

文章编号: 1007-4619 (2000) 03-0202-06

无 DEM 支持的遥感正射影像制作

张继贤, 林宗坚, 张永红, 孟文莉

(中国测绘科学研究院, 北京 100039)

摘要: 提出并发展了一套无需 DEM 支持的遥感正射影像制作方法, 包括平坦地区多项式选点整体纠正法、中等起伏地区图形图像局部自适应迭代配准纠正法以及大倾斜影像或高山起伏地区基于偏差量算的逐点纠正法。该方法仅需地形图扫描纠正形成的数字栅格地形图(DRG)的支持, 已通过大量的试验验证并已形成可供实用的软件系统。

关键词: 遥感影像; 正射影像; 纠正; 融合; 配准

中图分类号: TP751.1/P23 **文献标识码:** A

1 引言

随着航空航天遥感技术的发展, 数字正射影像已成为国家基础地理信息的重要框架数据之一。比起黑白航空正射影像, 高分辨率卫星遥感正射影像由于数据动态获取快、成本低、现势性强、真实直观、兼具色彩与纹理二重特性等优势, 已成为一种新的影像图产品(数字正射影像图 DOM)广泛应用于地图制图与更新、资源环境调查与动态监测、防灾减灾与公共设施建设规划等各个领域。类似于航空影像纠正, 高分辨率卫星正射影像(如 SPOT、IRS 等全色影像)制作同样存在投影差(或地形位移)的改正问题, 需要利用相应区域的 DEM 数据进行逐点微分纠正。然而 DEM 数据制作难度大, 成本高, 是制约遥感正射影像制作的瓶颈问题。为解决 DEM 数据获取的难题, 针对卫星遥感影像的特点和地形类别的差异, 本文提出并发展了一套无需 DEM 支持的卫星遥感正射影像制作方法, 该方法仅需地形图扫描纠正形成的数字栅格地图(DRG)的支持并能获得符合精度要求的遥感正射影像。

2 技术流程与方法描述

针对地形起伏程度的差异, 无需 DEM 支持的遥感正射影像制作采用平坦区域的多项式选点整体纠

正法、中等起伏区域图形图像局部自适应配准纠正法以及高山起伏区域的偏差逐点纠正法。正射影像的制作在 DRG 的支持下完成。

2.1 平坦区域遥感正射影像制作

平坦区域遥感正射影像制作如图 1 所示。由于地形起伏的影响很小甚至可以忽略不计^[1], 以地形图扫描纠正形成的 DRG 为基准, 较高分辨率的全色卫星遥感影像(例如 SPOT 或 IRS)直接与 DRG 进行整体图形图像配准, 或利用常规地面控制点选取方法建立多项式变换函数, 对高分辨率全色影像进行整体几何纠正并进行必要的纹理增强处理。在此基础上, 以纠正后的全色卫星影像为基准, 利用影像到影像的配准技术对 TM 等较低分辨率的多光谱影像进行纠正, 并对纠正后的全色影像和多光谱影像进行融合处理形成兼具色彩与纹理特征的融合影像, 通过影像镶嵌与图幅裁切、注记与图外整饰等处理, 形成平坦区域的遥感正射影像图。上述方法包含同时利用高分辨率全色影像和低分辨率多光谱影像制作正射影像, 对于利用单一资料(全色或多光谱)情况, 无需进行影像到影像配准纠正和融合处理(下同)。

