

多基线数字近景摄影测量技术在铁路勘测中的应用研究

张大春 陈以军

(中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055)

Research on Application of Mutil-baseline Digital Close-range Photogrammetry Technique in Railway Survry

Zhang Dachun Chen Yijun

摘要: 多基线数字近景摄影测量技术打破传统摄影测量单基线原理, 采用多基线巧妙地解决了交会角、匹配、精度这三者间在传统数字近景摄影测量中不可相容的矛盾, 同时将空中三角测量及平差首次引入了近景系统。本课题按照多基线数字近景摄影测量系统的基本作业流程, 研究其在太行山 2 号隧道出口进行 1: 500 工点地形图的测绘应用, 并对实验成果进行了数据比对和精度分析, 研究该技术在铁路勘测中的应用范围。

关键词: 多基线 近景 工点地形图

1 概述

模拟、解析和数字摄影测量都是基于人眼双目立体视觉的基本原理, 但这一原理在处理数字近景摄影测量过程中遇到无法克服的三方矛盾: 即交会角、匹配、精度之间的矛盾。交会角小, 容易匹配但精度低; 交会角大, 精度高但匹配差。这个关键矛盾无法解决也是数字近景摄影测量在国内外一直没有能真正能用于生产的原因。摄影测量专家张祖勋院士提出了以计算机视觉代替人眼双目(单基线)立体视觉的“多基线、多影像近景摄影测量”崭新原理, 采用以多搏少的策略, 把从空间一个点由两条光线交会的摄影测量基本法则变化为空间一个点由多条光线交会而成的全新概念, 彻底解决了数字近景发展的难题。从而研发出一套全新的数字近景摄影测量系统, 给数字近景摄影测量带来了新的应用前景。

多基线数字近景摄影测量系统(Lensphoto)采用普通单反数码相机获得多基线影像, 利用可靠的近景多片匹配算法获取大量同名点, 然后通过近景空中三角测量获取像片外方位元素和相机参数, 最终通过多光线前方交会及区域网自由网平差, 自动生成物方区域三维坐标点的点云, 从而建立高精度的数字表面模型, 进行各种比例尺的线划地形图测绘。本课题主要是研究将该系统应用于铁路勘测中的隧道口 1: 500 工点地形图测绘的可行性。

隧道口 1: 500 工点地形图测绘是新线定测阶段一项重要而又艰巨的勘测工作, 隧道口往往是一些地形地貌复杂、山势陡峭的地段。目前勘测手段一般是采用电子全站仪在设计的隧道口现场实地测绘地形图, 内业进行编绘整理。这种勘测方法得到地形图精度可靠, 但需要投入大量人力和时间, 测量工作也极其困难, 有些困难区域测量人员无法到达, 在山势陡峭的地段还有生命危险。如果能把多基线数字近景摄影测量系统应用于隧道口地形图的测绘, 就能既保证专业设计, 又能提高勘测工作效率和安全系数。

2 实验研究

多基线数字近景摄影测量系统的软硬件基本配置情况是：一台单反数码相机（1300 万像素以上）和一台笔记本电脑、**Lensphoto** 系统测量软件和测图工作站。**Lensphoto** 系统的工作流程图如下：

