

# LiDAR 点云数据的电力线 3 维重建

赖旭东<sup>1</sup>, 戴大昌<sup>1</sup>, 郑敏<sup>1</sup>, 杜勇<sup>2</sup>

1. 武汉大学遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079;

2. 国网湖北省电力公司检修公司, 湖北 武汉 430050

**摘要:** 利用 LiDAR 数据进行电力设施提取与建模可以克服传统工程测量电力巡线工作量大、危险性高、效率低下等缺点,但现有的电力线提取研究主要集中在电力线的分离与提取,并且拟合的精度不高。针对此问题本文提出了一种精度较高的电力线拟合方法。首先根据电力线两端悬挂、中间自然下垂的特点,求解电力线拟合的最佳几何模型;然后,通过电力线的走向和端点,建立电力线拟合的最佳平面坐标系;最后,采用基于二次多项式限制的最小二乘法拟合电力线,解算出最优参数,生成最终电力线模型。对真实数据的处理和精度评价表明,本文方法不仅能够实现电力线的快速 3 维重建,而且能够达到较高的拟合精度。

**关键词:** LiDAR 技术,点云数据,电力线 3 维重建

**中图分类号:** P237      **文献标志码:** A

**引用格式:** 赖旭东,戴大昌,郑敏,杜勇. 2014. LiDAR 点云数据的电力线 3 维重建. 遥感学报, 18(6): 1223-1229

Lai X D, Dai D C, Zheng M and Du Y. 2014. Powerline three-dimensional reconstruction for LiDAR point cloud data. *Journal of Remote Sensing*, 18(6): 1223-1229 [DOI: 10.11834/jrs.20144075]

## 1 引言

高压输电线路是国家的重要基础设施,输电线路故障会给人们的日常生活和国家经济带来巨大的影响,所以对电力线的管理和监测十分重要(Jwa 和 Sohn 2010)。机载 LiDAR 电力巡线高效快速可以克服传统的工程测量电力巡线工作量大、危险性高、效率低下以及直升机电力巡线空间定位精度低的缺点(Jwa 等, 2009; 叶岚等, 2010; 余洁等, 2011)。近年来,机载 LiDAR 数据越来越多地被用于目标的 3 维重建,但这些应用大多局限于城市地区(房屋和道路)和自然特征(树木和森林)的 3 维重建,用 LiDAR 数据进行走廊状目标如电力线 3 维重建的研究并不多(Kim 和 Sohn 2010)。

目前,基于 LiDAR 数据进行电力设施提取和建模的研究技术尚不成熟,主要存在较多的人工干预,拟合精度不高,电力线缺乏连续性等不足。如

Melzer 和 Briese(2004)提出采用 2 维 Hough 变换探测分段的电力线基元,电力线整体重建通过随机抽样一致算法随机选取的电力线基元估计垂线参数完成。由于该方法没有充分利用全部的电力线点数据,重建模型精度的稳定性和可靠性较差。McLaughlin(2006)采用了一种基于知识的监督分类法分两步将电力线从背景中分离出来,在 XOZ 或 YOZ 平面内进行拟合。该方法虽能简化运算,但受拟合平面坐标系的影响,拟合模型精度不高。Jing 等(2011)利用电力线的空间分布特征从点云中提取单根电力线,然后直接利用基于多项式限制的最小二乘匹配算法估算出电力线的模型参数以对其进行 3 维重建,由于缺少对拟合坐标系的考虑,该方法具有随机性,且误差较大。Ritter 等人(2012)以及 Ritter 和 Benger(2012)提出了一种基于体元的分断线探测器(VPLD)自动利用机载 LiDAR 点云数据对电力线进行 3 维重建,它是在探测出电力线点的

收稿日期: 2014-03-24; 修订日期: 2014-06-18; 优先数字出版日期: 2014-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41171289); 国家科技支撑项目(编号: 2012BAH34B02); 湖北省电力公司科技项目(编号: 201221506); 海洋公益性行业科研专项经费项目(编号: 2013418025-6)

第一作者简介: 赖旭东(1972—),男,副教授,研究方向为激光雷达点云数据处理原理、理论和方法,激光雷达波形数据分析、分解及应用技术,多源遥感数据一体化处理及行业应用等。E-mail: laixudong@whu.edu.cn

