

文章编号 1004-924X(2006)02-0297-06

组合 CCD 图像和稀疏激光测距 数据的建筑物三维信息提取

尤红建¹, 张世强^{1,2}

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 北京地科苑信息技术有限公司, 北京 102600)

摘要:对组合高分辨率航空 CCD 图像和机载稀疏激光扫描测距数据自动提取城市建筑物的三维信息进行了研究。航空 CCD 图像能清晰地给出建筑物的几何形状和分布, 因此采用了自适应的 Canny 边缘检测算法来提取 CCD 图像上的全部边缘信息, 然后根据双向投影直方图和线段匹配方法来自动而准确地提取建筑物的平面轮廓信息, 最后根据 CCD 提取的轮廓信息从机载激光扫描测距数据中提取建筑物的高度信息, 从而实现了每栋建筑物的三维信息提取。通过实际数据的处理和提取, 说明了组合 CCD 图像和机载激光扫描测距数据可以自动重建建筑物的三维信息。

关键词: CCD 图像; 激光扫描测距; 轮廓提取; 三维重构

中图分类号: TP751 **文献标识码:** A

Reconstructing 3D buildings based on airborne CCD image and laser scanning rangefinder data

YOU Hong-jian¹, ZHANG Shi-qiang^{1,2}

(1. *Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*
2. *Beijing Dikeyan Information Technology Ltd., Beijing 102600, China*)

Abstract: 3D building reconstruction automatically using airborne CCD image and laser scanning rangefinder data was studied. The geometry shape of building is shown clearly in airborne high resolution CCD image, so adaptive Canny edge detection operator is used to extract the edges of buildings first, and cross direction projection histogram and line matching are used to extract the contours of buildings. The height of the building is determined from laser sample data based on the contour of the building, then the 3D information of each building is reconstructed. The practical data processing results show that 3D buildings are reconstructed correctly by using real airborne CCD image and laser rangefinder data.

Key words: CCD image; laser scanning rangefinder; contour extraction; 3D reconstruction

收稿日期: 2005-09-25; 修订日期: 2005-10-19.

基金项目: 国家自然科学基金(No. 40201035) 和测绘遥感信息工程国家重点实验室开放基金(No. wkl(02)0105)资助项目

1 引言

作为城市基础设施的人工建筑物是城市最为关键的标志信息,随着我国的“数字城市”建设的方兴未艾,建筑物的三维信息获取成为实现“数字城市”可视化的必要步骤。城市建筑物一般具有一定的范围性、明显的边界、与地面存在一定的高度差、在阳光下有阴影、和周围环境有一定的对比度、有规则的边界的特点,因此人们发展了一些利用遥感图像自动提取建筑物三维信息的方法。

根据遥感图像提取建筑物方法主要有三大类:(1)人工提取方法,(2)半自动提取方法;(3)自动提取方法。人工提取建筑物的方法就是根据人的判读从图像上勾划出每个建筑物的信息,由于完全依据人的经验和方法进行提取,因而速度最慢、耗费大量的人力和物力。半自动提取方法由人工在图像上给定建筑物的初始位置或形状,再由计算机进行建筑物的逼近和提取,20世纪90年代中后期研究的比较多。比较典型的是应用可变轮廓的 snake 方法,以及近年来的基于点云(point clouds)的 CC-Modeler 方法^[1]。半自动提取方法一般准确率比较高,但由于要人工给出每个建筑物的初始位置,因此速度比较慢、也要投入一定的人力、物力。自动提取方法是全自动地建筑物提取,很少需要人工干预,具有速度快、人工投入少。

自动提取建筑物是人们研究的重点和努力实现的方向,目前用于提取建筑物的数据源主要有遥感影像(航空相片和高分辨率卫星遥感)、机载激光扫描数据,相应地有基于遥感影像的建筑物自动提取、基于数字表面模型(DSM)的自动提取以及最近兴起的组合机载激光数据和高分辨率图像的方法。

