

UAV 城市高质量 DOM 制作流程与方法探讨

解斐斐^{1,2}, 林宗坚², 王东东³

(1. 武汉大学 遥感信息工程学院 湖北 武汉 430079; 2. 中国测绘科学研究院 北京 100039; 3. 中国矿业大学 地球科学与测绘工程学院 北京 100083)

The Discussion of Operational Procedure and Methods for High-quality DOM Production in Urban Areas

XIE Feifei, LIN Zongjian, WANG Dongdong

摘要: 围绕利用无人飞行器低空航测系统获取的数据制作城市地区高质量数字正射影像这一技术难题, 研究一套快速获取和满足精度要求的 DOM 制作流程, 并探讨 DOM 制作过程中密集点云 DSM 的匹配方法、DEM 的提取方法以及 DOM 镶嵌等一系列关键技术。

关键词: UAV; DOM; 影像匹配; 特征线; 影像镶嵌

一、引言

在当今卫星遥感和普通航空遥感蓬勃发展的形势下, 轻小型航空遥感, 即无人飞行器低空航测系统(UAV-MAP)是不可缺少的补充技术手段^[1-2]。轻小型航空遥感的优势是飞行高度低, 可以获得高分辨率影像, 但随之而来的问题是影像倾角大(根据统计 k 角在 $\pm 35^\circ$ 之间)、比例尺不统一; 影像中房屋倾斜、遮挡严重, 从而在影像匹配中, 很难找到同名点^[3]; UAV 影像幅面小、片数多达万张等。

基于无人飞行器低空遥感系统上述特点, 在实际 DOM 生产中所遇到的问题具体表现为: 利用传统的方法通过匹配点内插生成的 DEM 质量不高、粗差现象严重。特别是在城市地区, 匹配点内插生成的主要是数字地表模型(DSM), 而基于 DSM 进行微分纠正生成的正射影像 DOM 上建筑物倾斜和扭曲严重。并且 DOM 镶嵌只能通过人工选取拼接线的走势, 对于片数多达万张的小像幅 UAV 影像, 其效率是极其低下的。DOM 作为无人飞行器低空遥感系统主要成果之一, 其生产效率和精度的提高是现今摄影测量实际作业中亟待解决的问题。

二、制作流程

本文制作 DOM 是基于合格的空三加密结果, 即每张影像的内外方位已知。试验主要是在现有摄影测量软件的基础上, 包括 Inpho(Match-T、Ortho-Master、OrthoVista)、MAP-AT、MAP_CS、LPS、ER

Mapper、ArcGIS 等软件, 重点研究匹配生成 DSM、基于建筑物特征线 TIN 的构建、DOM 镶嵌等关键技术的原理, 并通过试验验证, 完善 DOM 制作的整个流程, 从而获取满足精度要求的 DOM 产品。图 1、图 2 分别为传统方法和本文方法制作 DOM 的流程图。

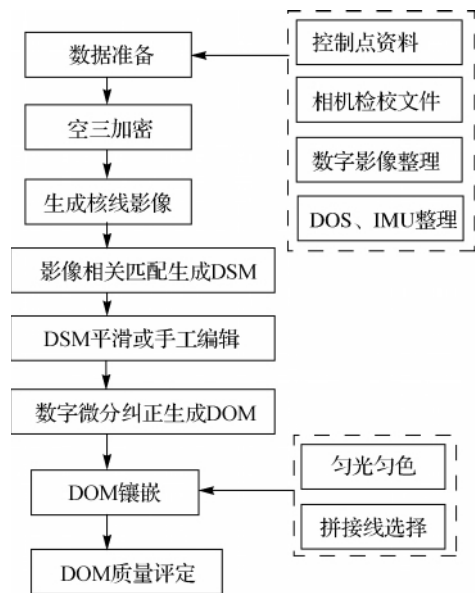


图 1 传统方法制作 DOM 的流程图

三、DOM 制作关键技术论述

1. DSM 匹配方法研究

DOM 制作的基础数据是 DEM, 它是由立体像对自动匹配生成的。而影像中难免会有建筑物等高出地面的地物, 大量的匹配点不可避免地位于建

收稿日期: 2010-09-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40871202); 国家 863 高技术计划项目(2008AA121305-5)

