

面向对象的真正射影像纠正方法

朱庆^{1,2} 于杰¹ 杜志强¹ 张叶廷¹

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(2 西南交通大学地球科学与环境工程学院,成都市二环路北一段 111 号,610031)

摘要:现有“像素级”的真正射影像纠正方法由于没有充分考虑地物特征和影像像素间的关联关系,导致对 DSM 分辨率十分敏感,难以保持地物轮廓边缘特征的准确性和纹理结构的完整性,遮挡恢复和阴影补偿难以自动化处理,需要大量人工干预等问题。提出了一种面向对象的真正射影像纠正方法,主要内容包括:① 物方和像方对象的定义及语义描述;② 像方对象的全局可见性索引;③ 面向对象的真正射纠正和纹理优化采样。选择广东阳江地区多角度航摄影像进行了实验,结果表明,面向对象的真正射纠正方法既能保持准确的几何特征和完整的纹理结构,还能自适应地处理遮挡和阴影,为多角度高分辨率影像数据的自动化、智能化真正射纠正提供了一种有效的新途径。

关键词:真正射纠正;面向对象;语义描述;优化采样;全局可见性索引

中图分类号:P231.5

正射纠正是摄影测量研究的基本问题之一,基于高精度的 DEM 对地形起伏引起的影像投影差进行改正,生成正射影像已经达到实用化程度。随着高分辨率影像的普遍可得,城市地区正射影像中高大建筑物的投影差、遮挡与阴影等问题凸显出来,严重妨碍了影像地图的准确判读和应用效能,“真正射影像”因此日益成为国内外研究和实践的热点前沿^[1-5]。与传统正射纠正相比,真正射纠正的关键难点在于:① 根据包含地形和地物的三维数字表面模型(DSM)进行正射纠正,充分消除由于地形起伏和地物高度引起的成像投影差;② 检测并标识地表成像时的遮挡区域,确保在正射纠正中采样正确的纹理,避免出现“鬼影”;③ 为了信息完整和影像美观,对遮挡和阴影区域进行补偿或恢复处理,从而得到无遮蔽、无重影、纹理真实、视角垂直的真正射影像。

根据真正射纠正流程中遮挡检测与微分纠正的关系,已有的真正射纠正主要有两大类方法。第一类方法是通过遮挡检测确定单张影像的可见区域,利用数字微分纠正技术进行灰度内插并赋值,遮挡区域利用相邻影像中的可见部分进行纹理修补^[4-6]。这类方法最大程度继承了传统正射

影像处理的方法,经过专门的遮挡检测与遮挡补偿解决遮挡和重影问题,但纠正结果依赖于遮挡检测的精度,遮挡补偿又需要对多张辅助影像进行遮挡检测与纹理挖补,使得影像无缝镶嵌与匀光更加复杂,往往需要大量人工交互而难以实现自动化。另一种方法是首先确定序列影像与物方三维地表的可视对应关系,在微分纠正过程中直接选取最佳可见像素进行灰度重采样。这类方法规避了遮挡检测与补偿,直接生成真正射影像,大多数当代数字摄影测量系统如像素工厂等均提供了类似功能。但是该类方法对影像重叠度的依赖性较强,对影像质量要求严格,计算量大,对软硬件要求较高,对简单建筑物的处理结果比较理想,以及对顶部结构复杂的建筑物还存在明显的问题^[7]。

上述两类方法均属于典型的像素级纠正处理,其所依赖的 DSM 分辨率十分敏感,对 DSM 产生了很高的精度要求,而生成高精度的 DSM 并进行逐像素纠正也使得计算量剧增,处理代价巨大。逐像素的处理难以保证地物几何特征的准确性、纹理结构的完整性,特别是难以考虑影像的辐射质量差异。随着影像分辨率的提高,高低起

