法的精度。第一组测量数据和对应的理论值是用于计算模型中修正的系数,第二组数据用于进行系统误差修正。即用前一组数据计算出的修正参数对第二组数据进行系统误差修正,并计算出修正系统误差后各自的残差和均方根误差<sup>[4]</sup>,如表 1 所示。

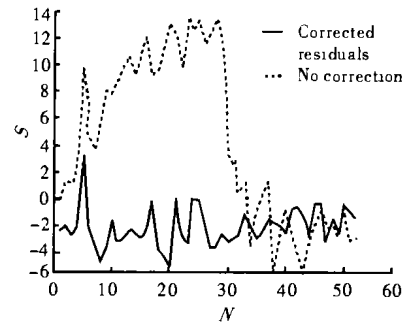


图 2 单项差法俯仰修正前后残差

Fig.2 Residuals before and after correction for pitching by monomial error method

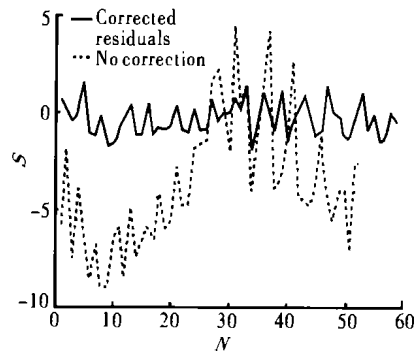


图 3 球谐函数法方位修正前后残差图

Fig.3 Residuals before and after correction for azimuth by spherical function method

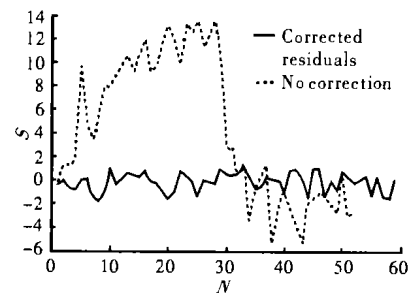


图 4 球谐函数法俯仰修正前后残差图

Fig.4 Residuals before and after correction for azimuth by spherical function method

图 1~图 4 直观地表达了两种模型修正的结果,其中横坐标为所用恒星的个数  $N$ , 纵坐标为误差的大小  $S$ 。

#### 2.2 蒙特卡洛仿真实验

为了验证上述两种模型对随机误差的抑制能力,需要进行 Monte Carlo 仿真。即利用第一组数据得到

表 1 修正前后的均方差

Tab.1 Standard deviation before and after correction

	Uncorrection	Monomial error method	Spherical function method
Azimuth/s	3.9026	1.5966	1.2540
Pitching/s	9.4462	2.4107	1.5275

表 2 两种模型 RMSE 的比较

Tab.2 Comparison of RMSE in two models

	Monomial error method	Spherical function method
Azimuth/s	1.1894	0.6266
Pitching/s	3.2920	0.7073

表 3 两种模型 RRMSE 的比较

Tab.3 Comparison of RRMSE in two models

	Monomial error method	Spherical function method
Azimuth/s	2.051E-3	5.11E-4
Pitching/s	4.312E-3	6.92E-4

的修正参数对同一颗星进行 50 组以上的测量,统计指标为均方根误差(RMSE)和相对均方根误差(RRMSE),如表 2、表 3 所示。

### 3 结论

通过分析两种修正方法的仿真结果可以看出,球谐函数的模型更能准确地反映望远镜系统误差的变化规律。用此修正方法,使得测量数据的系统误差修正精度在方位和俯仰方向上分别提高了 30% 和 50%,在抑制测量数据的随机误差方面,球谐函数法较之单项差法更加有效。该方法已被实际应用到新研制的望远镜系统中。

### 参考文献:

- [1] 伏维礼,罗刚.数据处理和误差分析[M].北京:知识出版社,1986.
- [2] 刘利生.外测数据事后处理[M].北京:国防工业出版社,2000.
- [3] 王锋,张云成.经纬仪光电定位系统数据处理[J].云南天文台台刊,1998,2:62-65.
- [4] 蒙以正,罗刚.MATLAB 应用与技巧[M].北京:科学出版社,1999.

(上接第 203 页)

在各种需要获取静态图像或动态视频数据的领域,图像采集卡发挥着极大的作用,已成为许多图像处理系统的关键部分。

### 4 结论

针对常规图像采集中由采样点时钟造成的图像几何形变问题,提出了一种基于 PCI 总线的 1:1 方式图像采集卡硬件设计方案。采集卡选择 14.625 MHz 作为采样点时钟频率,保证了水平、垂直方向相邻像素点 1:1 的间距比,避免了采集图像的几何形变,提高了图像处理系统的整体性能。

### 参考文献:

- [1] 苏光大.微机图像处理系统[M].北京:清华大学出版社,2000.

- [2] 俞斯乐,郭福云,李桂岑,等.电视原理.第四版[M].北京:国防工业出版社,1995.
- [3] Lattice Semiconductor.Specifications:ispLSI1048E-In-System Programmable High Density PLD[M].USA:Lattice Semiconductor,1998.
- [4] Philips Semiconductor.Product Specification for SAA7146A-Multimedia Bridge, High Performance Scaler and PCI Circuit(SPCI)[M].The Netherlands:Philips Semiconductors,1998.
- [5] 李晓霞,李健.SAA7146 芯片在视频处理中的应用[J].河北工业大学学报,2002,31(3):23-27.
- [6] 陈立法,崔春明,葛军,等.基于 PCI 总线的实时红外图像采集处理系统[J].红外技术,2001,23(5):4-8.
- [7] 肖亮,沈建军,李魁,等.基于 CPLD 的黑白全电视信号采集系统[J].微处理机,1999,(4):21-25.