

基于多比例尺地形图的 SPOT5 影像几何纠正方法

施敏琦 林文鹏* 温家洪 宗 玮 李厚增

(上海师范大学 旅游学院 ,上海 200234)

摘要: 几何纠正是遥感信息处理中的重要环节,它直接关系到信息提取的精度与实用程度。而现实中,由于地形图绘制年代久远,且保密性较高,往往会出现缺失而不能满足纠正精度的情况。据此本研究在上海地区 1:25 000 大比例尺地形图缺失,1:100 000 地形图不能满足 SPOT5 影像纠正精度的情况下,结合 ArcGIS、ENVI 软件采用多种例尺地形图对 SPOT5 影像进行几何纠正,并对纠正精度进行了对比分析。结果表明:将多比例尺地形图综合纠正能使精度控制在 1 个像元之内,由此确立了现有条件下的最佳方案,为地形图缺失情况下平原地区的几何纠正提供了思路。

关键词: 几何纠正; SPOT5 影像; 多比例尺地形图; 精度; 平原地区

中图分类号: TP 751.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-5137(2011)04-0421-06

0 引言

由于传感器、遥感平台及地球本身等方面的原因,遥感成像时往往会引起几何畸变,在使用前,都要经过几何粗纠正、几何精纠正等一系列的处理。重视几何纠正不仅可以有效提高遥感图像的几何精度,更为后期的影像融合、分类作好了数据准备^[1]。

SPOT5 卫星于 2002 年 5 月 4 日发射成功。其全色影像的分辨率由 10 m 提高到 5 m 和 2.5 m,多光谱影像的分辨率则由 20 m 提高到 10 m,每景覆盖范围广(60 km × 60 km)。在高分辨率影像中,以 1 m 分辨率 IKONOS 影像和 2.5 m SPOT5 全色(黑白)影像两种数据为代表的高分辨率卫星遥感影像已普遍运用于全球各地。其中 SPOT5 继承了 SPOT 系列影像的许多优点,比如:服务完善、幅面较大、影像清晰、数据获取周期较短、性价比高、很多软件都能支持其数据,因而当其数据一公开发售,就受到世界各地用户的广泛青睐。较高的空间分辨率与光谱分辨率使其被越来越广泛地应用于土地管理、城市规划、农林、测绘、环境、军事等领域。高分辨率的全色波段在调查城市土地利用现状、区分主要干道及大型建筑物、了解城市发展状况方面有突出优势,尤其是与 DEM 数据结合起来进行地形图的更新,能够及时、快速、客观、周期性地获取地表覆盖信息,并具有较高的数字精度,因此将 SPOT 原始影像进行几何纠正来获取正射影像变得越来越重要^[2]。

影像几何纠正的方法主要可分成 2 大类^[3]:①数学拟合模型,直接以地面控制点对影像进行数学变换,一般适用于平坦地区,属于较不严密解法;②几何成像模型,考虑成像时造成影像变形的物理意义,

收稿日期: 2011-11-10

基金项目: 国家自然科学基金(40801168);上海市教委科研创新项目(10YZ72);上海师范大学重点培育学科项目(DZL801)

作者简介: 施敏琦(1987-),女,上海师范大学旅游学院硕士研究生;林文鹏(1973-),男,上海师范大学旅游学院副教授。

* 通信作者

构建成像几何模型 属于严密解法. 对于 SPOT 这类高分辨率影像, 不同的纠正模型和纠正精度成了研究热点之一. 刘晓龙等利用 SPOT5 提供参数 按照严密物理模型纠正的方法, 对起伏较大的山区进行纠正, 精度优于 $15\text{ m}^{[4]}$. 栾庆祖等提出了利用基于控制点的神经网络方法进行高分辨率遥感影像几何校正^[5]. 张多坤等提出了基于匹配技术的自动几何精校正算法, 解决了人工几何纠正方法精度差、效率低等问题^[6].