基于遥感影像的自动提取主要采用单张/单幅遥感影像,可以有效提取线性特征,但要求图像分辨率较高、无几何变形、信噪比好、对比度强,它对建筑物的三维重构方面比较差;基于 DSM 的自动提取则采用立体匹配获取 DSM 或激光扫描获取的 DSM 数据来进行自动提取,立体相对对建筑物的检出率较高,但受匹配算法局限性的影响很大,边界提取的正确率较低;而机载激光扫描测距系统获取 DSM 时要求具有激光采样点密度

高,且仅仅考虑从高度信息提取建筑物,而没有其他影像信息。

从总体上来看,激光扫描数据的优点是三维、有高度信息而且位置精确,但没有地面物体的几何形状等直接信息。而高分辨率遥感图像具有光谱、纹理和形状等信息,因此组合这两者特别有利于地面物体的识别,尤其是建筑物的提取,在城市地区应用激光扫描数据比立体匹配要优越得多,但是树木、庄稼和建筑物一般不好区分,为此可以组合遥感图像和激光数据进行由粗到细的城市建筑物自动提取。如 Guo Tao 等人组合高分辨率卫星图像和机载激光扫描数据进行了研究^[2], Martin 等人对融合激光扫描数据和航空影像来自动提取建筑物进行了研究^[3],他们对机载激光扫描数据的采样密度比较高。

我国 863 计划在“九五”期间支持开发了机载三维成像仪和航测 CCD 相机,与其它传感器不同,它们可以准实时获取城市的数字表面模型(DSM)和高分辨率 CCD 图像,因而从数据源获取上具有高效快速、获取多种遥感数据的特点。但由于激光器等关键技术的限制,我国机载三维成像仪获取的激光数据密度比较低,只能达到每 $3\sim 4\text{ m}^2$ 一个激光点(而国外的激光点密度可以达到 $4\sim 5\text{ 点/m}^2$),但航空 CCD 相机的分辨率比较高,在高度 1 000 m 时,可以达到 18 cm 的分辨率。为此本文组合高分辨率的航空 CCD 图像和稀疏的激光采样数据研究了一种自动提取建筑物三维信息的方法。

2 数据的获取和预处理

2000 年 10 月我们采用 863 计划支持研制的机载三维成像仪和航空 CCD 航测相机在北京进行了联合试验,获取了城市的 CCD 图像和激光测距数据。通过对 CCD 图像的校正以及激光采样数据的定位处理,最终纳入到统一的坐标系内。图 1 是获取的高分辨率 CCD 图像,从图像可以看出,大部分建筑物的几何形状是比较明显的,而激光扫描测距数据经过处理后可以给出每个地面激光采样点的三维信息。图 2 显示了同一地区的激光采样点的分布,可以看出激光采样点比较稀疏,但由于下方正好出于两条航带重叠飞行的区域,因此激光采样点要稍微密集一点。图 3 显示了

CCD 图像和激光采样点的叠加,从图上可以看出,每栋建筑物上都有激光采样点,但由于激光采样点密度低,根据这些激光采样点处理得到的城市 DSM 也只能反映出城市大致的高度变化情况。图 4 是根据激光采样点处理得到的 DSM,通过对比 DSM 和 CCD 图像可以发现,很难根据激光测距数据获取的 DSM 来进行建筑物的自动提取,而根据图 3 可以得到启示,如果能从 CCD 图像上提取出建筑物平面几何信息,再根据建筑物顶部的激光采样点,就可以完全重建建筑物的三维信息。



