

多基线—数字近景摄影测量

——再谈摄影测量与工程测量的结合

张祖勋¹ 杨生春² 张剑清¹ 柯涛¹

(1 武汉大学遥感信息工程学院,湖北武汉 430079; 2 中国三峡工程开发总公司测量中心,湖北宜昌,443002)

摘要: 本文根据交会精度与影像匹配自动化的需要,与当今航空数码相机沿航线方向视场角偏小的事实,阐述了大重叠、多基线摄影测量的必要性及其现实意义;重点介绍了利用非量测相机进行多基线的正直、交向摄影方法与数据处理的特点,特别是“多基线交向摄影”,通过多次、多相机对三峡工程地下电站尾水边坡进行拍摄试验,获得了传统非量测相机难以比拟的、非常满意的结果。

关键词: 多基线; 近景摄影测量; 数字摄影测量

Multi-Baseline Digital Close-Range Photogrammetry

— Discuss The Combination of Photogrammetry And Engineering Survey Again

Zhang Zu-xun¹, Yang Chun-sheng², Zhang Jian-qing¹, Ke Tao¹

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China.

2 Center of Survey, China Three Gorges Project Corporation, YiChang 443002, China)

Abstract: To meet the needs of the intersection accuracy and images automatic matching, and based on the fact that angle of view of current aerial digital camera is small in flight direction, the paper discusses the necessity and significance of photogrammetry based on high overlap images and Multi-Baseline. The method of normal case photography and convergent photography based on Multi-Baseline with non-metric camera is discussed emphatically, and the characteristic of the data processing by this method is also introduced. In particular, through the experiments with different no-metric cameras on Tail Water Slop of Three Gorges Underground Power Station, it is proved that convergent photography based on Multi-Baseline has acquired the very approving accuracy that is difficult to be acquired by conventional no-metric camera.

Keywords: Multi-Baseline; Close Range Photogrammetry; Digital Photogrammetry

1. 前言

近景摄影测量的主要应用之一就是工程测量。但是随着全站仪、GPS 的迅速发展与广泛应用,近景摄影测量的应用却相对减少。特别是,传统的专门应用于近景摄影测量的摄影机多是非数码相机;传统的近景摄影测量都是基于作业员的目视立体观测的模拟、解析摄影测量,它必须根据精度要求,考虑被摄对象的远景、近景,设计摄影基线、交向角^[1],比较复杂。近景摄影测量远不如航空摄影测量那么“规则”,比较复杂;而且近景摄影测量一般多是以一个立体像对为单位,难以按航空摄影测量,按一个摄影区域进行处理。目前,虽然许多单位多使用数码相机进行近景摄影测量,但是一般均按非量测相机的直接线性变换进行,既费时(按“单模型”进行测量),又费力(控制点多)。

数字摄影测量工作站(DPW)虽然已经广泛地被应用于近景摄影测量,但是其理论没有任何突破。目前的近景摄影测量多是基于“单基线”的双目视觉,多数

还是采用“非量测相机”的直接线性变换，依靠不少于6个外业控制点，按单模型进行处理。而利用“手持”数码相机进行摄影，相对于过去传统的地面摄影经纬仪而言，摄影比较方便；但是摄影的基线、相对方位等就难以符合传统近景摄影测量的要求，致使相对定向也遇到困难(甚至无法实现)，而且一般近景摄影测量的立体像对的核线影像“变形”很大。

欲利用现有的非量测数码相机，减少外业控制点(突破传统的非量测相机的直接线性变换的要求，能够直接利用航空摄影测量的自检校区域网平差)、提高精度、减少工作流程(无需进行核线排列，无需产生核线影像)、很方便(提高匹配的可靠性)地进行数字近景摄影测量，其核心问题是需要在近景摄影测量中引入新的机制(多基线摄影测量)、新的数据获取方式(例如：旋转多基线摄影测量)、新的影像匹配算法(适应于被摄物体的空间分布不连续、断裂、遮挡)，产生一套新的数字近景摄影测量的理论——多基线数字近景摄影测量。

