文章编号 :1671-8860(2011)11-1275-05

文献标志码 :A

机载 liDAR 点云数据中电力线的提取方法研究

余 洁 穆 超 ^{1 2} 冯延明 ³ 窦延娟 ⁴

(1 武汉大学遥感信息工程学院 ,武汉市珞喻路 129 号 ,430079)

2 湖北省国土测绘院 ,武汉市澳门路 199 号 430010)

(3 昆士兰科技大学科学学院 ,澳大利亚布里斯班 4001)

(4) 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)

摘要:提出了一种基于机载 LiDAR 点云数据的电力线提取方法 。首先在进行 LiDAR 数据滤波的基础上 分离地面点与非地面点 ;然后针对非地面点采取一种基于角度的滤波方法 ,分离非地面点中的植被点与电力 线点,对电力线点,采用二维 Hough 变换进一步分离各条电力线点 ;最后使用双曲余弦函数模型 ,对单条电力 线进行曲线拟合。 实验结果表明 ,该方法能够从 LiDAR 点云数据中较完整地提取出电力线点 ,电力线点提取 正确率达 96 2%,并能够对电力线走廊进行三维重建 关键词 :机载激光雷达 电力线提取 ;滤波 ;曲线拟合 中图法分类号 :P225

于电力巡线 。 传统的直升机巡线 ,大多搭载红外 线摄像仪 、数码摄像机 、照相机等设备 ,在飞行的 同时 ,对途经线路进行观察 ,获取线路走廊可见光 和红外影像 ,但这些技术的空间定位精度均不高 很难精确判断线路走廊地物到线路的距离 。 而机 载 LiDAR 测量系统可以很 好地解决空间定位 测量精度等问题 ,它可直 接而快速 地采集线路 走 键问题 : 分析 电力线 在机载 LiDAR 数据中的 廊高精度三维激光 点云 数 据 ,进而 快速地获得高 精度三维线路走廊的地形 、地貌、地物和线路设施 的空间信息 [1]。

整提取电 力线点, 从激光雷达数据中可以完 并三维重建电力线 走廊 ,提取的电 力线矢量可以 计算树木点与电力 线的距离 ,还可 以建立安全缓 冲区 ,计算树木点进入缓冲区的数量 ,决定树木修 剪位置等。 目前 "激光雷 达数据处 理多集中于 建 24],由于成本昂贵 筑物提取和数据滤波方法研究 等原因 ,目前将激光雷达 技术运用 于电力巡线 的 并不多 ,从激光点云数据 中自动提 取电力线的 相 关研究也较少 [5-7]。 本文在分析归纳机载 LiDAR 数据中电力线点的 主要 特性后,提出了一种基于 力线信息 主要集中在 LiDAR 数据的首次回波 LiDAR 点云数 据的 电力线自动提取方法。该方 中; 针对狭长 范围内的电力线走廊数据,主要

随着遥感技术的 快速发展,遥感技术已应用 法能够自动提取 电力线点 ,并对电力线点进行曲 线拟合 "形成连续 、完整的电力线走廊

1 LiDAR 点云数据的电力线自动提 取方法

在进行电力 线提取过程中 ,需要解决几个关 特性; 根据这些特性 ,最大化地提取电力线走 廊中的电力 线点; 分离多条电力线点 ,并进行 单条电力线的曲线拟合

1.1 电力线在 LiDAR 点云数据中的特性 电力线在激光点云数据中的主要特性有: 电力线 点呈线状分布,通常贯穿整个数据区 域 ,具有较强的 延伸性; 两根相邻电线杆之间 的电力线在水平方向的投影呈直线 ,且相互平行 , 同时 ,电力线点在局 部小面积区域里的高程基本 相同; 电力线属于自然悬垂线 ,其数学模型符 合双曲余 弦函数; LiDAR数据具有多次回波 特性 ,电力线上方的区域一般无其他地物遮挡

收稿日期 2011-09-15。

:澳大利亚国家空间信息合作研究中心资助项目

(CRCSI6 .07)

地物类型为植被和电力线

基于上述特性 ,本文提出了一套针对机载 Li-DAR 点云数据 的电力线自动提取方法。具体技术流程如图 1 所示。

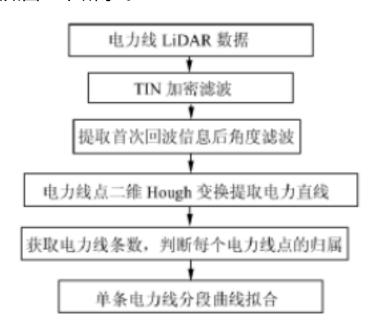


图 1 LiDAR 点云数据的电力线提取技术流程
Fig .1 Flow Chart for Powerlines Extraction from
LiDAR Data

