

遥感图像几何校正的实现

邵鸿飞 孔庆欣

(安徽气象科学研究所,合肥 230061)

提 要

描述了遥感图像几何畸变的原因,阐述了几何精校正原理,并在此基础上给出了一个简单实用的精校正方案及其算法。理论上,此校正方法具有小于一个像素点的误差,满足业务上所需的订正精度。

关键词: 遥感图像 几何精校正 几何畸变 地面控制点

引 言

随着科学技术和社会需求的迅猛发展,遥感技术作为高新技术领域中的一个重要分支逐步迈向产业化、实用化,对遥感图像产品的处理精度要求也越来越高。然而由于地球及卫星本身的原因,遥感图像存在不可避免的几何畸变,而仅仅经过系统粗校正的遥感图像不能消除所有畸变,无法满足人们应用和研究的需求。本文针对处理遥感图像时常遇到的几类情况,总结常用的几何精校正方法^[1~3],提出了一种主要适用于 NOAA 极轨卫星遥感图像的精校正算法,并利用 Visual Basic 编程语言加以实现,其应用效果较为满意。

1 遥感图像的几何畸变原因及校正方案

引起遥感图像几何畸变的因素主要有以下 3 个方面:

传感器方面的原因,包括扫描镜线速不均匀、扫描镜起止采样时间不同造成扫描长度的不一致、检测器采样延迟造成各个波段间的不配准与同一波段扫描之间的错动,以及全景畸变。

遥感平台(卫星)方面的原因,包括卫星的高度变化、速度变化、卫星运动造成图像歪斜以及卫星姿态变化造成图像的畸变。

地球本身的原因,包括地球的自转、高程变化以及地球曲率等引起图像的畸变。

由上述原因引起的畸变的典型个例的示意图如图 1 所示。

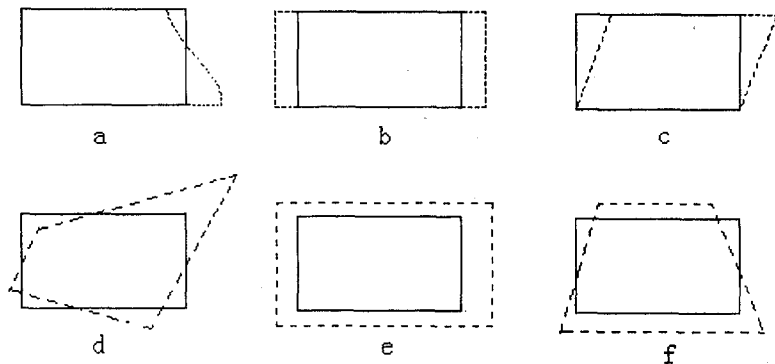


图 1 几何畸变的示意图

实线表示真实图像,虚线表示畸变图像:a. 扫描非线性;b. 全景畸变和滚动畸变;c. 歪斜(因地球自转引起);d. 转动畸变和长宽比畸变(姿态影响);e. 比例尺畸变(高度变化);f. 透视畸变

遥感图像的几何校正可分两阶段实现:系统校正(几何粗校正),即把遥感传感器的校准数据、传感器的位置、卫星姿态等测量值代入理论校正公式进行几何畸变校正;几何精校正,即利用地面控制点 GCP (Ground Control Point, 遥感图像上易于识别,并可精确定位的点)对因其它因素引起的遥感图像几何畸变进行纠正。几何粗校正的服务通常由卫星接收系统提供,因此下面重点讨论几何精校正。

2 几何精校正原理

从物理上看,畸变就是像素点被错误放置,即本该属于此点的像素值却在彼处。因此可用两种方法实现畸变图像的校正:一是把被错置的像素点搬运到该在的位置,此方法被称为直接变换法;二是取回属于该位置的像素值,此方法被称为重采样法(图2给出了两种方法的示意图)。从数学上说,几何精校正就是通过选取一组 GCP 建立原始的畸变图像空间与校正图像空间的坐标变换关系:

$$\begin{cases} \xi = p(x, y) \\ \eta = q(x, y) \end{cases}$$

或

$$\begin{cases} x = p^{-1}(\xi, \eta) \\ y = q^{-1}(\xi, \eta) \end{cases} \quad (1)$$