几何纠正的控制点选取主要是依据纸质地形图来获取. 根据精度要求, 10 m 分辨率的 SPOT5 影像适用 $1:25\ 000$ 或者更大比例尺的地形图进行纠正^[7]. 然而目前对于大比例尺地形图缺失, 小比例尺地形图不能满足精度要求的情况下如何选取控制点以提高纠正精度的研究较少, 因此本文作者以上海地区 SPOT5 影像为例探讨了在 $1:25\ 000$ 大比例尺地形图缺失, $1:100\ 000$ 地形图不能满足精度的情况下的纠正方法.

1 研究区与数据准备

1.1 SPOT5 上海地区影像数据

影像是获取于 2005 年 6 月 2 日 SPOT 影像的一景, 景号为 297-288, 经纬度范围为 $121^{\circ}13'50'' \sim 121^{\circ}59'25''\text{E}$, $30^{\circ}34'34'' \sim 31^{\circ}13'54''\text{N}$. 该景覆盖了上海的松江、金山、奉贤、闵行区以及南汇、青浦、徐汇、浦东新区的部分区域, 包括 4 个 10 m 分辨率的多光谱波段和 1 个 2.5 m 分辨率的全色波段. SPOT5 多光谱影像提供 XS1(540.00)、XS2(650.00)、XS3(835.00) 3 个波段供彩色合成用. 根据实际需求, 此处采用 XS3、XS2、XS1 对应红绿蓝通道, 进行彩色合成.

1.2 1:100 000 与 1:25 000 分幅纸质地形图

现有 $1:100\ 000$ 地形图 8 张, 覆盖上海全区; $1:25\ 000$ 地形图 9 张, 覆盖市区部分区域. 2 种比例尺地形图分别绘制于 1971 年和 1979 年. 地形图坐标系统采用 1954 北京坐标系, 高程基准采用 1956 黄海高程系, 投影系统为高斯-克吕格投影.

2 基于多比例尺地形图的纠正方法

2.1 扫描地形图空间配准

由于图纸的伸缩变形及扫描仪误差引起的变形, 扫描后的栅格图像必须经过几何纠正才能用于精确定位. 首先利用 ArcGIS 软件对栅格地形图进行坐标系统和投影系统的设定, 然后选取控制点: 一般先以图廓 4 个角点粗略纠正, 然后直接读取公里网格数据精确纠正. 运用二次多项式拟合及双线性内插法重采样得到配准后的地形图, 即有了地理信息.

2.2 SPOT5 影像几何纠正

在 ENVI 中, 以配准完的地形图为基准对 SPOT5 影像进行几何纠正. (1) 将 SPOT 影像与配准好的地形图的地理信息进行统一. (2) 选取控制点. 由于现有 SPOT5 影像与地形图时间跨度较大, 首先道路的拓宽、改造、重新修建等造成道路交叉点很难找到同名点, 即使找到也未必准确; 其次河流交汇点在地形图绘制时是会进行适量修正的. 可行的方法是选取那些未发生变化的桥梁中心点和农村较宽的田埂、机耕路等的交叉点, 往往会提高精度.

首先利用大比例尺地形图($1:25\ 000$) 选取控制点: 根据 SPOT5 影像的精度需求, 在现有地形图中应使用 $1:25\ 000$ 地形图进行控制点选取. 但由于保存的问题, 大比例尺地形图存在缺失, 现有地图仅覆盖的上海西北区域, 在该区域内均匀选择了 35 个控制点, 控制点分布如图 1 所示.

虽然在局部选取控制点也能完成纠正, 但是控制点未能均匀分布于整幅影像中, 对于控制点以外区域的纠正精度不能保证. 基于这种情况, 本研究采取了 2 种方案利用多比例尺地形图进行了整幅影像的几何纠正试验, 以找出现有条件提高精度的最佳方案.

方案一: 利用 $1:100\ 000$ 地形图选取控制点

1:100 000 地形图覆盖了整个 SPOT 影像所对应的区域,所以在整个影像上均匀选取了 96 个控制点.为了进行对比,在影像西北区域也选取 35 个控制点(异于上述 35 个控制点),其余区域选取 61 个控制点,控制点分布如图 2 所示.



