

文章编号: 1003-501X(2007)04-0085-04

# 宽覆盖面阵 CCD 测绘相机标定方法

宋 梅, 柴俊栓, 刘金国

( 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033 )

**摘要:** 本文首先对宽覆盖面阵测绘相机的组成和工作原理进行介绍。针对这种相机的特殊性, 提出了对相机内方位元素的标定方法。通过对所研制相机参数的测量, 利用偏最小二乘回归理论方法标定出了相机的内方位元素。并通过对标定结果的分析, 验证了标定方法的正确性以及精度的可靠性。

**关键词:** CCD 相机; 内方位元素; 标定; 相机夹角

中图分类号: TH761

文献标识码: A

## Calibration of the frame CCD mapping camera with wide overcast

SONG Mei, CHAI Jun-shuan, LIU Jin-guo

( Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China )

**Abstract:** Authors introduced the form and work principle of a frame CCD mapping camera with wide overcast firstly. For the specialty of this camera, a calibration method was put forward to calibrate the inside azimuth element of the camera. After finishing the design and manufacture, the inside azimuth element of this camera was calibrated using the return theory of least squares method introduced in this article. Finally, the correctness of the calibration method and the reliability of the measure precision were validated.

**Key words:** CCD camera; Inside azimuth element; Calibration; Angle between two cameras

## 引 言

在大视场、高分辨率光电测量设备中, 在一定的测量精度和测量视场的要求下, 单片 CCD 器件仍不能够满足需求, 为此, 需要对多 CCD 器件进行拼接。本文阐述内容所涉及的宽覆盖面阵 CCD 测绘相机的要求单片 CCD 就无法满足, 所以宽覆盖面阵测绘相机是以拼接 3 块面阵 CCD 为目标, 采用外视场拼接的方案。每片 CCD 一个镜头, 共计 3 个镜头。以一定的角度将三块面阵 CCD 拼接。

在摄影测量系统中, 如果知道面阵 CCD 摄影测量相机所摄数字影像的六个外方位元素( $X, Y, Z, \varphi, \omega, \kappa$ ), 即摄影中心在地面或地心坐标系中的位置和姿态角, 同时知道面阵 CCD 相机的内方位元素, 即相机的主距  $f$ 、主点坐标( $x_0, y_0$ )和相机间的夹角  $\alpha$ , 那么地面上任一物点  $P_i(X_i, Y_i, Z_i)$  在三个相机坐标系中的像点坐标就可以完全确定了。

反之, 如果能够求出对应  $P_i$  点的像点坐标, 则可以计算出  $P_i$  点的地面坐标( $X_i, Y_i, Z_i$ ), 这就是面阵 CCD 相机进行立体摄影测量的基本原理。

为了满足图像匹配等其它处理过程中的精度要求, 对相机本身内方位元素的精度和稳定性要求很高, 因为相机本身的精度是其它精度的基础。保证相机内方位元素的高精度高稳定性, 要求有适应空间实验条件的光学系统的设计和高稳定性光机结构的设计和高精度光机装调。在保证这些条件的基础上, 相机内方位元素和相机间夹角的实验室精密标定是保证相机内方位元素高精度的另一个重要手段。

收稿日期: 2006-05-15; 收到修改稿日期: 2006-11-06

作者简介: 宋 梅(1980-), 女(汉族), 青海互助人, 硕士生, 主要从事空间遥感与图像处理方面的研究。E-mail: songmei570@yahoo.com.cn

针对这种任务需求, 对面阵 CCD 立体摄影测量相机样机进行标定。主要内容是标定相机的内方位元素和相机间夹角, 即相机的主距  $f$ 、像主点坐标  $(x_0, y_0)$  和相机间的夹角。

## 1 标定系统的组成

面阵 CCD 相机在拼接的时候需要满足 8 个像素的搭接和相邻两相机间夹角为 5 度的要求, 要想获得相机间夹角和搭接的像素数, 必须有一基准设备保证提供角度基准。一种方法是依靠固定相机的转台的角度读出为基准, 即利用转台的水平轴、垂直轴的角度输出为基准。另一种方法是依靠角度发生器的角度值为基准。角度发生器是专门研制的用于相机拼接的设备, 是根据多平行光管法变化而来的。我们采用角度发生器的方案。

整个标定系统由角度发生器、高精度分划板、照明组件、高稳定平台、图像采集系统、标定计算机、标定软件组成。

角度发生器是由 3 个平行光管组成, 光管之间有一定的夹角, 这在装调角度发生器时利用高精度经纬仪进行测量调整, 保证其角度值的精确性。在每个平行光管中, 加装刻有  $5 \times 5$  个正交十字丝的分划板, 最外圈十字丝的位置要考虑相机间搭接, 装调时要调整好其位置, 每 25 个目标经过平行光管后成像在各自对应的相机的 CCD 像面上, 并充满整个视场。分划板后加照明, 为保证每个十字丝的照明稳定性, 采用直流稳压电源供电。这样, 每个平行光管就可以产生 25 束平行光。将角度发生器调水平, 利用高精度经纬仪将各个光束的空间角度测出, 作为角度的真值, 对于每个十字丝目标, 利用高精度经纬仪测量得到角度后, 该标定设备就可以作为测量基准来标定相机。