2.2 中等起伏区域遥感正射影像制作

根据 DRG 范围对较高分辨率卫星影像进行图幅粗裁切, 通过 DRG 与影像配准技术对裁切影像进

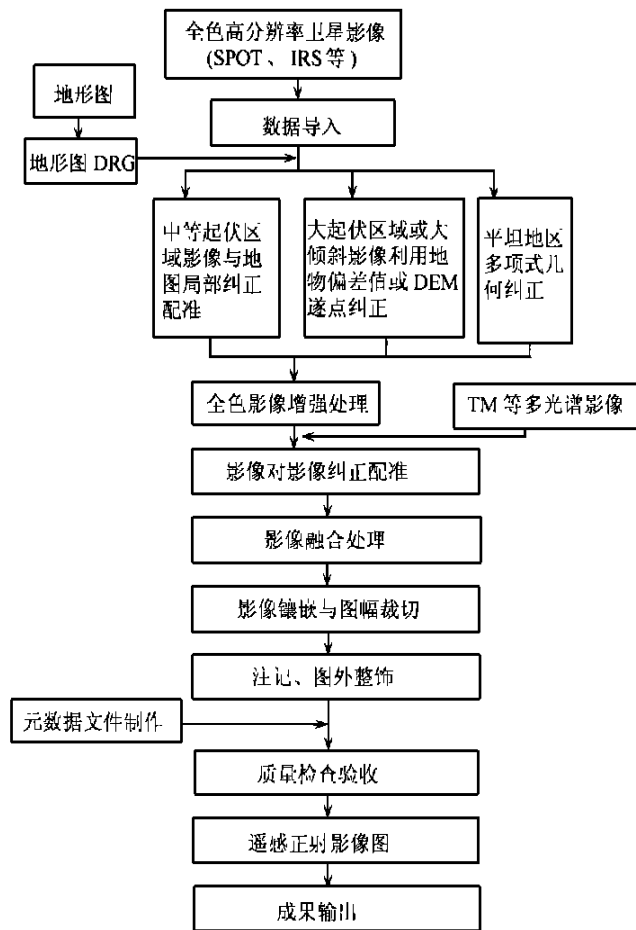


图 1 遥感正射影像图制作技术流程

Fig.1 Flow chart of remote sensing orthophotoquad generation

行整体定向。然后在 DRG 与整体定向后的卫星影像透明叠加环境下,以 DRG 为基准进行局部区域配准调整,逐步迭代纠正获得纠正后的全色卫星影像,对纠正后的全色影像进行纹理增强处理,并按平坦区域正射影像制作后续相同技术获得中等起伏区域的遥感正射影像。

2.3 高山起伏区域遥感正射影像制作

以地形图为基准对较高分辨率全色影像进行图幅粗裁切后,利用 DRG 与裁切影像配准技术获得 4 个同名点进行全色影像的整体定向。在此基础上,通过 DRG 与整体定向后影像透明叠加量测部分同名地物点的偏差值,获得因地形起伏或影像倾斜等引起的像点位移(偏差值)初始文件,通过逐点迭代纠正获得纠正后的全色影像,对纠正后的全色影像进行纹理增强处理,并按平坦区域正射影像制作后续处理相同技术获得高山起伏区域的遥感正射影像。

3 高分辨率遥感影像的几何纠正

数字影像的几何纠正在于确定原始影像和纠正后影像的几何关系并按相应几何关系对待纠正影像进行变换处理,设任意像元素 P 在原始影像和纠正后影像中的坐标分别为 (x, y) 和 (X, Y) 。则有两种互逆的数学表达式:

$$X = F_x(x, y), \quad Y = F_y(x, y) \quad (1)$$

$$x = f_x(X, Y), \quad y = f_y(X, Y) \quad (2)$$

前者是正解法变换公式,或称为直接法;后者是反解法变换公式,或称为间接法。

设待纠正的数字影像已利用扫描影像成像过程中可以预测的一些几何参数构成纠正公式,进行地球旋转、像元素在 X, Y 方向尺寸不等、卫星轨道偏角、大气折光、地球曲率等因素的几何粗纠正处理。在本文中,以 DRG 为基准首先对高分辨率卫星影像进行精确纠正,较低分辨率的多光谱影像以纠正后

高分辨率卫星影像为参考,通过影像到影像的配准实现纠正。

3.1 平坦区域遥感影像的纠正

在航天遥感条件下,较平坦区域地面起伏的影响可以忽略不计,变换函数 F_x, F_y, f_x, f_y 可转换为两个平面间的变换,同时可直接采用多项式函数进行整体数字纠正。例如利用二次多项式进行反解法纠正,其公式为:

$$\begin{aligned} x &= a_0 + a_1X + a_2Y + a_3XY + a_4X^2 + a_5Y^2 \\ y &= b_0 + b_1X + b_2Y + b_3XY + b_4X^2 + b_5Y^2 \end{aligned} \quad (3)$$

变换关系式的建立按照 DRG 与影像的整体配准技术或采用常用的地面控制点选取方法从 DRG 上量取控制点实现。

3.2 中等起伏区域遥感影像的纠正

尽管在航天遥感条件下地面起伏的影响很小^[1],但随着遥感影像分辨率的不断提高和对影像几何精度要求的提高,当地形起伏达到一定程度时,地面起伏的影响不能忽略。对于中等起伏度状况, F_x, F_y, f_x, f_y 需要转化为几个平面间而不是一个平面间的变换关系,正如摄影测量中的分带投影纠正,要求在几个不同的高程平面上作相应的几何处理。扩展这一思想,本文发展了图形图像局部自适应配准调整技术实现对该类影像的数字纠正。

