

基于 DEM 及模拟平差的航空摄影航线优化设计方法

张永军 邓继伟 熊金鑫 张宏雅

(武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要 采用了模拟数据解算及变基线敷设航线的方法, 自动解算了地形、相机参数及飞行器参数最优重叠度, 设计出最适合该测区的航线。

关键词 航空摄影; 航线设计; 优化; DEM; 重叠度

航线设计主要任务是根据航摄任务书的内容和要求, 完成分区的航线、像主点的敷设, 并将设计的成果提交飞行单位, 由飞行单位完成航摄任务^[1]。由于高程的起伏会影响到相邻航空影像的航向、旁向重叠度^[2], 故若不考虑地形起伏对重叠度的影响, 可能会产生航摄漏洞^[3,4]。基于 DEM 及模拟平差的航空摄影航线优化设计方法, 在已知测区的 DEM 或地形、相机参数和飞行器参数情况下, 自动地找出最适合该测区的航向、旁向重叠度, 并在该重叠度情况下, 根据地形起伏变基线设计出最优航线。

1 给定重叠度下的变基线航线设计

航线设计先选择好摄影比例尺与划分好航摄分区, 在遵循地形图航空摄影规范的基础上, 采用逐摄影中心调整基线的方法, 确定最佳的曝光点位置, 具体设计方法如下:

根据测区的 DEM 确定航线的位置。即确定航线的起点和终点, 起点和终点满足航向超出分区不少于一条基线, 旁向超出分区不少于像幅的 50%。

航线上摄影中心的确定。这是航线设计的关键所在。

1) 根据 DEM 计算摄影分区平均基准面的高程^[3,5]:

$$h_{\text{基}} = (h_{\text{高平均}} + h_{\text{低平均}}) / 2$$

式中, $h_{\text{基}}$ 为平均基准面的高度; $h_{\text{高平均}}$ 为分区内具有代表性的高点的平均高程; $h_{\text{低平均}}$ 为分区内具有代表性的低点的平均高程。

2) 根据测图比例尺的要求, 选择合适的航摄比例尺, 从而确定飞机的摄影航高^[3,5]:

$$H = mf$$

$$H_0 = H + h_{\text{基}}$$

式中, H 为摄影时飞机相对于基准面的航高; H_0 为摄影时飞

机的海拔高度; m 为摄影比例尺分母; f 为航摄影主距。

3) 确定每条航带的第一个摄影中心的位置: 第一条航带的第一个摄影中心就是航线的起点; 从第二条航带开始, 每条航带的第一个摄影中心的确定方法: 如果该影像与相邻上一条航带的影像在设计重叠度的旁向重叠区域高程低于平均基准面高程, 则该摄影中心与上一条航带第一个摄影中心间隔为设计重叠度在平均基准面上计算出来的旁向基线长(由于在分区时已经考虑到地形高差的影响, 此时影像不仅满足重叠度要求而且分辨率也肯定能达到规定的要求, 因此用设计的基线长即可, 无需调整)。如果旁向重叠区域高程在平均基准面高程之上, 则需调整基线长: 实际地面点的旁向重叠度为设计旁向重叠度 p_y , 从而计算出在平均基准面上的新旁向重叠度 p_y , 以及其对应的旁向基线长 D_y , 进而即可算出该摄影中心的空间位置:

$$p_y = p_{y0} + (1 - p_{y0}) \$ h / H$$

$$D_y = (1 - p_y) l_y m$$

式中, l_y 为航摄相片旁向的像幅尺寸; h 为相对于摄影基准面的高差。

4) 确定每条航带上第二个及以后每个摄影中心的位置: 在同条航带上, 如果航向相邻两张影像在设计重叠度的航向重叠区域高程低于平均基准面高程, 则该摄影中心与上一摄影中心间隔为设计重叠度在平均基准面上计算出来的基线长。航向重叠区域高程在平均高程之上, 则需调整基线长: 实际地面点的航向重叠度为设计航向重叠度 q_x , 从而计算出在平均基准面上的新航向重叠度 q_x 对应的航向基线长 B_x , 进而即可算出该曝光中心的空间位置:

$$q_x = q_{x0} + (1 - q_{x0}) \$ h / H$$

$$B_x = (1 - q_x) l_x m$$

DESIGN AND APPLICATION OF NEW WIDE FREQUENCY BAND VERTICAL PENDULUM TILTMETER

MA Wugang HU Guoqing TANG Yechun WU Yanxia

(Institute of Seismology, CEA, 40 Hongshance Road, Wuhan 430071, China)