作者简介: 解斐斐(1983—), 女, 山东青岛人, 博士生, 主要从事数字摄影测量方面的研究。

建筑物等地物顶部,由此获得的是 DSM。DSM 作为生产 DEM 的中间数据,对其正确提取是制作高质量 DEM 的基础。

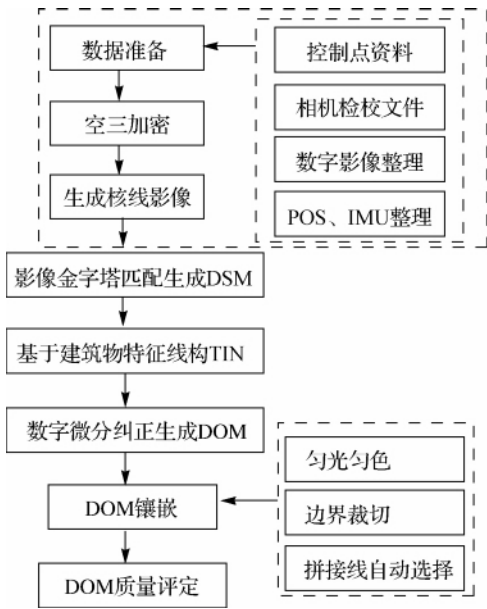


图2 本文方法制作 DOM 的流程图

影像匹配方法主要分为基于灰度匹配和基于特征匹配^[4]。通过对两种算法的比较分析,并基于 UAV 城区影像特点和分频道相关方法的启示,本文的思路是:采用高斯金字塔影像匹配策略,在低级别影像层上采用相关系数匹配算法,作为高级别影像层的初始值,并在高级别影像层上采用最小二乘影像匹配算法,提高匹配精度。对特征贫乏或影像边缘区域,存在匹配点个数少或者匹配点不均匀的问题,采用铅垂线轨迹法(VLL)进一步增加模型中同名点的密度^[5-6],从而获得密集点云 DSM。

2. 基于城市建筑物特征线约束 TIN 的构建

DSM 中大量的匹配点位于建筑物的顶部,微分纠正后得到的 DOM 在建筑物处会产生扭曲变形,因此必须从 DSM 检测和剔除建筑物等高出地面的地物,获得真实地形 DEM。

(1) DSM 的传统处理方法

传统的方法是通过手工逐点编辑获取比较准确的地面点,可这在实际生产中显得非常繁琐和低效,特别是对于 UAV 成千计的小像幅影像更是不切合实际。另一种思路是采用滤波的方法对 DSM 进行优化。基于 LiDAR 点云处理原理,对点云的滤波较多采用的是数学形态学滤波方法^[7]。滤波后的 DSM 消除了大部分非地形的影响,降低了噪声。但是滤波方法并不能完全消除建筑物等地物上高程点的影响,以此生成的正射影像仍存在扭曲现象。

(2) 建筑物特征线获取和约束构 TIN

根据 UAV 影像特点以及考虑滤波方法存在的问题,本文获取 DEM 的思路是:根据城市地区地形一般比较平坦的特点,在线划图上叠加 DSM,对线划图中大片建筑物可以直接利用周围地形的高程代替,从而获取建筑物底座高程,即建筑物的矢量特征线;然后,通过检查线划图,对地物发生变化的区域采用立体量测的方式进行修改;最后,利用建筑物的矢量特征线约束 DSM 构建 TIN。其基本原理是删除建筑物矢量线内的点,建筑物边界的高程值参与 TIN 的构建,消除建筑物顶部高程点的影响,以得到真正的地面起伏 DEM。

图3以获取的建筑物底座边界为例,具体描述了基于建筑物特征线的 TIN 构建。

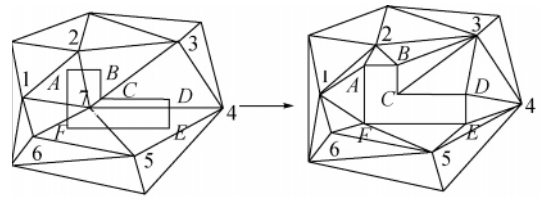


图3 基于建筑物特征线的 TIN 构建

1) 根据建筑物的二维底座或底座凸包的范围可以确定其覆盖的地形表面的范围,即影响的地形三角面,如图3中由1、2、3、4、5、6各顶点围成的多边形区域。

2) 根据点在多边形内的算法^[8],判断原始 TIN 三角网中落在该底座或凸包之内的点。这些点(如图3中的点7)不参与局部三角网的重构,对于这些落在建筑模型底座或凸包之内的点予以删除,同时删除与此顶点相关联的所有三角形。

