

电力巡线无人机 LiDAR 解决方案

北京北斗星通导航技术股份有限公司

二〇一五年七月

1. 前言

由于国内电网不断扩大，长距离输电线路，如特（超）高压线路增长迅速，而且很多的输电线路分布在崇山峻岭之中，为了日常电力线的维护，更新电力台账数据，防止电力事故的发生等工作，需要对电力线进行日常巡查的巡查工作。目前，电力巡线的主要工作内容主要由电力工人翻山越岭，通过人工的方式对现有电力线进行巡查。工作辛苦，劳动量大。

利用无人机搭载激光雷达系统进行电力巡线是一项先进的技术手段。采用该项技术进行电力巡线，不仅在工作效率上可以大幅度提高，也能大大的减少野外工作，降低了巡线成本。

2. 系统组成及工作原理

2.1 系统组成

整个系统由地面基站、无人机 LiDAR 及配套软件三个部分组成，巡线机器人上搭载三维激光扫描仪、POS 系统、控制器等设备。整套系统设备列表如下：

	产品	型号	备注
无 人 机 移 动 端	无人机	八旋翼	1 个
	POS	MEMS	1 个
	激光雷达	Velodyne	1 个
	双天线接收机	GPS+GLONASS	1 个，与 POS 组合进行双天线 GNSS/INS 组合导航解算
	GNSS 天线	航空型天线	2 个
	相机	索尼微单	1 个

	供电	锂电池	
基准站	基准站接收机	存储型多系统多频接收机	1 个
	基准站天线	测量型天线	1 个
	基站附件	三脚架、水平基座	1 套
软件	GNSS/INS 事后处理软件	Inertial Explorer	基于点云的 POS 数据预处理
	点云处理软件	LiDAR 360	点云预处理模块、基于 LiDAR 电力巡线处理模块

2.2 工作原理

电力巡线无人机 LiDAR 通过激光雷达系统巡线采集、处理电力沿线的激光点云，可以实现电力线路的真实三维重建，恢复电力线的沿线地表形态、地表附着物（建筑、树木等）、线路杆塔三维位置和模型等。此方案可以为输电线路监护人员提供数据基础，了解输电线路设备设施的结构信息，发现其中的异常和隐患，以及线路走廊中被跨越物对线路的威胁。该方案收集的线路属性参数，还可以辅助实现线路资产管理，与智能电网方案结合效果更好。



电力巡线无人机 LiDAR

激光雷达测量系统具有传统的影像所不具备的优势，是对传统巡线方式的有效、必

要、低成本的补充：

1. 数据精度高，无论地形、树高、杆塔模型、电线弧垂及交叉跨越，都可以最大限度实现电网在电脑中的数字化再现；
2. 不但能够获取线路缺陷，而且能够对缺陷的位置进行准确的空间定位，而且确定线路与走廊地物的空间关系。传统影像信息无法获得这类信息；
3. 可以检测线路间、线路与地面、线路与邻近植被的距离，确定建筑物、植被、交叉跨越等对线路的距离是否符合运行规范，并进行输电线路磁场干扰分析和安全范围等分析
4. 配置符合运行规程的检测参数，全自动进行危险地物（特别是树木、交叉跨越）检查、报警、并输出检测结果表；
5. 为沿线的植被管理、植被生长预测、制定植被砍伐计划提供依据；
6. 结合在杆塔上安装的温度、湿度、风速、覆冰下弧垂变化等监控设备传回的数据，可以在三维数字化电网基础上进行各种电力分析，为输电线路管理决策提供有力支撑。

2.3 作业流程

数据采集主要包括 POS 数据的采集和激光雷达数据的采集，其中 POS 数据的采集最为重要，高精度的 POS 数据是获取高精度三维数据的重要保证。



POS 数据采集流程图

原始数据的采集流程应严格按照以下“三步走”的采集步骤进行：

- 1. 初始对准：**根据 Novatel SPAN 产品系列 IMU 的不同性能，所选择的最佳对准模式也有所不同。对于 SPAN 双天线配置的产品，应选择环境开阔的场景，结合使用需要进行辅助传递/静态对准，对准所需时间约 2min。
- 2. 精度收敛：**对准完成后，应选择收星环境开阔的场景进行往复转弯（左转右转都需要）的机动（如“8”字形运动）进行误差收敛，该机动应持续约 1min。这一步骤对系统误差收敛和达到标称的精度至关重要，系统可以利用这一过程对 IMU 常值误差/IMU 线性误差/IMU 温度误差/安装偏差角误差/杆臂误差等多种误差进行评估和修正。若条件允许还可在收星环境开阔的场景进行高速直线行驶，帮助系统进行航向误差修正和车轮传感器周长误差计算；若条件受到限制，高速直线行驶步骤可以省略。
- 3. 测区采集：**完成初始对准和精度收敛步骤后，系统可达到标称精度。此时再进行待测区域的数据采集，以达到预期测量精度。