其中, x, y 是畸变图像空间中的象元坐标, ξ, η 是 x, y 在校正图像空间中对应的象元坐标,称作 x, y 的共轭点。

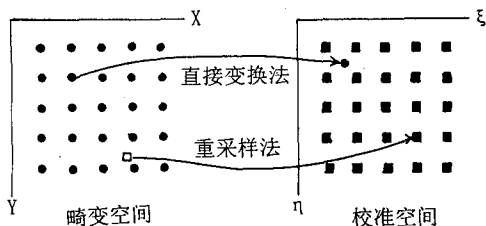


图2 几何精校正中的空间转换示意图

下面以较常采用的重采样法为例,说明

几何精校正过程。重采样法的几何精校正过程包含如下两方面工作。

①确定 p^{-1}, q^{-1} 的函数形式。一般作法是用二维 m 阶多项式逼近 p^{-1}, q^{-1} 即:

$$\begin{cases} x = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^{m-j} a_{jk} \xi^j \eta^k \\ y = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^{m-j} b_{jk} \xi^j \eta^k \end{cases} \quad (2)$$

然后,根据一组已知像素点(即一组 GCP)的对应坐标 (ξ_i, η_i) 和 (x_i, y_i) 确定 a_{jk}, b_{jk} 。

②确定 (ξ, η) 的灰度值,校正空间像元 (ξ, η) 的灰度值 $g(\xi, \eta)$ 等于原始空间共轭点 (x, y) 的灰度值 $f(x, y)$,由图2可以看到: (x, y) 通常不是像元点,因此 (x, y) 的灰度值需由 (x, y) 邻近像元点的灰度值内插获得。通常采用的方法有:最近邻点法、双线性内插法和三次褶积法。

3 精校正算法

考虑到图1中除(a)外,其余畸变都可拉扯四边形的顶点恢复(这即是下面所采用的双线性变换的物理描述),所以本文采用双线性变换:

$$\begin{cases} x = a_0 + a_1 \xi + a_2 \eta + a_3 \xi \eta \\ y = b_0 + b_1 \xi + b_2 \eta + b_3 \xi \eta \end{cases} \quad (3)$$

给定至少4对对应的 GCP 可以得到两组关于 a_i, b_i 的线性方程组,

$$\begin{cases} x_1 = a_0 + a_1 \xi_1 + a_2 \eta_1 + a_3 \xi_1 \eta_1 \\ \vdots \\ x_n = a_0 + a_1 \xi_n + a_2 \eta_n + a_3 \xi_n \eta_n \\ y_1 = b_0 + b_1 \xi_1 + b_2 \eta_1 + b_3 \xi_1 \eta_1 \\ \vdots \\ y_n = b_0 + b_1 \xi_n + b_2 \eta_n + b_3 \xi_n \eta_n \end{cases} \quad (4)$$

因此,若令矩阵 H 为:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \xi_1 & \eta_1 & \xi_1 \eta_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \xi_n & \eta_n & \xi_n \eta_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

则 a_i, b_i 的最小二乘方估计 $\hat{a}_i, \hat{b}_i$ 为(其中 H^T 为 H 的转置矩阵):

$$\begin{bmatrix} \hat{a}_0 \\ \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \\ \hat{a}_3 \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{b}_0 \\ \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \\ \hat{b}_3 \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} \quad (6)$$

