

海岸带水边线等高条件控制下的航空影像外部定向

申家双^{1,2}, 郭海涛^{1,2}, 宋瑞丽¹, 李传广¹

(1. 解放军信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052; 2. 海军海洋测绘研究所, 天津 300061)

摘要: 提出了一种基于海岸带水边线等高条件的航空影像外部定向方法, 该方法将局部区域水边线上各点的高程值相等作为控制条件, 在立体像对的外部定向中, 引入这些等高点, 和其他平高控制点一起参加平差, 计算立体像对的绝对方位元素。实验证明, 该方法能够有效地提高航空影像的外部定向精度, 尤其是高程的定位精度, 提高了海岸带地形的测图精度。

关键词: 海岸带; 水边线; 等高条件; 航空影像; 外部定向

中图分类号: P231.2

文献标识码: A

文章编号: 1671-3044(2011)04-0022-04

1 引言

海岸带是海洋与陆地互相作用的地带, 是海岸线向陆地、海洋扩展一定宽度的带状区域, 世界上半数以上的人口和大中城市集中于海岸带区域^[1]。因此获取高精度的海岸带地理信息对于海岸带区域地质勘探、港湾建筑、水产养殖、围海造田、敷设管道及资源开发等具有重要意义。在军事上, 精确的海岸带地形图用于登陆抗登陆作战训练中研究地形, 计划和实施海岸军事工程及其他军事活动^[2]。

海岸带地形图测绘的内容包括陆部和海部的地形要素, 陆海部是以海岸线作为高程(深度)基准的分界线^[1]。海岸带地形测量传统上主要有两种方法: 一是海洋测量的技术方法, 包括海岸地形测量、滩涂和水深测量。另一种是陆地地形测量, 一般采用航空摄影测量技术方法, 海岸线向海一侧则采用海图资料编辑^[2]。目前利用常规摄影测量方式获取高精度海岸带地理信息有难度, 特别是高程精度很难满足海岸带测图精度要求, 影响了摄影测量在海岸带测图中的应用。影像测图精度主要有两方面的原因: 一是遥感影像中海部、岛礁、滩涂及许多边远地区无法获取基本的控制数据, 影响了海岸带区域目标的定位精度, 特别是直接影响上述无控制区域目标的高程定位精度。二是海岸带区域的遥感影像许多大面积落水, 控制点在影像上不能均匀分布, 只能局部控制, 造成遥感影像外部定向精度较低, 影响了海岸带地理信息的获取精度。在这样的背景下研究基于海岸带水边线等高条件控制下的航空影像外部定向方法, 实现海岸带遥感影像的高精度定位,

对于有效提高海岸线、滩涂等要素的高程定位精度等具有重要的现实意义。

目前, 解决海岸带无控制区域定位问题的有效办法是 GPS 辅助空中三角测量^[3-5]或 POS 系统直接对地定位^[6], 虽然目前对地直接定位的精度已经比较高, 基本可以满足中、小比例尺测图的要求, 但要满足大比例尺测图还比较困难, 另外这类方法明显的缺点是受美国 GPS 政策的限制, 不利于在军方大规模推广使用。

2 海岸带水边线等高条件控制下的航空影像外部定向原理

一般情况下, 由于构成立体像对的两张像片摄影时间间隔较短, 可以假定两张像片对应的海岸带区域水边线没有发生明显变化, 在左右影像上容易找到水涯(边)线上的同名像点; 另外, 可以认为小范围区域相邻像对水涯边线上各点的高程值相等。这样, 就可以在立体像对的外部定向中, 引入这些水边线上的点作为等高控制点, 与平高控制点一起参加平差, 计算绝对方位元素, 进而提高海岸带目标高程的定位精度。

2.1 平高控制点参与绝对定向的误差方程^[7-10]

绝对定向的数学基础空间相似变换公式为:

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中, λ 为比例系数; X_T, Y_T, Z_T 为地面点在地面坐标系下的坐标; X, Y, Z 为模型点在模型坐标系下的坐标; X_0, Y_0, Z_0 为模型坐标系原点在坐标系中

的坐标; Φ 、 Ω 、 K 为模型坐标系向地面坐标系转换的角度; a_i 、 b_i 、 c_i 为角元素 Φ 、 Ω 、 K 的函数。

将公式(1)进行线性化,得到平高控制点参与的绝对定向误差方程为:

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_{tr} & 0 & -Z_{tr} & -Y_{tr} \\ 0 & 1 & 0 & Y_{tr} & -Z_{tr} & 0 & X_{tr} \\ 0 & 0 & 1 & Z_{tr} & Y_{tr} & X_{tr} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \\ d\lambda' \\ d\Omega \\ d\Phi \\ dK \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \delta X \\ \delta Y \\ \delta Z \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中,

$$\begin{pmatrix} \delta X \\ \delta Y \\ \delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{pmatrix} - \lambda^{(0)} \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix}^{(0)} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix}^{(0)}$$

$$d\lambda' = d\lambda / \lambda^0$$

$$\begin{pmatrix} X_{tr} \\ Y_{tr} \\ Z_{tr} \end{pmatrix} = \lambda^{(0)} \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix}^{(0)} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

X_0^0 、 Y_0^0 、 Z_0^0 、 Φ^0 、 Ω^0 、 K^0 、 λ^0 是立体模型绝对方位元素的近似值。

2.2 等高点参与绝对定向的误差方程

局部区域水边线上的多个点作为等高点(高程值都相等的点),等高点的模型坐标利用空间前方交会求得,其所对应的地面点坐标是未知的,故对于等高点中单一的一个点来说,其对求解绝对方位元素是没有贡献的。但对于同一组等高点,其地面坐标高程值(设均为 Z_{Td})都相等,故当引入 n ($n \geq 2$)个等高点时,可以只列出 n 个与地面坐标高程值有关的方程式,而只增加一个未知数 Z_{Td} 。

对于一个等高点,将公式(1)的第三式进行线性化($Z_T = Z_{Td}$ 也作为未知数),可得到由等高点参与绝对定向的误差方程为:

$$v_{zd} = (0 \ 0 \ 1 \ Z_{tr} \ Y_{tr} \ X_{tr} \ 0 \ -1) \begin{pmatrix} dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \\ d\lambda' \\ d\Omega \\ d\Phi \\ dK \\ dZ_{Td} \end{pmatrix} - \Delta Z \quad (3)$$

式中, $\Delta Z = Z_T - \lambda(c_1 X + c_2 Y + c_3 Z) - Z_0$,用绝对方位元

素的近似值和待求等高点高程近似值计算的近似值。当有 n 个等高点时,则可按照公式(3)列出 n 个误差方程式而只增加一个未知数。

2.3 平高点、等高点共同参与绝对定向的误差方程

依据上述分析,则设有 m 个平高点, n 个等高点共同参与绝对定向的误差方程组为:

$$V = A\delta X + l \quad (4)$$

式中,

$$V = \begin{pmatrix} v_{x1} \\ v_{y1} \\ v_{z1} \\ \dots \\ v_{xm} \\ v_{ym} \\ v_{zm} \\ v_{zd1} \\ \dots \\ v_{zdn} \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_{tr1} & 0 & -Z_{tr1} & -Y_{tr1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_{tr1} & -Z_{tr1} & 0 & X_{tr1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_{tr1} & Y_{tr1} & X_{tr1} & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & X_{trm} & 0 & -Z_{trm} & -Y_{trm} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_{trm} & -Z_{trm} & 0 & X_{trm} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_{trm} & Y_{trm} & X_{trm} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_{trd1} & Y_{trd1} & X_{trd1} & 0 & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 1 & Z_{trdn} & Y_{trdn} & X_{trdn} & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\delta X = \begin{pmatrix} dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \\ d\lambda' \\ d\Omega \\ d\Phi \\ dK \\ dZ_{Td} \end{pmatrix} \quad l = \begin{pmatrix} \delta X_{p1} \\ \delta Y_{p1} \\ \delta Z_{p1} \\ \dots \\ \delta X_{pm} \\ \delta Y_{pm} \\ \delta Z_{pm} \\ \Delta Z_1 \\ \dots \\ \Delta Z_n \end{pmatrix}$$

进行最小二乘平差时,当控制点分布比较均匀,对海部和陆部控制都比较良好时,水边线等高控制点的权可以赋值较平高控制点小,或两者相等。当控制点比较集中,对整幅图的控制较差时,水边线等高控制点可以赋予较平高控制点稍大的权值。