伏的地物对象在影像上往往由多个像素组成,忽略对象的纹理结构及对象间相互关系的“像素级”纠正处理已不能满足需求^[8-9]。为此,本文提出了面向对象的真正射纠正方法,将像素级的纠正处理提升到对象级,有效利用像素本身的灰度信息及同一对象像素间的关联关系,通过语义约束的地表三角网模型实现面向对象的几何纠正和影像优化采样,保证地形和地物对象的准确纠正、特征保持和纹理完整。

1 面向对象的真正射纠正

本文定义的对象分为物方对象和像方对象两类,相互之间具有严密的几何映射关系。本文的真正射纠正流程如图1所示。

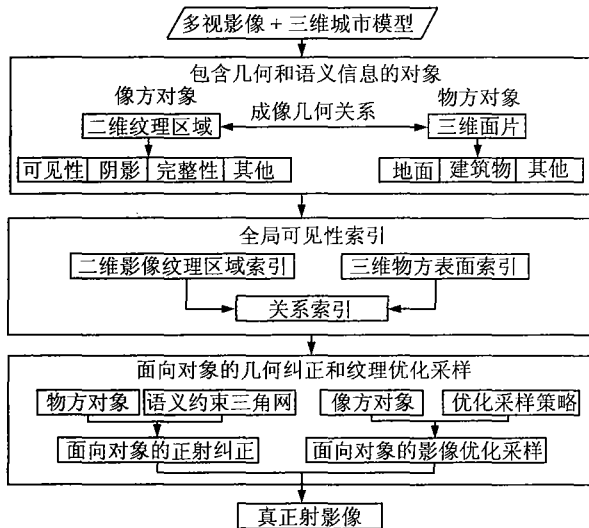


图1 面向对象的真正射纠正算法流程

Fig.1 Workflow of Object Oriented True-Ortho Rectification

1.1 物方和像方对象的定义及语义描述

物方对象是指三维物方空间中具有独立语义信息、由连续几何面片构成的地形表面或地物顶部对象,所有物方对象在水平面上的投影形成一个无缝且无重叠的连续表面。物方对象的语义信息包括几何语义(如具有三维坐标的三角形面片及其拓扑关系)和专题语义(如地形对象、建筑物对象、水面对象、桥面对象等)。物方对象可以通过多种途径获得,如从三维城市模型、机载激光扫描点云、多角度影像等数据源(半)自动的方式提取。像方对象是指灰度或彩色影像上辐射特征一致、局部相关性最大、边缘明确且结构紧密的纹理区域^[8],其语义信息包括二维几何属性及拓扑关系、可见性、纹理完整性、阴影、辐射质量、成像天

底角等。像方对象可以通过影像分割和相关的遮挡与阴影检测等方法提取。根据成像原理,利用共线方程可以计算得到物方对象和像方对象之间严密的几何映射关系。由于成像时存在遮挡,物方对象与像方对象之间可能是完整关联,也可能是部分关联。

1.2 像方对象的全局可见性索引

真正射纠正具有数据密集和计算密集的特点,对数据的有效组织是高性能处理的关键,因此本文提出了有效存储对象及对象间关系并快速检索的多影像全局可见性索引概念。利用多视影像的冗余信息可获得物方对象与像方对象间一对多的可视对应关系,而同一物方对象对应的多个像方对象(完整可见和部分可见)在优先选择完整可见的前提下,还应充分考虑不同影像的辐射质量差异,筛选质量最好的影像纹理用于采样,特引入影像辐射语义信息,包括像素可见性、纹理完整性、部分遮挡、阴影、成像的辐射质量等。特别的,这里的像素“不可见”泛指引起多视影像匹配不成功的因素,如几何遮挡、影像断裂、纹理差异较大等。根据物方对象与像方对象之间的映射关系与语义关联,全局可见性索引有助于快速查找可见的最佳采样对象,用于面向对象的真正射影像优化采样,从而保证真正射纠正结果准确美观,自适应规避遮挡和阴影区域影像。