3) 以建筑物的底座基准高度为准,根据 Delaunay 三角剖分法则^[9],对建筑物底座或凸包的边界点和建筑物的地形影响边界点1、2、3、4、5、6重新剖分,根据内边界的保界处理算法使边界内部不参加 TIN 的构建,如图3所示,最后将新生成的三角形加入到地形 TIN 中。

3. DOM 镶嵌方法研究

(1) DOM 边界自动裁切

UAV 影像具有重叠度大的特点,可以增强空中三角测量中构网强度,保障空三结果的精度。但 UAV 平台飞行低,旋偏角大,获取的影像投影差大,影像中心周围可以看作垂直摄影,但越往边界影像越模糊,建筑物变形或倾斜现象也越严重;由于影像边界处 DEM 匹配较差,或者没有 DEM,导致纠正

的 DOM 边界存在黑边。

本文采用的方法是利用 UAV 影像重叠度大的特点,采用多视原理,对正射影像进行边界裁切,保留影像中心一定区域;DOM 边界的裁切减少了 DOM 镶嵌时拼接线路径的搜索时间,提高了计算效率。通过试验分析,边界裁切 20% 左右时,其效果最好,兼顾了正射影像的质量和重叠区地物的完整性,可以减少一半的镶嵌时间,提高镶嵌效率。

性,可以减少一半的镶嵌时间,提高镶嵌效率。

(2) DOM 镶嵌线生成方法研究

正射影像镶嵌过程中,对拼接线的要求是必须避开建筑物、桥梁等地物以保证结果影像上地物的完整性。因此,在重叠区域上进行拼接线路径的选择是进行镶嵌操作的一个重要步骤和关键技术^[10]。图 4 为镶嵌线生成流程图。

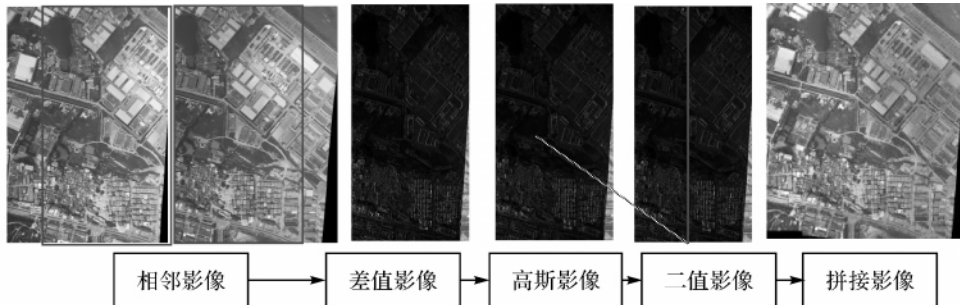


图 4 镶嵌线的生成流程图

本文拼接线路径选择的具体过程如下:

1) 对生成的差值图像进行直方图显示,以直方图中最高点处为界对差值图像进行划分,最高点左边的灰度值全部为 0,右边的灰度值为 1,这样就把差值图像化为二值图像。为了避免局部噪声的影响,同时也为了更准确地反映建筑物、树冠等高出地面的区域,可对差值图像进行模版尺寸为 5×5 的高斯滤波。对于航空影像,将两幅影像摄站连线的中垂线视为初始拼接线。

2) 以初始拼接线的起点像素作为路径搜索的起点,备选路径点为下一行在当前点附近的 3 个像素点,路径点的选择原则是首先是备选点的像素值为 0;另一个要求是备选点要尽可能地靠近初试拼接线,备选点与初始拼接线的距离公式为

$$d = |X_{g(x,y)} - X_{g_0(x_0,y)}| \quad (1)$$

式中, $X_{g(x,y)}$ 为备选点的 x 坐标; $X_{g_0(x_0,y)}$ 为初始拼接线上与备选点同一 y 值位置上的 x 坐标。选取 $\min(d_1, d_2, d_3)$ 的点作为下一个当前路径点,重复该过程,直至到达路径的最后一行,同时记录下所经过的路径点。

3) 重新确定差值图像直方图的分界线位置,一般从最高点向灰度值小的方向移动,根据步骤 1) 中的方法构建二值图像,以前一次记录的拼接线作为初始拼接线。重复步骤 1)、2) 方法迭代计算并记录拼接线所经过的路径点,直到达到规定的循环次数为止。