2.3 海岸带水边线等高条件控制下的航空影像外部定向计算

计算主要过程如下。

(1)读入已知数据。包括各个控制点的地面坐标(X_T 、 Y_T 、 Z_T)及相应模型点(包括等高点)的摄测坐标(X 、 Y 、 Z)。

(2)确定未知参数的初值。在近似垂直摄影的情况下,可取 $\Omega^0 = \Phi^0 = K^0 = 0$, λ_0 可由两个已知点间的实地距离和其相应模型上距离之比确定,模型坐标系原点的地面坐标近似值取任意平高控制点的坐标,等高点的高程近似值取平高点的平均高程。

(3)将控制点坐标和未知参数的近似值代入公式(4),列出误差方程。

(4)根据误差方程,利用最小二乘法,求解各个参数的改正数。

(5)计算改正后的各个参数的值。

(6)重复(3)、(4)、(5),直到未知参数的改正数小于限差时为止。

为了简化法方程的解算,也可以把摄测坐标系的原点和地面坐标系的原点都先移到用于绝对定向的 n 个控制点的几何重心上再去解算参数的值。

在选取水边线等高控制点时,这些点应选取容易判绘(即可以确定其是水边线,而不是陆地上的点)的点,且最好选取水边坡度比较平缓的水边线。

3 试验与结论

为验证外部定向方法的正确性、有效性,本文利用海岛地区的海岸带高分辨率航空立体像对进行了实验,影像航摄比例尺为1:15 000,像元大小为0.021mm,立体像对的缩略图见图1,并采用下述三种控制方案进行实验分析。

方案1:利用4个平高控制点(见图1中的三角形和圆形标记点)进行遥感影像立体像对绝对定向实验与精度分析;

方案2:利用3个平高控制点(见图1中的三角形标记点)进行遥感影像立体像对绝对定向实验与精度分析;

方案3:利用3个平高控制点(见图1中的三角形标记点),并引入水边线等高条件(选取水边线等高控制点5个),进行遥感影像立体像对绝对定向实验与精度分析。

图1中标注“ Δ ”为3个地面控制点(平高控制点),标注“O”为检查点。

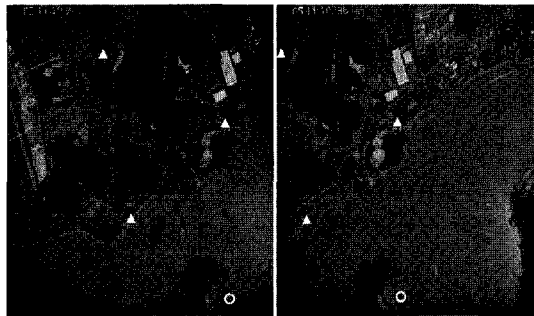


图1 海岛高分辨率航空立体像对缩图

方案1选取这4个平高控制点参与立体模型绝对定向,计算绝对方位元素,进而计算出检查点的地面三维坐标,表1列出了该方案计算出的检查点的地面三维坐标残差。

方案2选取3个平高控制点参与立体模型绝对定向,计算绝对方位元素,进而计算出检查点地面三维坐标,表1中列出了检查点上的地面三维坐标残差。

方案3选取3个平高控制点和水边线上5个点(等高点,分布较均匀)参与立体模型绝对定向,计算绝对方位元素,进而计算出检查点地面三维坐标,表1中列出了检查点上的地面三维坐标残差。

表1 三种方案外部定向实验结果

控制方案	方案说明	检查点地面坐标残差(m)		
		ΔX	ΔY	ΔZ
方案1	4个平高点	0.99	2.12	0.65
方案2	3个平高点	2.96	3.29	2.10
方案3	3个平高点			
+水边线等高条件		3.33	2.95	0.76

由以上实验结果可以看出,当控制点数量充足,精度又较高时,方案1是较理想的布点方案,定位精度高。但当控制点的数量和分布满足不了要求时,利用方案2进行布点控制,实验证明精度较低,特别是高程精度不能满足大比例尺测图的要求。这时如果引入水边线等高条件,不需要增加外业控制点,利用方案3就可以大幅度提高高程定位精度。

