

# 遥感图像纠正误差的局部变形改正

王峰<sup>1</sup> 史文中<sup>2</sup> 程朋根<sup>2</sup>

(1 中国地震局地震研究所, 武汉市小洪山, 430071)

(2 香港理工大学土地测量与地理资讯学系, 香港九龙红磡)

**摘要:** 为了显示遥感图像的局部变形, 本文提出了将遥感图像与数字栅格地图(DRG)或数字线划图(DLG)叠加显示和检查局部变形误差的方法, 该方法在图像漫游和缩放的支持下, 可以直观地显示出局部变形是否存在于几何纠正后的遥感图像中。为了解决遥感图像的局部变形问题, 本文提出了将多边形的内部变形分解为多个三角形变形的纠正方案, 并详细介绍了三角形几何变形纠正的原理。实例证明了本文方法的可行性和有效性。

**关键词:** 遥感图像; 几何纠正; 纠正误差; 局部变形

**中图法分类号:** TP751

人们在利用遥感图像提取信息的过程中, 总是要求把所提取的信息表达在某一个规定的投影参照系统中, 以便进行图像信息的几何量测、相互比较以及图像复合分析等处理<sup>[1]</sup>。如何将遥感图像正确地投影到某一个参照系统中, 保证原始图像上各地物的几何位置、形状、尺寸、方位等几何特征不变形是遥感图像处理和应用的一个基本环节。

目前, 遥感图像的几何纠正主要采用数字纠正方法。数字纠正是在遥感图像和投影参考系统中分别选择一定数量的对应点, 利用这些对应点作为控制点建立起遥感图像与图像投影参考系统之间的严格的数学方程式, 然后利用这一方程式逐像素地对影像进行纠正<sup>[1]</sup>。在实际工作中, 控制点的选择总要受到多种因素的影响, 比如遥感图像会由于地形起伏、大气折射、地球曲率、地球自转等多种因素的影响而产生不规则的变形等。目前, 扫描地图进行地理几何纠正后得到的数字栅格地图也常作为一种投影参照系统, 用于遥感图像的几何纠正。但是, 在地图扫描时, 也会因图纸变形、扫描器的变形等给选择的控制点引入变形误差。控制点的误差确定会造成纠正数学方程式解算的不精确, 从而使纠正后的遥感图像存在误差。

为了解决遥感图像纠正误差的问题, 本文提出了一种遥感图像纠正误差检查的可视化方法,

并根据纠正误差的特点提出了一种局部变形改正的新方法。该方法较直观且简单可行, 不仅可作为一种遥感图像纠正质量的检查, 而且可作为现有纠正软件的一个补充, 对纠正后的遥感图像再进行一次“精纠正”。

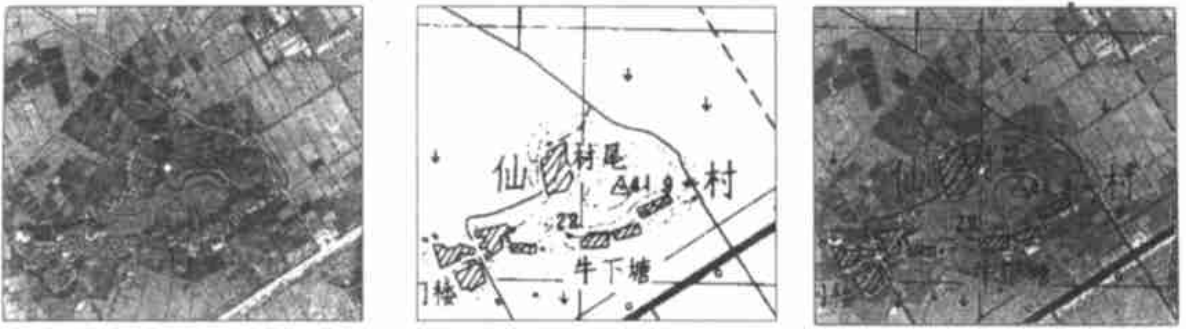
## 1 遥感图像几何纠正误差的可视化

遥感图像几何纠正精度常常是通过多个检查点计算得出的一个数值(如中误差)来反映的。如果图像局部变形较大或检查点的分布不均, 这一数值就不能真实地反映出图像纠正的质量。目前, 随着数字摄影测量和数字地球的进一步发展, 利用纠正后的数字栅格地图、数字线划地图进行遥感图像的纠正已经得到了广泛的应用<sup>[2]</sup>。将纠正后的图像与数字栅格地图或数字线划地图进行透明叠加显示, 并在图像漫游、图像放大、缩小的支持下, 可对图像纠正误差进行全面的可视化检查。图1直观地显示了纠正后的图像是否存在误差。