ABSTRACT We introduce the design and applications of a new wide frequency band vertical pendulum tiltmeter. And the questions about the design and applications are analyzed.

KEY WORDS VP; wide frequency band vertical pendulum tiltmeter; earth tile; capacitance sensor

式中, l_1 为航摄像片航向的像幅尺寸。

根据测区地形起伏, 在航带间以第一张像片为基准调整整条航带与相邻航带的间隔, 航带内调整相邻两曝光点之间的基线长, 从而使得相邻两张像片覆盖的实际地面的重叠度满足设计重叠度的要求, 减小了地面起伏对重叠度的影响。整个测区的每个曝光点的空间位置都被计算出来, 即已完成给定重叠度情况下的航线设计。

2 基于模拟平差的最优重叠度设计

在实际生产中, 重叠度的大小直接关系到航飞时航带数和航片数的多少, 影响到是否会产生航线漏洞、是否能达到规定精度范围以及相机的最大连拍速度能否与实际航拍吻合。采用基于模拟平差的方法进行优化设计, 通过计算机解算, 自动选择出最优的航向、旁向重叠度。

1) 航向、旁向重叠度范围的选择。在航线方向至少要有三张相邻像片存在公共区域, 以便立体模型的连接和选择公共的定向点。旁向重叠度只需保证相邻航线像片之间的正常连接。规定航向重叠度范围在 90% ~ 60% 之间, 间隔为 5%, 共七种航向重叠情况; 旁向重叠度范围在 80% ~ 30% 之间, 间隔为 5%, 共 11 种旁向重叠情况, 因此, 共有 77 种重叠度的组合情况。

2) 将 77 种重叠度情况, 分别作为给定重叠度, 进行航线设计。

3) 模拟出每种重叠度情况下的外方位元素: 将每个摄影中心的位置作为该像片外方位元素的三个线元素, 将三个角元素分别模拟为以某一角度为中误差的高斯随机数值。根据地形图航空摄影测量规范, 将每个线元素及角元素都加一定限差的随机误差, 从而合理地模拟出每个摄影中心的空间位置及姿态。

4) 根据试验所用的相机参数文件, 模拟出摄影机的内方位元素。

5) 根据 DEM、相机参数及航线中每张像片的外方位元素, 可模拟出每张像片的像点坐标。按航摄内业规范将像点坐标加上一定限差的随机误差。

6) 对每种重叠度情况, 根据每张像片内、外方位元素及像点坐标, 使用多片前方交会的平差方法^[6], 计算出各同名像点对应物方坐标及中误差, 为后期的精度分析做准备。

7) 对生成的结果进行精度分析, 从而找出最优的航向旁向重叠度: 计算出每种重叠度情况下的物方点平均点位中误差及标准差(包括平面和高程), 从而与对应比例尺航空摄影测量内外业规范进行比较与分析。检查每种重叠度组合情况下的航线设计是否会出现航线漏洞, 若出现, 则剔除这种重叠度情况。对剩余重叠度情况, 计算出每种情况下所有相邻曝光点的曝光间隔, 若存在曝光间隔小于相机规定的最小曝光间隔, 则剔除该重叠度情况。比较每种重叠度情况下物方点中误差和对应比例尺航空摄影测量规范的中误差限差, 若平面或高程中误差其中之一大于对应限差, 则剔除这种重叠度组合情况。剩余的重叠度情况都是满足规范的, 选出最优的, 先按旁向重叠度再按航向重叠度从小到大排序, 最小的那个重叠度组合即是最优组合。