图 1 利用 1:25 000 地形图选取的控制点分布



图 2 方案一控制点分布

方案二: 综合利用多(两种)比例尺地形图选择控制点

由于 1:25 000 地形图覆盖区域河流道路绘制相对清晰,且覆盖范围为松江、闵行等黄浦江沿岸区域,便于寻找控制点.所以西北区域的 35 个控制点即采用上述 1:25 000 比例尺纠正时相同的控制点,其余区域的 61 个控制点分布同方案一(即利用 1:100 000 地形图选取) 96 个控制点均匀分布在影像全区,如图 3 所示.经重采样后,纠正后的 SPOT 影像具有了与地形图相同的分辨率与地理信息.纠正后影像如图 4 所示.

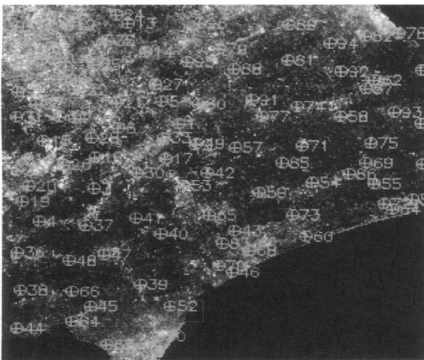


图 3 方案二控制点分布

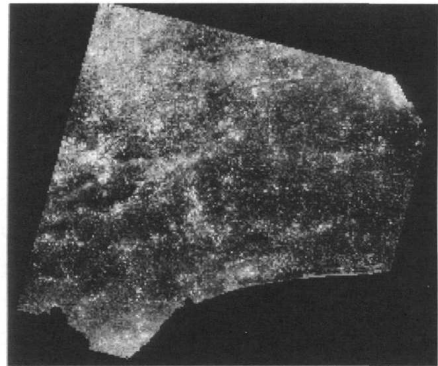


图 4 纠正后结果

3 纠正结果分析

3.1 误差来源

用纸质扫描地形图对上海地区 SPOT5 影像进行几何纠正,误差主要来源于作为纠正依据的地形图和控制点选取的误差.地形图方面的误差包括其本身实际存在的误差、对其扫描时产生的误差和对其进行纠正时带来的误差^[8].前 2 种误差难以消除,纠正时产生的人为误差可通过精度控制降低.在控制点选取时,虽然 SPOT5 影像分辨率达到 10 m,但是由于地形图年代比较久远,极难将相应的地物对应起来,这也是几何纠正的重要误差来源.

3.2 精度计算

假定纠正图像所需 GCP(Ground Control Point, 地面控制点) 数为 m , 而纠正使用多项式阶数为 n , 则

有下式^[1]:

$$m > (n + 1) * (n + 2) / 2, \quad (1)$$

由(1)式可知,一次多项式变换纠正图像最少需要的GCP的数目是3;如果要进行3次多项式变换,则纠正图像最少需的GCP数目是10.经过多次实验研究得出:控制点点数越多,分布越均匀,则拟合越好,可以是最小数目的6倍;但当点数达到一定数值后,其拟合效果不再明显变好.

RMS(Root Mean Square,均方根)误差是GCP的输入(原)位置和逆转换的位置之间的距离;它是在用转换矩阵对一个GCP作转换时所期望输出的坐标与实际输出的坐标之间的偏差.

$$RMS = \sqrt{(X_r - X_i)^2 + (Y_r - Y_i)^2}, \quad (2)$$

(2)式中: X_i 和 Y_i 是输入的原坐标; X_r 和 Y_r 是转换后的坐标. ENVI中残差是某个方向上原坐标和逆变换坐标之间的距离.整幅图像的总RMS误差由残差确定,如下^[9]:

$$R_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n XR_i^2}, \quad (3)$$

$$R_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n YR_i^2}, \quad (4)$$

$$T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \quad (5)$$

式中: n 为GCP个数, R_i 为GCP i 的RMS误差, XR_i 为GCP i 的X残差, YR_i 为GCP i 的Y残差, R_x 为X的RMS误差, R_y 为Y的RMS误差, T 为RMS总误差.不同方案的纠正精度如表1所示.