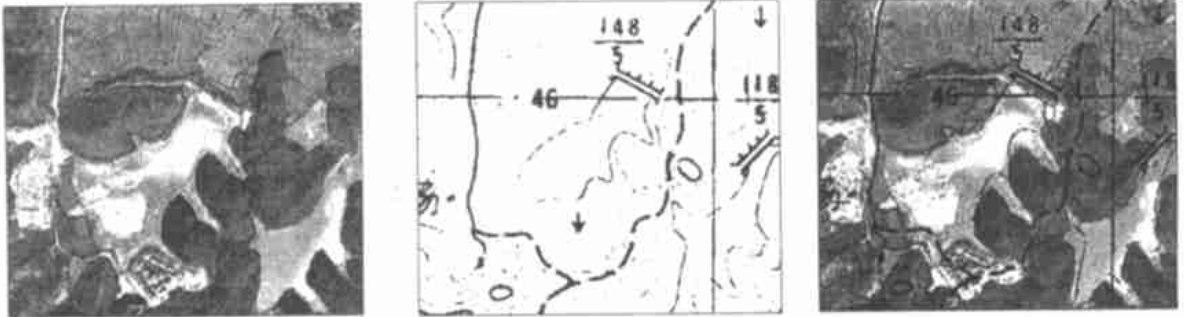
## 2 基于三角形对应关系的局部变形算法

### 2.1 局部区域的三角形分解

图像几何纠正后的误差是多种因素的综合,



(a) 局部无变形



(b) 局部变形

图 1 几何纠正后的航空影像与数字栅格地图的叠加

Fig. 1 Overlaying DRG with Rectified Image

其误差的分布是不规则的,要对这些误差进行改正应该进行局部的图像变形纠正。图 2 显示了局部变形的示意图,由点 1, 2, 3, 4, 5 组成的多边形内部的点 6 应纠正至正确的位置点 6', 局部变形改正的原则是变形改正只能发生在多边形内部,多边形的角点都为正确点,应保证其位置不变。为了实现这一原则,本文将多边形分解成多个三角形区域(如图 3 所示),如能实现三角形与三角形之间的图像变换(如由点 1, 2, 6 组成的多边形到由点 1, 2, 6' 组成的三角形的图像变换),如图 4 所示,就能实现以上原则,解决局部变形纠正的问题。

### 2.2 三角形变换对应关系

本文对图 5 中的  $\triangle 123$  到  $\triangle 123'$  的几何变换提出了如下的算法。

1) 算出点 3 与点 3' 的  $X$  方向位移  $D_{X_3}$  和  $Y$  方向位移  $D_{Y_3}$ , 点 1 和点 2 的  $D_{X_1}, D_{Y_1}, D_{X_2}, D_{Y_2}$  为零。

$$\left. \begin{aligned} D_{X_3} &= X_3 - X_{3'} \\ D_{Y_3} &= Y_3 - Y_{3'} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2) 沿待纠正点 4 的水平线求得与三角形两个边的交点 4a, 4b 的坐标  $(X_{4a}, Y_{4a})$  和  $(X_{4b}, Y_{4b})$ :

$$\left. \begin{aligned} Y_{4a} &= Y_4, Y_{4b} = Y_4 \\ X_{4a} &= \frac{X_3 - X_1}{Y_3 - Y_1} \times (Y_{4a} - Y_1) + X_1 \\ X_{4b} &= \frac{X_3 - X_2}{Y_3 - Y_2} \times (Y_{4b} - Y_2) + X_1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3) 根据点 1、点 2、点 3 的位移值,分别沿边线 13 和边线 23 线性内插求得点 4a 和点 4b 的位移值  $D_{X_{4a}}, D_{Y_{4a}}, D_{X_{4b}}$  和  $D_{Y_{4b}}$ :

$$\left. \begin{aligned} D_{X_{4a}} &= \frac{X_{4a} - X_1}{X_3 - X_1} \times D_{X_3} \\ D_{Y_{4a}} &= \frac{Y_{4a} - Y_1}{Y_3 - Y_1} \times D_{Y_3} \\ D_{X_{4b}} &= \frac{X_{4b} - X_2}{X_3 - X_2} \times D_{X_3} \\ D_{Y_{4b}} &= \frac{Y_{4b} - Y_2}{Y_3 - Y_2} \times D_{Y_3} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