1.2 电力线点的提取方法

本文研究的目的是电力线 点的提取 与拟合。 针对 一幅 原始 LiDAR 点云数据,首先需要将电 力线点分离出来 。本文采用基于不规则三角网加 密 (TIN densification)的滤波方法 ,分离出地面点 地 表点 ,并根据 与非地面点 。 以粗放的尺度寻找 这些地表点建立粗尺度的 TIN 网格表面 ;然后逐 一判断其余的 三维点与 TIN 表面的垂直距离及 角度 ,当距离 d 与角度 小于一定阈值时 ,将该点 纳入 并重 新 生 成 新 的 TIN 表 面 , 否 则 将 该 点 删 除。重复该过程,直至所有点判断完成 [8]。在 TIN 滤波中 ,网 格 大 小 (边 长 1)、新 的 三 维 点 到 TIN 表面 的垂直距离 d 以及角度 等参数阈值 的设置直接影响生成 DEM 的精度。一般来说, 应保证每个网格 中均有地面点,通常边长1取实 验数据中最大树冠的边长

,主要包括树 木和电 对于提取后的非地面点 力线以及少量电线杆点 。 根据电力 线的特性 只需提取首次回波 的激 光 点 ,即能 滤除掉一部分 植被点 ,而保留全 部 电力 线 点。 根据每个激光点 的回波次数属性 提取首次回波点后 ,仍存在一部 分植被点和电线杆点没有被去除 。 根据特性 电力线在小面积局部 区域里的高程基本相等,而 树木点在 局部区域里的高程一般具有起伏的特 点 ,本文设计了一种基于角度的滤波方法 /其算法 原理如下 :对于点 p 🛈 ,在一个给定半径 r 的圆形 区域中 ,如果该点与区域 中任何其 他点之间的 倾 ,点 p ⇔被认为 斜角度的最大值小于给定的阈值

p (-1) ,则 p () 点相对于 p (-1) 点的倾斜角度 S 的计算如式 (1)所示:

$$S_{i} = \frac{Z_{i-1}}{\left(X_{i-1}^{i-1}\right)^{2} + \left(Y_{i-1}^{i-1}\right)^{2}}$$
 (1)

1 3 电力线点的分离与归类

使用 § 1.2 的方法可以提取出电力线点,但 同时还会残留一些树木点 。 为了对单条电力线进 行曲线拟合 ,需要把若干条电力线区分开来 用电力线的特性和 机 ,将 § 1.2 中提取的电力 线点投影到 XY平面,并对 XY平面的点作二维 Hough 变换 ,分离各条电力线点。 具体方法为: 对于分离出来的电力线点及少量植被点数据 每个点的 XY 两个坐标值 。 由于电力线点在 XY平面上的投影基本是相互平行的 ,可以使用二维 Hough变换方法提取XY平面上的电力直线。 获得若干条电力线直线方程的参数 (p ,)后 ,需判 断每个点从属的电力线。 在二维 🗶 🗸 平面上,计 算每个点到各条直线的垂直距离 ,如果该点到某 条直线的距离小 于一定阈值 ,则认为该点为这条 电力线上的 点。阈值一般取电力线间距的 1/2。 采用此方法 ,那些不满 足阈值条件的树木残余点 将被去除 。 每个电力线点归类后 ,即可对单条电 力线进行曲线拟合 。

1.4 电力线曲线拟合

单条电力线悬垂线分段 拟合前 ,需判 断电线杆点的位置 。电线杆点的特 点是:该点在 X Y 小范围区域里 ,高程是极大值 。确定电线杆点位置 后,即可对两根电线杆之间的点进行曲线拟合。根据电力线的特性 ,电力线是自然悬链曲线 ,其数学模型符合双曲余弦函数 ,曲线方程为 :

$$y = a + c \cosh \left(\frac{x}{c} - b \right)$$
 (2)

将两根电线杆之间的点投影到电力线方向和 z 轴所在的 平面 ,用数值分析中曲线拟合及函数 逼近方法解算式 ②)中最佳的参数 a、b、c ,得到每条电力线的最佳参数 ,则可三维重建每条电力线 。