1.3 面向对象的几何纠正和纹理优化采样

为了准确保持物方对象的几何特征,本文直接采用语义约束的不规则三角网(semantics constrained traingulated irregular network, STIN)代替传统栅格 DSM。所有地形和地物对象在水平面上的投影构成一个无缝的连续表面模型,采用 STIN 结构进行组织,并将对象语义赋予三角网的角点和边,既可以保证地形表面的完整无缝,又可以保持地物轮廓的精细矢量特征。在真正射纠正过程中,物方三维数据直接从 STIN 内插采样,避免了传统 DSM 生成过程中三维矢量栅格化和点云数据融合的各种误差,提高了纠正的几何精度。

为了有效保证每个物方对象纠正后具有高质量的影像纹理,本文提出了面向对象的纹理优化采样算法。依据像方对象纹理质量,确定优化采样策略;对影像辐射质量的语义信息进行优先性排序、设置迭代和筛选机制,选择最优像方对象用于采样。优化采样过程易于自动化实现,在保证真正射影像纹理完整与连贯的同时,还可有效改善影像的阴影等问题,降低了后期辐射处理的难度,从视觉和审美角度改善了影像,增加了真正射

影像的真实性。

面向对象的真正射纠正不受遮挡检测结果的影响,且在几何纠正的同时自动规避了遮挡检测和遮挡补偿,如果在提取像方对象时利用阴影检测算子同时提取阴影等信息,在多视影像的优化采样过程中即可同时实现阴影恢复,无需外部辅助数据源,自动化程度较高。

2 实验数据与结果分析

为了验证本文方法的正确性和有效性,选取 SWDC-5 多角度相机获取的两个航带共 6 幅航空影像进行实验,影像分辨率为 0.06 m。交互式提

取了如图 2 所示的像方和物方对象,并生成 STIN 模型,建立了如图 3 所示的多视影像全局可见性索引。根据图 1 所示的算法流程进行真正射纠正实验,并获得了与原始影像分辨率一致的真正射影像结果(见图 4(a));同时采用经典的 Z-buffer 算法进行遮挡检测和像素级纠正,得到真正射影像结果(见图 4(b))。对比分析两种方法的结果可知,像素级纠正的结果中,房屋边缘出现锯齿现象,补偿后的纹理也存在明显的辐射差异,需要后续复杂的交互式匀光与羽化等辐射处理;对象级方法的结果中,房屋边界无锯齿现象,建筑物边界轮廓分明,影像纹理更加规整,建筑物倾斜及墙面纹理完全消除,影像色彩均匀,阴影自然真实。

