

文章编号: 1007-4619 (2001) 01-0008-05

城市 DSM 的快速获取及其三维显示的研究

尤红建, 刘彤, 苏林, 刘少创, 郭冠军, 李树楷

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘 要: 城市数字表面模型(DSM)作为城市的重要信息有着十分广泛的应用,机载三维成像仪可以快速获取 DSM 数据,而无需地面控制点。该文介绍了利用三维成像仪快速获取城市 DSM 图像的数据处理技术,阐述了基于城市 DSM 影像显示城市三维模型的原理,着重分析了显示城市 DSM 图像奇异表面的方法和侧面处理思想。最后通过珠海、澳门地区飞行数据的处理和三维鸟瞰显示,说明了方法的可行性。

关键词: 城市 DSM; 三维成像仪; DSM 获取; 三维显示

中图分类号: TP701 **文献标识码:** A

1 引 言

城市作为人类生活和工作的重要场所,是经济、社会发展的中心,现在城市发展更是日新月异,人们迫切需要快速了解城市的现状信息。城市数字表面模型(Digital Surface Models, 简称 DSM)信息是反映城市信息的重要信息之一,因为城市 DSM 是城市三维模型的展示。城市 DSM 可以广泛应用于城市规划 and 设计、城市气候的研究、污染控制和环境保护、移动通讯网站的布设、城市光照研究、城市化进程的监测以及城市现代化管理,它更是虚拟城市所必要的信息之一。但是由于技术的限制,城市 DSM 一般不太容易快速获取,目前摄影测量手段可以通过立体匹配来获取城市三维信息,但它要求地面控制点,依赖图像处理 and 特征匹配,需要人工解译,提取建筑物有一定难度,作业流程复杂,完成周期相对较长,不能适应城市快速发展的要求。进入 90 年代中后期,随着全球定位系统(GPS)的成熟应用,尤其是激光扫描测距技术的发展,为利用航空遥感手段快速获取城市现状三维信息奠定了技术基础。人们将 GPS、惯性导航系统(INS)和扫描激光测距仪进行集成,组成机载激光扫描制图系统(Airborne Scanning Laser Mapping System)。它最大的优势在于无需地面控制点准实时地获取 DSM,与传统的摄影测量技术相比,它对天气要求宽,甚至黑夜也可以飞行作业,

其获取 DSM 的成本为摄影测量的 25%—33%^[1]。据统计^[2],目前全球已经开发和研制了 40 多个机载激光制图系统或类似系统,其潜在的最终精度可以达到 10—15cm,机载激光扫描系统正成为高效获取 DSM 的新方法。机载三维成像仪是在国家 863 计划支持下自主研制开发的新一代航空遥感集成技术系统,它可以快速生成数字地面模型和地学编码图像,而无需地面控制点。它不仅集成了 GPS、INS、扫描激光测距,还集成了扫描成像仪。

2 城市 DSM 的快速获取

利用三维成像仪获取城市 DSM 的基本原理如图 1。机载三维成像仪由 GPS 接收机,姿态测量装置(即 INS),扫描激光测距仪,扫描成像仪 4 个主要部分构成。

GPS 能测得三维成像仪在空中的精确三维位置,姿态测量装置能测出它的姿态参数,扫描激光测距仪可以精确测定成像中心到地面激光采样点的距离,根据几何原理就可以计算出地面激光采样点的三维位置^[3]。同时扫描成像仪同步获取地面的扫描图像,而且扫描成像仪和扫描激光测距仪在硬件上共用一套扫描光学系统而组成扫描激光测距-成像组合传感器(AL-Hi),从而保证地面的激光点和图像上的某些像元点严格匹配,即在获取地面点的图像同时还获取该点到成像仪的激光距离值,这是本系

收稿日期: 2000-04-03; 修订日期: 2000-06-12

基金项目: 国家 863 计划 308 主题资助(863-308-12-01)。

作者简介: 尤红建(1969—),男,江苏如皋人,副研究员,在职博士研究生,1995年毕业于清华大学,获工程测量硕士学位,主要从事机载集成遥感技术的应用和研究,已发表论文 12 篇。