如此不仅满足地形图航空摄影的内外业的精度要求、相机及飞行条件, 而且可以解算出最佳的航摄重叠度。

3 试验与结果分析

为了更加直观地理解基于 DEM 及模拟平差的航线设计方法, 分别就两个不同地形情况的测区进行了对比试验, 试验一中的八达岭测区为丘陵地形, 试验二中的赣北测区为山地地形。

试验一。是丘陵地形的八达岭地区, 该作业区实际飞行时采用的是: 相机焦距为 50 mm, 航向像幅为 108 mm, 旁向像幅为 72 mm, 像素大小为 9 Lm, 相对航高为 555 m, 满足航向重叠度为 80%、旁向重叠度为 60% 的重叠度要求, 共飞行了六条航线。优化设计方案中, 像点坐标上加上的残差是以 2 Lm 为中误差的高斯随机误差, 外方位元素的线元素和角元素加上残差分别是以 0.015 m 和 0.000 1 rad 为中误差的高斯随机误差。按 1B 1 000 比例尺地形图国家规范要求, 分析点位的平面与高程精度, 实际拍摄与优化航线设计的航向重叠度、旁向重叠度、平面中误差、高程中误差、测区的航线数、所有航线上总的像片数分别为: 80%、60%、0.175、0.201、6、176、60%、30%、0.207、0.270、5、75。

根据 1B 1 000 地形图国家规范, 丘陵地形测区图上点位平面位置限差为 0.5 m, 高程限差为 0.4 m。当航线设计试验中模拟的像点误差、外方位元素误差与实际飞行数据基本一致时, 在精度都能达到要求的基础上, 采用优化设计的方法大幅减小了航向、旁向重叠度, 从而减少了一条航带和 101 张航片。

试验二。是山地地形的赣北地区, 该作业区实际飞行采用的是: 相机焦距为 47 mm, 航向像幅为 70.72 mm, 旁向像幅为 106.08 mm, 像素大小为 6.8 Lm, 相对航高为 3 150 m, 满足航线重叠度为 60%、旁向重叠度为 30% 的重叠度要求, 共飞了 15 条航线。优化设计方案中, 像点坐标上加上的残差是以 2 Lm 为中误差的高斯随机误差, 外方位元素的线元素和角元素加上残差分别是以 0.015 m 和 0.000 1 rad 为中误差的高斯随机误差。按 1B 10 000 比例尺地形图国家规范要求, 分析点位的平面与高程精度。实际拍摄与优化航线设计的航向重叠度、旁向重叠度、平面中误差、高程中误差、测区的航线数、所有航线上总的像片数分别为: 68.8%、30%、1.559、0.272、15、694、60%、30%、1.571、0.360、15、668。

在实际拍摄过程中, 采用的是等基线航拍的方式。实际航拍设计的航向重叠度为 60%, 由于赣北测区地面起伏很大, 为了考虑地形起伏对重叠度的影响, 实际拍摄的航向重叠度达到 68.8% 才满足要求。根据 1B 10 000 比例尺地形图国家规范, 山地测区图上点位平面限差 5 m, 高程限差 2.0 m。在精度都能达到要求的基础上, 采用优化设计方法计算出了最优的重叠度, 用最小的重叠度组合满足摄影测量的需要。虽然只减少了 26 张像片, 但从侧面更体现出这种设计方法的合理性与对实际航拍的指导意义。

4 结束语

通过试验对比分析可知, 在成功稳定的曝光基础上, 航

航天器交会对接远程导引段的精密轨道确定

李晓杰¹ 黄金² 潘玲³

(1 信息工程大学测绘学院, 郑州市陇海中路 66 号, 450052; 2. 61768 部队, 三亚市 2019 信箱, 572011; 3. 78155 部队, 成都市蜀兴西街 16 号, 610036)