4) 根据点 4a, 点 4b 的的位移值  $D_{X_{4a}}, D_{Y_{4a}}, D_{X_{4b}}$  和  $D_{Y_{4b}}$ , 沿水平线(4a, 4b)线性内插求出点 4 的  $D_{X_4}$  和  $D_{Y_4}$ :

$$\left. \begin{aligned} D_{X_4} &= \frac{X_4 - X_{4a}}{X_{4b} - X_{4a}} (D_{X_{4b}} - D_{X_{4a}}) + D_{X_{4a}} \\ D_{Y_4} &= \frac{Y_4 - Y_{4a}}{Y_{4b} - Y_{4a}} (D_{Y_{4b}} - D_{Y_{4a}}) + D_{Y_{4a}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

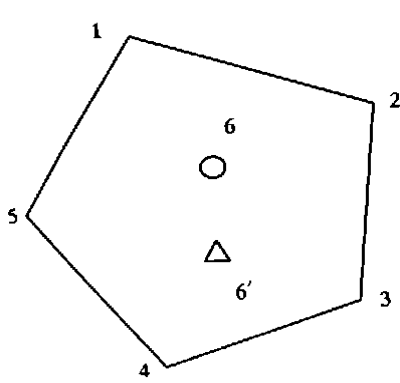


图 2 局部变形示意图

Fig. 2 Partial Distortion

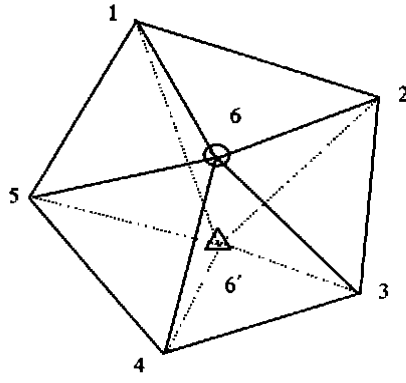


图 3 局部区域的三角形分解

Fig. 3 Partial Area Triangle-dissolving

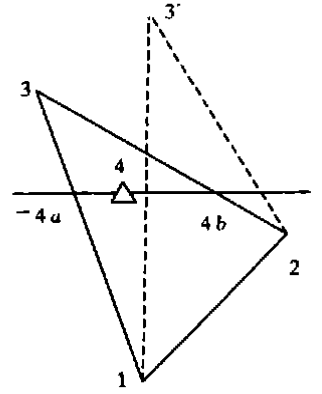


图 4 三角形变换对应关系图

Fig. 4 Triangle Transformation

5) 点 4 的  $X$  和  $Y$  加上点 4 的  $D_{X_4}$  和  $D_{Y_4}$ , 即为点 4 在变换  $\triangle 123'$  中对应点坐标值的  $X'$  和  $Y'$ :

$$\left. \begin{aligned} X' &= X + D_{X_4} \\ Y' &= Y + D_{Y_4} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

按照以上的算法, 同样可实现三角形的几何反变换。在此几何变换的基础上, 通过对原图像的重采样, 便可实现三角形与三角形的图像变换。

### 3 局部变形纠正的实现与分析

#### 3.1 局部变形算法的实现

为了实现和验证以上算法, 本文在实验中对变形算法进行了简化。简化的方法是将纠正图像分割为格网, 即将图 2、图 3 中的多边形简化为图 5 所示的四边形, 每次局部变形都限制在四边形内, 变形点与四边形角点组成四个变形三角形, 如图 6 所示。四边形的大小可视图像变形的情况进行调整。