基础上利用对悬链线的非线性调整重建电力线,并在之后对其进行误差纠正,得到最终的重建结果,该方法运算复杂,最终拟合模型连续性较差。Sohn 等(2012)利用马尔可夫随机场从给定的线状走廊场景中分割出电力线,接着根据电力线和杆塔的语义关系提取出杆塔,最后基于杆塔的位置用悬链曲线模型重建电力线3维模型,该方法只适用于简单的杆塔电力线模型,而不适于复杂的钢塔电力线模型。

本文在分析各方法优缺点的基础上,提出了一种基于 LiDAR 点云的电力线3维建模方法,根据物理学平衡原理结合电力线自然悬挂的特点,推导出适合该电力线拟合的模型,充分考虑电力线拟合精度,采用统计分析法和基于二次多项式限制的最小二乘法确定电力线模型参数,并通过与现有方法的比较证明该方法可以达到较高的拟合精度。

## 2 电力线拟合算法

本文设计的电力线拟合技术流程如下:首先,根据电力线两端悬挂、中间自然下垂的特点,求解电力线拟合的最佳几何模型悬链线,为了简化运算提高运算效率,根据拉格朗日多项式原理将非线性悬链线公式简化为线性多项式形式;然后,在 XOY 平面内设计了一种基于统计学的方法,确定电力线在 XOY 平面投影的方向;再根据端点激光焦点的特性,确定经过起始端点且垂直于电力线水平走向的竖直平面,计算所有点到该平面的垂直距离作为横坐标轴参数,以其对应的 Z 坐标值作为纵坐标轴参数,从而确定最佳平面坐标系;最后,采用基于二次多项式限制的最小二乘法拟合电力线,得到最优参数,生成最终电力线模型。

### 2.1 电力线拟合模型

由于架设在两杆塔之间的电力线存在较长距离,其材料的刚性特征对其几何形态的影响较小,任意一点的弯矩几乎为零,所以视为理想的柔索,可按照理论力学中的悬链线模型进行分析。基于悬链线模型的假设,以下对“悬链线公式”进行推导:

假设存在一根自然悬挂的导线 AB,以导线走向为 X 轴,竖直方向为 Y 轴建立的坐标系,如图1(a)所示。

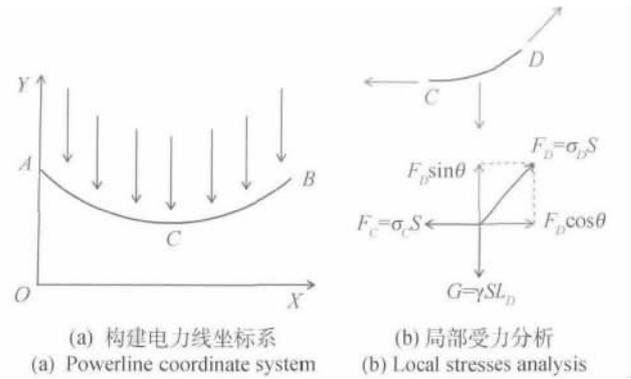


图1 均荷载下导线受力示意图

Fig. 1 Poweline stress diagram in average load

截取局部导线 CD 段作受力分析,如图1(b)所示。其中 C 为导线弧垂最低点 D 为其导线上任意一点。根据力的平衡原理有:

$$\text{垂直方向上: } G = F_D \sin \theta = \gamma S L_D$$

$$\text{水平方向上: } F_C = F_D \cos \theta = \sigma_c S$$

式中  $\sigma_c$  表示导线在 C 点处的切向应力, S 为导线的横切面面积,  $L_D$  表示导线对应 CD 段长度,  $\theta$  表示位置 D 处所受张力  $F_D$  与水平方向的夹角,  $\gamma$  表示导线的比荷。

将上述两个公式作对比,得:

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{\gamma L_D}{\sigma_c} \quad (1)$$

对式(1)求导:

$$\begin{aligned} d(\tan \theta) &= \frac{\gamma}{\sigma_c} d(L_D) = \frac{\gamma}{\sigma_c} \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \\ &= \frac{\gamma}{\sigma_c} \sqrt{1 + \tan^2 \theta} dx \end{aligned} \quad (2)$$