4 数据处理与试验结果

新的数字近景摄影测量(Lensphoto)，其数据处理系统的基本特点：1. 能按区域对所摄影像进行整体处理，而不再象传统的近景摄影测量，按单模型进行处理；2. 一般不采用非量测相机进行直接线性变换，而按量测相机进行处理，只给定相机的焦距 f ，主点、畸变差初值均给0；3. 空中三角测量不分相对定向、模型连接，而由软件全部自动完成“自由网平差”；4. 区域网平差必须引入“自检校参数”平差，在获得平差结果的同时，获得相机内方位元素和畸变差的精确值，其实质可谓之：“在线检校”；5. 新的系统不采用核线，这对于多基线摄影测量尤为重要：测图时可以对“多片”原始影像进行任意组合来构成立体像对；6. 采用了新的匹配系统，可以接受较大远景与近景之差，其结果远优于原有的基于“松弛法”的匹配算法；7. 与激光扫描仪相似，新的匹配系统能够产生密集的点云(point clouds)，这对土方测量、边坡测量等很有意义，也对后续的三维重建非常重要。

4.1 回转多基线正直摄影试验

本试验是将青铜器文物安置于一个由计算机控制的“旋转平台”上，平台上附有格网点作为控制点。将摄影机固定在平台旁边的三角架上，计算机控制平台进行旋转，每旋转 10° 获取一张影像，如此旋转 350° ，总共摄取36张影像。然后对36张影像进行空中三角测量、区域网平差、产生密集点云，如图6所示。



图 6 回转多基线摄影及由此产生的点云

4.2 旋转多基线交向摄影试验 (Lensphoto)

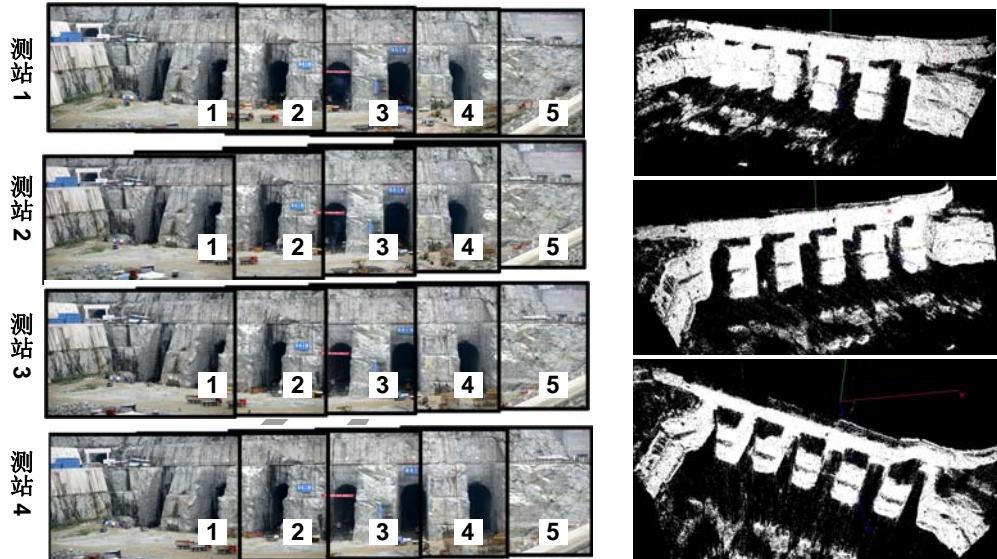


图 7 尾水边坡的旋转多基线交向摄影与产生的点云

图 7 所示是对三峡工程的尾水边坡进行旋转多基线交向摄影：4 个摄站，每个摄站通过旋转摄影，分别摄取 5 张影像，通过与 4.1 类似的处理，即能获得密集点云。

4.3 旋转多基线交向摄影的精度 (Lensphoto)

在三峡工程的一个尾水边坡部位进展不同时期，利用不同相机(均为定焦相机)、不同焦距进行多次旋转多基线交向摄影试验。试验时，仅给焦距近似值 f ，其他全部给零，进行自检校平差。现将试验结果综合如下：

试验 1：摄影时间 05 年 6 月，摄影机型号 Kodak DCS Pro SLR/n，像幅 36x24 mm(4500x3000 像素)，像素大小 $8\mu\text{m}$ 。4 个摄站，每个摄站摄取 4 张影像，总共 16 张影像，焦距 50mm，摄影距离 230m，GSD(地面采样距离—地面分辨率)约为：3.7cm，控制点分布如图 8 所示。试验精度如表 1 所示。