图 1 高分辨率 CCD 图像

Fig. 1 High resolution aerial CCD image

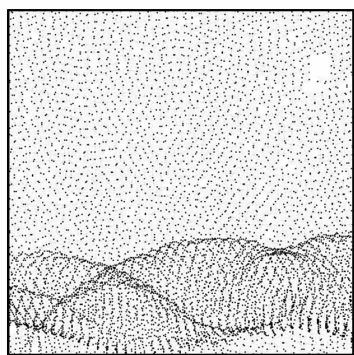


图 2 机载激光采样点的分布

Fig. 2 Airborne laser sample points

3 基于 Canny 自适应检测 CCD 图像上的边缘信息

高分辨率 CCD 图像可以比较清晰地显示出建筑物的分布,提供了建筑物的几何形状信息,从



图 3 激光测距点和 CCD 图像的叠加显示

Fig. 3 CCD image coupled with laser points

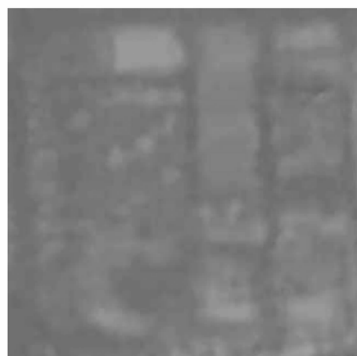


图 4 根据激光采样点生成的 DSM

Fig. 4 DSM interpolated by laser sample points

航空 CCD 图像上精确提取建筑物的边缘轮廓形状是图像的边缘检测,它是数字图像处理、图像分析和识别领域的重要课题。常用的边缘检测算子如 Robert、Sobel Prewitt Kirsch Laplacian 等算子都是局部的窗口梯度方法,对噪声比较敏感,因此在实际处理中效果不理想。1986 年 Canny 根据三个判断准则提出了最佳边缘算子-Canny 算子,其处理效果较好。由于各种环境和传感器的特点等因素使得图像本身内容和质量不同,因此利用 Canny 算子时确定高低阈值参数比较难。很多学者提出了基于 Canny 算子的改善方法,其中基于 Canny 理论的自适应阈值算法^[4]可以根据图像边缘的不同特征自适应地生成动态阈值,可以较好地解决阈值问题,经过试验该方法可以较好地提取 CCD 图像的建筑物边缘。该算法的主要步骤:(1)和常规 Canny 算子一样,进行梯度幅值和方向的计算,并对梯度幅值进行非极大化抑制。(2)将整幅图像分成若干个子图像,并保持一定的重叠度,然后对每个子图像进行自适应高

低阈值动态计算,最终根据高低阈值进行边缘的提取。阈值的自适应动态计算是充分考虑了图像的梯度直方图来完成的,详细步骤可以参考文献[4]。图 5 是采用自适应 Canny 算子从 CCD 图像上检测的边缘信息,建筑物的边缘信息已比较准确地被检测出来了。



图 5 基于 Canny 自适应检测的 CCD 图像边缘信息

Fig. 5 Line segments extracted by self adaptive Canny

4 基于双向投影直方图的建筑物边缘轮廓提取

采用 Canny 方法仅仅给出了可能的建筑物边缘信息,但还有许多边缘并不是建筑物的边缘信息,而且建筑物的边缘也会出现小段间断,要从这些线段中提取属于同一栋建筑物的边缘线段就必须进行建筑物的识别和检测。考虑到建筑物一般都是规则形状的人工建造物体,而且绝大部分建筑物的边缘线段是互相垂直的,根据建筑物的这个特点,设计了一种基于双向投影直方图确定建筑物角点,然后不断进行建筑物轮廓匹配识别和搜索的方法。

4.1 基于双向投影直方图确定可能的建筑物角点位置

在二值图像上,建筑物的边缘线段间一般也都是平行或垂直关系,而它们的交叉点常常就是建筑物的一个角点,因此可以根据互相垂直线段的交叉点来确定建筑物可能的角点位置,图像在某个方向上的投影直方图则能直观地反映像素在某个方向的空间分布情况。如果能在两个方向上分别进行投影,就可以根据直方图的极值点来判断建筑物可能的角点位置。如图 6 所示, X 方向

投影的非零像素累加后的直方图出现了几个极值点,但两个比较大的极值点位置正好对应着建筑物边缘在 X 方向的位置,而 Y 方向的投影直方图则能给出建筑物边缘在 Y 方向的位置。这样相互垂直的两方向上的直方图组合起来就可以确定建筑物可能的角点位置。

