遥感图像几何校正方法

夏 亚 李春升 周荫清 北京航空航天大学

摘 要 遥感成像处理对几何保真度要求高，现有的遥感图像定位方法比较成熟，但如对每一像素点分别定位，数据量太大，且校正后的像素点也不是均匀分布。本文将数字图像处理中的逐次逼近的校正方法应用于遥感图像的几何校正，详细介绍了该方法的实现方案，最后仿真实现了这种方法。

关键词 遥感图像 几何校正 逐次逼近法 像素定位

A Method of Remote Sensing Image Geometric Correction

Xia Ya Li Chunsheng Zhou Yinqing

Abstract The processing of remote sensing needs high geometric fidelity. The existing location method for remote sensing image had been proved to be successful, but the data processing is numerous if every pixel is located respectively and the pixels are not distributed uniformly, so the method is infeasible. The method of trial and error is introduced into remote sensing image processing from digital image processing in this paper. The detail to perform this method is involved in the paper. Finally, the method is simulated by computer.

Keywords remote sensing image geometric correction trial and error image pixel location

遥感获得的数据已广泛应用于地理、海洋、地质、水文、地形图测绘以及军事领域，并取得了较好的效益。在这些应用中，大多数对数据几何可靠性要求非常高。几何畸变基本来源于四个方面：遥感设备系统误差、目标定位误差、平台历表误差和目标测距误差。如果可以得到遥感设备星历数据、图像几何特性和目标相对于地球模型的高度等信息，可将图像重新采样到新的工程坐标系来校正几何失真，并利于科学应用。经典的几何校正方法通常是利用人工收集的控制点拟合多项式转化方程，然后采用间接法对原始图像进行重采来实现。虽然其后期的算法利用了几何成像模型，但是由于几何模型不能充分反应图像的几何特点和成像机理，所以仍需要大量控制点进行拟合。显而易见，由于许多观测区域的控制点不易得到，这种几何校正方法有很大的局限性。本文利用 Curlander 于 1981 年提出的不需要参考点的几何定位方法，对遥感图像中的若干像素进行定位，再通过这些点用数字图像处理中逐次逼近的校正方法拟合线性转化方程，然后对原始图像数据进行重采来实现其几何校正。

1 定位原理

遥感图像的定位是图像几何校正的前提，经典遥感图像定位方法依赖于一些关联点（将地面控制点与图像上某点对应）来确定图像的绝对位置，但在有些地区的地形知识有限，这就妨碍了这种方法的使用，有人充分利用遥感成像的距离多普勒分辨特性，仅以遥感设备星历数据和系统参数作为输入，可以得到图像上每个像素点的位置，它不需要任何地面控制点，还独立于传感器姿态。

图像上任意像素点的三维空间坐标的确定需要解三个方程式：

1.1 描述地球形状的模型

$$\frac{x_t^2+y_t^2}{R_e^2}+\frac{Z_t^2}{R_p^2}+1 \tag{1}$$

其中（x_t，y_t，z_t）表示目标在地球参考坐标系中坐标，R_e 表示赤道上的地球半径，R_p 表示在极地的地球半径，地球的极地半径和赤道半径的关系为 $R_p=(1-f)R_e$，其中 f 是平坦因子。

实际上，在对测绘区域的地形高度有先验知识的情况下可以修正地球模型，上式可以写为：

$$\frac{x_t^2+y_t^2}{(R_e+h)^2}+\frac{Z_t^2}{R_p^2}+1 \tag{2}$$

$$R_P=(1-f)(R_e+h) \tag{3}$$

h 表示目标相对于大地水准面的高度

1.2 多普勒方程

$$f_{DC}=\frac{2}{\lambda R}(V_s-V_t)\cdot(R_s-R_t) \tag{4}$$

f_{DC}为回波信号的多普勒中心频率，V_s 和 V_t 分别是传感器天线相位中心和目标速度矢量，R_S 和 R_t 分别表示传感器和目标的位置矢量，λ 为波长。

且有 $R_t = (x_t, y_t, z_t)$

$$V_t = \omega_e \times R_t \tag{5}$$

ω_e 是地球自转角速度矢量

1.3 斜距方程

$$R_{(i,j)} = | R_s - R_t | \tag{6}$$

联立以上三个方程就可以确定图像点在地球表面上的位置。

在理论上对图像上的每一个像素正确建立这三个方程，再得用星历数据的定位数据就能将图像校正到标准地理坐标上，但是这样进行几何校正计算量大，在工程上难以适时实现，且校正后的像素点并不是均匀分布的，于是我们将数字图像处中的逐次逼近的校正方法应用于遥感图像的几何校正中。