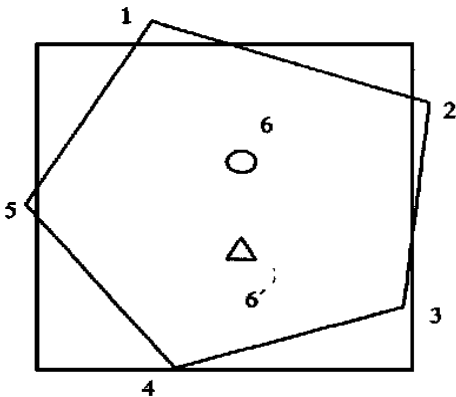


图 5 多边形简化为四边形的示意图

Fig. 5 Polygon is Simplified as Rectangle

#### 3.2 实例分析

在实例研究中, 本文选择了航空影像和相应地区的 1:1 万地形图进行了配准纠正。首先利用

ERDAS 遥感图像处理软件对 1:1 万地形图进行了几何纠正, 按每像素 5m 采样生成了数字栅格地图; 航空影像以 300dpi 进行了扫描, 然后在航空影像和数字栅格地图上分别选择了 16 个控制点, 用三次多项式对航空影像进行了纠正。纠正中误差为 3.388 7 像素 (16.94m), 其中  $X$  中误差为 2.597 9 像素 (12.99m),  $Y$  中误差为 2.175 9 像素 (10.88m)。通过纠正图像与数字栅格地图的叠加显示, 对整幅图像进行了检查。叠加配准在平坦地区较为准确 (如图 1(a) 所示), 在山区部分显示出明显的局部变形误差 (如图 1(b) 所示)。

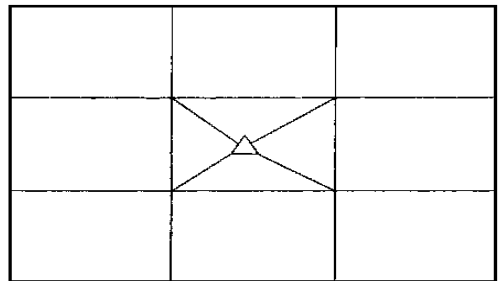
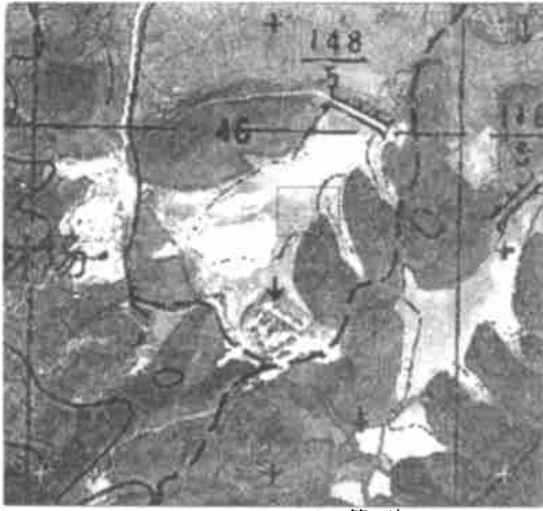


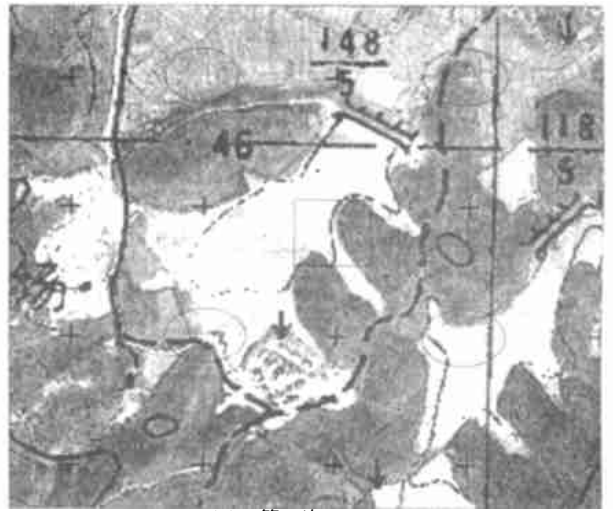
图 6 四边形内部三角形的分解示意图

Fig. 6 Triangle-dissolving in Rectangle

本文在 Windows 下编写的变形纠正程序对图 1(b) 中的局部变形进行了两次变形纠正, 第一次选择了较大的变形矩形区域, 纠正了大坝的位置, 其变形纠正结果见图 7(a); 第二次纠正是在第一次纠正图像的基础上选择了较小的变形矩形区域, 纠正了水库的边线, 其变形纠正结果见图 7(b)。图中椭圆中的白色十字光标为变形矩形区的角点, 方框中的白色十字光标为变形纠正点。经过两次变形纠正后, 航空图像与数字栅格地图在这一局部基本配准。局部变形纠正是在图像叠加显示的环境下进行的, 从而保证了局部变形的正确性。由于纠正范围小, 数据计算量也较小, 局部变形纠正速度很快, 在用户移动待纠正点时, 矩



