

高分辨率遥感影像波段配准误差试验分析

于海洋¹, 甘甫平², 党福星²

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 高分辨率遥感影像波段间配准误差是影响影像质量及其应用精度的重要因素之一。配准误差指标要求是影像传感器研发中的一项重要参数。为准确分析配准误差对遥感应用的影响程度, 在试验研究中利用多项式模型模拟各种配准误差的图像, 并从几何精校正、目视解译、非监督分类实验及数据融合等角度分析了不同波段配准误差情况下对遥感应用的影响, 提出了遥感应用中对高空间分辨率卫星影像的波段配准指标要求。

关键词: 高分辨率遥感影像; 波段配准; 非监督分类; 数据融合

中图分类号: TP 75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2007)03-0039-04

0 引言

在遥感数据获取过程中, 各波段地物的电磁波信息是用不同探测元件探测的, 如果从地表到达受光面上排列的各探测元件的路径有微小的不同, 将使各探测元件捕捉到的地表位置信息存在着细小的差异, 造成波段间存在配准误差, 这种误差是影响影像质量以及应用精度的重要因素之一^[1,2]。影响 CCD 相机波段配准的因素有多种, 如温度变化和结构稳定性等^[3]。波段间的配准是指波段间的像元定位、对齐或重合, 以消除或降低合成图像模糊、双边等影响^[4]。对于高空间分辨率卫星数据来说, 波段间配准的精度对几何定位精度, 乃至对地物分类准确性与可应用性的影响尤为显著。

为了更好地促进我国资源卫星事业的发展, 尤其是针对我国计划发射的高分辨率卫星对配准的要求, 笔者从几何精校正、目视效果、非监督分类实验以及实际应用等角度分析了不同波段间配准误差情况下对分类、实际应用等的影响, 并提出了实际应用中中对高空间分辨率卫星传感器的波段间配准指标要求。

1 波段配准误差图像模拟

1.1 数据选择

高空间分辨率卫星数据有 QuickBird、IKONOS、EROS 及 OrbView 等, 在此选取具有代表性的 1 m/4 m

分辨率的 IKONOS 卫星数据作为试验数据。考虑到地质应用的实际情况, 选择地质信息(构造、纹理以及岩性等)比较丰富的内蒙古古拉本煤矿区作为试验区。

1.2 模拟方法

在本次研究中, 首先利用随机函数来产生配准误差, 通过多项式拟合来产生新的具有配准误差的图像, 包括插值重采样、随机误差值模拟及多项式拟合等步骤。考虑到航天图像中相对较小的几何扭曲误差, 这里主要考虑平面上的随机几何错位等情况。具有波段配准误差的模拟图像产生方法如下:

(1) 插值重采样。在研究中, 主要考虑 1 个像元以内的配准误差对实际应用的影响。利用原始标准参考图像难以直接实现 1 像元内的错位以及扭曲等配准误差的模拟, 因此, 在试验中, 首先将多光谱波段数据原始图像像元放大 20 倍, 全色波段放大 5 倍, 将图像空间分辨率插值为 0.2 m。

(2) 在图像上添加随机误差值。

(3) 利用曲面拟合多项式模型生成配准误差模拟图像。多项式模型^[5]为

$$\begin{cases} x' = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N-1} a_{ij} x^i y^j \\ y' = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N-1} b_{ij} x^i y^j \end{cases} \quad (1)$$

式中, a_{ij} 、 b_{ij} 为多项式系数; x' 、 y' 为模拟生成的新的具有配准误差的图像像元坐标; x 、 y 为具有随机误差图像控制点的像元坐标; N 是多项式的次数。

(4) 利用式(2)计算总均方根误差,即

$$RMS_{error} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k [(x'_i - X_i)^2 + (y'_i - Y_i)^2]}{k}} \quad (2)$$