摘要 探讨了 CEI 技术在飞船交会对接远程导引段的高精度定位与监控的能力, 采用了差分相位延迟和相位延迟率为观测量进行轨道解算, 仿真结果表明可满足远程导引段的精度指标。

关键词 中短基线相位干涉测量; 交会; 对接; 整周模糊度; 精密轨道确定

运输飞船与目标飞行器交会对接、建立空间实验室将是我国航天领域的下一阶段目标。交会对接的远距离导引及近距离第一次导引的实时高精度测定轨就是急需解决的问题之一^[1]。在远距离导引阶段, 其精度要求是: 对距离的精度优于百米, 速度精度为 1~2 m/s。中短基线相位干涉测量(CEI)是一种基于飞行器下行信号的被动测角跟踪方法, 具有基线短, 布网灵活, 实时性好等特点, 非常适用于对同步轨道及其以内地球卫星的现有测控手段进行增强和补充^[2]。

1 观测模型

1) CEI 差分相位干涉测量。相位干涉测量得到同一个

信号波前到达基线两端天线的相对相位。选择合适的两条长度为数十至数百公里的正交基线建立三个测站, 每条基线上, 如果在某些时段内能同时观测到目标附近的一个轨道精确已知的参考源, 差分相位干涉测量的原理如图 1 所示, 则有差分相位干涉观测方程^[3]:

$$\begin{aligned} \Delta\phi + \Delta N = & |R_A(t_1) - r(t_0)| - |R_B(t_2) - r(t_0)| - \\ & \left(|R_A(t_1) - r_0(t_0)| - |R_B(t_2) - r_0(t_0)| \right) + \\ & \Delta Q_{atm} + \Delta Q_{ins} + d + \epsilon \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $\Delta\phi$ 和 ΔN 分别为相位观测量之差和整周模糊度之差; R_A, R_B, r 和 r_0 分别为测站 1、测站 2、目标星和参考星在天球坐标系中的位置向量; ΔQ_{atm} 为大气传播延迟的残余误差;

项目来源: 国家自然科学基金资助项目(40974019)。

线优化设计方法可以自动解算出最适合该作业区的航向、旁向重叠度, 进而可以设计出这种重叠度下的最优航线。通过变基线摄影测量的方式, 保证地面实际重叠度与设计重叠度相一致, 并能合理准确地计算出每张像片的摄影中心位置, 为外业实拍提供指导; 可以大幅减少航带数与立体像对数, 缩短处理周期。

参考文献

- [1] 谭成国, 范业稳, 司顺奇. 基于 DEM 的地理坐标系下航空摄影技术设计[J]. 测绘科学, 2008, 33(2): 84287
- [2] 段福洲, 官辉力, 朱琳. 变基线数字航空摄影航线设计与飞行控制) 基于 DEM 的设计方法[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(6): 1220

- [3] 张剑清, 潘励, 王树根. 摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003
- [4] 乔瑞亭, 孙和利, 李欣. 摄影与空中摄影学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T19294-2003 航空摄影技术设计规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003
- [6] 张永军, 张勇. 大重叠度影像的相对定向与前方交会精度分析[J]. 武汉大学学报# 信息科学版, 2005, 30(2): 126130

收稿日期: 201020214。

第一作者简介: 张永军, 教授, 博士生导师, 现主要研究数字摄影测量与遥感、计算机视觉。

E-mail: zhangyj@whu.edu.cn

AERIAL PHOTOGRAPHIC ROUTE OPTIMIZATION BASED ON DEM AND SIMULATED BUNDLE ADJUSTMENT

ZHANG Yongjun DENG Jiwei XIONG Jinxin ZHANG Hongya

(School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

ABSTRACT A route design method based on DEM and simulated bundle adjustment is developed. Simulated data resolving and variational baseline design are applied to achieve the automatically baseline design course after the optimal overlap resolved according to the terrain, camera parameter and aircraft parameter.

KEY WORDS aerial photograph; route planning; optimization; DEM; overlap