2 实验结果与分析

斜角度的最大值小于给定的阈值 ,点 p Ω 被认为 为了验证本文方法的可 行性 ,本文采 用 澳 大是电力 线 点 ;反 之 ,则 是 树 木 点 。 假 设 点 p Ω 和 利亚空间信 息 合 作 研 究 中 心 CRCSI6 .07 项 目 组

采集的机载 LiDAR 数据进 行实验 。 该数据为昆士兰州 Murgon 至 Wondai 地区大约 10 km 的通往农村的 10~110 kV 高压 电力线走廊数据 ,采集仪器是 TopoSys Harrier 56 激光雷达测量仪 ,采集高度大概为 500 m ,采集频率为 200 kHz ,扫描角为 60°,本数据单次激光脉冲最多记录 4 次回波信号 ,点云密度为 9 点/m²,同档电力线相隔距离约为 1 m。

截取的 电力线走廊数据如插页 彩图 3 所示,其中包括 6 条电力线、2 根电线杆。通过计算,实验数据 中总共有 1 506 个电力线点。首先利用基于 TIN 加密的滤 波方法 ,将地 面点 滤除。考虑到每个粗放网格 内均应有地面点 ,且电力线正下方的低矮树木需要滤除 ,粗放网格的边长 1 取 30 m ,角度 取 50°,新的三维点到 TIN 表面的垂直距离 d 取 1 5 m。滤波结果如图 2 所示。 根据每个点的回波次 数属性 ,提取的 地物点中的首次回波信息如图 3 (a)所示。

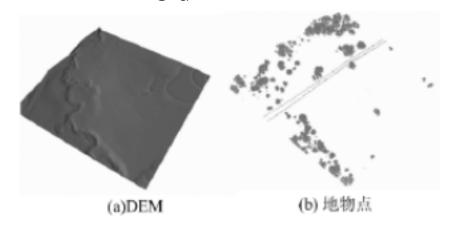


图 2 TIN 加密滤波后的结果 Fig .2 TIN Densification Filtered Result

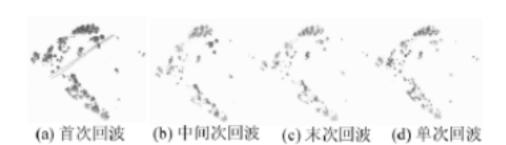


图 3 地物点中回波信息分离
Fig 3 Object Points Separation Based on Return
Attribute Values

由提取结果图 2 (a)可见 ,数据中的 6 条电力 线在局部小面积区域 里的高程基本相等 ,而树木 点在小面积区域里的高程相差较大 。图 4 是使用基于角度滤波后的结果 ,滤波半径为 5 m ,角度为 20°。由滤波结 果可知 ,大部分植被点被去除 ,少量残余植被点及电力线点被保留 。

为分离各条电力线点 ,将角度滤波后 的结果投射到二维 XY平面,如图 5 (a)所示,经 Hough变换后,提取的 6 条电力直线如图 5 (b)所示。 计算图 4 中每个点到 6 条电力线的距 离,因各条电力线间距大约为 1 m,则距离阈值取 0.5 m,将每

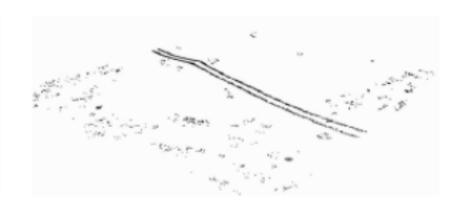


图 4 对首次回波数据角度滤波的结果 Fig .4 Angle Filtering Result for First Return Points

个点归属到 不同的电力线。6条电力线归类后,一共有 1449个电力线点得到保留 ,电力线点提取的正确率为 96.2%。

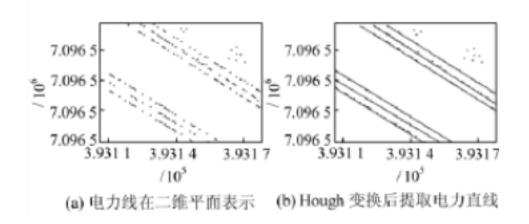


图 5 两次滤波后首次回波点在二维平面的表示 及 Hough 变换提取直线 (局部)

Fig .5 Points in X Y Plane After Two Filtered Method and Lines Extraction After Hough Transform