式中, X 、 Y 为图像控制点的标准坐标; k 为所选控制点数。

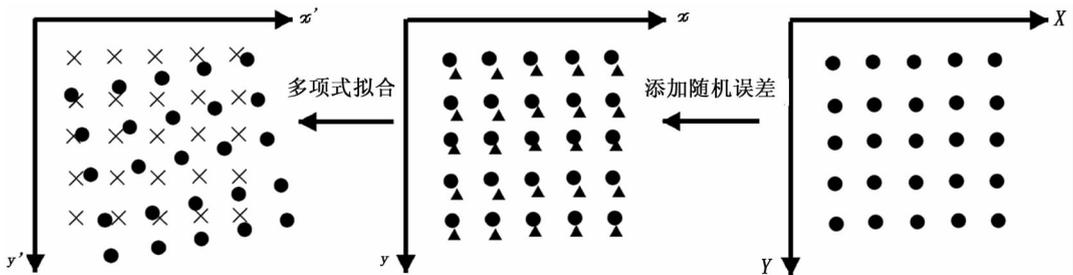


图 1 配准误差图像模拟示意图

(X 、 Y 为标准参考图像坐标; x 、 y 为添加配准误差后的坐标; x' 、 y' 为模拟的具有配准误差的图像坐标; ● 为标准参考图像坐标控制点; ▲ 为添加的随机误差; × 为模拟的具有配准误差的图像坐标点)

2 多光谱波段间配准误差分析

遥感应用中的假彩色合成一般采用多光谱波段 NIR、B、G 合成, 因此, 这里选择近红外波段 (NIR: 波长为 0.76 ~ 0.90 μm) 为标准参考图像来添加配准误差, 产生配准误差模拟图像。对 NIR 波段添加控制点 RMS 总误差分别为 0.05 像元、0.1 像元、0.15 像元、0.2 像元、0.25 像元、0.3 像元、0.35 像元、0.4 像元、0.45 像元、0.5 像元 (4 m/像元)。

通过对上述模拟图像进行目视效果分析、分类试验、地质解译以及图像几何精校正等研究, 分析不同波段配准误差对应用的影响。

2.1 目视效果分析

在影像解译过程中, 如果波段间的同名点像元之间的非精确匹配, 将造成不同地物识别上的混淆, 尤其是对其界线的确定。尽管不同应用领域对解译的内容要求不尽相同, 但在总体上均需考虑到形状、大小、图案、色调 (或色彩)、纹理、阴影、位置及分布关系等。从高分辨率卫星数据的地质应用来看, 色调、边界、纹理以及大小等影像特征相对比较重要。

利用生成的模拟 NIR 图像与蓝波段、绿波段进行 R、G、B 假彩色合成, 产生 10 组配准误差图像。通过图像的目视效果来看, 当配准误差超过 0.35 像元时, 其色调变化相当明显, 边界位置出现较明显的双边现象, 如插页影片 14 所示。

2.2 地质解译

在目视解译分析中, 当配准误差小于 0.5 像元时, 对目视解译基本无影响, 但当其达到 0.5 像元时, 线性构造、地层岩性以及煤场分布范围等的可解译性变差; 当存在 0.2 ~ 0.4 像元误差时, 人眼目视

效果相对于没有误差和低误差的情况要好, 这一点值得进一步研究。

2.3 分类试验

利用迭代自组织数据分类技术 (ISODATA) 对具有配准误差的多光谱波段进行分类试验, 在所有参数一致的情况下, 将地物分为 7 类, 涉及到不同色调的岩性地层、道路、植被及采煤区等。

将标准参考图像分类结果与存在配准误差模拟图像的分类结果进行面积统计, 可见第四系覆盖物的分类面积变化率最大, 采煤区的分类面积变化率相对较小。由于第四系覆盖物在影像色调上存在渐变关系, 当配准误差增大时, 变相地混淆了其相对比较模糊的边界, 造成在非监督分类中的误识别。当目标类与其背景反差较大时, 尽管配准误差在增大, 但对分类的结果影响相对于渐变的类而言比较小。

从图 2 可见, 当配准误差为 0.15 ~ 0.2 像元时, 分类地物面积变化率出现较明显的拐点; 当配准误差达到 0.35 像元时, 其分类平均面积变化率接近 10%。

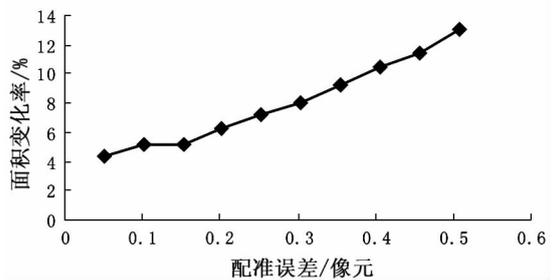


图 2 不同配准误差与平均分类面积变化率关系

2.4 图像几何精校正试验分析

在图像处理中, 几何精校正不仅能够综合校正所有因素造成的几何畸变, 显著改变图像的几何精度, 而且对后续的解译制图和几何量测也有很大的影响, 同时, 也是不同图像配准和多元信息复合的