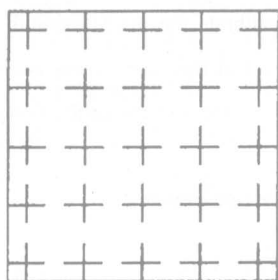


图 1 平行光管目标图

Fig.1 Sketch for the object of the parallel light pipe

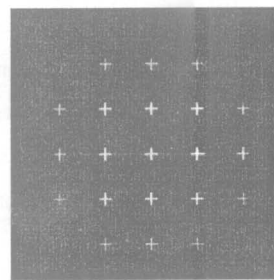


图 2 CCD 相面成像图

Fig.2 Sketch for the imaging of CCD drone side

## 2 标定方法

对面阵 CCD 立体摄影测量相机样机进行标定。主要内容是标定相机的内方位元素和相机间夹角, 即相机的主距  $f$ 、像主点坐标  $(x_0, y_0)$  和相机间的夹角。

### 2.1 相机内方位元素的标定

标定时, 将相机和标定系统放置在稳定平台上, 以保证标定时的测量精度。

首先调整相机和标定系统成水平状态, 使标定系统的平行光管的光轴与相机的光轴相平行, 然后调整标定系统的高度, 使标定系统中的各平行光管的光轴与相机的光轴完全重合。利用高精度经纬仪测量记录十字丝各点的方位和高低角度, 将这些数据作为空间物点相对于相机的方位角、高低角真值。采用内插细分技术测量各十字丝的像点坐标。

经过以上步骤, 得到相机像面上的每个十字丝的角度真值和像点坐标的测量值, 作为相机标定的数据。

### 2.2 相机的数学模型

利用上面的测量数据, 根据摄影测量原理, 建立相机系统的数学模型。现在应用的数学模型是基于摄影测量后交会问题的最小二乘法版。平行光管图像平面坐标是观察目标, 光管方向是已知坐标。因为光管图像位置受镜头畸变的影响, 实测坐标将与它们的真实位置不同。在简化的过程中, 透镜中心位置和相机

的定位要调整到使观察图像和真实图像之间差别最小。结果是标定主距、主点坐标。

著名的摄影测量投影方程应用在如今的相机标定系统中，它们是：

$$x-x_0=f\cdot\left[\frac{A\lambda+B\mu+C\nu}{D\lambda+E\mu+F\nu}\right],\quad y-y_0=f\cdot\left[\frac{A'\lambda+B'\mu+C'\nu}{D\lambda+E\mu+F\nu}\right]\tag{1}$$

式中  $(x, y)$ 是关于相机系统的实测坐标， $(x_0, y_0)$ 和 $f$ 是主点坐标和相机的主距。 $\begin{bmatrix} A & B & C \\ A' & B' & C' \\ D & E & F \end{bmatrix}$ 是方向矩阵元素，它们是三个关于任意  $X, Y, Z$  在目标空间的支架坐标的独立角  $\alpha, \omega, \kappa$  的函数。

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ A' & B' & C' \\ D & E & F \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -\cos\alpha\cos\kappa-\sin\alpha\sin\omega\sin\kappa & \sin\alpha\cos\kappa-\cos\alpha\sin\omega\sin\kappa & \cos\omega\sin\kappa \\ \cos\alpha\sin\kappa-\sin\alpha\sin\omega\cos\kappa & -\sin\omega\sin\kappa-\cos\alpha\sin\omega\cos\kappa & \cos\omega\cos\kappa \\ \sin\alpha\cos\omega & \cos\alpha\cos\omega & \sin\omega \end{bmatrix}$$

式中  $\lambda, \mu, \nu$ 是连接对应图像与目标连线与  $X, Y, Z$  方向的方向余弦。它与目标视线的方位角  $\alpha_0$ 、高低角  $\omega_0$  的关系为

$$\lambda=\sin\alpha_0\cos\omega_0,\quad \mu=\cos\alpha_0\cos\omega_0,\quad \nu=\sin\omega_0\tag{2}$$

我们对每块 CCD 成像系统分别标定 25 组数据，每个目标数据的位置由两个方程解算，25 组目标数据共有 50 个方程。利用高精度经纬仪测量的十字丝的空间方位、高低角代入式(2)，解出目标视线方向余弦。在相机和标定仪器对正后，方向矩阵元素已知，则模型变为线性系统。把已知参数和测量数据代入式(1)中，采用偏最小二乘多元回归理论方法解算出每块 CCD 各未知参数 $(x_0, y_0)$ 和 $f$ ，完成整个相机的参数标定，最后由相机内方位元素构成完整的相机数学模型。