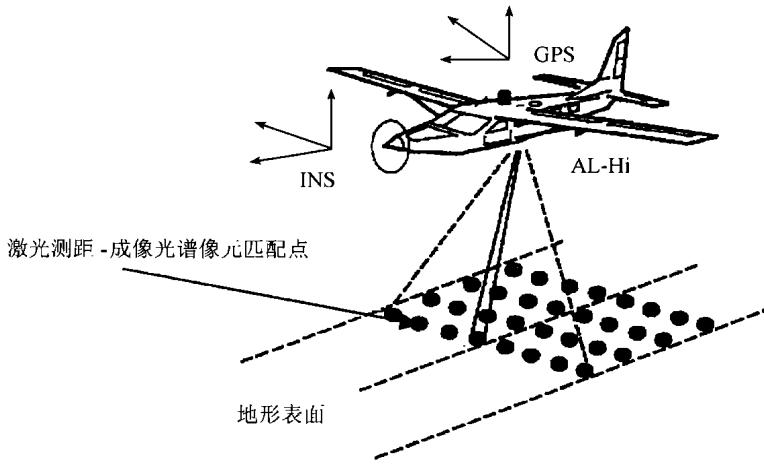


图 1 三维成像仪的原理示意图

Fig. 1 Principle of 3D imager

统领先国外类似系统最本质的优势。在事后处理中,激光采样点作为控制点就可以生成 DSM,也可以纠正同步获取的遥感图像。由于激光扫描测距仪的重复频率有限,为了得到高密度的激光采样点,必须采用合适的扫描方式。经过试验研究和比较,发现采用圆扫描方式可以得到比较密集的地面激光采样点,平均 3—4m² 就有 1 个激光点,比较适合城市地区应用。当然激光点密度的增加也可以通过飞行的重复航线来实现。

飞行结束后由数据处理软件进行数据处理。原始数据分解后,对每条航带的激光点位置进行计算,再将所有航带数据联合处理,最终拼接出测区的激光采样点分布图(图 2)。对激光点进行滤波处理,以去除类似噪声的激光点,有了这些激光采样点就可以内插生成城市 DSM。由于城市的特殊性,因此内插时必须考虑到城市表面的奇异性,特设计了采

用小邻域聚类的内插算法,即用 3×3 的移动窗口,根据窗口内的已知激光点依据“距离就近原则”和“聚类原则”来计算待内插点的高度。内插完成后就可以得到粗略的城市 DSM 影像(图 3),再人工方法或半自动对 DSM 进行建筑物的边缘规格化处理,这样就可以得到比较符合要求的城市 DSM 影像(图 4)。城市 DSM 处理的具体处理算法流程如图 5。

3 基于城市 DSM 影像的三维显示

采用三维成像仪快速获取的城市三维信息即城市 DSM 影像,属于栅格图,不是矢量图,也不同于一般地区的 DSM,城市里主要是建筑物林立,因此城市 DSM 的表面是不连续的,有许多突变。采用一般的商用软件和显示方法很难显示城市 DSM(因为侧面没有信息,也不同于自然地形)。这是它们可能