(a) 第1次



(b) 第2次

图7 对图2中的图像进行局部变形纠正

Fig. 7 Partial Distortion Rectification of Image Shown in Fig. 2

形内的图像可跟着进行实时的图像变换,更形象地说是“橡皮筋”式的变形纠正。

## 4 结 语

纠正后的遥感图像普遍存在着纠正误差(或称纠正残差),纠正误差发生在局部区域,没有一定的规则。目前,国内外的遥感图像纠正软件基本上是针对整幅图像的纠正,本文对局部纠正进行了初步的研究。本文研究的基础是遥感图像与数字栅格地图的叠加显示,以发现纠正变形误差。如何解决遥感图像与遥感图像的叠加显示以及相互间的配准与纠正,以及实现任意多边形内部的变形纠正模块,是本文后续研究需要解决的问题。

## 参 考 文 献

- 1 杨凯,孙家炳,卢健,等. 遥感图像处理原理和方法. 北京: 测绘出版社, 1988
- 2 林宗坚. 摄影测量与遥感当前发展中面临的图像图形学问题. 中国测绘科学研究院建院四十周年会议, 北京, 1999
- 3 崔乞. 数字图像处理技术与应用. 北京: 电子工业出版社, 1997
- 4 王峰, 林宗坚. 8bit大图像的快速漫游. 测绘信息与工程, 1998(2): 36~39

作者简介: 王峰, 副研究员, 博士生。主要从事遥感技术应用、三维城市地理信息系统、影像数据库等的理论研究和软件开发工作。代表成果: 遥感图像可视化纠正软件; 煤田火灾信息系统; 三维城市的快速表现技术等。

E-mail: itwangfeng@sina.com

## Partial Distortion Correction of Rectification Error of Remote Sensing Images

WANG Feng<sup>1</sup> SHI Wenzhong<sup>2</sup> CHENG Penggen<sup>2</sup>

(1 Institute of Seismology, China Seismological Bureau, Xiaohongshan, Wuhan, China, 430071)

(2 Department of Land Surveying & Geo-informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong)

**Abstract:** At present, geometric rectification of remote sensing image mainly adopts the method of digital rectification in which control points are very important to image rectification quality. In actual work, the accuracy of control points is always affected by many factors that cause partial distortion in rectified remote sensing image. Partial distortion error existing in rectified remote sensing images is not paid much attention to, and many remote sensing processing software lacks the a -

bility to deal this problem.

This paper presents a method to check and display the partial distortion error by overlaying remote sensing image and digital raster graphics (DRG) or digital line graphics (DLG) with the support of image roaming and scaling, which visually shows whether partial distortion exists or not in rectified image. To solve the problem on partial distortion, triangle transformation algorithm, a scheme of disassembling polygon into multi-triangles, the principle of triangle geometric distortion are introduced.

In the experimental research, this paper selects aerial image and 1:10 000 topographical map to match and to be rectified. First, digital raster graphics (DRG) is generated from 1:10 000 topographical map rectified by ERDAS remote sensing image processing software, then 16 points are selected separately from aerial image and DRG, image rectified by polynomial equation in ERDAS with the reported mean error of 3.388 7 pixels, image distortion error is checked by overlaying DRG with rectified image. In flat areas, the distortion can not be observed, while in mountain areas the distortion is obvious. With the software developed under Windows using simplified algorithm presented here, the partial distortion is corrected in two steps with different quad size. The partial distortion rectification is done in the environment of image overlaying, so it guarantees the correctness of the partial distortion. The partial distortion rectification is very fast, because the rectification area is small, and the calculation amount is also small as well. Results show that algorithm presented in this paper is feasible. Further research will be focused on overlaying image with image having different time phases and distortion rectification inside arbitrary polygon.

**Key words:** remote sensing image; geometric rectification; rectification error; partial distortion

**About the author:** WANG Feng, associate researcher, Ph. D candidate. He is concentrated on the research of the theory and software development of remote sensing application, three dimension city GIS, image database, etc. His representative works are visual rectification of remote sensing image; coal fire information system; fast rendering of three dimension.  
E-mail: itcwangfeng@sina.com

### 《武汉大学学报·信息科学版》编委会

名誉主任: 宁津生

主任: 李德仁

委员: 毋河海 王新洲 刘 甬 刘经南 刘耀林 朱元泓 朱灼文  
仲思东 张正禄 张祖勋 苏光奎 杜清运 杜道生 李建成  
李清泉 郑肇葆 柳建乔 晁定波 龚健雅 舒 宁 詹庆明

主 编: 李德仁(兼)

副 主 编: 柳建乔(常务)