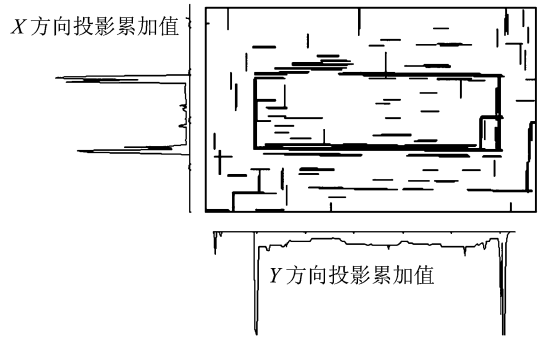


图 6 建筑物边缘及其相互垂直方向投影直方图

Fig. 6 Edge of building and bi-direction projection histogram

4.2 基于线段匹配的建筑物搜索识别

根据整幅图像双向投影直方图的极值点位置所提取的建筑物角点位置很多,但并不能确定哪些角点位置构成的多边形是属于同一栋建筑物,必须进行不断搜索判断和识别。在搜索过程中采用角点位置组成的多边形和提取的建筑物边缘线段图像进行模式匹配,即根据角点位置组成的多边形与边缘线段的符合程度来确定该多边形是否能描述该建筑物。下面以提取矩形建筑物为例来说明具体的算法过程:

(1) 遍历建筑物角点位置列表,从中提取一个角点作为建筑物的左上点。

(2) 从剩下的建筑物角点列表中提取可能是建筑物右下点的角点,该右下点和左上点构成的矩形面积必须小于某个阈值且大于某个阈值。

(3) 将可能所有的右下点逐一地和左上点组合成一个矩形,同时将该矩形和提取的建筑物边缘线段图进行模式匹配,匹配的测度就是矩形的四条边组成的像素和所提取的建筑物边缘线段图像的符合程度。符合程度大于预先设定的阈值就认为该矩形能精确地描述一栋建筑物,从而将它作为建筑物进行输出;否则该矩形就不能描述建筑物,继续后面的搜索和匹配。

采用该算法可以比较准确而有效地识别出建

筑物,图 7 显示了采用该方法识别的建筑物轮廓信息,图 8 是识别的建筑物和 CCD 图像叠加显示的效果,图上还有一些建筑物并没有被识别出来,主要是图上中间左方的一个区域,这些建筑物本身是平房,面积小而且比较凌乱,此外树木的干扰也影响了一部分建筑物的提取,但大部分规则建筑物的轮廓还是被正确提取了。

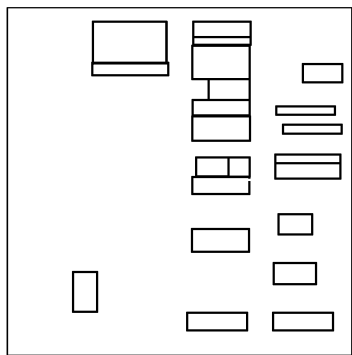


图 7 基于双向投影直方图提取的建筑物轮廓

Fig. 7 Extracted the contour of buildings

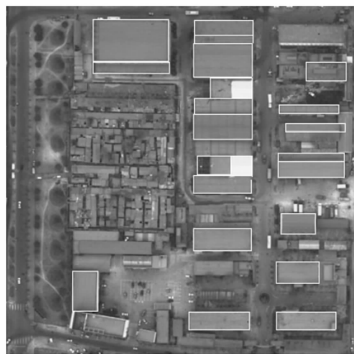


图 8 提取的建筑物轮廓和 CCD 图像的叠加

Fig. 8 Extracted contour of buildings coupled with image

5 依据激光采样点提取建筑物的高度信息

采用高分辨率航空 CCD 图像可以准确提取每栋建筑物的平面轮廓信息,但却不能获取它的高度信息,而根据机载三维成像仪获取的激光扫描测距数据能够计算出每个激光采样点对应的地面三维坐标,尽管密度不高,但仍然可以保证每栋建筑物的屋顶上分布有若干个激光采样点,因此,