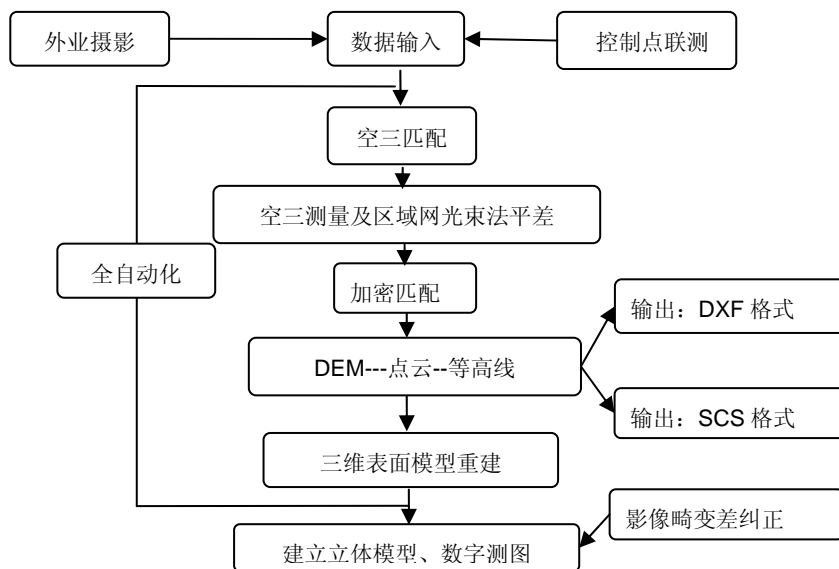


图 1: **Lensphoto** 系统的工作流程

2.1 外业摄影与控制点联测

这次实验摄影的区域地处河南山西两省交界的太行山脉，为该项目定测阶段的太行山 2 号隧道出口，红旗渠从附近穿越，有稀疏树林和杂草覆盖，但隧道口附近地表大部分能依稀看见，山坡陡峭，地形复杂，如下图所示。



图 2: 隧道出口的实景

这次实验选择的相机是 **CANON EOS 5D Mark II** 单反相机，最高分辨率:5616×3744, 图像像素是 2100 万, 感光元件:CMOS, 传感器尺寸:36×24mm。并配有如下表 1 所列的四个定焦镜头：

表 1

镜头名称	焦距	适用于拍摄距离
广角定焦镜头	28mm	2-100 米
标准定焦镜头	50mm	100-250 米
中远摄定焦镜头	85mm	250-450 米
中远摄定焦镜头	135mm	450-800 米

根据现场的地势情况，要选择合适的摄影方式和拍摄位置。摄影方式分平

行摄影和旋转摄影两种，测区地形为环形山体，起伏较大，有部分遮挡，适合采用旋转摄影方式进行。选择距山体约 600 米处的平坦公路作为拍摄地点，拍摄仰角小于 45 度；根据镜头选择标准，应该选择焦距 135mm 的定焦镜头较为理想。根据相机的视场角和被摄物体成像范围、精度要求、成图比例尺等设计拍摄计划，采取四个摄站、九条航带的旋转摄影方式。摄影基线长度为摄影距离的 1/10 左右，约 60 米。面对测区从左到右选择摄站，在每个摄站也按从左到右顺序拍摄像片 9 张，覆盖整个测区。相邻像片重叠度 60% 以上，并且保证所有摄站相同序号的影像几乎是同一个区域，达到 90% 以上的重叠度。旋转摄影的基本示意图如图 3 所示。

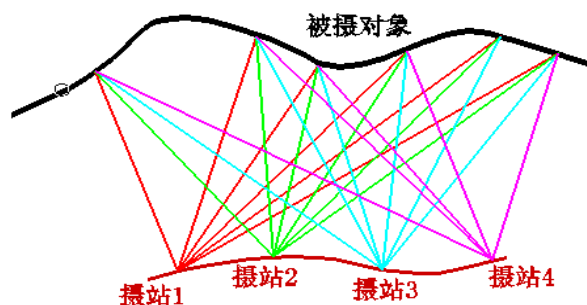


图3：旋转摄影的示意图

根据摄区的情况和研究的目的，在摄影之前在隧道口摄区范围内布设了 8 个标志牌控制点（至少四个角点要布设），标志牌规格是 60CM*60CM，现场布设点如图 4 所示。摄影完成后，就可以进行控制点联测，以附近定测阶段的勘测控制点为起算点，利用全站仪进行测量得到所布设控制点的大地坐标。



图4：现场布设的控制标牌

2.2 内业处理及精度分析

根据外业的摄影数据、检校后的相机文件和 控制点数据，在 Lensphoto 软件平台进行内业数据处理和成果输出。其中相机文件是利用外业控制点和软件中的相机检校模块计算所得。该软件自动化程度很高，人工干预很少。经过自动空三匹配、光束法无约束平差、控制点量测、整体约束平差等步骤完成模型绝对定向，得到影像的外方位元素。然后生成点云并编辑点云，进行影像畸变差纠正并建立立体模型。由于多基线摄影包含了很多重复的立体像对，在模型建立时不必选择建立所有的立体模型，对于旋转摄影一般只需每个航带内选取相邻摄站的两个影像建立立体模型即可。相邻摄站选取的原则是尽量保证摄影方向与被摄物正交，这样的模型立体效果更好。对于可能存在遮挡的山区地形，可以多建模型，减少摄影死角产生。

对约束平差后的报告文件进行精度分析，当采用 8 个外控点进行约束平差时，平面中误差： $rms_{xy}=0.024m$ ，高程中误差： $rms_z=0.008m$ 。当采用四个角点进行约束平差时，其余点做检查点，平差结果：平面中误差： $rms_{xy}=0.018m$ ，高程中误差： $rms_z=0.009m$ 。可见只用 4 个角点作为控制点的情况，平面精度都非常高。完全满足国家 1:500 地形图空三加密精度要求。

