

基于 HRIS 图像数据特征的畸变像元相关校正*

王学良

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 说明了 HRIS 相邻光谱通道图像数据具有高度的相关性,提出了基于这种特性和数据插值的畸变像元相关校正方法,该方法分为两个步骤,第一步,利用图像相关性对图像中的畸变像元进行检测,目的在于减小图像数据的变化,减少运算时间;第二步,通过曲面拟和方法,对检测出的畸变像元强度进行校正。实验表明该校正方法,具有很好的效果,并应用到了实际的 HRIS 数据处理中。

关键词 高分辨率成像光谱仪(HRIS) 图像数据 相关性 畸变像元 相关校正
中图分类号 TN941.1 文献标识码 A

1 引言

HRIS(High Resolution Imaging Spectrometer),即高分辨率成像光谱仪,是新一代高分辨率遥感仪器,具有极高的光谱和地面空间分辨率,广泛应用于军事侦察、资源探测、环境保护等领域,但在数据采集过程中,由于过饱和以及光学系统畸变等原因,造成图像中有非规律性的暗条带(或线),称其为畸变像元。它影响了对光谱图像的解释以及对地面目标分析结果,因而,对其进行校正是非常必要的。下面,首先对 HRIS 图像数据特征进行分析,并通过实验加以验证,提出了以此特征为基础的相关校正方法,最后,通过两个具体实验来说明该方法的有效性。

2 HRIS 图像数据特征分析

HRIS 是通过对地面物体不同通道的反射光谱进行同时记录的遥感仪器,它的光谱图像具有高度的相关性。图 1 是实验所获得的 HRIS 图像。

* 国家 863-2 攻关资助项目

收稿日期: 1999-01-26

修稿日期: 1999-05-05

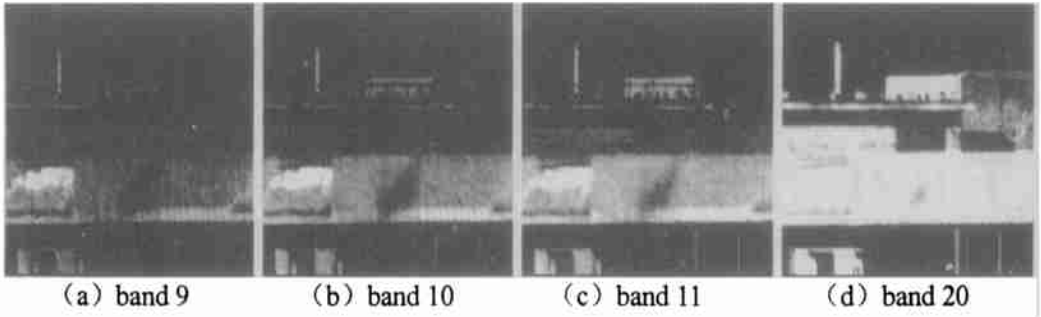


Fig. 1 The original different band HRIS images

为了验证图像数据间的相关性,利用 Benny 在文献[1]中提出的计算公式,计算了图1中不同波段的光谱图像间归一化的相关系数 C_o :

$$C_o = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I_1(i,j) I_2(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I_1(i,j)^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I_2(i,j)^2}} \quad (1)$$

其中, I_1 和 I_2 分别表示两个不同波段的光谱数据图像, $M \times N$ 为图像的大小, $I_1(i,j)$ 和 $I_2(i,j)$ 分别表示图像 I_1 和 I_2 坐标为 (i,j) 的像元强度。计算结果如表1所示。

Table 1 The correlation coefficient between different bands of original HRIS images

Image band	9	10	11	20
9	1.000	-	-	-
10	0.999	1.000	-	-
11	0.998	0.999	1.000	-
20	0.991	0.993	0.995	1.000

由表1可以得出结论:不同波段间的 HRIS 图像数据具有高度的相关性。

3 畸变像元的相关校正方法

对于图像中畸变像元,通常采用的校正方法是对图像进行重采样,有最近邻法、双线性法和三次卷积法等,但是,它们具有一个共性,即利用同一原始图像中某些像元的强度,计算重采样后的输出图像像元强度。对于 HRIS 图像数据来说,这些方法在原始图像不存在几何畸变的情况下,重采样结果是正确的;而在遥感过程中,由于飞行平台的影响,如飞机的姿态变化(侧滚、俯仰、偏流),运动变化(地速变化、航高变化),以及地形起伏变化等,不可避免地引起遥感图像几何畸变,因而对于数据重采样来说,采样间隔是不连续的,在扫描线的方向上是不同的。由于传统的校正方法,不考虑沿扫描线方向上采样间隔的非同一性,因而,在 HRIS 畸变数据的重采样校正中,不能够直接运用传统的方法,为此,提出了相关校正方法。