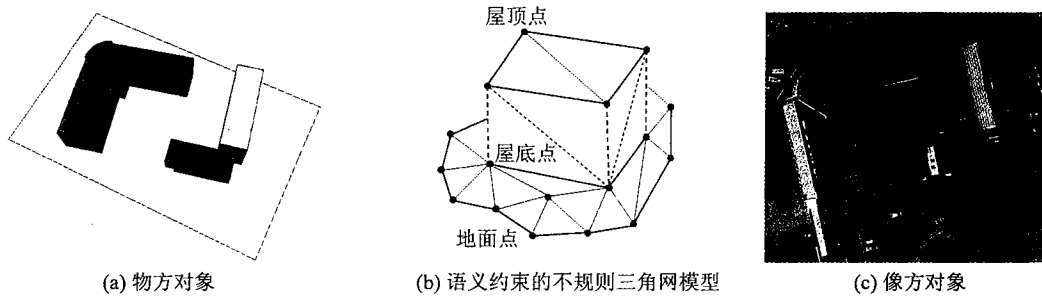


图 2 物方对象和像方对象

Fig. 2 Special Object and Image Object

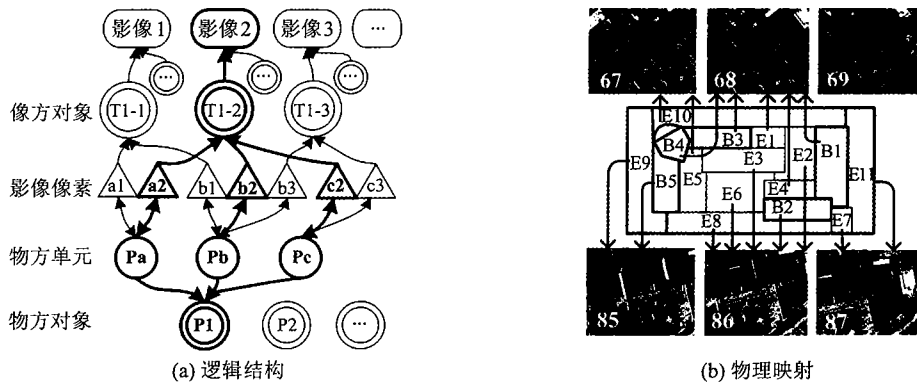


图 3 全局可见性索引

Fig. 3 Global Visibility Index

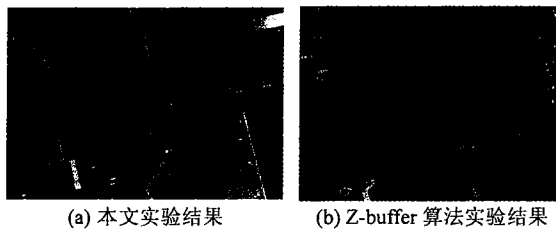


图 4 对象级和像素级真正射纠正实验结果

Fig. 4 Experimental Results of Pixel-Oriented and Object-Oriented True Ortho Rectification

3 结 语

随着三维数字城市的快速发展,人们对真正射影像精细化高质量的要求越来越迫切,而生产实践中现有的像素级真正射纠正需要进行大量的交互式处理,不仅操作复杂、效率低,而且成果质量难以保证。本文引入面向对象的思想提出了对象级真正射影像纠正方法,充分利用三维城市模型中精细的地形表面和地物轮廓矢量信息,以及

多视影像的冗余信息和蕴含的丰富语义信息,特别是全局可见性信息和影像辐射质量等信息自适应处理遮挡和阴影,实现了纹理影像的优化采样,较好地保持了真正射影像中清晰的建筑物轮廓边缘、完整的纹理结构和良好的视觉效果。另外,由于真正射纠正和纹理优化采样是根据不规则三角网逐三角形面片进行处理,且每个三角形的处理是独立的,有利于实现并行计算。可见,本文方法为新一代的真正射影像生产提供了有效的新途径,后续将进一步研究智能化、自动化提取物方对象和像方对象及其语义信息,以及大规模真正射纠正的高性能并行处理。

参 考 文 献

- [1] Amhar F, Josef J, Ries C. The Generation of True Orthophotos Using a 3D Building Model in Conjunction with a Conventional DTM[J]. *International Archives Photogrammetry, Remote Sensing*, 1998, 32(4): 16-22
- [2] Rau J Y, Chen Naiyu, Chen L C. True Orthophoto Generation of Built-up Areas Using Multi-view Images[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2002, 68(6): 581-588
- [3] Biazon A. A New Procedure for the Automatic Production of True Orthophotos[J]. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2004, 35: 12-23
- [4] Zhou Guoqi, Chen Weirong, Kelmelis J A, et al. A Comprehensive Study on Urban True Orthorectification[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2005, 43(9): 2 138-2 147
- [5] Habib A F, Kim E, Kim C. New Methodologies for True Orthophoto Generation[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2007, 73(1): 25-36
- [6] Shariat M, Azizib A, Saadatseresht M. Analysis and the Solutions for Generating a True Digital Ortho Photo in Close Range Photogrammetry[J]. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2008, 37(B4): 439-442
- [7] 史照良,沈泉飞,曹敏,等. 像素工厂中真正射影像的生产及其精度分析[J]. *测绘科学技术学报*, 2007, 24(5): 332-335
- [8] Blaschke T. Object Based Image Analysis for Remote Sensing[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2010, 65: 2-16
- [9] Bleyer M, Rother C, Kohli P, et al. Object Stereo—Joint Stereo Matching and Object Segmentation[C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Colorado, 2011