组合建筑物屋顶上的激光采样点和提取的轮廓信息,就可以恢复出建筑物的三维信息。具体步骤:(1)根据 CCD 图像上提取的轮廓信息从激光采样数据中提取平面位置位于该轮廓范围内的激光采样点,如图 9 就是利用建筑物轮廓提取的位于轮廓内的激光采样点的分布,图 10 显示了 CCD 图像和位于建筑物屋顶上的激光采样点;(2)根据每栋建筑物顶部分布的激光采样数据计算该建筑物的高度值,这样就能给出每栋建筑物的三维信息,图 11 显示了重建建筑物的三维鸟瞰显示图。

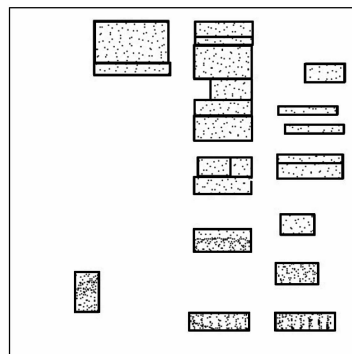


图 9 建筑物的轮廓和位于轮廓内的激光采样点

Fig. 9 Contour of building and laser points within contour



图 10 建筑物屋顶上的激光采样点和 CCD 图像的叠加

Fig. 10 Laser point in the roof of buildings

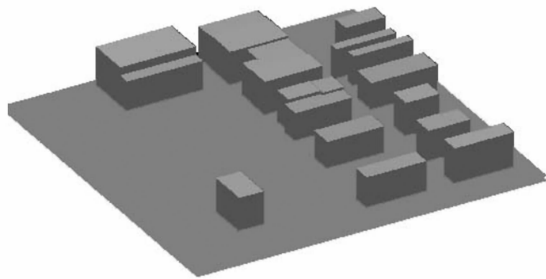


图 11 提取的建筑物三维鸟瞰显示

Fig. 11 3D bird's eye view of reconstructed buildings

6 结 论

本文采用高分辨率的航空 CCD 图像和机载激光扫描测距数据准确而自动地提取了大部分建筑物的三维信息,该方法充分考虑了 CCD 图像的高分辨率特性和激光扫描测距数据的三维特性,

做到互相补充。通过 CCD 图像提取建筑物的轮廓信息,并根据激光测距数据提取建筑物的高度信息,二者结合起来重建了建筑物的三维信息。随着激光采样点密度的提高,相信不久的将来就可以根据位于建筑物顶部的激光数据来重建建筑物的屋顶模型。

参考文献:

- [1] GRUEN A, WANG X H. CC-Modeler: a topology generator for 3D city models[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote and Sensing*, 1998, 53(4): 286-295.
- [2] TAO G, YASUOKA Y. Combining high resolution satellite imagery and airborne laser scanning data for generating bareland and DEM in urban areas[C]. *International Workshop on Visualization and Animation Of Landscape Kunming*, China. 26 - 28 February 2002.
- [3] HUBER M, SCHICKLER W, HINZ S, *et al.* Fusion of LIDAR data and aerial imagery for automatic reconstruction of building surfaces[C]. *2nd Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Berlin, Germany*. May 2003.
- [4] 王植、贺赛先. 一种基于 Canny 理论的自适应边缘检测方法[J]. *中国图像图形学报*, 2004, 9(8): 957-962.
WANG ZH, HE S X. An adaptive edge-detection method based on Canny algorithm[J]. *Journal of Image and Graphic*, 2004, 9(8): 957-962. (in Chinese)
- [5] ROSS J, EDWARD M. How easy is matching 2D line models using local search[J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997, 19(6): 564-579; 957-962.
- [6] KIM J R, MULLER J P. 3D reconstruction from very high resolution satellite stereo and its application to object identification[C]. *Proceedings of ISPRS Technical Commission IV Symposium 2002 on Geospatial Theory, Processing and Applications*, 2002.

作者简介: 尤红建(1969—), 男, 江苏如皋人, 副研究员, 博士, 主要从事遥感图像处理方面的研究工作, 已经发表学术论文 40 余篇。Email: youhongjian@263.net