可得

$$\tan \theta = \sin \frac{\gamma}{\sigma_c} (x + C_1) \quad (3)$$

又

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} \quad (4)$$

得

$$\frac{dy}{dx} = \sin \frac{\gamma}{\sigma_c} (x + C_1) \quad (5)$$

再分离变量积分有:

$$\int dy = \int \sin \frac{\gamma}{\sigma_c} (x + C_1) dx \quad (6)$$

$$y = -\frac{\sigma_c}{\gamma} \cos \frac{\gamma}{\sigma_c} (x + C_1) + C_2 \quad (7)$$

设导线弧垂最低点坐标为 C(a, b), 则有  $x = a$ ,

$$\frac{dy}{dx} = \tan \theta = 0, \text{ 代入式(5)得 } C_1 = -a, \text{ 再代入式(7)}$$

得  $C_2 = b + \frac{\sigma_c}{\gamma}$  则有:

$$y = -\frac{\sigma_c}{\gamma} \cos \frac{\gamma}{\sigma_c} (x - a) + b + \frac{\sigma_c}{\gamma} \quad (8)$$

为了简化计算,提高运行效率,根据  $y = \cos x$  的二阶麦克劳林公式简化得:

$$\cos \frac{\gamma}{\sigma_c} (x - a) \approx 1 - \frac{\gamma^2}{2\sigma_c^2} (x - a)^2 \quad (9)$$

代入式(8)得:

$$y = \frac{\gamma}{2\sigma_c} x^2 - \frac{a\gamma}{\sigma_c} x + \frac{a^2\gamma}{2\sigma_c} + b \quad (10)$$

最终得到电力线拟合公式:

$$y = Ax^2 + Bx + C \quad (11)$$

式中  $A = \frac{\gamma}{2\sigma_c}$ ,  $B = -\frac{a\gamma}{\sigma_c}$ ,  $C = \frac{a^2\gamma}{2\sigma_c} + b$ 。

### 2.2 构建电力线拟合的平面坐标系

如何构建电力线拟合的平面坐标系对于最终拟合生成的电力线模型精度影响很大,本文根据电力线点数据特征设计了以下构建方案,具体技术流程如图 2 所示。

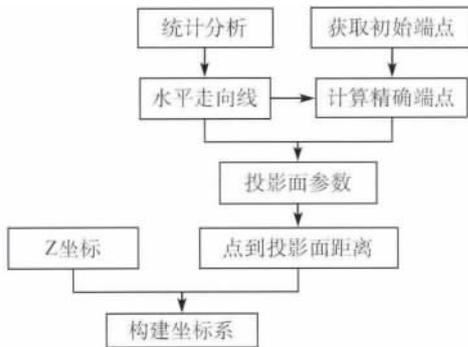


图 2 构建电力线拟合平面坐标系流程

Fig. 2 The flow chart of construction of powerline fitting plane coordinate system

首先要确定电力线在 XOY 平面内的走向。激光雷达数据采集具有一定的随机性,所采集的电力线点呈离散状态,且相对于高程其水平误差较大,存在一些随机粗差点。直接采用传统方法进行拟合容易受粗差点的影响,如图 3(a) 所示。本文设计了一种基于统计学的分析方法,通过计算任意两点所确定的直线在 XOY 平面一定阈值范围内的总点数对单根电力线点数据进行统计分析,当点数达到最大时,这两点所确定的直线即为电力线中心的走向线,如图 3(b) 所示。对比可知,统计分析法能够很好地避免粗差点的干扰。当然,阈值设定是该方法的关