这种方法分为两个步骤:

1. 图像中畸变像元的检测。
2. 畸变像元的曲面拟合校正。

3.1 畸变像元检测

对畸变像元检测的目的, 其一, 是为了最大限度地保持原始图像的光谱辐射亮度, 减小校正过程引起的图像变化; 其二, 是只对畸变数据进行重采样校正, 减小数据运算量, 加快校正速度。

检测可以分为三种方法。方法之一是减影方法, 它是利用图像间的相减运算, 又称减影技术, 广泛用于对同一景物在不同时间拍摄的图像或同一景物在不同的波段的图像进行相减, 获得图像间的差异信息。而在畸变像元的检测中, 可以将畸变像元看作图像间的差异, 利用文献[2]中提出的计算公式有

$$O(i, j) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i, j) - R(i, j)] \quad (2)$$

其中, $O(i, j)$ 为输出图像, $I(i, j)$ 和 $R(i, j)$ 分别代表原始的不同波段图像, $I(i, j)$ 和 $R(i, j)$ 分别为 $I(i, j)$ 、 $R(i, j)$ 进行灰度变换到同一灰度范围的结果图像, $M \times N$ 为图像的大小。对 $I(i, j)$ 和 $R(i, j)$ 进行灰度变换, 目的在于减小 $I(i, j)$ 和 $R(i, j)$ 图像灰度差异, 对检测结果的影响, 提高检测的准确性。

方法之二是互相关检测方法, 它是利用不同波段图像间的相关性以及同一图像相邻像素的相关性, 以及畸变像元与图像数据的非相关性等, 对原始图像中的畸变进行检测的。在这种方法中, 首先, 在各波段图像中寻找图像质量比较好, 没有暗条带的图像作为参考图像, 然后计算待校正图像和参考图像中同一位置坐标像素的相关系数 C_o , 并与一给定的阈值 (Threshold) 进行比较, 来对原始图像中的畸变数据进行检测, 具体通过以下公式(3)和(4)进行。

$$C_o(i, j) = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_1(x, y) I_2(x - i, y - j)}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_1(x, y)^2 \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_2(x, y)^2} \quad (3)$$

$$O(i, j) = \begin{cases} 1, & C_o(i, j) > Threshold \\ 0, & C_o(i, j) < Threshold \end{cases} \quad (4)$$

在检测之后, 再对输出图像进行二值化处理, 作为中间处理图像, 为后续的校正过程做好准备。

方法之三为自相关检测方法, 它是利用同一图像中像素间具有高度相关性, 而畸变像元与图像像素的非相关性, 对图像中的畸变像元进行检测的。图像的自相关值通过(5)式计算。

$$C(\epsilon, \eta; j, k) = \frac{\sum_{m=j-\omega}^{j+\omega} \sum_{n=k-\omega}^{k+\omega} f(m, n) f(m - \epsilon, n - \eta)}{[\sum_{m=j-\omega}^{j+\omega} \sum_{n=k-\omega}^{k+\omega} f(m, n)]^2} \quad (5)$$

其中, $f(m, n)$ 为原始图像中大小为 $(2\omega + 1)(2\omega + 1)$ 的子图像, (5) 式是对 $f(m, n)$ 中的每一像素 (j, k) 与偏离值为 $\epsilon, \eta = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm T$ 的像素之间的自相关值进行计算。

自相关函数扩展的一种测度是二阶矩, 即:

$$T(j, k) = \prod_{\epsilon=-T}^T \prod_{\eta=-T}^T \epsilon^2 \eta^2 C(\epsilon, \eta; j, k) \quad (6)$$

利用(5)、(6)式对待校正的图像进行自相关运算,得到自相关系数,与给定的阈值进行比较,得到畸变像元所在坐标,完成检测工作。

3.2 畸变像元的曲面拟合校正

在完成畸变像元检测后,再利用曲面拟合方法对畸变像元进行校正,介绍如下:

设 (x_i, y_i, g_i) 和 (x_i, y_i, r_i) ($i = 0, 1, \dots, (n-1)$) 分别代表待校正图像和参考图像的 n 个空间坐标点 (x_i, y_i) , 待校正图像和参考图像同一坐标位置的像素强度分别为 g_i 和 r_i , 为了能够利用曲面拟合方法进行校正,引入了变量 Δg_i

$$\Delta g_i = r_i - g_i$$

$$\text{或 } g_i = r_i - \Delta g_i \quad i = 0, 1, \dots, (n-1) \quad (7)$$

由此,可以得到 N 个三维坐标点 $(x_i, y_i, \Delta g_i)$ ($i = 0, 1, \dots, (n-1)$), 可以利用下式对畸变像元进行校正:

$$\Delta g_i(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + \sum_{i=0}^{n-1} F_i r^2 \ln r_i^2 \quad (8)$$

其中,

$$r_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 \quad (9)$$

n 为三维点的个数, (x_i, y_i) 是第 i 个点的坐标, $\Delta g_i(x, y)$ 为 (x, y) 对应的参考图像与待校正图像光谱强度之差, 将 $(x_i, y_i, \Delta g_i)$ 代入(8)式,得:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=0}^{n-1} F_i &= 0 \\ \sum_{i=0}^{n-1} x_i F_i &= 0 \\ \sum_{i=0}^{n-1} y_i F_i &= 0 \\ \Delta g_0(x_0, y_0) &= a_0 + a_1 x_0 + a_2 y_0 + \sum_{i=0}^{n-1} F_i r_{i0}^2 \ln r_{i0}^2 \\ &\vdots \\ \Delta g_{n-1}(x_{n-1}, y_{n-1}) &= a_0 + a_1 x_{n-1} + a_2 y_{n-1} + \sum_{i=0}^{n-1} F_i r_{i(n-1)}^2 \ln r_{i(n-1)}^2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

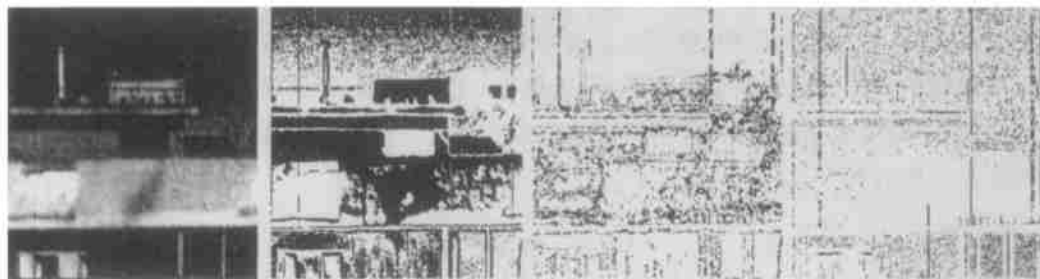
求解方程组(10),得到参数 F_i ($i = 0, 1, \dots, n-1$) 和 a_0, a_1, a_2 , 即可以得到(7)和(8)式,便可以对畸变像元进行校正。

4 实验及结论

为了验证相关校正的正确性和有效性,利用图1中的HRIS图像数据进行了两个具体实验。

4.1 畸变像元检测实验

在检测实验中, 分别利用了减影、互相关和自相关检测方法, 对图 2 中的图像(a) 进行了处理, 处理结果如图 2 所示。



(a) (b) (c) (d)

(a) the original HRIS's band 10 image,

(b) the result of subtraction between band 10 and band 20 image

(c) the result of cross-correlation between band 10 and band 20 image

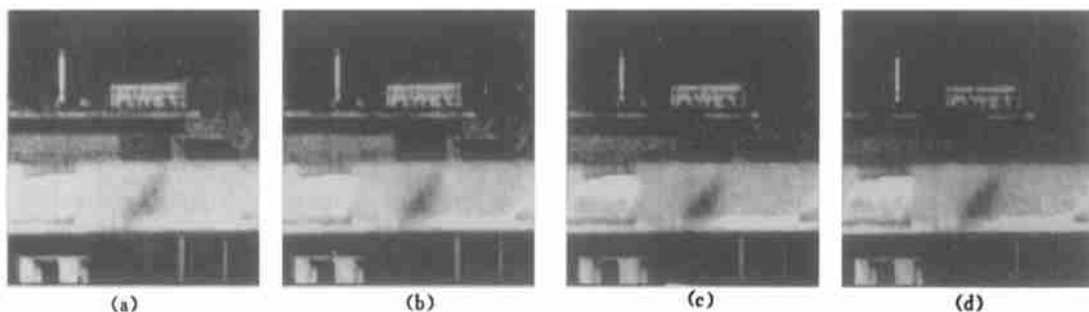
(d) the result of self-correlation of band 10 image

