

基于正射影像和 DEM 进行土地 利用动态监测的研究

唐力明¹, 丁华祥¹, 张勇²

(1. 广东省国土资源测绘院, 广东 广州 510500; 2. 武汉大学 遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079)

On Land-use Dynamic Monitoring Based on Orthophotos and DEM

TANG Liming, DING Huaxing, ZHANG Yong

摘要:在广东省土地利用动态监测项目中,将已有的正射影像和数字高程模型作为新获取高分辨率卫星影像的控制资料,然后对高分辨率卫星影像进行绝对定位和正射影像更新,最后通过新旧正射影像的对比监测土地利用状况。利用高速局域网环境和分布式并行处理技术实现了卫星影像基于已有正射影像和 DEM 的全自动匹配、快速定向和正射影像纠正,极大地提高了生产效率。

关键词:高分辨率卫星影像;正射影像更新;SIFT 特征匹配;有理函数模型;并行处理

一、引言

自 2007 年以来,广东省国土资源测绘院开展了“广东省土地利用信息动态监测系统建设”项目。该项目的目标是:在广东省国土资源信息化工作总体框架下,采用航空、航天遥感技术对土地利用变化情况进行监测,实现土地利用现状数据更新和数据共享两个机制,基本建成广东省土地利用信息动态监测系统,满足土地管理和国土资源信息化应用的需要,达到国内先进水平。

在广东省土地利用动态监测项目的实施过程中,将已有的正射影像和数字高程模型作为新获取高分辨率卫星影像(SPOT 5、QuickBird 以及国产的高分辨率资源卫星)的控制资料,然后对高分辨率卫星影像进行绝对定位和正射影像更新,最后通过新旧正射影像的对比监测土地利用状况。传统的作业思路主要依靠人工判读的方法,即首先在已有正射影像和卫星影像间量测控制点,最后还需要目视比较新旧正射影像检测变化区域。这种作业路线费时费力,无法满足目前土地利用动态监测对数据现势性的要求。基于高速局域网环境和分布式并行处理技术实现了卫星影像基于已有正射影像和 DEM 的快速正射影像更新。项目的技术路线如下所述:

1) 使用有理函数模型作为卫星影像的通用成像模型,实现各种不同卫星影像的一体化处理。

2) 在传统的由粗到精的金字塔影像匹配策略中引入 SIFT 特征匹配和几何畸变动态改正等技术,有效提高了卫星影像与已有正射影像自动配准的成功率和正确率,使得基于已有正射影像和 DEM 快速自动获取海量地面控制点成为可能,实现了卫星影像的全自动可靠定向。

3) 卫星影像全色和多光谱波段之间像素级融合的前提条件是高精度配准。本文提出了一种基于已有 DEM 的卫星影像全色和多光谱波段间的可靠配准方法,有效地消除了数据融合中常见的重影现象。

上述方法在 2007—2008 年度的“广东省土地利用信息动态监测系统建设—土地利用动态监测”项目中一共完成了卫星正射影像图制作 1:10 000 标准分幅 4 460 幅,完成土地利用动态监测约 210 000 km²。正射影像图制作效率提高了 5~8 倍。

二、国产卫星影像的有理函数建模

目前,高分辨率卫星影像的处理通常采用统一的几何成像模型,即有理多项式成像(RFM)模型^[1]。RFM 模型适用于各类传感器,包括最新的航空和航天传感器,它的使用有利于多源、异构传感器平台,不同地面分辨率卫星影像的绝对定位和一体化处理平台的开发。

目前大多数商业卫星影像都直接提供 RPC 参数,少数卫星影像(如 SPOT 5)虽然不直接提供 RPC

收稿日期: 2011-07-04

基金项目: 国家测绘局基础测绘项目资助(213153106)

作者简介: 唐力明(1970—),男,湖南宜章人,高级工程师,主要从事摄影测量与遥感、3S 技术集成方面的研究。

参数,但是可以利用其提供的严格成像模型^[1]的精密定轨定姿参数精确恢复其严格成像模型,然后再通过建立虚拟控制点格网和最小二乘岭估计方法解算出 RPC 参数^[2]。然而很多国产高分辨率卫星影像(如中巴资源卫星等)由于没有提供任何精密定轨定姿参数,因此构建这种卫星影像的通用成像模型成为制约当前国产高分辨率卫星影像应用的主要难题。对于此类卫星影像,考虑到卫星影像的成像方式为线阵推扫方式成像,即沿线阵方向(垂直于轨道方向)为严格的中心投影,沿飞行方向则是近似平行投影。因此成像模型可以采用基于仿射变换的严格几何模型^[3]

$$\left. \begin{aligned} f - \frac{Z}{m \cos \alpha} \\ f - (x - x_0) \tan \alpha \end{aligned} \right\} \begin{aligned} (x - x_0) &= a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 Z \\ y - y_0 &= b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 Z \end{aligned} \quad (1)$$