表1 不同方案几何纠正精度表

	地形图比例尺	控制点个数	RMS 误差	地面对应距离(m)
原始方案	大比例尺(1:25 000)	35	0.66	6.6
方案一	小比例尺(1:100 000)	96(35+61)	1.68	16.8
方案二	1:25 000与1:100 000	96(35+61)	0.93	9.3

3.3 精度分析

对比3种比例尺下的几何纠正的方案,可以得出如下结论:

(1)采用大比例尺(1:25 000)地形图,选取35个控制点对上海地区SPOT5影像部分区域进行了几何纠正,RMS达到了0.66个像元,符合小于1个像元值的要求.但是由于1:25 000精度较高的地形图只覆盖了SPOT影像中的一部分区域,无法完成整幅影像的纠正,所以对于控制点分布以外的区域精度无法保证.

(2)在大比例尺地形图缺失情况下采用两种方案进行试验:

方案一采用了小比例尺(1:100 000)地形图,选取了96个控制点,控制点均匀分布在整幅影像上,但是RMS为1.68个像元,不满足精度小于1个像元值的要求,因此无法为遥感影像的后期处理提供精准的数据.造成其精度不高的原因是由于地形图比例尺相对较小且年代久远,寻找控制点困难,在选取控制点至一定数量时,继续增加控制点反而会增加RMS的值,这可能是实际地物改变较大所致.

方案二综合利用了不同大小比例尺,选取了96个控制点,均匀分布在整幅影像上.与方案一相比,除了影像西北区域的35个控制点来源于不同比例尺地形图之外,其余控制点均相同.经过纠正,RMS达到了0.93个像元,符合了小于1个像元值的要求,为后期应用提供了相对高的精度的影像数据.

从各方案中随机选取10个同名像点作为检查点,控制点精度分析见表2.

采用中误差作为衡量精度的指标,并分别基于检查点进行精度评定,公式如下:

$$rms = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - X_i)^2 + \sum_i (y_i - Y_i)^2}{n}}, \quad (6)$$

其中 rms 为点位中误差; n 为检查点个数; x_i, y_i 表示在校正影像上检查点所对应的坐标; X_i, Y_i 为检查点坐标. 表 3 为检查点平面位置校差统计表.

表 2 控制点精度分析表

单位: 像元

序号	原始方案			方案一			方案二		
	X 残差	Y 残差	RMS	X 残差	Y 残差	RMS	X 残差	Y 残差	RMS
1	0.47	-1.39	1.47	-0.29	1.69	1.71	-0.61	0.46	0.76
2	-0.88	1.27	1.55	-1.63	1.54	2.24	-0.97	1.02	1.41
3	1.06	1.11	1.53	-1.65	1.4	2.16	1.15	1.28	1.72
4	-0.98	-0.84	1.29	-0.74	-0.15	0.76	0.74	-0.03	0.74
5	1.27	-0.53	1.38	1.16	1.09	1.59	0.48	-0.98	1.09
6	-0.63	-1.12	1.29	0.26	1.14	1.17	-0.52	0.18	0.55
7	-1.98	1.04	2.19	-1.06	1.13	1.55	-0.22	0.43	0.48
8	0.74	-1.13	1.35	0.82	0.97	1.27	0.64	0.68	0.93
9	0.78	0.59	0.98	0.44	0.27	0.52	0.77	-0.06	0.77
10	-1.65	-1.41	2.17	-1.22	1.34	1.81	-1.09	0.83	1.37

表 3 检查点平面位置校差统计表

单位: 像元

	最大 RMS	最小 RMS	平均 RMS	中误差 rms
原始方案	2.19	0.98	1.52	1.56
方案一	2.24	0.52	1.48	1.57
方案二	1.72	0.48	0.98	1.06

由表 2 可以看出, 由于纠正时高精度 1:25 000 地形图的应用, 方案二中相同控制点的精度较方案一有明显的提高.

由表 3 可以看出, 3 种方案中, 方案二中检查点的 RMS 均方根误差和 rms 中误差最小, 基本在 1 个像元内, 而方案一各项数据同原始方案相差不大.

