

## Study on photogrammetric error analysis of digital camera

An Qingwu\*    Chen Binzhou

Zhengzhou School for Surveying and Mapping, Zhengzhou

**Abstract:** Based on the analysis of the error source of digital image acquisition by civil digital camera, this paper puts forward the use of digital camera to obtain digital image, and corrects the camera distortion error, so as to achieve the purpose of measurement, and discusses the possibility and method of low cost and multi-way acquisition of measurable stereo image pair.

**Key words:** Civil cameras; Photogrammetry; The CCD; Internal bearing element

Received: 2019-08-07; Accepted: 2019-08-23; Published: 2019-08-30

# 数码相机摄影测量误差分析研究

安庆武\* 陈彬洲

郑州测绘学校, 郑州

邮箱: qwan0407@qq.com

**摘 要:** 通过对民用数码相机获取数码影像产生的误差来源进行分析, 提出利用数码相机获取数码影像, 并对其相机畸变差进行纠正, 达到可量测化的目的, 探讨低成本、多途径获取可量测化立体像对的可能性及方法。

**关键词:** 民用相机; 摄影测量; CCD; 内方位元素

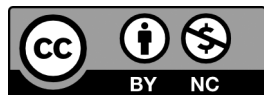
收稿日期: 2019-08-07; 录用日期: 2019-08-23; 发表日期: 2019-08-30

---

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



近年来, 随着 CCD 硬件技术的发展, 高分辨率, 大幅面 CCD 阵面的出现, 为数码影像代替传统胶片用于摄影测量奠定了基础。高档民用数码相机的一些技术参数已经不同程度地满足摄影测量的需要。这使得用于摄影测量的影像获取设备得以多样化, 同时也大大降低了摄影测量影像获取的技术门槛。通过民

用相机获取数码影像,可以低成本地解决小面积摄影测量影像来源问题,具有较高的实用意义。民用相机设备的可量测化成为更多研究和探讨的课题,本文通过对民用相机进行处理,获取可量测化影像的试验,探讨数码相机可量测化的可能性及方法。

## 1 探讨内容

选择哈苏民用相机机身和飞思 1200 万像素数码相机背作为影像获取的工具,在实验室获取立体相对进行处理,利用共线方程式来解决制约影响可量测化的主要因素:内方位元素的获取以及影像畸变差的消除。

基于目前国内大部分数字摄影测量工作站的现状,数码影像可量测化需要具备以下条件:稳定的内方位元素和数码影像的畸变差消除,当然严格意义上的稳定和消除是无法实现的,只是通过对相机获取影响的处理,从而将误差控制在量测误差允许的范围之内。相

机的内方位元素稳定需要对相机的镜头和机身进行加固处理,(在这里不进行讨论)。我们在此关心的是数码影像的畸变差消除。

引起数码影像畸变差的主要因素是物镜组的径向和切向畸变以及 ccd 像元的非正方形及非正交畸变。径向畸变在以像主点为中心的辅助线上是对称型畸变,而切向畸变差是一种非对称型畸变,这是由于摄影机物镜在加工、安装和调试过程中的残余像差,这一残差会引起物镜构像畸变,构像畸变差是数码相机产生误差的最主要原因。

## 2 理论分析

在此不讨论相机内方位元素稳定性的问题,仅讨论相机内方位元素获取以及数码影像畸变差如何消除,以达到影像可量测化的目的。

由于畸变差的存在,通过民用相机获取的数码影像(立体像对)存在各种类型的畸变差,由于畸变差的存在,无法获取满足精度要求的测量成果。而这些畸变差主要是由于物理镜头引起的,我们可以通过数学模型,建立畸变差校正模型,获取个畸变差系数,然后对影像进行纠正,从而获取可量测影像。在