基础。以原始图像作为标准参考图像,对经过多项式拟合产生的不同配准误差图像进行几何精校正处

理,分析不同波段配准误差对图像几何精校正的影响。表 1 为分别进行几何精校正的总误差。

表 1 NIR 波段配准误差模拟图像校正模型控制点总误差

配准误差/像元	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.30	0.35	0.4	0.45	0.5
RMS/像元	0.052	0.055	0.061	0.067	0.067	0.076	0.145	0.162	0.189	0.191

从表 1 可以看出,当配准误差超过 0.35 像元时,几何精校正总 RMS 从一直保持在 0.1 像元以下突变到 0.145 像元,出现较大的变化。

全色波段添加控制点 RMS 总误差分别为 0.1 像元、0.2 像元、0.3 像元、0.4 像元、0.5 像元及 0.6 像元(1m/像元)。

3 全色与多光谱波段配准误差分析

3.1 全色 - 多光谱融合图像地质解译分析

全色波段配准误差模拟图像生成试验方法与多光谱波段之间配准误差试验类似。利用模拟图像(重采样到 1 m 分辨率)与多光谱波段融合,对多光谱波段融合后数据进行试验分析,评价其影响。对

当全色波段与多光谱波段配准误差为 0.1 像元时,地质解译情况与标准融合图像解译情况基本无差别;在 0.2 ~ 1 像元误差内时,其解译结果相对较好。当配准误差达到 1 个像元时,融合图像的最大放大倍数降低,在最大放大倍数时,地质体的局部细节变模糊(表 2)。

表 2 不同配准精度下的图像地质解译效果分析

全色波段与多光谱波段配准误差/像元	地质内容可解译性	地质体影像特征变化			
		线性断裂	地面裂缝	滑坡体	地面塌陷
0.1	可清晰识别	线性影纹形迹明显,规模和延展方向均可进行追踪和解译	锯齿状影纹清晰可见	滑坡体的影纹形态呈长扇状显示,滑动面和周界具有明显的色彩差异,影纹轮廓清晰,易于判读	可以显示出多级塌陷的陡坎所形成的特殊影纹,与周界具有明显差异
0.2 ~ 0.8	可识别	线性影像特征清楚,延续性较好,细节部分反映一般	具有较明显的锯齿状影纹	滑坡体影像特征明显,与周界有区分性	多级塌陷陡坎影纹较为明显
1.0	识别效果相对较差	具有线性特征,有一定的宏观性,细节部分显示模糊	具有锯齿状影纹特征,细节部分模糊	具有滑坡体的影像特征,与周界区分较模糊	具有塌陷陡坎影纹,细节部分模糊

3.2 融合图像定位误差分析

通过对具有不同配准误差模拟全色波段图像与原始多光谱波段(标准参考图像)融合后图像的定位情况研究,分析不同配准误差对定位的影响。

在试验研究中,通过利用具有全色配准误差模拟图像的融合图像与标准参考全色图像的融合图像进行同名点匹配,计算不同配准误差情况下的均方根误差(RMS)如表 3 所示。

表 3 融合后图像同名点均方根误差

全色波段配准误差/像元	0.1	0.2	0.3	0.35	0.4	0.5	0.6
同名点总 RMS/像元	0.146 36	0.247 68	0.334 99	0.970 46	0.973 55	1.013 95	1.078 96

从表 3 可见,当全色波段配准误差达到 0.5 像元时,总 RMS 达到 1 像元。当全色波段配准误差在 0.3 像元以下时,总 RMS 基本保持在 0.3 像元以下,但配准误差大于 0.3 像元时,总 RMS 发生突变,接近 1 个像元。

图 3 是平均分类面积变化率的情况,从中可见,当全色波段配准误差为 0.1 像元时,平均面积变化

3.3 融合图像分类试验分析

将具有不同配准误差的全色图像与多光谱图像(参考标准)进行融合,产生一系列的具有不同配准误差的融合图像数据,利用迭代自组织数据分析技术(ISODATA)对这些具有配准误差的图像数据进行非监督分类,分析具有不同配准误差的全色图像在融合后对分类的影响。