键,通常为电力线水平宽度的一半(经验值)。

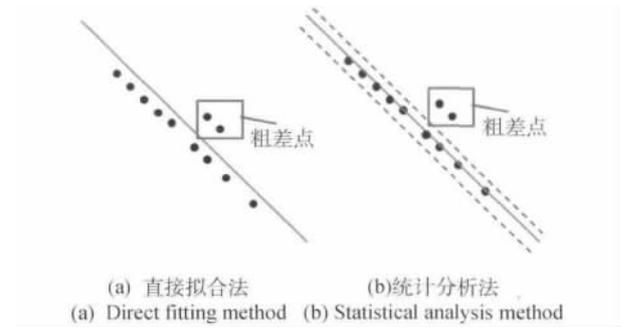


图 3 两种方法对比示意图

Fig. 3 Comparison of two methods

确定单根电力线中心的走向线后,接下来结合电力线初始端点进一步解算位于电力线中心走向线上的精确起始端点。为了确定电力线的初始端点,采用排序的方式对电力线点沿 X 轴或 Y 轴进行排序(当  $\Delta X \geq \Delta Y$  时,按 X 轴排序,否则按 Y 轴排序;其中  $\Delta X = \max X - \min X$ ,  $\Delta Y = \max Y - \min Y$ ),  $\min X$  或  $\min Y$  对应的点坐标即为电力线的初始端点。在 XOY 平面内,设初始端点坐标为  $(x_0, y_0, z_0)$ ,电力线中线走向线为  $y = ax + b$ ,则对应的精确起始端点坐标为  $(\frac{x_0 + ay_0 - ab}{a^2 + 1}, \frac{ax_0 + a^2y_0 + b}{a^2 + 1}, z_0)$ 。根据电力线点数据中心线走向和精确起始端点坐标,即可确定经过起始端点且垂直于电力线水平走向的投影面。

最后,计算所有点到该投影面的垂直距离  $d_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) 作为横坐标轴参数,以其对应的 Z 坐标值作为纵坐标轴参数,确定最终电力线拟合的最佳平面坐标系,如图 4 所示。

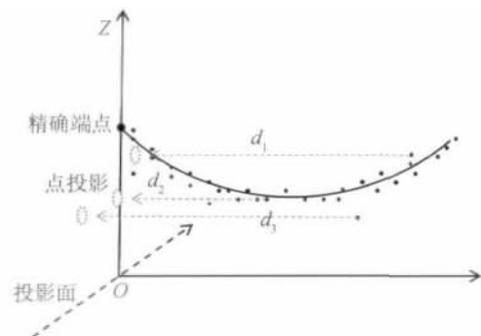


图 4 电力线拟合的最佳平面坐标系

Fig. 4 The optimal powerline fitting plane coordinate system

### 2.3 拟合电力线

激光雷达设备采集的电力线点数据在电力线

拟合的竖直平面内呈离散状态分布,要从这些离散分布的点数据当中确定电力线模型,关键要进行数据拟合。所谓数据拟合是根据测定数据点之间的关系,确定曲线  $y = s(x; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n)$  的类型,使得在给定点上误差的平方和达到最小,即求解无约束问题:

$$\min F(a_0, a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^m (f(x_i; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n) - y_i)^2$$

确定最优参数  $a_k^*$  ( $k=0, 1, \dots, n$ ),从而得到拟合曲线  $y = f^*(x)$ 。根据数据拟合的定义,本文采用基于二次多项式限制的最小二乘法对竖直平面坐标系内的数据点进行拟合。

设  $f(x) = ax^2 + bx + c$  则:

$$F(a, b, c) = \sum_{i=1}^m (ax_i^2 + bx_i + c - y_i)^2 \quad (12)$$

对参数求偏导数得:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a}(a, b, c) = 2 \sum_{i=1}^m (ax_i^2 + bx_i + c - y_i) x_i^2 \\ \frac{\partial F}{\partial b}(a, b, c) = 2 \sum_{i=1}^m (ax_i^2 + bx_i + c - y_i) x_i \\ \frac{\partial F}{\partial c}(a, b, c) = 2 \sum_{i=1}^m (ax_i^2 + bx_i + c - y_i) \end{cases} \quad (13)$$

要求  $F(a, b, c)$  的极小值,根据极值的一阶必要条件  $\frac{\partial F}{\partial a} = \frac{\partial F}{\partial b} = \frac{\partial F}{\partial c} = 0$ ,进而可得正规方程组:

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m x_i^4 & \sum_{i=1}^m x_i^3 & \sum_{i=1}^m x_i^2 \\ \sum_{i=1}^m x_i^3 & \sum_{i=1}^m x_i^2 & \sum_{i=1}^m x_i \\ \sum_{i=1}^m x_i^2 & \sum_{i=1}^m x_i & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i \\ \sum_{i=1}^m y_i^2 \end{bmatrix} \quad (14)$$

设方程组求得的最优解为  $a^*$ 、 $b^*$  和  $c^*$ ,则电力线点数据拟合的最佳曲线模型为:

$$y = a^* x^2 + b^* x + c^* \quad (15)$$

最后,根据生成的电力线曲线模型解算出新的电力线点坐标,并在3维空间中进行绘制,即可生成所需要的电力线拟合模型,具体方法如下:

已知电力线精确起始端点坐标为  $(x_0, y_0, z_0)$ ,在 XOY 平面上的中心走向线为  $y = kx + b$ ,则对应单位向量为  $(\frac{1}{\sqrt{k^2+1}}, \frac{k}{\sqrt{k^2+1}})$ ,设沿电力线水平走向每隔  $s$  长度的距离取一个点,那么任意一点  $i$  对应的坐标可表示为:

$$\begin{cases} x_n = x_0 + i^* s^* \frac{1}{\sqrt{k^2+1}} \\ y_n = y_0 + i^* s^* \frac{k}{\sqrt{k^2+1}} \\ z_n = z_0 + i^2 a^* s^2 + i b^* s + c^* \end{cases} \quad (16)$$

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 实验数据概况

实验使用的数据从河南省境内采集,数据采集设备是威易公司研制的轻小型 LiDAR 设备 BL-300,搭载平台为 V750 型无人直升机。数据采集线路全长约 40 km,飞行带宽约 1 km,采集获取的点云平均密度约为 13.12 point/m<sup>2</sup>,数据精度通过地面标志物来检测,水平精度约为  $\pm 11.40$  cm,高程精度约为  $\pm 6.21$  cm。从初始 LAS 点云数据中分割出部分电力线点数据,该段实验数据包含了 5 根电力线,其中位于顶层的两根线较细,中间的一根和底层的两根相对较粗,实验中为了区分比较这 5 根线的拟合效果,按照从上到下的顺序对 5 根线编号,依次为 1, 2, 3, 4, 5。图 5 是这 5 根电力线赋伪彩的效果图。



图 5 赋伪彩后的 LiDAR 电力线点数据

Fig. 5 LiDAR point cloud of powerline in false color

#### 3.2 处理过程

首先,因为拟合需要针对单根电力线点数据进行,所以必须将这 5 根电力线逐个分离出来,采用的方法是基于空间距离限制的聚类分析;分离出单根电力线后,接下来就可以进行统计分析,统计分析的阈值设定为 45 cm,确定每一根电力线在 XOY 平面的中心走向线  $y = ax + b$ ,解算每根线的精确起始端点坐标  $(x_0, y_0, z_0)$ ,计算每个点数据到垂直平面的距离,并构建每根电力线拟合的最佳平面坐标系;然后,采用基于二次多项式限制的最小二乘法拟合电力线,获取最优参数  $a^*$ 、 $b^*$  和  $c^*$ 。这 5 根电力线的相关参数如表 1 所示。

表 1 电力线拟合的相关参数  
Table 1 Parameters of powerline fitting

线号	$a$	$b$	$a^*$	$b^*$	$c^*$
1	-1.19895	4203484.85	0.00029	-0.14166	120.07462
2	-1.22430	4217052.29	0.00029	-0.13873	119.61240
3	-1.22019	4214860.98	0.00031	-0.14744	127.49564
4	-1.21548	4212343.47	0.00032	-0.15832	134.19286
5	-1.215281	4212220.59	0.00035	-0.16657	134.45396

最后 根据每根电力线拟合的模型 每隔 0.1 m 采样 解算出新的电力线点坐标 在 3 维空间重绘 效果如图 6 与图 7 所示。



图 6 单根电力线拟合效果图(红色为拟合线)  
Fig. 6 Single powerline fitting



图 7 5 根电力线拟合效果图  
Fig. 7 Five powerlines fitting

从整体和单根电力线的重绘效果图可以看出 该段电力线点数据被较好地拟合出来 拟合曲线模型光滑连续 不存在扭曲变形的情况 真实再现了该段电力线的几何特征。

### 3.3 精度评价方法

拟合电力线模型精度主要通过 XOY 平面和拟合平面内上下点与拟合模型之间的正负误差代数和的均值来评价 具体计算公式如下:

在 XOY 平面内 已知电力线走向线为  $Ax + By + C = 0 (A \geq 0)$  设任一点坐标为  $(x_i, y_i, z_i)$  则

$$\text{当 } Ax_0 + By_0 + C \geq 0 \text{ 时 } d_i = \frac{|Ax_i + By_i + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}}$$

$$\text{当 } Ax_0 + By_0 + C < 0 \text{ 时 } d_i = -\frac{|Ax_i + By_i + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}}$$

$$\text{误差均值为: } D\_error = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$$