式中, f 为相机焦距; m 为近似的摄影比例尺; α 为侧视角。解算上述模型的参数需要在卫星影像中至少已知 5 个控制点。控制点的获取则只能通过卫星影像与已有正射影像和 DEM 的自动配准获取。

只有恢复了上述严格几何模型,才能够类似于 SPOT 5 卫星影像,通过建立虚拟控制点格网和最小二乘岭估计方法解算出 RPC 参数。

三、海量控制点的自动获取

使用高分辨率卫星影像进行土地利用动态监测的首要问题就是如何充分利用已有的地理信息数据(如正射影像和 DEM 等)快速获取卫星影像绝对定位所需的控制点。因此必须实现卫星影像与已有正射影像和 DEM 之间的自动匹配才能切实提高控制点获取的效率。本文提出的自动匹配算法中主要考虑以下 5 点。

1) 卫星影像与正射影像之间初始位置关系的确定: 传统方法需要首先在卫星影像和正射影像之间量测少量种子点。这个过程同样非常费时。为此,本文算法对国外的卫星影像(如 QuickBird 和 SPOT 5 等)直接使用其提供的 RPC 参数确定相对位置关系;对于国产卫星影像,则根据其提供的卫星影像四角的地理坐标确定其初始的位置关系。

2) 引入 SIFT 特征匹配: 实践表明,对于 Quick-Bird 和 SPOT 5 卫星影像而言,利用其 RPC 参数确定的初始位置关系的误差较小,一般不超过 200 像素;但是利用国产卫星影像四角地理坐标确定的初

始位置关系的误差则有可能相当大,例如 2000 像素以上。此时必须在最高一级金字塔影像的匹配过程中引入 SIFT 特征匹配^[4-5]技术。SIFT 算子是计算机视觉领域著名的特征算子,它可用于模式识别和影像匹配。SIFT 算子是一种基于尺度空间的、对图像缩放、旋转甚至仿射变换保持不变性的图像局部特征描述算子。SIFT 匹配只用于国产卫星影像最高一级金字塔影像的匹配。

3) 几何畸变动态改正: 虽然地形高差相对于轨道高度几乎可以忽略不计,但是由于卫星影像通常并不全部获取的是星下影像,很多时候是采用侧扫方式获得。当侧视角较大时,地形高差引起的几何畸变依然是不可忽略的。除此之外卫星轨道的方位(如 SPOT 5)有时也会导致影像间的旋转角。因此匹配过程中需要按照如图 1 所示的方法将卫星影像投影到正射影像的像方空间进行匹配,从而有效消除地形起伏高差、轨道方位以及侧视角等引起的几何畸变对相关匹配的影响^[6]。

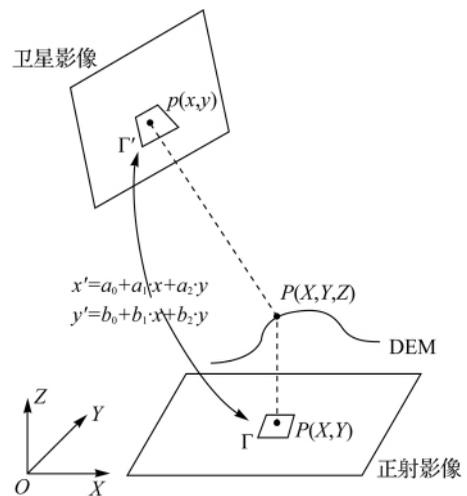


图 1 几何畸变改正示意图

4) 最后将卫星影像上的预测点位附近的影像重采样后再和正射影像上的影像窗口 Γ 进行匹配,匹配得到的点位再反算出匹配点在卫星影像上的像片坐标。

5) 在金字塔影像匹配策略中引入定向质量控制: 匹配点从正射影像中自动提取,然后根据有理函数模型(或者严格几何模型)预测到卫星影像。这样,在每一级金字塔影像上对卫星影像覆盖的所有正射影像进行匹配后,利用匹配点通过有理函数模型(或者严格几何模型)定向的方法解求卫星影像的定向参数值,定向过程中同时进行粗差探测和自动剔除,确保解求定向参数的可靠性,即在金字