图形图像局部自适应纠正的基本思想是:在没有 DEM 状况下,地形图分布信息提供了供影像纠正的有效信息,由于地形图为正射投影,以地形图制作的 DRG 为基准,纠正的遥感影像自然为正射投影。从 DRG 上选点在对遥感影像作整体定向后,由地形起伏和其它因素引起的像点位移将反映在 DRG 与遥感影像透明叠加配准下,DRG 与遥感影像同名地物存在的偏差值上。而且在不同的高程基准上(即不同的影像块处),这些偏差值呈现出相应的变化规律。因此,在不同的影像块处,采用 DRG 与影像局部叠加配准获得这些偏差信息并利用这些偏差信息进行局部区域迭代纠正,直到叠加图像的吻合程度满足要求为止。图形图像局部配准纠正由整体定向和局部纠正两个步骤完成。

整体定向

通过 DRG 与影像配准技术选择至少 4 个同名控制点,按照一次多项式将影像纠正到地图上,将二者整体透明叠加并进行漫游发现不同区域的明显变形点。

$$\begin{aligned} x &= c_0 + c_1X + c_2Y + c_3XY \\ y &= d_0 + d_1X + d_2Y + d_3XY \end{aligned} \quad (4)$$

图形图像局部配准纠正

局部配准纠正用来在局部区域上改正影像的变形。在 DRG 与影像透明叠加的环境下,当在局部区域发现明显变形点(偏差点)后,通过叠加匹配获得变形点上的偏差值 $\Delta X, \Delta Y$,并以距变形点最近的两个控制点构成局部区域,进行局部区域内的调整。这一过程重复进行,直到满足要求为止。局部纠正要求保证原控制点处的位置不变,并使局部纠正后的影像连续。具体实现时,在局部纠正的范围内,首先计算出待纠正点距已知控制点和变形点的距离,若 3 个最近距离中包括待纠正点距变形点的距离则纠正,否则不纠正,设待纠正点至变形点的距离为 R_0 ,至另两个控制点的距离为 R_1 和 R_2 (图 2),则对待纠正点需做如下的偏差调整($\Delta X, \Delta Y$):

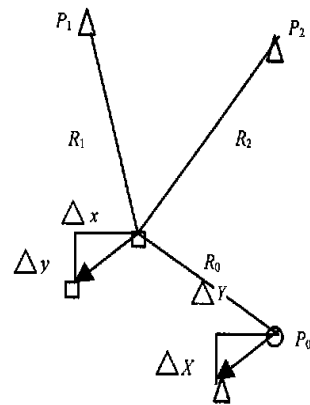


图 2 局部纠正示意图
 Δ 为控制点 \circ 为变形点 \square 为待纠正点
 Fig. 2 Local rectification sketch chart

$$k = \frac{(4R_0 + R_1 + R_2)R_1R_2}{[(R_0 + R_1)(R_0 + R_2)(R_1 + R_2)]} \quad (5)$$

$$\Delta x = k\Delta X, \Delta y = k\Delta Y \quad (6)$$

在完成该部分的局部调整后,变形点 P_0 可作为以后纠正的控制点使用。为加快局部纠正过程,控制点的选取可采用自顶向下的方法,尽可能均匀的分布在影像范围内。这里,用于局部纠正的控制点为 DRG 与影像共有的同名图像块,例如道路交叉口、桥梁、房屋、道路拐弯处、池塘等具有明显特征的影像块。

实验结果验证

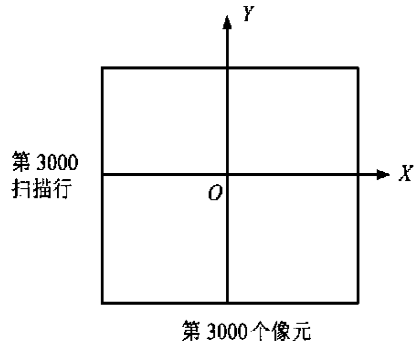
以一景 1998 年 2 月的山东省黄县地区的 SPOT 全色影像为实验数据,用图形图像局部配准纠正方法进行了几何纠正。所用的 1:5 万地形图图幅范围内最大高程为 619m,最小高程为 2m,有近四分之一的区域高程在 100—450m,三分之二的地区为平地,在整体定向及局部配准过程中一共量取了 13 个控制点,最后将纠正结果与 DRG 叠加进行精度检查,一共量取了 30 个检核点,检查结果列于表 1,纠正后的影像见图 3。可以看出纠正影像误差中误差小于图上 0.3mm。