第一作者简介:朱庆,教授,博士,博士生导师。现从事数字摄影测量、实时 GIS 与虚拟地理环境研究。

E-mail: zhuq66@263.net

An Object-Oriented True Ortho Image Rectification Method

ZHU Qing^{1,2} YU Jie¹ DU Zhiqiang¹ ZHANG Yeting¹

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, 111 Erhuan Road, Chengdu 610031, China)

Abstract: After reviewing the existing true ortho image rectification methods, we analyze image rectification and texture resampling processes that use a pixel-oriented strategy. These strategies generate inaccurate geometric features, imperfect texture structures of man-made objects. Thus, occlusion recovery and shadow compensation are difficult to automatically process, requiring much manual intervention. Aiming to solve these problems, this paper proposes a novel object-oriented true-ortho rectification method, implementing a high-level object-oriented strategy instead of a low-level pixel-oriented strategy. There are three main steps: ① definition of physical objects and image object containing geometric and semantic information. In 3-D physical space, all the objects in the horizontal plane of projection form a seamless surface comprised of a series of contiguous triangular facets, in this paper

(下转第 827 页)

Crustal Movement and Strain Model of Active Blocks Analyzed by GPS in Sichuan-Yunnan Region

DING Kaihua¹ XU Caijun² ZOU Rong³ HU Youjian¹

(1 Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences(Wuhan), 388 Lumo Road, Wuhan 430074, China)

(2 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, 388 Lumo Road, Wuhan 430074, China)

Abstract: Constrained by GPS from CMONOC between 1998 and 2004 in Sichuan-Yunnan region, based on geological division of blocks, we inverse the parameters of active blocks about their present-day crustal movement and deformation by rigid body model and movement and strain model separately. With the comparison of these two models by model identification, it is concluded that it is more proper to describe the properties of crustal movement of active blocks by movement and strain model in Sichuan-Yunnan region. Through the analysis of the movement of active blocks and main faults, the results showed that the characters of crustal movement can be represented by clockwise motion, weakened gradually from west to east and from north to south, and the main feature of crustal deformation is continuous and with gradient shear in Sichuan-Yunnan region.

Key words: Sichuan-Yunnan region; crustal movement; crustal deformation; GPS; model identification

About the first author: DING Kaihua, post-doctoral fellow, lecturer. His main research interests are model and algorithm in geodesy joint inversion, data processing and application of GPS.

E-mail: khding@163.com

(上接第 760 页)

this surface is represented by Semantics constrained Triangulated Irregular Network (STIN). The physical objects are characterized by different aspects: property, outline, geometry and topological relation, extracted from 3-D city models and point clouds. The image objects are made up of several pixels with semantic descriptions for spectral information, 2-D geometry and topological relations. They can be extracted by image segmentation, edge detection, and texture clustering. ② establishment of a global hierarchical spatial index of image objects. After deriving visual correspondence relationship between 3-D physical objects and 2-D image objects, we use the index to organize all the information from physical and image objects efficiently and provide a foundation for high performance true-ortho rectification and optimized image sampling. ③ object-oriented true-ortho rectification and optimal image resampling. True-ortho rectification is carried out based on the physical objects as STIN. And based on the semantic links in the global index, the image objects with semantic information on visibility, integrality, and radiometric features can be chosen for optimized sampling to adaptively handle occlusion and shadows. Experimental results revealed that the proposed method has the advantages of high accuracy, high efficiency and full automation.

Key words: true-ortho rectification; object oriented; semantic description; optimized image sampling; global hierarchical spatial index

About the first author: ZHU Qing, professor, Ph. D, Ph. D supervisor. He is concentrated on digital photogrammetry, real-time GIS and virtual geographic environments.

E-mail: zhuq66@263.net