2.3 立体测图与精度分析

利用模型定向成果和纠正后相片进行立体测图，测图平台是与 Lensphoto 软件的测图模块接口的 MicroStation v8 数字采集系统。在这个实验区域外业队同时进行了实地测绘 1:500 图，并采集了作为检查用的大量地形散列点。

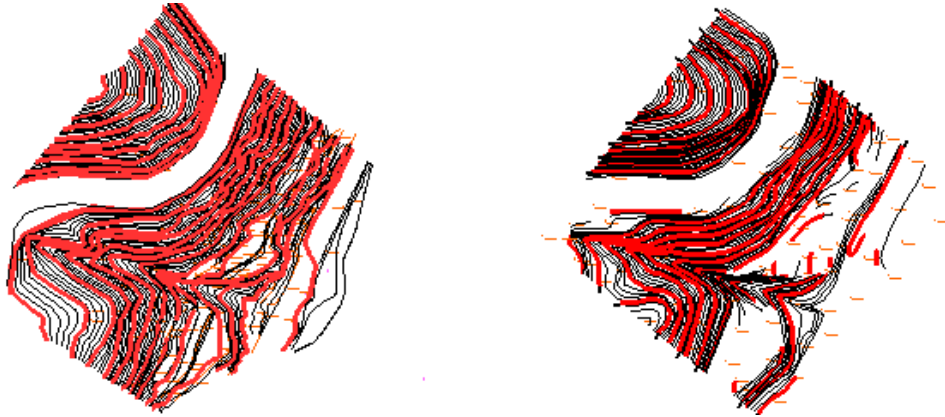


图 5: Lensphoto 系统与实地测绘的 1:500 隧道口工点图

通过 Lensphoto 系统立体采集得到隧道口 1:500 工点地形图(图 5 中左图)，图 5 中右图是实地测绘的 1:500 工点地形图。利用实地测绘的工点图以及散列点对利用 Lensphoto 系统得到的工点地形图进行了地形地貌比对和精度分析。实地测得的散列点在立体模型下都非常准确切到地面。经过对统计数据进行分析：注记点高程中误差为 0.13 米，等高线高程中误差为 0.28 米。都满足国家 1:500 测图规范要求（山地注记点和等高线的高程中误差分别为 0.5 米和 0.7 米）。

3 结论

利用 Lensphoto 系统在困难山区隧道口进行的 1:500 工点地形图测绘实验研究表明，该系统利用简单的拍摄方式、快速的成像过程、少数的控制点测量、高自动化的内业处理过程就能得到彩色影像的立体模型，制作出高精度的大比例尺地形图，还可以根据需要自动生成 DEM 和 DOM。制作的 1:500 地形图精度完全满足国家 1:500 地形图数字测图规范技术要求，该系统在铁路勘测隧道口进行 1:500 工点地形图测绘是完全可行的。经过与传统方法对比，该系统具有工作效率高，精度可靠，数据全面直观，安全系数高等优势，而且在一定条件下利用该系统可以进行横断面的测绘工作。在植被树木覆盖稀疏、陡崖峭壁、外业人员无法到达等困难地区，利用该系统进行作业有很强的优势。当然该系统在实际使用中也有不足之处，虽然多基线摄影可以利用不同角度的立体模型解决一些遮挡和不连续地物地貌问题，但在地形高程起伏过大和地表遮挡严重时，特别是在摄影方向与地表平行区域就会造成匹配不佳及测图时无法切准地面，甚至会形成测图盲区。除了测绘大比例尺工点图外，还可以利用该系统极高点位精度和匹配生成密集点云的特点，在桥梁和建筑物的变形监测、建立铁路重要建筑物三维模型等方面研究其应用的空间。

参考文献

- [1]张祖勋. 数字摄影测量与计算机视觉 [J] . 武汉大学学报 (信息科学版), 2004, 29(12): 1035-1039
- [2]柯涛, 张祖勋, 张剑清. 旋转多基线数字近景摄影测量[J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2009, 34 (1) : 44-47
- [3]张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1997
- [4]GB/T12979-2008 近景摄影测量规范[S]

第一作者简介: 张大春 (1969—), 男, 1993年毕业于武汉测绘科技大学摄影测量与遥感专业, 高级工程师。