图 2 原始激光点得到 DSM
Fig. 2 DSM image of raw laser points

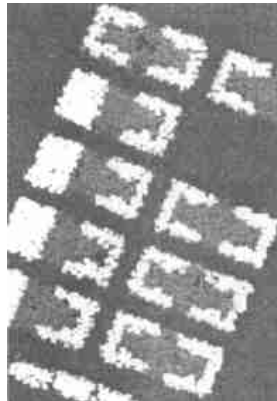


图 3 内插后的粗略城市 DSM
Fig. 3 DSM image after interpolated

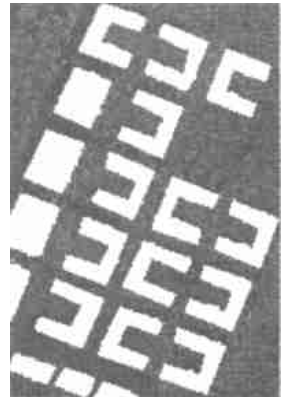


图 4 边缘规格化后的城市 DSM
Fig. 4 Urban DSM image after edges regulated

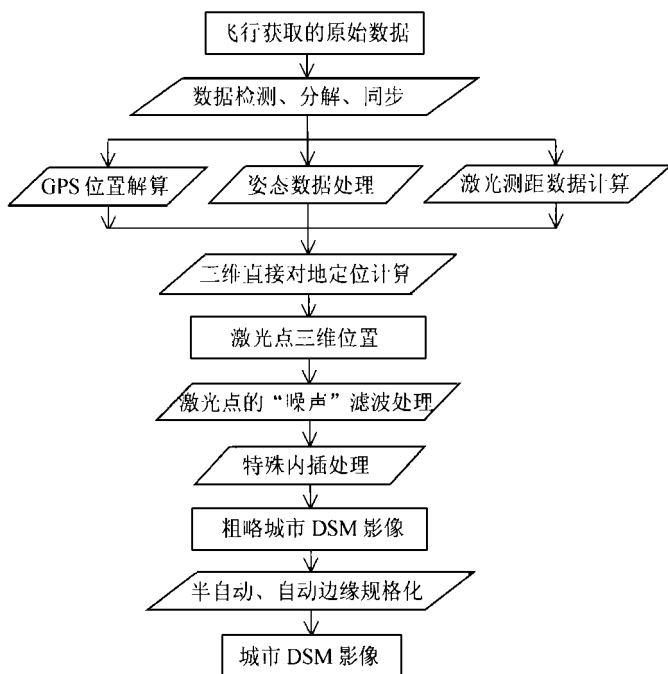


图 5 城市 DSM 影像的处理流程

Fig. 5 Flow chart to get urban DSM image

没有考虑到表面突变的情况,因而显示效果差,有的软件显示区域也十分有限。为此必须针对城市 DSM 图像进行特殊的三维显示处理,才能显示出大范围生动逼真的城市三维信息。

3.1 三维显示的基本原理

三维显示就是将三维位置点 (x, y, z) (坐标系 $O-XYZ$) 转换成视点坐标系 (O_s-UVW) 下在距离视点 O 处沿距离 D 方向的二维投影坐标 (u, v) , 视点坐标系与三维位置的本身坐标系之间存在 3 个原点偏移量和坐标轴的旋转关系^[4]。对于城市的三维显示,此处主要探讨城市的三维鸟瞰显示方法,图 6 显

示了三维鸟瞰显示时物方坐标系 $O-XYZ$ 和视点坐标系 O_s-UVW 及二维显示投影坐标之间的关系。 A 点为三维空间的点,其在二维投影面上对应的三维显示点为 A' 。

依据三维坐标转换可以导出三维位置点 (x, y, z) 和鸟瞰显示的平面二维坐标 (u, v) 之间的数学变换公式:

$$\begin{cases} u = \frac{(x \cos \alpha - y \sin \alpha + l) D}{x \sin \alpha \sin P + y \cos \alpha \sin P + z \cos P + n} \\ v = \frac{(x \sin \alpha \cos P + y \cos \alpha \cos P - z \sin P + m) D}{x \sin \alpha \sin P + y \cos \alpha \sin P + z \cos P + n} \end{cases} \quad (1)$$

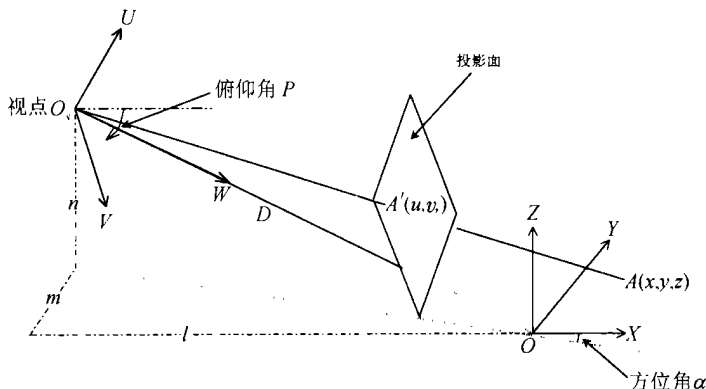


图 6 三维鸟瞰显示的基本原理图

Fig. 6 Principle of 3D bird's-eye view

式中: (l, m, n) 为坐标系之间的平移量(视点坐标和三维位置坐标系间的原点平移量), α 为投影(鸟瞰方向)的方位角, P 为投影(鸟瞰方向)的俯仰角, D 为二维投影平面(进行三维显示的平面)到视点的距离。