2.3 相机夹角的标定

根据标定出的相机的像主点坐标，这里像主点即为中心点。根据测量三个相机所对应的方位角真值，可以计算出相机间的夹角。

3 标定结果

按照上面介绍的方法，经过测量和解算，得到三台外视场拼接相机各自的内方位元素标定结果如下。

表 1 左视相机内方位元素

Table 1 Inside azimuth elements of left camera

Focus length /mm	X coordinates /pixel	Y coordinates /pixel
98.55	504.11	508.67

表 2 中间相机内方位元素

Table 2 Inside azimuth elements of middle camera

Focus length /mm	X coordinates /pixel	Y coordinates /pixel
98.78	503.44	508.99

表 3 右视相机内方位元素

Table 3 Inside azimuth elements of right camera

Focus length /mm	X coordinates /pixel	Y coordinates /pixel
98.48	503.52	509.31

表 4 夹角标定结果

Table 4 Calibration results for pitch angles

Right-middle	Left-middle
5°0'9"	5°0'2"

测量得到各相机主点对应的方位角：  
右边相机：307°33' 38"；中间相机：302° 33' 29"；左边相机：297°33'27"

4 结果分析

- 1) 利用高精度经纬仪将角度发生器各个光束的空间角度测出，角度测量精度为 1"，利用内插细分技术进行十字丝坐标值测量，在细分精度为二十分之一像素时，成像在 CCD 上的十字丝坐标值测量精度可达 0.5μm。因此，相机主点坐标和相机主距的标定精度可达到微米级。相机间夹角测量精度可达 10"以内。
- 2) 从测量值和回归出的模型计算值的误差计算结果来看，在整个视场内，误差均比较小，因此在标定

中, 未进行畸变测量。

## 结束语

根据测量结果可以看出, 相机的装调满足指标要求, 整个系统在室内标定的方法和数据处理方法是能够满足系统的标定和检测要求的。依据内方位元素对所摄图像进行摄影测量处理的结果, 证明内方位元素的标定方法和结果是正确的。

## 参考文献:

- [1] 王之卓. 摄影测量原理 [M]. 北京: 测绘出版社, 1979.  
WANG Zhi-zhuo. **Photogram metric Method** [M]. Beijing: Publishing House of Mapping, 1979.
- [2] 李佳列, 丁国清. 采用 CCD 的非接触测量中提高精度的一种方法[J]. 光学精密工程, 2002, **10**(3): 281-284.  
LI Ja-lei, DING Guo-qing. Method for improving precision in noncontact measurement by linear CCD [J]. **Optics and Precision Engineering**, 2002, **10**(3): 281-284.
- [3] 刘 罡, 高晓东, 曹学东. 大视场光电测量系统实时测量精度的综合评定[J]. 光电工程, 2001, **28**(6): 10-13.  
LIU Gang, GAO Xiao-dong, CAO Xue-dong. A Comprehensive Calibration of the Real-Time Measurement Accuracy for a Photoelectrical Measuring System with Wide Field of View [J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2001, **28**(6): 10-13.
- [4] 何 昕, 王 军, 杨会玲, 等. 多 CCD 拼接相机系统中畸变误差研究[J]. 半导体光学, 2005, **26**(2): 161-163.  
HE Xin, WANG Jun, YANG Hui-ling, et al. Miss Distance Error Due to Optical Distortion of Multiple CCD Butting System [J]. **Semiconductor Optoelectronics**, 2005, **26**(2): 161-163.
- [5] 赵葆常. 小卫星 CCD 相机技术的研究 [R]. 西安: 西安光机所, 1999.  
ZHAO Bao-chang. The Investigation of The Moonlet CCD Camera [R]. Xi'an: Xi'an Institute of Optics and Fine Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, 1999.

~~~~~  
( 上接第 68 页 )

- [4] A. A. TOVAR. Propagation of flat-topped multi-Gaussian laser beams [J]. **J. Opt. Soc. Am. A**, 2001, **18**(8): 1897-1904.
- [5] 吕百达. 激光光学, 光束描述、传输变换与光腔技术物理(第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003. 11-12.  
LÜ Bai-da. **Laser Optics Beam Characterization, Propagation and Transformation, Resonator Technology and Physics (Third edition)** [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003. 11-12.
- [6] A. E. SIEGMAN. Analysis of laser beam quality degradation caused by quartic phase aberrations [J]. **Appl. Opt.**, 1993, **32**(30): 5893-5901.
- [7] 蒲政才. 高斯光束通过球差透镜后光强随入射光束光腰半径的变化[J]. 重庆师范学院学报(自然科学版), 2000, **17**(2): 70-73.  
PU Zheng-cai. Intensity Distribution Variation of Gaussian Beams Passing Through a Spherically Aberrated Len with the Initial Waist Radius [J]. **Journal of Chongqing Normal University(Natural Science Edition)**, 2000, **17**(2): 70-73.
- [8] 蒲继雄. 利用球差透镜获得超衍射极限聚焦[J]. 中国激光, 1999, **26**(6): 542-546.  
PU Ji-xiong. Lenses with Spherical Aberration for Generating Subdiffraction-limited Focusing [J]. **Chinese Journal of Lasers**, 1999, **26**(6): 542-546.
- [9] Y AKIFUMI, A TOSHIMITSU. Focusing a Gaussian laser beam without focal shift [J]. **Opt. Commun.**, 1994, **109**: 368-374.