对于上式的矩阵求逆,本文用全选主元高斯-约当消去法^[4]实现。

考虑到几何粗校正后,图像的主要畸变基本为平移所致,为了较大程度地保持遥感图像的原始强度值,本文采用最为简单的最近邻点法,即把畸变空间中离共轭点 (x, y) 最近的像元的灰度值作为点 (ξ, η) 的灰度值。其算法为:

$$g(\xi, \eta) = f[\text{Cint}(x), \text{Cint}(y)] \quad (7)$$

其中, Cint 为四舍五入运算。

综上所述,校正图像像元的灰度值的算法为:

$$g(\xi, \eta) = f[\text{Cint}(\hat{a}_0 + \hat{a}_0\xi + \hat{a}_0\eta + \hat{a}_0\xi\eta), \text{Cint}(\hat{b}_0 + \hat{b}_0\xi + \hat{b}_0\eta + \hat{b}_0\xi\eta)] \quad (8)$$

4 效果检验

图3给出图1中几种典型情况下的校正结果。

由图3可知:①双线性变换可以实现歪斜、旋转、线性拉伸与挤压畸变的几何校正,但对非线性的扭曲却无能为力。利用式(2)的高阶多项式可以实现非线性扭曲的几何校正,同时也会带来两个问题:一是增加阶次会加重选取GCP的负担,多项式阶次 n 与控制点 m 个数的关系为: $m = (n+1)(n+2)/2$;二是多项式中高阶项的系数对控制点的位置很敏感,将会放大由控制点定位不准带来的误差。②最近邻点法求取的像元位置,其误

差可达 $\pm 1/2$ 个像素点。真实像素值的突变会使线性特征呈阶梯状。虽然其它内插方法(如双线性内插法、三次褶积法)能提高图像的连续性,但为了最大限度地保持原始图像的强度值,并考虑到实际业务中主要利用遥感图像的统计信息,本文采用了最近邻点法。

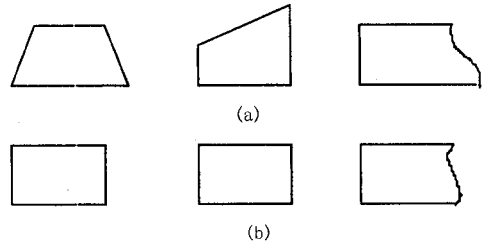


图3 几何精校正后的情况

a. 为畸变图像 b. 为上述算法的实现结果

图4显示了实际遥感图像的几何精校正效果,其中图4a是由STAR5N系统(清华大学电子工程公司开发的一套NOAA卫星的接收、处理系统)经卫星轨道参数订正、投影变换等粗校正后,生成的一张NOAA卫星的通道图像。图4b是选取地理坐标分别为:(117.36, 34.59)、(118.65, 33.36)、(116.68, 32.29)、(117.84, 31.61)的4个地面控制点并用本文算法得到的精校正图像。

从图4可以看到:利用本文算法实现的精校正基本实现了河、湖等地理信息与校正图像的套合,但还有一定的误差。其误差来源于两方面:方法上的误差,即上面所说的最近邻点法的误差;实际操作中的误差,主要来源于畸变图像中选中的像素并不是控制点本身,而是相差了一两个像素点。另外值得注意的是,地面控制点应尽量均匀分布在校正图像上,否则缺少点的部分校正精度将较差。



(a)



(b)

图4 实际遥感图像的几何精校正效果

总之,在没有非线性畸变的情况下,只要细心操作,本文提供的精校正方案,其误差会小于一个像素点,能满足绝大多数业务上的需要。

参考文献

1 遥感图像的处理与应用, 宁书年等编著, 北京: 地震出版

社, 1995.

2 遥感图像的数字处理, [美] J. G. Moik 编著, 徐建平等译, 北京: 气象出版社, 1987.

3 现代图像处理技术与应用, 夏德深等编著, 南京: 东南大学出版社, 1997.

4 常用算法程序集, 徐士良编, 北京: 清华大学出版社, 1996.

Fulfilling of the Satellitie Image Rectification

Shao Hongfei Kong Qingxin

(Anhui Research Institute of Meteorological Science, Hefei 230061)

Abstract

On the basis of geometric rectification theory of digital image, a simple correcting arithmetic is introduced for most typical distortion of satellitic image. Theoretically, the arithmetic has an error less than one-pixel, which is accurate enough for routine calibration.

Key Words: satellitic image geometric calibration geometric distortion ground control point