式中  $d_i$  表示电力线点数据到走向线的垂距  $n$  表示电力线点数。

在电力线拟合的竖直平面内,

$$z'_i = a^* d_i^2 + b^* d_i + c^* \quad Z\_error = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - z'_i)$$

式中  $d_i$  表示电力线点数据到经过起始端点且垂直于电力线走向竖直平面的垂直距离  $z'_i$  表示电力线点数据对应拟合模型上的高程  $z_i$  表示电力线点数据实测高程  $Z\_error$  表示误差均值。

### 3.4 评价结果及讨论

很多学者对基于 LiDAR 电力线点数据的拟合方法展开了很多研究。但这些研究大部分只关注电力线点数据的提取与分离 很少有只注重电力线拟合方法研究的。为了能够充分展现本文方法 (TPa) 在电力线点数据拟合精度方面优势 本文对比分析了两种现有方法。其中 方法 1 (No. 1) 是直接基于多项式  $z = a(x^2 + y^2) + b\sqrt{x^2 + y^2} + c$  限制的最小二乘原理 (Jing 等 2011); 方法 2 (No. 2) 则是采用具有一定重叠度的局部分段拟合法 (尹辉增 等, 2012)。为了减少数据处理量 本文随机选取 5 根电力线当中任意两根 (1 号线和 3 号线) 进行精度分析 结果如表 2 所示:

表 2 3 个研究组电力线拟合结果的精度评估

研究方法		$Max\_error$	$D\_error$	$Z\_error$
1 号线 (217 个电力线点)	TPa	29.743	3.963	-2.742
	No. 1	34.569	-15.879	14.717
	No. 2	31.245	4.154	-5.213
3 号线 (359 个电力线点)	TPa	-46.521	7.763	-6.373
	No. 1	94.325	33.212	30.736
	No. 2	40.265	21.783	-9.219

从表 2 可以看出 对于 1 号线 本方法和方法 2 均能达到较好的效果 但在 3 号线拟合上 两者之间的差异相对明显 特别是在水平拟合精度方面 这主要是由于方法 2 采用的局部分段拟合法在粗差点影响较大时 抗干扰能力变弱 导致拟合线出现扭曲变形的状况; 此外 方法 2 在最大误差 (Max\_error) 控制方面取得比较理想的效果 这主要是由于该拟合方法能够对局部粗差进行控制; 另外 由于缺少对水平拟合精度的考虑 方法 1 稳定性相对较差 特别是在 3 号线拟合上 方法 1 在水平和垂直平

面上的拟合效果以及对于最大误差的控制方面均不是很理想。

## 4 结 论

针对机载 LiDAR 电力线点数据的基本特征,本文从电力线拟合的几何模型、电力线拟合的平面坐标系以及电力线拟合方法等方面展开论述,系统地分析了该算法的原理和实现流程,并通过对真实数据的处理与精度评价,证明了该方法对电力线点数据精确拟合的真实性和可靠性。不但能够实现电力点数据的快速拟合,而且达到了较高的拟合精度,在竖直平面和水平面上的精度均达到了  $\pm 1.740$  cm,这对于 LiDAR 点数据电力线 3 维重建的研究具有重要借鉴意义。

志 谢 感谢国家电网湖北省电力公司检修公司提供实验数据!

## 参考文献(References)

- Jwa Y and Sohn G. 2010. A multi-level span analysis for improving 3D power-line reconstruction performance using airborne laser scanning data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38: 97 – 102
- Jwa Y, Sohn G and Kim H B. 2009. Automatic 3D powerline reconstruction using airborne lidar data. *International Archives Photogramm Remote Sensing Spat Information Science*, 38( Part 3/W8): 105 – 110
- Kim H and Sohn G. 2010. 3D classification of Power-line scene from airborne laser scanning data using random forests. *Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis*, 38: 126 – 132
- Jing L, Zhang J X, Deng K Z, Liu Z J and Shi Q S. 2011. A new power-line extraction method based on airborne LiDAR point cloud data.