像坐标系下,畸变差改正模型采用下式:

$$\begin{aligned}\Delta x &= (x - x_0)(k_1 r^2 + k_2 r^4) + p_1[r^2 + 2(x - x_0)^2] + \\ &\quad 2p_2(x - x_0)(y - y_0) + \alpha(x - x_0) + \beta(y - y_0) \\ \Delta y &= (y - y_0)(k_1 r^2 + k_2 r^4) + p_2[r^2 + 2(y - y_0)^2] + \\ &\quad 2p_1(x - x_0)(y - y_0)\end{aligned}\quad (1)$$

其中:

$x, y$  为像点坐标;

$\Delta x, \Delta y$  为像点改正值;

$x_0, y_0$  为像主点;

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2};$$

$k_1, k_2, k_3$  为径向畸变系数;

$p_1, p_2$  为切向畸变系数;

为像素的非正方形比例因子;

为 CCD 阵列排列非正交性的畸变系数。

由此,引入畸变差后的共线方程,通过共线方程式解算畸变差参数:

$$\left. \begin{aligned}x - x_0 - \Delta x &= -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \\ y - y_0 - \Delta y &= -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)}\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

通过引入畸变差后的共线方程,可以将影像主要误差考虑进去,从而获取正确的物方坐标,实现普通数码影像的可量测化。但实际生产作业过程中,鉴于国内现有摄影测量工作站的现状,无法采用引入畸变差后的共线方程式。现实的做法是利用获取的各种畸变参数,对数码影像进行纠正处理,将数码影像进行冲采样,从而声称可量测的物畸变差的数码影像。

### 3 内方位元素的解算

内方位元素是立体像对可量测化的必要条件,内方位元素也是根据构像共线方程来进行解算的:

$$\left. \begin{aligned} x-x_0 &= -f \frac{a_1(X-X_s)+b_1(Y-Y_s)+c_1(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s)+b_3(Y-Y_s)+c_3(Z-Z_s)} \\ y-y_0 &= -f \frac{a_2(X-X_s)+b_2(Y-Y_s)+c_2(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s)+b_3(Y-Y_s)+c_3(Z-Z_s)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

在解算过程中,需要先给出内、外方位元素的初值,并且量测了试验场 10 控制点的物方坐标和经过畸变改正的像方坐标,然后通过迭代解出该相机的内方位元素。

## 4 立体模型的建立及解算

以在本次试验的过程中,仅对相机的焦距进行简单地加固处理,确保在两次曝光的过程中,相机焦距保持稳定。然后利用武测近景实验室检校场的控制网成果,在实验室水平架设相机,水平距离为 2 ~ 3m,基线长度 2m,拍摄获取如下左右有一定重叠度的立体相对。

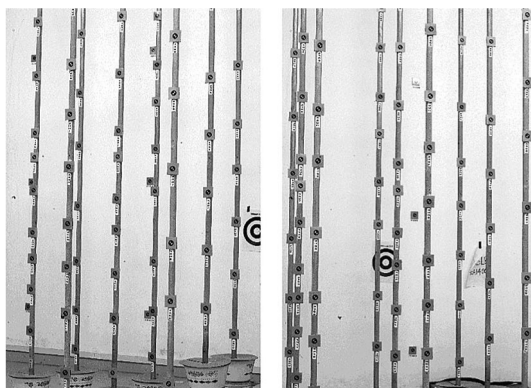


图 1 控制场获取的立体模型

根据获取的立体像对,选择构想清晰的 48 个物方点,首先量取该 48 个点的像坐标  $(x_1, y_1)$  及  $(x_2, y_2)$ , 利用 48 个点已知的物方坐标,构建误差方程式,并进行平差解算,获取相机内方位元素、物镜畸变差参数及 CCD 面真的非正方形因子和非正交性畸变差参数。