塔影像匹配策略中引入了定向质量控制,通过逐级金字塔影像匹配,获得精度逐级提高的定向参数和控制点成果。

卫星影像基于已有正射影像和 DEM 的自动匹配和快速定向流程如图 2 所示。其中卫星影像的定向方法与卫星影像的类型有关:对于国外的卫星影像一般直接基于有理函数模型进行定向;对于国产卫星影像则主要基于严格几何模型进行定向,但是自动定向完成后,还需要通过建立虚拟控制点格网和最小二乘岭估计方法解算出国产卫星影像的 RPC 参数,以便于后续的正射影像纠正及融合等处理采用有理函数模型进行一体化处理。

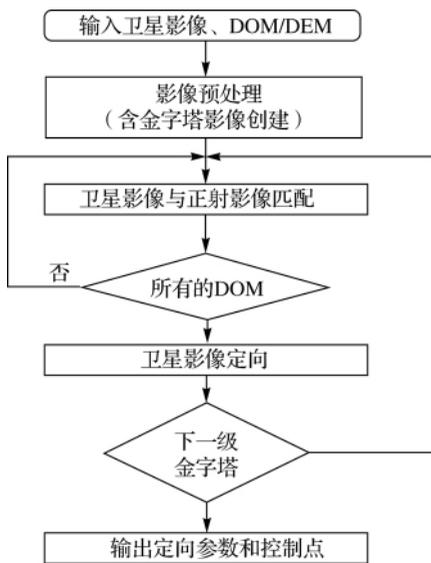


图2 卫星影像自动定向算法流程图

四、全色与多光谱影像的融合

卫星影像全色波段和多光谱波段之间像素级融合的前提条件是高精度配准。由于已知卫星影像的 RPC 参数,因此卫星影像间的相对空间方位是已知的,无需人工量测任何种子点就可以通过相关匹配方法在全色波段和多光谱波段之间匹配大量的同名点。但是影像配准结果中总是存在少量的匹配粗差,如果不能有效地剔除这些粗差,将会严重影响影像融合的效果,产生所谓的重影现象。

传统的卫星影像全色和多光谱波段之间的配准通常是使用匹配的同名点在两张影像之间进行多项式拟合。由于简单的多项式拟合并不能反映卫星影像的真实成像模型,因此在多项式拟合过程中并不能可靠地剔除匹配粗差。

在正射影像更新系统中,由于卫星影像采用统一的有理函数模型进行定向,因此如果将全色波段

和多光谱波段分别通过野外实测控制点,或者通过与已有正射影像或者矢量地图的自动匹配实现快速定向。只要全色波段和多光谱波段的影像的定向结果可靠,那么全色波段和多光谱波段的影像就可以通过已有的数字高程模型数据实现像素间的严格对应。

在本项目中多光谱波段影像的定向是通过已经定向的全色波段影像和 DEM 进行定向的。具体方法如图 3 所示。

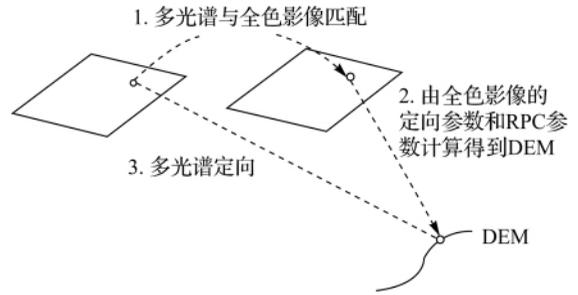


图3 多光谱影像的定向方法示意图

- 1) 首先在多光谱影像中提取特征点;
- 2) 其次将其匹配到全色波段影像上;
- 3) 然后使用全色波段影像的 RPC 参数和定向参数按照 RFM 的像地正算算法交会到已知的 DEM 上,从而解算出匹配点的地面坐标,即将匹配点转化为已知地面坐标的控制点;
- 4) 最后使用匹配获得的控制点对多光谱卫星影像进行定向,并且在定向过程中自动探测并剔除匹配粗差,从而保证高分辨率卫星影像与多光谱影像之间的可靠高精度配准。