四、试验结果与分析

1. 试验数据

本文试验数据来源于中国测绘科学研究院与深圳市规划国土房产信息中心合作的“2009 年四个新城范围利用无人飞行器获取高分辨率影像项目”,采用中国测绘科学研究院研发的 UAV-MAP 低空遥感系统(采用专用于大比例尺测图的 CK-GY04 型无人机,传感器为 Canon EOS 5D Mark II 数码相机,CCD 大小为 $6 \mu\text{m}$,获取影像空间分辨率为 15 cm),此次飞行的航高为 450 m ,旁向重叠为 40% ,航向重叠为 80% 。

2. 试验结果与分析

图 5 为 DOM 镶嵌的最后结果,正射影像重采样的分辨率为 0.2 m 。



图 5 DOM 镶嵌结果

对 DOM 进行目视检查,要求:影像清晰,整体色调基本一致,没有明显的拼接线痕迹。但是有少量的建筑物有拼接线通过,导致建筑物不完整,但

可通过软件(如 Photoshop)进行纠正。

DOM 精度评定一般采用两种方法。

1) 利用 DOM 与该区域的线划图 DLG 进行套合,目视判定 DOM 的平面精度,发现 DOM 可以较好地套合到 DLG 上,说明 DOM 的平面精度整体符合要求 如图 6 所示。

2) 利用已有的外业测量控制点和通过在线划图上直接点击特定地物手工采集 25 个检查点对 DOM 进行精度评定,如表 1 所示。



图 6 DOM 与 DLG 套合

表 1 检查点与 DOM 点坐标统计表

点号	检查点坐标		DOM 上点坐标		点号	检查点坐标		DOM 上点坐标	
	X	Y	X	Y		X	Y	X	Y
0	508 849.759	3 996 589.988	508 849.460	3 996 590.250	13	509 342.294	3 996 605.952	509 342.035	3 996 606.298
1	509 180.897	3 995 997.290	509 180.850	3 995 997.313	14	509 163.021	3 996 602.504	509 162.927	3 996 602.316
2	509 136.049	3 996 774.161	509 135.780	3 996 774.412	15	509 162.972	3 996 464.358	509 162.771	3 996 464.358
3	509 717.409	3 995 662.231	509 717.140	3 995 662.354	16	509 373.014	3 996 485.217	509 373.172	3 996 485.217
4	509 006.475	3 996 552.508	509 006.523	3 996 552.609	17	509 344.996	3 996 282.396	509 345.184	3 996 282.580
5	508 998.991	3 996 485.984	508 998.720	3 996 486.074	18	509 163.268	3 996 271.127	509 163.138	3996 270.868
6	509 127.168	3 996 466.303	509 127.348	3 996 466.393	19	509 193.351	3 996 023.374	509 193.113	3 996 023.493
7	509 021.760	3 996 301.697	509 021.834	3 996 301.919	20	509 379.768	3 996 006.316	509 379.557	3 996 006.351
8	509 129.018	3 996 319.988	509 129.066	3 996 320.179	21	509 316.211	3 996 381.692	509 316.358	3 996 381.545
9	508 989.774	3 996 093.014	508 989.896	3 996 093.136	22	509 232.862	3 996 358.588	509 232.862	3 996 358.442
10	509 083.307	3 996 069.252	509 083.433	3 996 069.126	23	509 343.791	3 996 517.276	509 344.011	3 996 517.536
11	508 968.407	3 995 958.142	508 968.407	3 995 958.142	24	509 275.122	3 996 555.230	509 274.862	3 996 554.910
12	509 112.949	3 995 941.669	509 113.247	3 995 941.883		结果:	$RMS_x = 0.16$	$RMS_y = 0.18$	$M_s = 0.26$

图 7 为点位误差分布图。

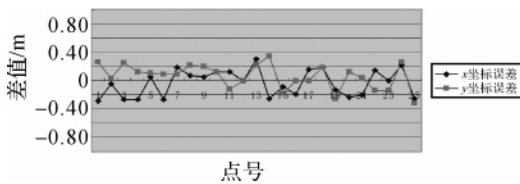


图 7 点位误差分布图

从图 7 中可以看出,DOM 上检查点 X 和 Y 坐标点位差值都在 0.4 m 以内,满足限差为两倍点位误差的要求。此项精度达到了 1:1 000 地形图图上单点定位的绝对精度要求(±0.5 m),同理,此项精度也能满足 1:2 000 地形图图上单点定位的绝对精度要求(±1.0 m) 这表明采用分辨率为 0.2 m 的正射影像完全可以对城市大比例尺地形图进行更新。

五、结束语

本文根据利用先进的无人飞行器低空航测系

统获取城市地区的影像数据,探讨了一套制作高精度 DOM 的操作流程,并重点论述了 DOM 制作中的关键技术。通过试验表明,利用本文方法进行 UAV 城市地区 DOM 的生产能够达到 1:1 000 和 1:2 000 的精度要求,其作业效率优于传统作业方式。