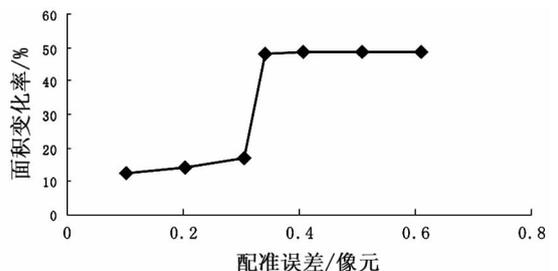


图 3 融合图像分类平均面积变化率

率达到 10% 以上,尤其是针对某些具有渐变特性的地物,其分类误差达到 15% 以上。当全色波段配准

误差为 0.3 像元时,分类地物面积变化率发生一次突变;在误差小于 0.3 像元时,面积变化率基本保持在 20% 左右,一旦超过 0.3 像元时,面积变化率平均为 50%,并保持在在一个相对稳定的范围内。

3.4 全色图像的几何精校正分析

这里主要探讨不同配准误差全色图像对几何精校正的影响。图 4 为不同配准误差情况下的 RMS

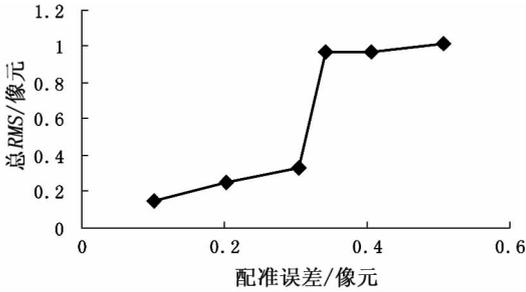


图 4 不同配准误差情况下的 RMS 变化

与配准误差之间的分布关系图。从中可见,RMS 总体趋势是随着配准误差的增大而增大,但当配准误差大于或等于 0.3 像元时,RMS 超过 0.1 像元,当配准误差达到 0.3 像元时,校正模型控制点总 RMS 会出现较大的变化。

4 结论

(1)目视解译对配准误差的要求相对较低,多光谱配准误差达到 0.5 像元时对解译有一定影响。全色与多光谱波段之间配准误差达到 1 像元时对目视解译会产生较大影响。

(2)从分类统计来看,多光谱波段间配准误差最好优于 0.2 像元,当配准误差大于 0.35 像元时,对非监督分类以及几何精校正等均会产生较大影响。

(3)全色与多光谱波段之间配准误差小于 0.3 像元时影响较小,大于 0.3 像元时,对融合图像定位、分类及几何精校正等均有较大影响。

因此,多光谱波段间配准误差应小于 0.2 像元;全色与多光谱波段之间配准误差应小于 0.3 像元。

致谢:感谢中国土地规划院刘顺喜博士、中国测绘科学院邱振戈博士、航天科技集团第五研究院关辉工程师等项目组人员在研究工作中所提供的帮助与支持。

参考文献

- [1] 刘团结. 航空多光谱数字相机系统关键技术及应用研究[D]. 北京:中国科学院,2002,12.
- [2] 张孟君,李晨钊,等. 基于 MATLAB 的遥感图像变化检测[J]. 国土资源遥感,2005,(4):16-23.
- [3] 张国瑞. 多光谱多镜头 CCD 相机的光学配准[J]. 航天返回与遥感,2001,(1):51-54.
- [4] Mohammad Shahrokhy S. Visual and Statistical Quality Assessment and Improvement of Remotely Sensed Images[A]. Istanbul, Turkey :Geo - Imagery Bridging Continents , XXth ISPRS Congress[C]. 2004.
- [5] 赵英时,等. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.

AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF BAND TO BAND REGISTRATION ERROR IN HIGH RESOLUTION SATELLITE REMOTE SENSING IMAGERY

YU Hai - yang¹, GAN Fu - ping², DANG Fu - xing²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Being one of the important factors responsible for image quality, the band to band registration error of high resolution imagery affects considerably the application precision of remote sensing. The guideline of band to band registration error is an important parameter for developing the remote sensing satellite. In the experimental studies, the authors analyzed the influence of band to band registration error on remote sensing application in such aspects as geometry registration, vision effect, image interpretation, unsupervised classification, and data fusion. The guideline of band to band registration error of high resolution imagery is summarized in this paper.

Key words: High resolution imagery of satellite; Band to band registration; Unsupervised classify; Data fuse

第一作者简介:于海洋(1978-),男,博士生,主要研究方向为遥感图像处理与地理信息系统应用。

(责任编辑:刁淑娟)