

文章编号: 1001-3806(2012)04-0553-04

地面3维激光扫描技术建筑物特征线提取

于海霞^{1,2} 吴侃^{1,2*} 敖建锋^{1,2} 方茜^{1,2}

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院 徐州 221008; 2. 江苏省资源环境信息工程重点实验室 徐州 221008)

摘要: 为了提取出地面建筑物的特征点与特征线,采用平面拟合算法提取特征点的方法,对算法进行了理论分析和实验验证,得到了建筑物的特征点与特征线,并构建出该建筑物的边界线框图。结果表明,利用地面3维激光扫描技术,扫描得到建筑物的点云数据,并对点云数据进行处理,最终能够提取出建筑物的边界线。这对数字城市建设具有重大的意义。

关键词: 激光技术; 边界线提取; 平面拟合; 点云数据

中图分类号: P258 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.04.030

Extraction of building's feature lines based on 3-D laser scanning technology

YU Hai-xia^{1,2}, WU Kan^{1,2}, AO Jian-feng^{1,2}, FANG Qian^{1,2}

(1. School of Environment and Mapping, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Resources, Environment Information Engineering, Xuzhou 221008, China)

Abstract: For extracting feature points and feature lines of the building, this paper adopted plain fitting algorithm and theoretically analyzed and experimentally proved it, then obtained feature points and feature lines of the building and constructed boundary frame of it eventually. The result demonstrated that, which is significant for building digital city, with processing of point cloud acquired by terrestrial laser scanning technique, boundaries of buildings can be extracted.

Key words: laser technique; boundary extraction; plane-fitting; point cloud data

引言

近年来,3维激光扫描技术成为迅速发展的一项高新测量技术,该技术突破了传统的单点测量方法,能够快速准确地获取测量目标物表面的海量3维坐标数据^[1],由此,3维激光扫描技术为科学、准确地建立被扫描物体的数据模型提供了一种更加方便快捷的技术手段。随着社会的发展和科学技术的不断进步,3维激光扫描技术在数字城市建设中的应用受到越来越多人的关注,它能够精确获取城市建筑物3维几何信息的优点,为建设数字城市提供了科学数据,具有重大的现实和历史意义。

利用3维激光扫描数据实现建筑物特征线的提取需要解决的主要问题是提取目标特征点,如边界点、

拐角点等,再由特征点构建出特征线和特征面,从而重建3维目标。本文中研究的建筑物为具有以下特征的规则建筑物:建筑物立面基本垂直于地面;建筑物表面基本平滑;建筑物转角基本为直角。

在实际处理过程中,针对不同性质的点云数据,学者们提出了不同的特征提取方法,有基于扫描线的特征提取方法^[2]、基于深度影像的特征提取方法^[3]和基于离散点的特征提取方法^[4]等。本文中从3维激光扫描数据预处理开始,利用平面拟合^[5]算法对规则建筑物的墙面进行了提取,并利用面相交获得特征点、线,从而提取出规则建筑物的特征线。

1 3维激光扫描数据预处理

1.1 3维激光扫描数据的获取

目前,大多数激光扫描仪都是采用脉冲式激光测距的方法,通过非接触式的高速激光测量,获取被扫描物体表面采样点的3维坐标。该类仪器主要包括激光测距系统、扫描系统和支架系统,同时集成数字摄影和仪器内部校正等系统^[6]。

此种工作原理的3维激光扫描仪主要采用飞行时

基金项目: 国家环保公益性行业科研专项经费资助项目(200809128)

作者简介: 于海霞(1988-),女,硕士研究生,主要从事地面3维激光扫描测量的研究。

* 通讯联系人。E-mail: wukan689@263.net

收稿日期: 2011-12-28; 收到修改稿日期: 2012-02-21

间(time of flight, TOF)脉冲测距法,是一种高速激光测时、测距技术^[7]。脉冲式3维激光扫描系统的具体工作原理为:根据内部精密的测量系统获取发射出去的激光光束的水平方向角度 α 和垂直方向角度 β ;由脉冲激光发射到反射被接收的时间计算得到扫描点到仪器的距离值 s ;从获取扫描反射接收的激光强度,对扫描点进行颜色灰度的匹配。对于激光扫描仪而言,采用的是系统局部坐标,扫描仪的内部为坐标原点,一般 x 、 y 轴在局部坐标系的水平面上, y 轴常为扫描仪扫描方向, z 轴为垂向方向^[8]。扫描目标点的坐标计算公式如下:

$$\begin{cases} x = s \cos \beta \cos \alpha \\ y = s \cos \beta \sin \alpha \\ z = s \sin \beta \end{cases} \quad (1)$$