参考文献:

- [1] 晏磊,吕书强,赵红颖. 无人机航空遥感系统关键技术研究[J]. 武汉大学学报:工学版,2004,37(6): 672-691.
- [2] 孙杰,林宗坚,崔红霞. 无人机低空遥感监测系统[J]. 遥感信息,2003,27(1):49-50.
- [3] 刘素霞. 无人机遥感摄影图像处理[D]. 上海:华东师范大学,2008.
- [4] 周心铁. 对地观测技术与数字城市[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [5] 张剑清,潘励,王树根. 摄影测量学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2004.
- [6] 穆超,余洁,许磊,等. 基于高分辨率遥感影像的 DSM

(下转第 79 页)

tiff 格式影像。

五、外业核查

根据影像上的明显地物点或变化图斑的中心点坐标确定变化图斑的实地位置,对于地形复杂的地区,可采用GPS引导的方式寻找变化图斑。通过判读法、直角坐标法、截距法、交会法及GPS法等外业调查方法,对内业无法确定的变化图斑进行实地调查,并现场记录判定地类代码,线状地物的宽度通过实地丈量取得。对于个别由于交通不便等原因无法进行实地核查的变化图斑,可通过询问等可能的方式确定其变化地类和范围。利用编制好的变化图斑统计表和变化图斑监测影像挂图可以精确监测到每个变化图斑的面积和所在位置。

六、土地利用动态监测数据导出

根据外业核查资料,修改内业判读解译的数据,最后按照土地利用调查、监测的要求,转换为所需的数据格式。本项目转换的是shp通用格式。

七、结束语

当前,各行各业对遥感和GIS技术的应用越来越广泛,并向深度发展。从传统测绘产品到数字化制图,从全新4D基础地理信息产品生产模式再到空间数据基础设施建设,数字化技术的飞速发展极大地丰富了空间数据的产品内容和形式,信息化社

会对地理空间信息的应用深度和广度提出了越来越高的要求。地理空间数据的采集方式是多种多样的,有野外方式的全站仪、GPS、电子平板等,有航测遥感方式的数字摄影工作站、解析测图仪,也有原图扫描方式的矢量化系统,更有直接采用GIS软件或CAD软件的。因此,有必要将各种不同数据采集软件的数据成果转入到统一的数据加工环境,按照统一的技术规范进行数据加工,形成完整、统一、规范的数据成果,这样的数据成果才能作为通用的地理空间数据集为各行各业的应用提供共享服务。随着许多技术问题在实际应用过程中逐步解决,遥感和GIS技术在国土资源管理中的应用也更为成熟,将在国土资源管理、土地动态监测中发挥重大作用。

参考文献:

- [1] 赵焯,孙雷.现代技术在土地利用总体规划实施中的应用[EB/OL].(2006-06-09)[2007-9-11].http://huayuan.respu.com/xinwen/xinwen_detail.asp?NewsID=196.
- [2] 冯秀丽,王珂,楼立明,等.SPOT 5 遥感影像在土地利用变更调查中的应用[J].浙江大学学报,2005,31(1):12-16.
- [3] 杨生德,李翔,张志山.土地价格计算系统实时更新技术研究[J].测绘通报,2010(9):19-21.

(上接第44页)

建筑物点的提取研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2009,34(4):414-417.

- [7] 潘日红.基于二分法判定点集是否是多边形内部的算法[J].福建师范大学学报:自然科学版,2001,17(3):18-24.

- [8] LEE D T, SCHACHTER B J. Two Algorithms for Constructing a Delaunay Triangulation [J]. International Journal of Computer and Information Science, 1980, 9(3): 219-223.
- [9] 孙明伟.正射影像全自动快速制作关键技术研究[D].武汉:武汉大学,2009.

(上接第71页)

四、结束语

随着基础空间数据采集、整理、入库等各技术手段的日益发展和不断成熟,各环节的生产效率较之前有了大幅度的提高,但是基础空间数据项目一体化最主要的主体是“人”。因此对于项目管理人

员而言,不仅需要不断地了解和学习最新的技术知识,还要进一步增强管理中的主观能动性,积极整合各类资源,从而带动基础空间数据项目的整体效率,生产出更为准确、现势性更强的基础地理空间数据,为政府各部门在城市建设、城市管理和城市应急等方面做好地理信息服务工作。

参考文献(略)