线 ,需要找到 数据中 对于归类后的单条电力 唯一的电力线杆 的顶点位置 ,若某点的高程值大 于其相邻的左右各 10 个点的高程值 ,判断该点为 电线杆的顶点 。以第一条电力线为例 ,将电力线 杆顶点(或边缘点)之间的电力线点投影到该电力 线直线方向与 z 轴所形成的平面 ,如图 6 所示 ,黑 色框中的电力线点即为电线杆点或边缘点 。对该 系列点在 Origin 8 数学软件里利用非线性曲线拟 合工具分段进行 垂链线拟合 ,第一条电力线分段 (以中间电线杆顶点为界 ,分为左边的短段电力线 和右边的长段电力线)拟合后的电力线如插页 彩图 4 所示 ,同时可得到曲线的 3 个最佳拟合参 数 a、b、c。 6 条电力线分段拟合参数见表 1 ,表中 的 Adj.R-sq 为校正决定系 数。 最后根据 最 佳 拟 合参数 将电力线进行三维重建 ,如图 7 所示。

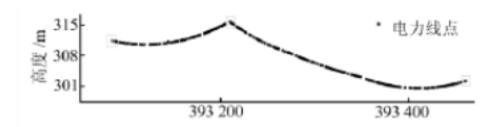


图 6 第一条电力线电线杆点与边缘点的判定
Fig 6 Pole and Edge Points Discrimination for the
First Line

表 1 6 条电力线曲线最佳拟合参数

Tab 1	Doct Cittina	Daramatara farth	- C+v	Downslines
1 ab .1	ספצר בדוחדונ	Parameters for the	5 2TX	Роментез

参数		电力线短段			电力线长段			
	а	b	С	Adj.R sq	a	b	С	Adj .R -sq
电力线 1	- 493 .59	393 118 .91	804 .12	0 .999 1	- 1 374 .76	393 433 .60	1 675 .76	0 .999 4
电力线 2	- 614 .27	393 115 .57	925 .09	0 .996 2	- 1 544 .82	393 439 .72	1 845 .97	0 .986 8
电力线 3	- 495 .53	393 118 .55	806 .18	0 .999 7	- 1 330 .78	393 429 .91	1 631 .84	0 .984 0
电力线 4	- 699 .83	393 114 .42	1 009 .3	0 .999 2	- 1 523 .46	393 419 .12	1 824 .85	0 .991 1
电力线 5	- 771 .99	383 111 .54	1 081 .51	0 .999 7	- 1 539 .31	393 418 .72	1 840 .80	0 .992 4
电力线 6	- 730 .25	393 112 .34	1 039 .78	0 .999 2	- 1 524 .27	393 419 .49	1 825 .64	0 .993 1



图 7 电力线走廊三维重建

Fig .7 3D R econstruction for the Powerlines Corridor

从实验结果可以 看到,本文提出的方法只需设定少量阈值,即能够较好地提取LiDAR数据中的电力线点,并较精确地三维重建出电力线走廊。

需要说明的是 ,本算法在 TIN 加密滤波过程中,高度阈值 d 和角度 的设置需 完全滤除电力线正下方区域的地面点和植被点 。否则进行第二次基于角度的滤波时 ,电力 线下方的地面点和 植被点与其形成角度 ,电力线点 有可能被滤除 。并且通过二维 Hough 变换分离各条电力线时 ,电力线下方的地面点或植被点也有可能被误分进电力线点 ,给曲线拟合带来误差 。 当然 ,如果实验区地势平坦 ,也可以考虑使用 高程阈值 滤波方法滤 除地面点。

通过基于角度的滤波方 法,目的是分 离电力线点与植被点 ,如果数据 中有少量 树木生长进 电力线的上层或下层 ,使用基于角度滤波方法时 ,树木点与电力线点均 被滤除,会造成 电力线的局部 断裂,但电力线拟合采取回归分析方法 ,所以局部的断裂对电力线的拟合精度影响不大 。

通过二维 Hough 变换检测直线的方法来分离归类各条电力线 点,对于电线杆左右两端呈 一定的角度的电力线也是适用的 。

本文 获取的数据是 通往农村的 10~110 kV 高压电力线点云数 据,如果针对的是多层次的 铁塔高压线数据 ,仍然可以通过 TIN 滤波或高程阈值分割方法 ,提取高程值 远大于下 方植被点和 地面点的高压电力线点 。然后利用本文提到的角度

滤波方法去除高 压线铁架点 ,只是滤波半径应设置成窗口中只包含单条电力线 。 最后将剩下的高压线点投影到二 维平面 ,检测电力铁塔之间的直线段 ,利用本文的方法将各条电力线点分离归类最后进行拟合与三维重建 。