结果表明: ①仅用小比例尺或不完整的大比例尺地形图纠正都不能达到精度要求; ②在大比例尺地形图缺失, 小比例尺地形图不能满足精度要求的情况下, 想要纠正一个区域, 只要保证全区中一定区域范围有较高的纠正精度, 即可以大幅度提高全区的纠正精度.

(3) 为了进一步验证方案二的纠正精度, 将纠正完后的影像同 1:25 000 地形图叠加, 其匹配效果较好. 同时将纠正完 SPOT 影像与具有更高分辨率的 QuickBird 影像叠加, 选取 30 个检查点做对比, 计算点位误差, 结果显示, 点位误差均小于 15 m, 约为 1 个像元左右, 说明采用方案二纠正后具有较高的精度.

4 结 论

利用 1:25 000 与 1:100 000 地形图对上海地区 SPOT5 影像进行几何精纠正, 在大比例尺(1:25 000)地形图缺失的情况下利用两种不同的方案进行控制点的选择, 结果表明: 将两种比例尺地形图综合起来纠正能使精度控制在 1 个像元之内, 由此确立了现有条件下的最佳方案, 保证了精度的要求.

经试验证明: 仅用小比例尺或不完整的大比例尺地形图纠正都不能达到精度要求. 而在大比例尺地形图缺失, 小比例尺地形图不能满足精度要求的情况下, 想要纠正一个区域, 只要保证全区中一定区域范围有较高的纠正精度, 即可以大幅度提高全区的纠正精度.

目前本文作者的研究仅基于上海地区 SPOT5 影像, 因此该方法仅能说明适用于地势平坦的平原地区, 对于山地中的几何纠正, 需要加入 DEM 数据等进行进一步研究.

参考文献:

- [1] 王学平. 遥感图像几何校正原理及效果分析[J]. 计算机应用与软件 2008 25(9):102-105.
- [2] 邢帅, 张宏伟, 韩祥磊, 等. SPOT5 与 ERS-2 卫星影像的联合立体定位[J]. 测绘科学 2009 34(1):46-48.
- [3] 马洪超, 赵向东. 基于地形随机场模型的遥感图像几何纠正[J]. 测绘学报 2006 35(3):251-254.
- [4] 刘晓龙, 薛明, 蔡福根. 利用 SPOT5 参数进行严密物理模型法纠正方法研究[J]. 测绘标准化 2010 26(1):6-9.
- [5] 栾庆祖, 刘慧平. 基于神经网络模型的遥感影像几何校正研究[J]. 国土资源遥感 2008 20(1):19-22.
- [6] 张多坤, 田兆申, 龙辉, 等. 基于图像匹配的星载遥感影像自动几何精校正算法[J]. 遥感技术与应用 2008 23(5):545-550.
- [7] 蒋红兵. SPOT5 遥感影像在地形图更新中的潜能评估[J]. 测绘科学 2004 29(7):63-66.
- [8] 胡晋山, 冯明栋, 李博. 地形图扫描数字化质量控制[J]. 测绘通报 2004 50(12):53-55.
- [9] 马广彬, 章文毅, 陈甫. 图像几何畸变精校正研究[J]. 计算机工程与应用 2007 43(9):45-48.

A study on geometric correction of SPOT5 image based on multi-scale topographic maps

SHI Min-qi, LIN Wen-peng, WEN Jia-hong, ZONG Wei, LI Hou-zeng
(College of Tourism, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: The geometric correction is an important step in the remote sensing information processing and it is directly related to the precision and usefulness of information extraction. In reality topographic mapping is aged and with a high secrecy, so it can't satisfy the precision of correction once lost. This paper based on the situation that we lack of the large-scale (1:25 000) topographic maps and the 1:100 000 topographic maps can't satisfy the correction precision of SPOT5 image, combined with ArcGIS and ENVI software, we correct the SPOT5 image of major urban areas of Shanghai by using multi-scale topographic maps, then we analyze the precision. Results show that the precision can be controlled in one pixel if we integrate multi-scale topographic maps. Finally we establish the best under existing conditions so that we provide ideas for geometric correction of flat areas in the special situation.

Key words: geometric correction; SPOT5 image; multi-scale topographic maps; precision; flat areas

(责任编辑:包震宇)