图 8 试验 1 的控制点分布

表 1

控制点数	检查点数	rms (厘米)				相对精度
		X	Z	Y(深度)	点位精度	
10	10	2.26	1.00	1.97	3.16	1/7278
4	16	2.56	1.62	2.65	4.03	1/5707

试验 2、3、4，摄影时间均为 06 年 11 月，控制点分布如图 8 所示。



图 9 试验 2、3、4 的控制点分布

试验 2：摄影机型号 Nikon D2X，像幅 23.7x15.7 mm(4288x2848 像素)，像素大小 5.5 μ m。5 个摄站，每个摄站摄取 6 张影像，总共 30 张影像，焦距 50mm，摄影距离 230m，GSD 约为：2.5cm。试验精度如表 1 所示。

表 2

控制点数	检查点数	rms (厘米)				相对精度
		X	Z	Y(深度)	点位精度	
11	10	0.89	0.74	2.97	3.19	1/7210
4	17	3.75	1.05	3.81	5.45	1/4220

试验 3、4：摄影机型号 Canon EOS-1Ds Mark II，像幅 36x24 mm(4992x3328 像素)，像素大小 7.2 μ m。4 个摄站，每个摄站摄取 5 张影像，总共 20 张影像，焦距 85mm。

试验 3：摄影距离：236m，GSD 约为：2.0cm。试验精度如表 3 所示。

表 3

控制点数	检查点数	rms (厘米)				相对精度
		X	Z	Y(深度)	点位精度	
14	12	0.79	0.53	1.28	1.59	1/14843
4	22	1.13	0.84	2.64	2.99	1/7893

试验 4：摄影距离：280m，但是其摄影高度比试验 3 高 36m，GSD 约为：2.5cm。试验精度如表 4 所示。

表 4

控制点数	检查点数	rms (厘米)				相对精度
		X	Z	Y(深度)	点位精度	
13	14	0.83	0.80	2.42	2.68	1/10448
4	23	0.79	0.78	2.16	2.43	1/11523

试验 5：将实验 3 的数据用 Vrtuozo3.3 软件按非量测相机(直接线性变换)进行处理，试验精度如表 5 所示。

表 5

控制点数	检查点数	rms (厘米)				相对精度
		X	Z	Y(深度)	点位精度	
8	7	7.00	2.49	11.16	13.41	1/1760
9	7	8.20	3.16	12.66	15.41	1/1531
9	3	6.19	1.15	13.76	15.13	1/1560

5 结论

本文综合考虑数字摄影测量两个基本组成部分(即摄影测量的几何关系、摄影测量的自动化—对应性问题)，提出了基于多基线数字近景摄影测量(**Lensphoto**)，特别是旋转多基线交向摄影方式与对应的一整套数据处理方法；并且利用一般的、非量测相机所进行的试验结果，无论在所需控制点的数量、数据处理的自动化程度、所达到之量测精度等方面，均得到十分满意的结果。为利用非量测数码相机进行近景摄影测量和工程测量开辟了新的途径。并从有限的试验可得如下结论：

- (1) 对非量测相机进行近景摄影测量，仅需 f 初值，进行量测相机处理，经过自检校区域网平差，一般测量精度可达约 1/5000 以上。
 - (2) 测量精度与控制点数量有关，控制点多，则精度高；
 - (3) 测量精度与焦距 f 有关，焦距长，地面元 GSD 小，精度高。点位精度可达 1/10000 左右；
 - (4) 在允许的条件下，尽可能从高处倾斜向下摄影，精度较稳定(见试验 4)。
- 以上初步结论，还希望有更多的试验证明。

参考文献：

- [1] 王之卓, 1979, 摄影测量原理[M]
- [2] Okutomi M, Kanade T, 1993, A Multiple-Baseline Stereo., IEEE PAMI-15:353~363
- [3] M. Pollefeys, R. Koch and L. Van Gool. Self-Calibration and Metric Reconstruction in spite of Varying and Unknown Internal Camera Parameters., *International Journal of Computer Vision.*
- [4] 章毓晋, 2000, 图像理解与计算机视觉[M], 清华大学出版社

第一作者简介：

张祖勋，教授，博士生导师，中国工程院院士，欧亚科学院院士。现从事摄影测量与遥感等领域的研究。代表成果：数字化自动测图系统VirtuoZo；专著《数字摄影测量学》等。

E-mail: zhangzx@cae.cn