本文中用到的实验数据,是利用TrimbleGS200地面3维激光扫描系统获得的某建筑点云数据。图1a和图1b为扫描得到的建筑物点云数据侧视图和俯视图。

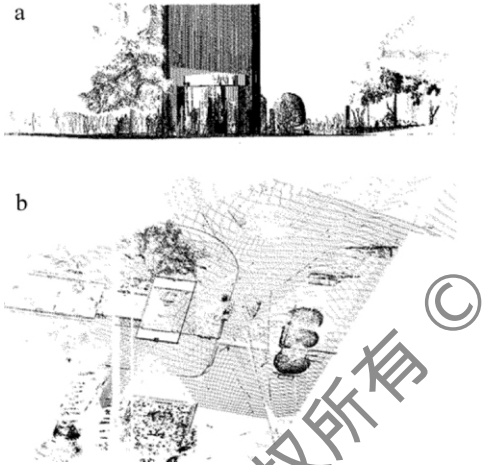


Fig. 1 a—side view of the building's point cloud data b—top view of the building's point cloud data

1.2 点云数据去噪

在3维激光扫描系统对建筑物或地表进行扫描的过程中,由于外界环境因素对扫描目标的阻挡或遮掩,如城市建筑物扫描过程中移动的车辆、行人树木的遮挡,以及实体本身的反射特性不均匀,导致最终获取的扫描点云数据中可能包含不稳定的点和错误的点。此外,目标实体的整体反射,也会造成点云数据出现“黑洞”或出现实际上不存在的物体。在数据处理的过程中如果不能将这些非实体上的点剔除干净,就会将噪声带到应用分析中去,必然降低其精度^[5]。

本文中首先利用TrimbleGS200自带的软件Realworks Survey对获得的点云数据进行粗略的去噪,将建筑物周围明显的地物,例如树木、电线杆等去除掉,以方便对点云数据进行更为精细的去噪处理。

1.3 点云分割

对于建筑物这种有棱角的实体,它的表面是非连续的,所以对于这种非连续的表面要进行必要的切割,即将拐角处切开,然后分别对各个面的点云进行平面拟合。本文中仍然采用Realworks Survey软件将规则建筑物各个面的点云数据分割开来,分割方法同噪声剔除大致相同,分割后将每个面的点云数据以ASCII码的文件形式进行保存,以便后面分别对其进行平面拟合。图2为该建筑物点云数据经过软件处理,分割出来的某一面(该建筑物墙面的中间部分为空隙而非连续的,故扫描的点云数据中间出现间隙)。

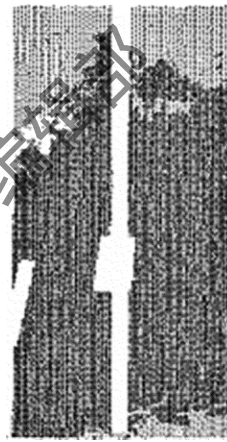


Fig. 2 Dissected metope from building point cloud data

1.4 建筑物点云数据自动提取

用软件对点云数据进行粗略去噪后,得到的点云数据中,还会有一些与建筑物点混合在一起的距离建筑物墙面较近的噪声数据。针对这些噪声数据,本文中所用方法的基本原理^[9]是先构建出空间三角格网,再拟合细部平面剔除混合在建筑物墙面数据中的噪声数据。

第1步 利用软件去噪和分割后的点云数据在建筑物的每个墙面生成三角网,并记录点的序号和三角形序号。

第2步 在建筑物墙面上随机选取3个邻近的点,用距离加权平均法拟合出这3个点的 x 或 y 坐标(根据建筑物所在的坐标系而定),若拟合的坐标值与所测值之差大于阈值,则该点不是建筑物上的点,删除该点。再在这一块中寻找一个点,重复上述步骤,直至3个点拟合坐标值与所测值之差都不超过阈值,则认为是建筑物墙面点。