3.2 城市 DSM 显示的特殊处理

对于城市 DSM 影像图进行三维显示处理时, 由于其表面是奇异变化的, 不能仅求出城市表面上每个像素点的投影坐标, 必须考虑城市的特殊情况。可以假定城市 DSM 是由一个个单独像元的“直线矢量”构成, 该矢量的两个端点的平面位置相同而高度分别为该像元点的高度 z 和地面的高度 \bar{z} , 即由三维位置 (x, y, z) 和 (x, y, \bar{z}) 构成该像元矢量。采用上述的三维变换公式可以求得这两点在视点坐标系下的二维显示坐标 (u_1, v_1) 和 (u_2, v_2) 。这样就完成了 DSM 图像每个点的三维显示的数学变换过程。

3.3 侧面处理和消隐处理

由于 DSM 没有任何侧面信息, 因此城市 DSM 经过三维变换后, 还必须人为加上侧面信息。其实侧面就是每个像元矢量的两个端点之间的部分, 由于每个矢量是一个直线, 变换后也应该为直线。因此侧面上每个点也就对应于三维变换后的二维坐标构成直线上的点, 因此在二维投影坐标上通过直线内插直接得到侧面的每个位置点。然后给它们赋上侧面特殊的灰度信息(人为给定侧面的灰度信息)。这样就保证了每个建筑物能逼真地显示出来。

由于建筑物的多样性和高低不同, 城市 DSM 在显示时必须对建筑物之间的遮挡进行判断, 即分清哪个面是隐藏的, 哪个面挡住了其它面, 这就是三维显示中的消影处理。消影处理的方法较多, 针对城市 DSM 图像, 本文采用了由远到近的径向排序方法来进行消影处理。按图像坐标到视点的距离顺序计算三维显示坐标, 这样保证后处理的像元挡住先处理的像元, 达到了消影的效果。

城市 DSM 三维显示的算法流程如图 7。

由于城市 DSM 是自然地形的特殊情况, 因而该方法对自然地形也同样适用(图 8 中的山也被正确显示出来)。

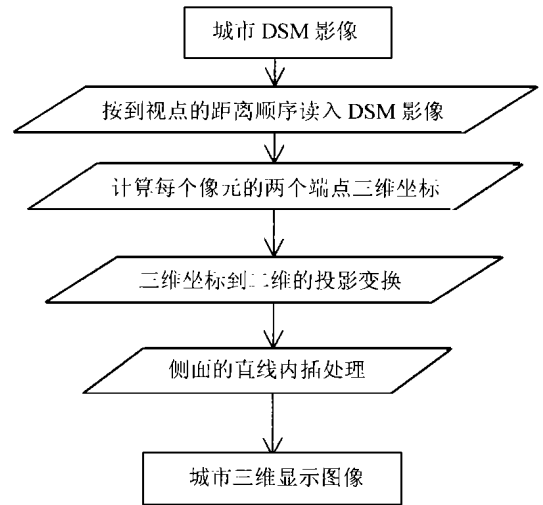


图 7 城市 DSM 影像的三维显示流程

Fig. 7 Flow chart of 3D displaying urban DSM image

4 试验和结论

1999 年 9—10 月, 在国家 863 计划的支持下, 我们利用三维成像仪在珠海、澳门地区进行了试验飞行, 以快速获取该地区的城市 DSM 影像和地学编码图像。飞行获取的数据经过分解和数据质量检测后, 首先进行激光点位置的解算。然后快速处理以得到测区的 DSM, 经过人工方法边缘规格化, 最后得到该地区的城市 DSM 影像图。按照上述显示城市 DSM 的方法显示了珠海、澳门交界地区的三维鸟瞰图 8(图中左方建筑物比较高的一侧为澳门、右方为珠海, 即视点在珠海一侧), 原始图像大小为 1372×1710 (每个像素地面分辨率为 2 m, 相当于地面 $2.6\text{ km} \times 3.4\text{ km}$ 的范围), 只需 35 s 即可运算完成三维城市 DSM 的每个像素点到显示空间的位置。

利用三维成像仪可以快速获取城市 DSM, 效率比常规技术要高很多, 无需地面控制点, 而且自动化程度高, 大大减少了人力强度。因此世界各国都在大力发展机载激光扫描制图系统。城市 DSM 图像的三维显示不同于一般地区的三维显示, 必须进行特殊的处理才能逼真显示城市的三维信息。经过试验和研究, 采用本文给出的方法可以快速而逼真地显示大范围(甚至整个城市)的城市 DSM 图像。