Fig. 2 The original HRIS image and result of detection by deferent methods

通过图 2 中的结果图像(b)、(c)和(d) 可以看到, 利用图像减影方法的检测结果, 效果非常不理想, 原因在于两个波段的图像之差, 不仅代表了图像的畸变像元, 同时也反映出两个图像间实际的信息差异; 而利用互相关检测方法, 结果要好于图像减影方法的检测结果, 但在结果图像中, 存在着许多可疑点, 虽然对后续校正结果精度, 不会产生很大的影响, 但增加了数据处理量, 降低了校正效率; 而利用图像自相关的检测方法, 检测结果中可疑点明显减少, 畸变数据检测效果比较理想。所以, 在三种检测方法中, 图像自相关检测方法最优。

4.2 畸变像元曲面拟合校正实验

在校正实验中, 首先利用自相关检测方法对图像中的畸变像元进行了检测, 然后利用了最近邻方法、双线性方法、三次卷积法和曲面拟合校正方法, 对畸变像元进行了校正。



(a)

(b)

(c)

(d)

(a) the result of corrected by the nearest neighborhood method

(b) the result of corrected by bilinear method

(c) the result of corrected by cubic convolution method

(d) the result of correcte by the method presented in this paper

Fig. 3 The result of corrected by deferent methods

在校正过程中, 为了减少以局部代替整体对校正后图像精度的影响, 采用了对原始图像进

行分块处理的方法,同时,为了减少校正后图像灰度的非连续性,在分块处理时,采用了块与块之间有部分重叠的方法。校正结果如图(3)所示。

在图 3 中,利用最近邻插值方法校正后的图像,原始图像中的畸变像元所在的线或条带校正效果不明显,而且校正后图像的灰度出现了方块效应,图像模糊;利用双线性方法的校正后的图像,也存在着一定的模糊,校正效果也不太理想;而采用三次卷积校正方法处理后的图像,校正效果较前两种方法有明显的改善,但还是有一定的模糊;而利用相关校正方法校正后的图像,在校正了畸变像元的同时,保持了原始图像的质量,因而,可以说在四种校正方法中相关校正方法是最优的和有效的。

参 考 文 献

- 1 Benny A H. Automatic relocation of ground control points in Landsat imagery. *Int J Remote Sensing*, 1983, 4(2): 335 ~ 342
- 2 荆仁杰等. 计算机图像处理. 杭州: 浙江大学出版社, 1990
- 3 郭小方, 王天兴等. 机载多光谱扫描图像几何畸变的全自动校正. *中国图像图形学报*, 1998, 3(5): 395 ~ 399
- 4 Moreno Jose F. An Optimum Interpolation Method Applied to the Resampling of NOAA AVHRR Data. *IEEE, transactions on geoscience and remote sensing*, 1994, 32(1): 131 ~ 151

A Distorted Pixels Correlation Correcting Method Based on the Characteristic of HRIS Images

WANG Xue-Liang

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

It proves that adjacent band HRIS images have strong cross-correlation, and presents a correlation correcting method by applying this characteristic and interpolation method. The correlation correcting method includes two steps, the first is detecting distorted pixels by using correlation, it's purpose is to reduce images change and time cost; the second is utilizing surface fitting method to correct distorted pixels. Experiments have proved the method has a good effect, and its has been applied in practical data processing in HRIS.

Key words: HRIS, Image data, Cross-correlation, Distorted pixels, Interpolation method

王学良 男, 1969 年出生, 1992 年 7 月毕业于长春光机学院电子工程系, 1995 年攻读中科院长春光机所硕士学位, 并于 1997 年提前攻读博士学位, 主要从事计算机图像处理方面的研究工作。