第3步 利用这3个点拟合一个平面,利用顺序点作为备选点代入平面方程,若拟合坐标值与观测值之差超过阈值,则过滤掉,否则,保存为建筑物点。

第4步 去掉最老的建筑物点,将建筑物上一个新的点与另两个点确定一个局部平面,再将备选点代入,重复

第 3 步。这样就将建筑物整个墙面的噪声点过滤掉了。建筑物其它 3 个墙面用同样的方法进行精确去噪。

图 3a 和图 3b 为点云数据去噪后,建筑物的侧视图和俯视图(扫描的该建筑物为一门楼,下部侧墙面和建筑物中间均为镂空的,故出现图 3 两幅图所示的点云数据图)。

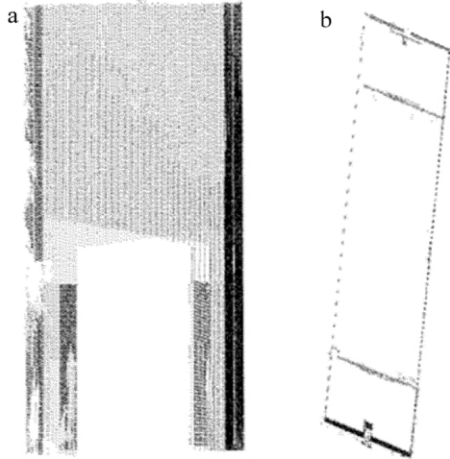


Fig. 3 a—side view of the de-noised point cloud b—top view of the de-noised point cloud

2 建筑物的特征线提取

2.1 平面拟合

3 维激光扫描数据处理完成后,接下来就是要对实体进行边界线的提取。本文中采用平面拟合方法^[10]对所选的建筑物进行边界线提取。对被扫描物体的点云数据进行拟合,就是依据扫描目标的几何特征对点云数据进行平差处理,从而获得被扫描目标的数学表达式。作者通过对扫描的建筑物点云数据进行拟合,获得其数学模型,通过计算其空间几何参量来提取建筑物的边界线。

由于将所选建筑物的面都看成是平面,通过扫描得到的这些面的点云数据,如果对离散点云进行单独分析,很难分析出其姿态,但是,如果把这些扫描的点云数据拟合成一个平面,得到该平面方程,就可以更加方便地进行分析,并且拟合平面后的建模精度比离散点建模精度要高很多。

平面方程一般形式为:

$$P(x, y, z) = Ax + By + Cz + D = 0 \quad (2)$$

为了便于求其参量,上式两边可同时除去 D,化为:

$$p(x, y, z) = ax + by + cz + 1 = 0 \quad (3)$$

对获取的点云数据 (x_i, y_i, z_i) ($i=0, 1, \dots, m$) 求其最小二乘拟合平面就是要求:

$$\sum_{i=0}^m [p(x, y, z) - p(x_i, y_i, z_i)]^2 = \min \quad (4)$$

式中 $p(x, y, z) = 0$, 该公式化为:

$$F = \sum_{i=1}^m (ax_i + by_i + cz_i + 1)^2 = \min \quad (5)$$

要使上式成立,需 $\frac{\partial F}{\partial a} = 0, \frac{\partial F}{\partial b} = 0, \frac{\partial F}{\partial c} = 0$ 成立,即:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^m x_i^2 + b \sum_{i=0}^m x_i y_i + c \sum_{i=1}^m z_i x_i = - \sum_{i=1}^m x_i \\ a \sum_{i=1}^m x_i y_i + b \sum_{i=0}^m y_i^2 + c \sum_{i=1}^m z_i y_i = - \sum_{i=1}^m y_i \\ a \sum_{i=1}^m x_i z_i + b \sum_{i=0}^m y_i z_i + c \sum_{i=1}^m z_i^2 = - \sum_{i=1}^m z_i \end{cases} \quad (6)$$