最终卫星影像全色波段和多光谱波段之间像素级融合是通过各自的定向参数和已知的 DEM 来实现,该种算法可以有效地消除传统融合方法中经常出现的重影问题。

五、并行处理

由于本项目中卫星影像与正射影像的自动匹配、数据融合和正射影像纠正均为全自动化算法,因此,为了进一步提高整体处理的效率,本项目还研发了一种并行处理系统,利用多核的共享储存与多处理机的分布式存储相结合的正射影像更新并行处理系统,实现了卫星影像快速定向、正射影像纠正、镶嵌以及匀光匀色的自动化并行化处理。系统的硬件结构如图 4 所示。相关的硬件设备如表 1 所示。

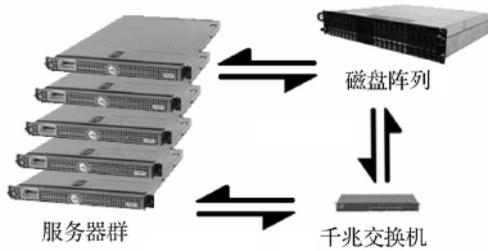


图4 系统硬件结构图

表1 并行处理系统的硬件设备一览表

硬件配置	数量
HP 机架式服务器	5 台
KVM 设备	1 套
6TB 磁盘阵列	2 台
千兆光纤交换机	1 台
UPS 电源	2 套

六、试验结果

1. 中巴资源卫星与正射影像的配准

表2所示为四景中巴资源卫星影像(GSD = 2.36 m)从1:10 000正射影像和DEM自动匹配获取的控制点数和定向精度。

表2 中巴资源卫星影像自动定向结果

景号	控制点数	定向中误差/像素	
		X 坐标	Y 坐标
224-033	1 952	1.035	1.697
224-034	1 621	0.796	0.864
187-468	2 149	1.081	1.110
187-460	2 468	1.060	0.965

2. SPOT 5 卫星与正射影像的配准

表3所示为四景SPOT 5卫星影像(GSD = 2.5 m)从1:10 000正射影像和DEM中自动获取的控制点数和定向精度。其中,四景影像的定向模型采用有理函数模型。

表3 SPOT 5 卫星影像自动定向结果

景号	定向点数	定向中误差/像素	
		X 坐标	Y 坐标
281-303	12 937	0.47	0.45
281-304	12 340	0.48	0.45
282-303	13 204	0.50	0.51
282-304	11 493	0.51	0.49

3. 全色与多光谱波段的融合

如图5所示为SPOT 5卫星影像全色与多光谱波段配准的例子。其中在多光谱和全色波段影像间一共匹配了2 265个控制点,经过定向得到的定向中误差为0.225像素。

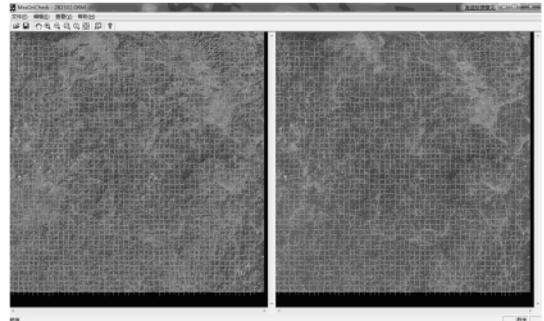


图5 SPOT 5全色和多光谱波段自动匹配的同名点分布

参考文献:

- [1] GAEL Consultant. SPOT 123-4-5 Geometry Handbook [EB/OL]. [2011-03-01]. <http://www.spotimage.fr>.
- [2] GRODECKI J, DIAL G. Block Adjustment of High-resolution Satellite Images Described by Rational Functions [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2003 69 (1): 59-68.
- [3] ZHANG Jianqing, ZHANG Zuxun. Strict Geometric Model Based on Affine Transformation for Remote Sensing Image with High Resolution [C] // [s. l.]: ISPRS, 2002.
- [4] LOWE D G. Object Recognition from Local Scaleinvariant Features [C] // International Conference on Computer Vision. Corfu, Greece [s. n.], 1999: 1150-1157.
- [5] LOWE D G. Distinctive 2004 Image Features from Scale-invariant Keypoints [J]. Internatioanl Journal of Computer Vision 2004 60(2): 91-110.
- [6] ZHANG Jianqing, ZHANG Yong, ZHANG Zuxun. Determination of Exterior Parameters for Video Image Sequences from Helicopter by Block Adjustment Combined Vertical and Oblique Images [C] // Proceedings of the 3rd SPIE International Symposium Multispectral Image Processing and Pattern Recognition. Beijing: SPIE. 2003.