2 几何校正方法

设 $f_{(i,j)}$ 为待校正的畸变图像，$g(x_t, \zeta_t)$（x_t，ζ_t 分别是目标的经度和纬度）为校正后所得的图像，而（x_t，ζ_t）是由（x_t，y_t，z_t）决定的。

假设（i，j）与（x_t，ζ_t）之间存在如下关系：

$$\begin{cases} i = h_1 (x_t, \zeta_t) \\ j = h_2 (x_t, \zeta_t) \end{cases} \tag{7}$$

则几何校正就比较方便，但显然，两坐标之间的关系 h_1，h_2 不知道，对遥感设备所观测的地面目标而言，大面积的目标不一定是线性失真，但取其中一小块，可以近似认为是线性畸变，那么可以将畸变系统和校正系统坐标用下列线性方程来联系：

$$\begin{cases} i = ax_t + b\zeta_t + c \\ j = dx_t + e\zeta_t + f \end{cases} \tag{8}$$

将畸变图像按具体情况和经验分成若干小区，每一个小区中找出三点，如（X_{t1}，ζ_{t1}），（X_{t2}，ζ_{t2}），（X_{t3}，ζ_{t3}）。利用上面所述三个定位方程分别确定对应（i_1，j_1），（i_2，j_2），（i_3，j_3），由此列出6个方程：

$$\begin{cases} i_1 = ax_{t1} + b\zeta_{t1} + c \\ i_2 = ax_{t2} + b\zeta_{t2} + c \\ i_3 = ax_{t3} + b\zeta_{t3} + c \\ j_1 = dx_{t1} + e\zeta_{t1} + f \\ j_2 = dx_{t2} + e\zeta_{t2} + f \\ j_3 = dx_{t3} + e\zeta_{t3} + f \end{cases} \tag{9}$$

因为 i_1，i_2，i_3，j_1，j_2，j_3，x_{t1}，x_{t2}，x_{t3}，ζ_{t1}，ζ_{t2}，ζ_{t3} 都已知，可求出 a，b，c，d，e，f。这就是所谓逐次逼近方法。

将畸变图像的四个极点（(i_0，j_0)，(i_0，j_N)，(i_M，j_0)，(i_M，j_N)）分别定位，由这四个定位的点确定校正后图像的范围，将其分成若干个区域，并分别对每一个小区域求出 h_1，h_2，将每一区域网格化，设（x_{t0}，ζ_{t0}）为 g 中任一点，在 f 中的对应点为（α，β），则根据式(7)可以求出点（α，β）的坐标，若点（α，β）正好是 f 中的像素点，设为（i'，j'），则用点（i'，j'）的灰度值 $f(i', j')$ 来表示 g 中点（x_{t0}，ζ_{t0}）的灰度值，即 $g(x_{t0}, \zeta_{t0}) = f(i', j')$。

但在一般情况下，（α，β）不一定是像素点，这时一般用（α，β）点周围四邻的像素点灰度级值加权内插作为 $g(x_{t0}, \zeta_{t0})$，设这四个点相邻点为（i'，j'），（$i'+1$，j'），（i'，$j'+1$），（$i'+1$，$j'+1$）则

$$\begin{aligned} g(x_{t0}, \zeta_{t0}) = & (1 - \alpha + i')(1 - \beta + j') f_{(i',j')} \\ & + (\alpha - i')(1 - \beta + j') f_{(i'+1,j')} \\ & + (1 - \alpha + i')(\beta - j') f_{(i',j'+1)} \\ & + (\alpha - i')(\beta - j') f_{(i'+1,j'+1)} \end{aligned}$$

3 仿真实现

下面给出了计算机仿真结果，校正采用的是赤道附近区域的回波仿真数据。成像区域的多普勒中心频率近似为 $f_d = 3531.0$Hz，场景中心的斜距为 $R = 734552.097$m，脉冲重复频率为 $f_p = 2000$，并且设定传感器飞行姿态没有误差。校正前的图像是利用 Chirp-Scaling 算法成出的斜距图像。几何校正后的是地距图像，可以看出，图像的四个顶点在校正前后发生了位置变化，这是因为仿真的是右视的并且传感器从极地飞向赤道，这样图像在校正后相对于距离向中心线发生了位置颠倒。另外，可以看出校正前后距离向两个目标点间的距离发生了变化，这是因为地距 R_g 与斜距 R_s 满足：$R_s = R_g \cdot \sin\theta$，其中 θ 为俯角，所以校正后图像中距离向上两点间的距离大于其在校正前图像中的距离。

参考文献

1 J. C. Curlander. Location of Spaceborne SAR Imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-20, No. 3, July 1982

2 J. C. Curlander, R. N. McDonough. Synthetic Aperture Radar Systems and Signal processing. John Wiley&Sons. Inc. 1991

3 夏良正. 数字图像处理. 东南大学, 1999