图 3 图形图像局部配准纠正后的 SPOT 影像
Fig.3 SPOT image rectified by local graphic image matching

$$\begin{bmatrix} x \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \begin{bmatrix} a_1(t) & b_1(t) & c_1(t) \\ a_2(t) & b_2(t) & c_2(t) \\ a_3(t) & b_3(t) & c_3(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_s(t) \\ Y - Y_s(t) \\ Z - Z_s(t) \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: x 为像点 P 的影像坐标; f 为时刻 t 的等效焦距; λ 为比例因子; $a_i b_i c_i$ 是与旋转参数相联系的参数; $X、Y、Z$ 是点 P 的大地坐标; $X_s、Y_s、Z_s$ 是对应时刻 t 扫描线上中心像元的大地坐标。



利用(7)式进行的微分纠正必须在 DEM 的支持下。由于在影像上地形起伏等因素引起的偏差表现为像点位移,亦即平面位置的变化,明显表现在地物平面位置上,因此,在无 DEM 时,可利用地形图上的地物信息取得。在整体定向的条件下,通过获得影像上地物位置与地图上地物正确位置的偏差,即可获得地形和其它因素引起的像点位移值。为此,本文提出了基于偏差量算的逐点纠正方法解决无 DEM 情况下高山起伏区域影像的几何纠正问题。

整体定向

以待纠正影像作为输入影像,以相应的 DRG 作为参考影像,选择均匀分布在 DRG 四角的 4 个同名点,进行一次多项式纠正完成整体定向。这一步去除了影像变形中的绝对部分,它包括相对于 DRG 坐标系统的绝对位置错误及影像方位错误。

同名点上偏差值的量测

经整体定向后,来自于地形起伏带来的投影差等偏差仍然存在。将 DRG 透明叠加在整体定向后的影像上,搜索清晰可辨的同名点并量测这些点的坐标。在一幅 DRG 的范围内,基于考虑计算的花费与纠正的精度折中,最好选取 70—100 个点,所有这些点的坐标及相应的偏差被保存为一个文本文件,称之为“偏差文件”。

逐点纠正

对 DRG 上的每一个格网点 P ,它已有大地坐标,通过增加一个偏差值 $\Delta P = (\Delta X, \Delta Y)$ 可映射出 P 在整体定向的影像中的准确位置,并用最近邻法进行灰度赋值。为了求定 ΔP ,从偏差文件中找出 4

表 1 图形图像局部配准纠正精度检查 (单位:m)

Table 1 Accuracy of locally adaptive geometric rectification in medium relief area (unit:m)

点号	误差点号	误差点号	误差点号	误差点号	误差点号	误差点号	误差点号	误差点号	误差点号	误差点号	
1	12.3	6	21.1	11	13.4	16	10.0	21	9.5	26	18.8
2	11.6	7	8.5	12	12.0	17	16.5	22	14.0	27	13.5
3	18.7	8	5.0	13	12.6	18	8.8	23	14.8	28	16.0
4	13.4	9	22.0	14	11.6	19	15.0	24	15.0	29	7.5
5	7.8	10	18.8	15	9.0	20	9.5	25	13.2	30	15.0
中误差:13.7											

3.3 高山起伏区域遥感影像的制作

高山起伏区域的影像难于在几个高程平面上进行纠正,需要在更小的局部范围内采用微分纠正的办法进行。对此通常采用共线方程方法进行几何纠正,以 SPOT 影像为例,其共线方程有如下形式:

个与 P 点距离最近的点,假定这 4 个点是 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 ,相应点上的偏差是 ΔP_1 、 ΔP_2 、 ΔP_3 、 ΔP_4 ,通过如下公式内插求得 ΔP :

$$\Delta P = \frac{\sum_{i=1}^4 \Delta P_i / r_i^2}{\sum_{i=1}^4 r_i^{-2}} \quad (8)$$

r_i 为 P 与 P_i 间的距离。当然,如果 P 已在偏差文件中,则 ΔP 直接从偏差文件中读取即可,这样整体纠正的影像被配准到 DRG 上。

实验结果验证

以一景 1999 年 3 月的庐山地区的 SPOT 全色影像为实验数据,用基于偏差量算的逐点纠正方法进行了纠正。SPOT 影像的入射角为 1.9° ,所用的 1:5 万地形图图幅范围内最大高差在 1300m 以上,有近五分之一的区域高程在 1000m 左右,而且包含鄱阳湖,给量取偏差值时选择同名点造成困难,此次实验一共量取了 62 个偏差值,最后将纠正结果与 DRG 叠加进行精度检查,一共量取了 30 个检核点,检查结果列于表 2,纠正后的影像见图 4,可以看出,纠正影像误差的中误差小于图上 0.34mm。