3 结 语

随着激光 雷达技术在电力巡线中应用的推广,需要自动重建电力线矢量 ,本文的研究充分利用了同档 电力线在二维平面相互平行且近似直线,电力线横贯图像 ,没有中断 ,属于自然悬垂线等特性 ,提出了一套基 于机载激光雷达数据的提取电力线方法流 程 ,通过实验证明能取得较好的效果 ,对提取、三维重建其他类型的电力线有一定的借鉴意义和重要的实际参考价值 。

致谢 :感谢澳大利亚国家空间信息合 作 研 究 中心 6 .07 项目组 及昆士兰科技大学提供的机载 激光雷达数据 。

参 考 文 献

- [1] 徐祖舰 ,王滋政 ,阳锋 .机 载 激 光 雷 达 测 量 技 术 及 工程应用实践 [M].武汉 :武汉大学出版 2009
- [2] 曾齐红 ,毛建华 ,李先华 ,等 .机载 LiDAR 点云数据的建筑物重 建研究 [J].武汉大学学报·信息科学版 ,2011 36 (3) 321 324
- [3] 赖旭东 ,万 幼川 .一 种 针 对 激 光 雷 达 强 度 图 像 的 滤 波算法研究 [J].武汉大学学报 · 信息科学版 2005, 30 ②):158-160
- [4] 沈晶 ,刘纪平 ,林祥国 . 用形态学重建方法进行机载 LiD A R 数据滤波 [J].武汉大学学报 · 信息科学版 , 2011 36 (2):167-170
- [5] Melzer T , Briese C . Extraction and Modeling of Power Lines from ALS Point Clouds [C]. The 28th Austrian Assoc Pattern Recog Workshop , Hagen berg , Austria , 2004
- [6] Clode S, Rottensteiner F. Classification of Trees and Powerlines from Medium Resolution Airborne Laserscanner Data in Urban Environments [C]. AP-

RS Workshop on Digital Image Computing, Brisbane, Australia 2005

[7] McLaughlin R A. Extracting Transmission Lines from Airborne LiDAR Data [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 2006,3(2):222-226

[8] 赵峰 .机载激光雷达数据和数码相机影像林木参数

提取研究 [D].北京:中国林业科学研究院 2007

第一作者简介 :余洁,教授,博士生导师,主要从事遥感影像处理和应用研究。

E mail 'yuj2011@ whu .edu .cn

Powerlines Extraction Techniques from Airborne LiDAR Data

YU Jie MU Chao FENG Yanming DOU Yanjuan

- (1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)
 - (2 Hubei Institute of Territory Surveying and Mapping, 199 Aomen Road, Wuhan 430010, China)
 - (4 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: A kind of powerlines extraction method based on airborne LiDAR point clouds data is introduced. Firstly, a TIN densification filter is used to separating the ground points and object points. Then, an angle filter is adopted for extracting powerlines points from object points. For the powerlines points, a 2D Hough transform method is used to separating these several lines. Finally, a hyperbolic cosine function model is used for the single line curve fitting. The experimental results show that the powerlines points could be relatively complete extracted from LiDAR data using this method, the accuracy of powerlines points extraction is 96.2% and the 3D reconstruction of powerlines corridor is also procured.

Key words: LiDAR; powerlines extraction; filter; curve fitting

About the first author: YU Jie, professor, Ph.D supervisor, majors in the processing and application of remote sensing data E-mail: yuj2011@whu.edu.cn

檪檪檪檪檪檪檪檪檪檪檪檪檪檪檪 (上接第 1274 页)

expressions of the LiDAR point cloud were deduced for the parallel lines scan LiDAR, the Z-shaped scan LiDAR and the elliptical scan LiDAR. The relationship mapping of the parameters of LiDAR system and the coordinates of LiDAR point cloud were discussed in detail. Further for analyzing the coordinates accuracy of the LiDAR point cloud based on the parallel lines scan LiDAR, five motion errors were discussed. The results show that the rank of the impact factor from the max to the mix are as follows, the roll deviation, the pitch deviation, the yaw deviation, the vertical shake deviation and the instantaneous velocity deviation. It will offer a theory foundation for improving resolution of imaging of LiDAR through mechanical compensating.

Key words: airborne LiDAR; LiDAR point cloud; roll deviation; pitch deviation; yaw deviation

About the first author: LI Xiaolu 'Ph .D 'lecturer' majors in fiber optics 'airbome LiDAR and optical coherence tomography.

E-mail: xiaoluli@ buaa .edu .cn