- 2011 International Symposium on Image and Data Fusion (ISIDF). Tengchong, Yunnan: IEEE: 1 – 4 [DOI: 10.1109/ISIDF.2011.6024293]
- McLaughlin R A. 2006. Extracting transmission lines from airborne LiDAR data. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 3(2): 222 – 226 [DOI: 10.1109/LGRS.2005.863390]
- Melzer T and Briese C. 2004. Extraction and modeling of power lines from ALS point clouds. *Proceedings of 28th Workshop. Hagenberg, Austria*
- Ritter M and Bengler W. 2012. Reconstructing power cables from LiDAR data using eigenvector streamlines of the point distribution tensor field. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(2): 549 – 553
- Ritter M, Bengler W, Cosenza B, Pullman K, Moritsch H and Leimer W. 2012. Visual data mining using the point distribution tensor. *The Seventh International Conference on Systems*. 2012: 199 – 202
- Sohn G, Jwa Y and Kim H B. 2012. Automatic powerline scene classification and reconstruction using airborne LiDAR data // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXII ISPRS Congress. Melbourne, Australia, 3: 167 – 172
- Ye L, Liu Q and Hu Q W. 2010. Research of power line fitting and extraction techniques based on LiDAR point cloud data. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 33(5): 30 – 34 (叶岚, 刘倩, 胡庆武. 2010. 基于 LiDAR 点云数据的电力线提取和拟合方法研究. *测绘与空间地理信息*, 33(5): 30 – 34)
- Yin H Z, Sun X and Nie Z G. 2012. An automated extraction algorithm of power lines based on airborne laser scanning data. *Geography and Geo-Information Science*, 28(2): 31 – 35 (尹辉增, 孙轩, 聂振刚. 2012. 基于机载激光点云数据的电力线自动提取算法. *地理与地理信息科学*, 28(2): 31 – 35)
- Yu J, Mu C, Feng Y M and Dou Y J. 2011. Powerlines extraction techniques from airborne LiDAR data. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 36(11): 1275 – 1279 (余洁, 穆超, 冯延明, 龚延娟. 2011. 机载 LiDAR 点云数据中电力线的提取方法研究. *武汉大学学报(信息科学版)*, 36(11): 1275 – 1279)

# Powerline three-dimensional reconstruction for LiDAR point cloud data

LAI Xudong<sup>1</sup>, DAI Dachang<sup>1</sup>, ZHENG Min<sup>1</sup>, DU Yong<sup>2</sup>

1. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
2. State Grid Hubei Electric Power Company, Wuhan 430050, China

**Abstract:** High-voltage power transmission line is an important infrastructure of a country, the breakdown of power facilities may bring huge damage to the daily lives of the people and the economy of the country. Thus, management and monitoring of power facilities is important. Traditional engineering measures have the drawbacks of high workload, high risk, and low efficiency. A

irborne LiDAR can overcome these drawbacks , and cannot be easily affected by environment , making LiDAR an important development trend for power line measurement. At present , airborne LiDAR is mainly used for the reconstruction of urban areas and natural features; extraction and modeling of power facilities is still in its infancy. The main problems are too much human intervention , low accuracy , and lack of continuity. Therefore , this paper proposes a new method based on the analysis of the characteristics of power facilities and extraction algorithm. First , the optimal catenary fitting geometry model of the powerline was obtained based on the powerline characteristics. The nonlinear catenary equation was simplified to linear polynomial form based on the principle of Lagrange polynomial to improve the operation efficiency. Second , the projection direction of the powerline in the XOY plane was determined based on a statistic method. Afterward , the vertical plane that contains the starting and end points and are perpendicular to the power line were also determined based on the characteristic of the end laser point. The distance of all points to the plane as X-axis parameters was calculated and the points corresponding to the Z coordinate values as Y-axis parameters were obtained to determine the optimal plane coordinate system. Finally , the quadratic-polynomial-limited least square method was used to fit the powerlines , obtain the optimal parameters , and generate the final power line model. Experiments on real data showed that the proposed method improved the facility and veracity of powerline fitting. The precision reached  $\pm 1.740$  cm both in the vertical and horizontal planes. The proposed method can quickly fit the powerline and reach a high accuracy , which are significant in the study of 3D reconstruction by LiDAR point cloud.

**Key words:** LiDAR , point cloud data , power line , three-dimensional