表 2 基于偏差量算的逐点纠正精度检查 (单位:m)

Table 2 Accuracy of point to point rectified SPOT image (unit:m)

点号	误差	点号	误差	点号	误差	点号	误差	点号	误差	点号	误差
1	8.3	6	10.0	11	24.0	16	16.5	21	28.5	26	8.0
2	12.6	7	19.5	12	15.0	17	5.0	22	19.0	27	13.5
3	8.0	8	20.0	13	12.5	18	26.0	23	16.5	28	10.0
4	20.5	9	18.0	14	16.0	19	7.5	24	12.0	29	25.0
5	17.0	10	12.5	15	9.5	20	19.5	25	15.5	30	15.0
中误差:16.5											



图 4 基于偏差量算的逐点纠正的 SPOT 影像

Fig.4 SPOT image rectified by point to point

offset correcting (C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4 高分辨率全色影像与低分辨率多光谱影像的融合

影像融合在于同时综合多光谱影像的光谱信息和高分辨率全色影像的结构信息优势,获得色彩丰富逼真、纹理结构精细的正射影像。对正射影像来说,保持融合结果中光谱信息的逼真性具有重要的作用。目前,最常使用的变换方法,例如 HIS,主分量变化等融合方法,在提高纹理信息的同时却使多光谱数据的光谱信息产生较大扭曲,为此,一个较好地解决方案是利用加权融合法:

$$I'_{ij} = A(P_i I_i + P_j I_j) + B \quad (9)$$

其中 P_i 、 P_j 为权系数, I_i 、 I_j 为待融合的遥感数据,权系数的获取可采用相关系数法或直接利用全色影像数据构建。

5 方法的使用与结论

本文提出并发展的方法已经过大量的试验验证。在国家“九五”测绘科技攻关项目和国家科委“九五”重中之重项目“区域性农业资源与环境遥感高精度动态监测系统”中,以 SPOT 10 m 全色卫星影像和 30 m TM 多光谱影像为数据源,利用本文的方法制作了珠江三角洲 6.7 km^2 的 1:50 000 比例尺遥感正射影像,基此形成了珠江三角洲最新土地利用图和土地利用变化监测图。在国家测绘局为支援 1998 年长江、嫩江、松花江流域灾后重建测绘保障任务——1:50 000 栅格地形图更新项目中,以航空影像、SPOT 10 m 全色卫星影像和 TM 30 m 多光谱影像为数据源,采用影像图与旧 DRG 透明叠加,按栅格式编绘更新地形图 600 幅,本文提出的方法成功地用于影像图的制作中。本文的方法已形成了一套可供实际应用的软件并将逐步应用于国家基础地理信息的生产与建库中。

大量试验证明,本文提出的方法充分利用了遥感影像本身的特点,简便、实用、有效,在没有 DEM 的情况下,为遥感正射影像图的制作提供了一条新的捷径。

参考文献 (References)

- [1] Wang Zhizhuo. Principles of Photogrammetry [M]. Beijing: Publishing House of Surveying and Mapping, 1990.

Remote Sensing Orthophotoquad Generation without Employing DEM

ZHANG Ji-xian, LIN Zong-jian, ZHANG Yong-hong, MENG Wen-li
(Chinese Academy of Surveying and Mapping, 16 Beitaping Road, Beijing 100039, China)

Abstract: Remote Sensing Orthophotoquad (RSDOQ) has been widely used in the area of topographic map making and its revision, natural resource and environment surveying and monitoring, natural disaster mitigation and city planning etc. However, for the generation of RSDOQ, DEM (Digital Elevation Model) is still needed to solve the issues of relief displacement for high-resolution image (such as SPOT and IRS). According to the characteristics of aerial image and space remote sensing image, and the difference among topographic relief, this paper proposed and developed new methods of RSDOQ generation without using DEM. The presented methods include integrated geometric rectification in flat area, locally adaptive geometric rectification in medium relief area, and point to point geometric rectification in high relief area. Only DRG (Digital Raster Graphics), the scanned topographic map after geometric correction, is needed in our developed methods.

Practical software has been developed and it will be used for the generation of digital orthophoto model (DOD) from remote sensing image in China.

Key words: remote sensing images; Orthophoto model; rectification; fusion; registration