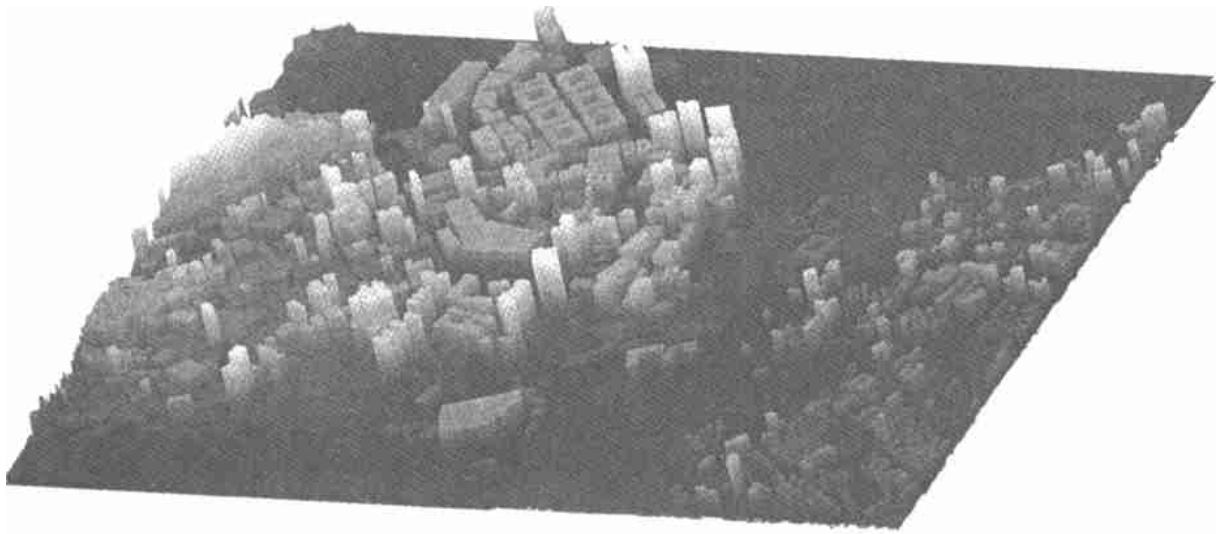


图 8 珠海、澳门交界地区的三维鸟瞰图

Fig. 8 3D birds' s-eye view of boundary area Zhuhai & Macao

参 考 文 献 (References)

- [1] Bettina Petzold, Peter Reiss, Wolfgang Stossel. Laser scanning-surveying and mapping agencies are using a new technology for the derivation of digital terrain models [J] . *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote and Sensing*, 1999, **54**(2-3): 95-104.
- [2] Baltasvias E P. Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources [J] . *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote and Sensing*, 1999, **54**(2-3): 164-198.
- [3] Li Shukai, Xue Yongqi. Airborne multi-dimensional imaging system [M] . Beijing: Science Press, 2000. [李树楷, 薛永祺. 高效三维遥感集成技术系统 [M] . 北京: 科学出版社, 2000.]
- [4] Yao Jiayi. Computer image technology and applications [M] . Beijing: Defense industry press, 1988. [姚家奕. 计算机图像技术及应用 [M] . 北京: 国防工业出版社, 1998.]

Fast Acquiring Urban DSM Image and Displaying 3D Image

YOU Hong-jian, LIU Tong, SU Lin, LIU Shao-chuang, GUO Guan-jun, LI Shu-kai

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: As an important urban information, urban digital surface models (DSM) are widely used in many fields. Airborne 3D imager which is developed by the Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences can acquire DSM in quasi-real-time without any ground control points. The data processing technology to acquire urban DSM by 3D imager is presented in this paper. How to display urban DSM which is different from natural surface in 3D is discussed in detail. An example of data processing and 3D displaying of urban DSM is given at the end. According to the fly test the efficiency of 3D imager is several times higher than that of traditional methods to acquire urban DSM, and the method to display urban DSM in 3D is feasible.

Key words: urban DSM; 3D imager; acquiring DSM; 3D displaying