设:

$$Q = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m x_i^2 & \sum_{i=1}^m x_i y_i & \sum_{i=1}^m z_i x_i \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i & \sum_{i=1}^m y_i^2 & \sum_{i=1}^m z_i y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i z_i & \sum_{i=1}^m y_i z_i & \sum_{i=1}^m z_i^2 \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} - \sum_{i=1}^m x_i \\ - \sum_{i=1}^m y_i \\ - \sum_{i=1}^m z_i \end{bmatrix} \quad (7)$$

可得:

$$Q[a \ b \ c]^T = K \quad (8)$$

解得平面方程的系数为:

$$[a \ b \ c]^T = Q^{-1}K \quad (9)$$

本文中使使用 Visual Basic 语言对上述的平面拟合方法编程实现,程序的基本步骤如下:(1)读取切割出来的建筑物某一墙面的 3 维激光扫描点云数据;(2)利用平面拟合算法产生新矩阵并求其逆矩阵;(3)输出拟合出的平面方程。

2.2 建筑物轮廓线的提取

获得该规则建筑物每一墙面的平面方程之后,求出建筑物每相邻 3 个面的交点,即可求得建筑物各个顶点的 3 维空间坐标。将所求的顶点在软件 AutoCAD 中绘制出来,便可得到建筑物的 3 维线框图,从而提取出了该规则建筑物的整体边界线。图 4 为在 AutoCAD 中绘出的建筑物边界线图。

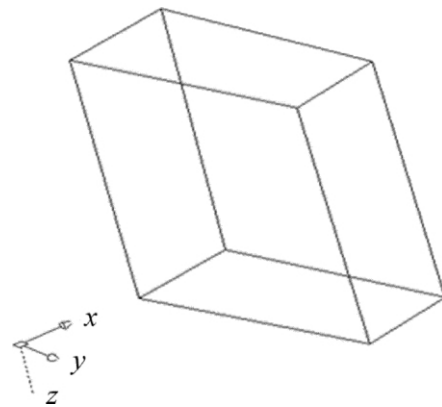


Fig. 4 Boundary diagram of the building

3 结 论

对用 3 维激光扫描系统获取的建筑物的 3 维信息特征提取进行了研究,提出了利用平面拟合方法挖掘建筑物几何信息的方法,能够较好地提取建筑物 2 维平面特征和边界线。对于形状复杂的建筑物,利用本文中方法进行提取,同样可获得较好的提取效果。

参 考 文 献

- [1] GUO X, LIU H. 3-D laser scanning technology and its application in geology prospect [J]. *Software Guide* 2009 8(3): 183-185(in Chinese) .
- [2] LÜ Z, KE Y L, SUN Q, *et al.* Extraction of blend surface feature in reverse engineering [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2003 9(2): 154-157(in Chinese) .
- [3] LI B J, FANG Z X, REN J. Extraction of building's feature from laser scanning data [J]. *Editorial Board of Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28(1): 65-70(in Chinese) .
- [4] KE Y L, SHAN D R. Edge-based segmentation of point cloud data [J]. *Journal of Zhejiang University(Engineering Science Edition)*, 2005 39(3): 378-380(in Chinese) .
- [5] BAI Z H. Study on the method of eliminating the gross error in three dimensional laser scanning [J]. *Mine Surveying*, 2009(2): 13-15(in Chinese) .
- [6] DAI H C, ZHANG F C, ZHOU Y. The application of 3-D laser scanner in historical building detection [J]. *Housing Science*, 2011(s1): 113-115(in Chinese) .
- [7] LI P, ZHANG W J, LI J. Measurement technology of 3-D laser scanning [J]. *Science and Technology Information*, 2009(31): 833-834(in Chinese) .
- [8] QIANG Y J, WU K, CAI W J. 3-D laser scanning data processing software based on AutoCAD [J]. *Mine Surveying*, 2010(2): 87-89(in Chinese) .
- [9] ZHANG X H, LIU J N. Airborne laser scanning altimetry data filtering [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2004 29(6): 50-53(in Chinese) .
- [10] CAI L L, WU K, ZHANG S. Application of point cloud plan fitting to deformation monitoring using 3-D laser scanner [J]. *Science of Surveying and Mapping* 2010 35(5): 231-232(in Chinese) .

版权所有 ©

《激光技术》编辑部