具体结算数据如下:

$$X_0 = -16.9125 \quad y_0 = 33.2649$$

$$f = 6714.8716 \quad f_x = 6714.8716 \quad f_y = 6714.8716 \quad \text{像素大小设定为 } 1.0000$$

$$k_1 = -1.619e-009 \quad k_2 = 2.522e-017$$

$$p_1 = -1.850e-008 \quad p_2 = -5.417e-008$$

$$= -1.118e-004 \quad = -5.278e-005$$

该实验用 CCD 像素无力尺寸为  $12 \mu\text{m}$ ，那么实际的内方位元素值应为：

$$X_0 = -0.20295\text{mm}$$

$$Y_0 = 0.39918\text{mm}$$

$$F_k = 80.5784\text{mm}。$$

由此，我们根据共线方程式和立体模型的量测，或取了该相机的内方位元素以及各种畸变差参数。可以根据以上数据，对该相机获取的数码影像进行纠正处理，使得该相机获取的数码影像达到可量测的目的。

## 5 数码影像的纠正和立体模型的检验

考虑到国内摄影测量工作站的现状，为了获取正确的物方坐标，必须将普通数码影像利用其测定的畸变差参数进行纠正，在本实验中我们采用影响重采样的方法，重新根据畸变差参数对影像灰度进行排列，得到一张新的灰度影像，然后再将该立体像对进行相对定向及绝对定向，量测物方坐标，统计中误差，评价该影像立体相对的可量测化程度。

首先，我们进行影像纠正，根据图 2 所示，采用双线性内插及根据公式（1）所得的  $x$  和  $y$ ，计算出改正后点  $N$  的灰度值，然后进行灰度重新排列，得到新的影像。

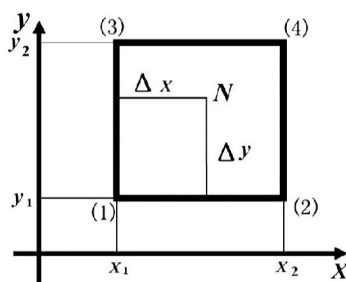


图 2 双线性内插示意图

$N$  为纠正后的像素点位，其灰度值  $H(N)$  根据临近元（1）、（2）、（3）、（4）的灰度值采用以下公式（4）计算得出：

$$H(N) = x \cdot (1-y) \cdot H(3) + (1-x) \cdot (1-y) \cdot H(4) + y \cdot H(1) + (1-x) \cdot y \cdot H(2) \quad (4)$$

$\Delta x$ 、 $\Delta y$  为像点改正值, 根据公式 (4), 对数码影像逐像素进行改正, 即消除了该影像的各项畸变差。

然后利用纠正后的影像建立立体像对, 选定 35 个标志点作为代求物方点, 利用统一摄影测量工作站进行相对定向和绝对定向, 分别用纠正前和纠正后的影像构建立体模型, 后的如下精度报告:

表 1 纠正前后立体模型精度统计

	自动匹配产生 相对定向点数	相对定向中误 差 /mm	绝对定向中误差 /m		
			$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$
纠正前构建立体模型	102 个	$\pm 0.134$	$\pm 0.235$	$\pm 0.159$	$\pm 0.337$
纠正后构建立体模型	347 个	$\pm 0.004$	$\pm 0.008$	$\pm 0.011$	$\pm 0.019$

由上述结果可以看出, 普通民用相机获取的数码影像是无法用于摄影测量实际生产, 由于其畸变差的影响, 造成大量的误差, 不能结算出正确的物方成果。通过考虑数码影像的畸变差改正, 其量测精度得到明显的改善, 从上述数据可以看出, 相对定向达到 1/3 像素, 绝对定向后, 待定物方点的点位中误差也能满足摄影测量的要求。

## 6 结语

通过该实验的探讨、论证与结果分析, 民用数码相机在采取一定的加固措施后, 获取的立体像对经过畸变差鉴定与纠正, 可以达到立体两测的精度要求。通过采取该方法, 可以低成本、多途径地解决制约小面积摄影测量影像来源的瓶颈, 为摄影测量多领域应用提供一种参考的方法。

## 参考文献

- [1] 冯文灏. 近景摄影测量 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002
- [2] 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1997
- [3] C. D. 伯恩萨德. 航空摄影测量学 [M]. 北京: 测绘出版社, 1983
- [4] 黄世德. 航空摄影测量学 [M]. 北京: 测绘出版社, 1987