4 结束语

利用光学仪器(经纬仪、全站仪等)采用交会常规方法测绘海岸带地形要素,虽技术方法成熟,但劳动强度大、效率低、难以快速实施大面积全覆盖测量,无法快速反映海岸地形的动态变化^[11]。利用航空摄影方法依海岸线方向摄取海岸带立体影像测制海岸带地形图,可充分发挥遥感技术快速、高效、大面积测绘等优势,特别适应于海岸带地形变化迅速、图件更新快速的特点^[12]。通过实验表明,引入水边线等高条件的遥感影像立体像对绝对定向可以提高外部定向精度,特别是提高遥感影像中海部、岛礁、滩涂及边远地区的高程定位精度,这对于海岸带和岛礁地理信息获取、空间目标定位等具有重要意义。

参考文献:

- [1] 申家双,翟京生,翟国君,等.海岸带地形图及其测量方法研究[J].测绘通报,2007(8):29-32.
- [2] 韩凌云.海岸带地形测绘技术的改进[J].海洋测绘,2002(2):42-44.
- [3] Ackermann F. Practical Experience with GPS supported Aerial Triangulation[J]. Photogrammetric Record,1994,

- 16(84):861-874.
- [4] 袁修孝. GPS 辅助空中三角测量原理及应用[M]. 北京:测绘出版社,2001.
- [5] Cannon M E, Sun H. Experimental Assessment of a Non-dedicate GPS Receiver System for Airborne Attitude Determination[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1996, 51(2):99-108.
- [6] Cramer M, Stallmann D, Haala N. Direct Georeferencing Using GPS/Inertial Exterior Orientations for Photogrammetric Applications[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 33(B3): 198-205.
- [7] 张保明, 龚志辉, 郭海涛. 摄影测量学[M]. 北京:测绘出版社, 2008.
- [8] 张永生, 王仁礼. 遥感动态监测[M]. 北京:解放军出版社, 1999.
- [9] 张继贤, 乔平林. 水资源环境遥感监测与评价[M]. 北京:测绘出版社, 2005.
- [10] 钱乐祥. 遥感数字影像处理与地理特征提取[M]. 北京:科学出版社, 2005.
- [11] 申家双, 潘时祥. 沿岸水深测量技术方法的探讨[J]. 海洋测绘, 2002(6):60-65.
- [12] 申家双, 潘时祥. 海岸地形航空摄影测量技术方案的确定[J]. 海洋测绘, 2002(3):29-34.

Exterior Orientation for Aerial Imagery Controlled by Equal-elevation Condition of Line of Water Area in Coastal Zone

SHEN Jia-shuang^{1,2}, GUO Hai-tao^{1,2}, SONG Rui-li¹, LI Chuan-guang¹

(1. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou, Henan, 450052;
2. Naval Institute of Hydrographic Surveying and Charting, Tianjin, 300061)

Abstract: In this paper, an exterior orientation method of aerial imagery which was based on the equal-altitude condition of the coastline was proposed. This method regarded that points on the line of water area of a local area were equal in elevation as a control condition, and in exterior orientation of the stereo images, introduced these equal-elevation points into the adjustment, calculating with elements of exterior orientation of the stereo images. The experimental results indicated that the method improved the precision of exterior orientation of aerial imagery, especially the precision of elevation, and improved the precision of the coastal topographic map.

Key words: coastal zone; waterline; equal-elevation condition; aerial imagery; exterior orientation

(上接第16页)

Research of Common Mode About Hydrographic Water Level Correction

HUANG Chen-hu¹, LU Xiu-ping¹, SHEN Jia-shuang¹, LIU Min², MA Fu-cheng¹,
OUYANG Yong-zhong¹, HUANG Mo-tao¹

(1. Naval Institute of Hydrographic Surveying and Charting, Tianjin, 300061;
2. Navigation Guarantee Department of Naval Headquarters, Tianjin, 300042)

Abstract: In order to meet the actual needs of the development of hydrography, based on the single-beam bathymetric partition correction point by point and hour by hour, a virtual single tide gauge data correction model is presented for the single, multibeam sounding system. Based on the time-difference method, the least squares fitting mathematical models and the numerical prediction of ocean tides model, the correction software of the coastal and offshore water depth measurement is developed. The mathematical model of the software is scientific, and its results are intuitive and reliable, suitable for the correction of water hydrographic survey.

Key words: hydrographic; water level correction; multibeam sounding system; the time-difference method; least squares fitting method; tidal numerical prediction