注：IE 事后处理软件包含前/后双向后处理解算，前后双向联合解算可有效提高处理精度，为了保障后向处理顺利进行需要在完成待测区域数据采集后逆向进行精度收敛和初始对准，即重复步骤 2、1。按时间顺序完整的原始数据采集流程如下：

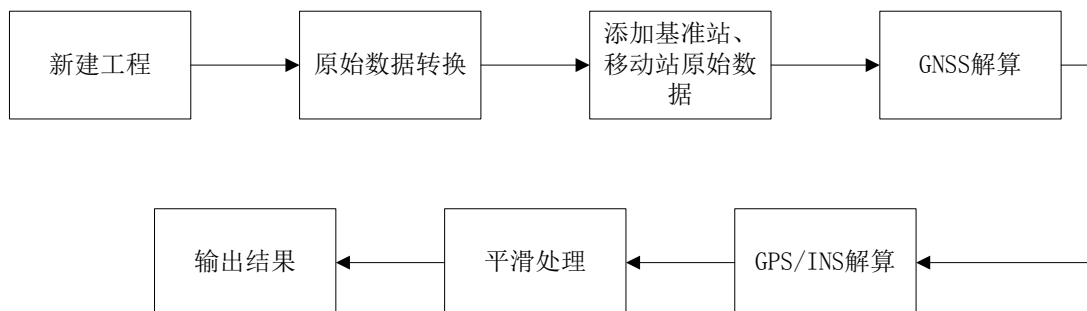
初始对准 -> 精度收敛 -> 测区采集 -> 精度收敛 -> 初始对准。

在后处理的过程中，需要使用采集的原始数据进行前向和后向解算，为了确保采集数据的可用性，基准站和移动站（一个或多个）需要同时进行采集，数据采集的最短为半个小时，且确保基准站的原始数据采集时间完全覆盖移动站，即移动站的原始数据的起始时间需滞后于基准站，停止时间需超前于基准站。

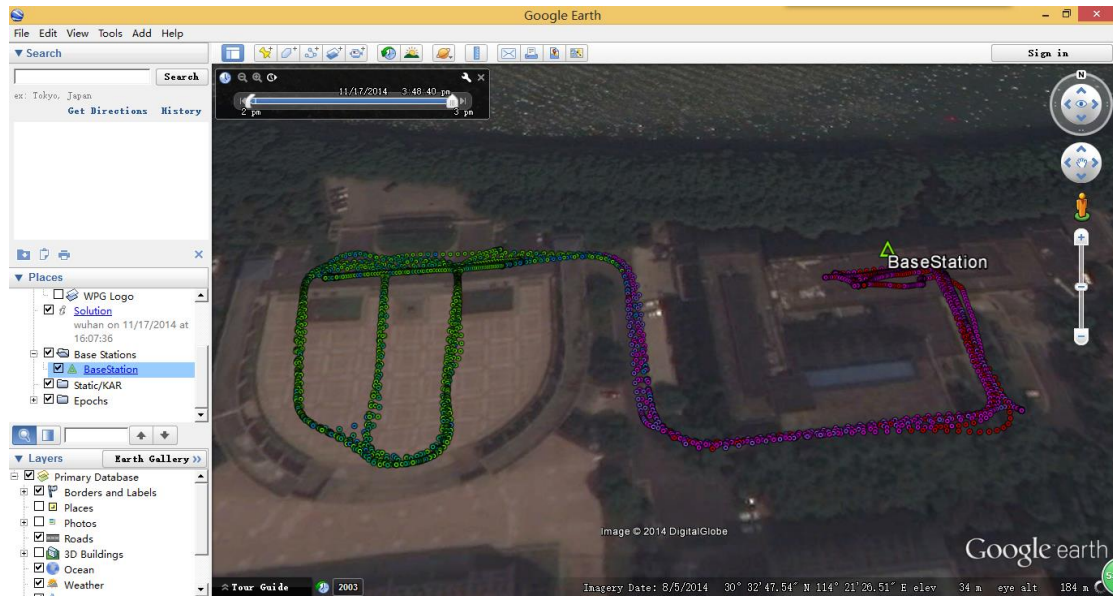
2.4 数据处理流程

2.4.1 POS 数据处理流程

IE 的后处理步骤主要有原始数据转换、GNSS 解算、GNSS/INS 组合解算、解算平滑、输出结果。如下图所示：

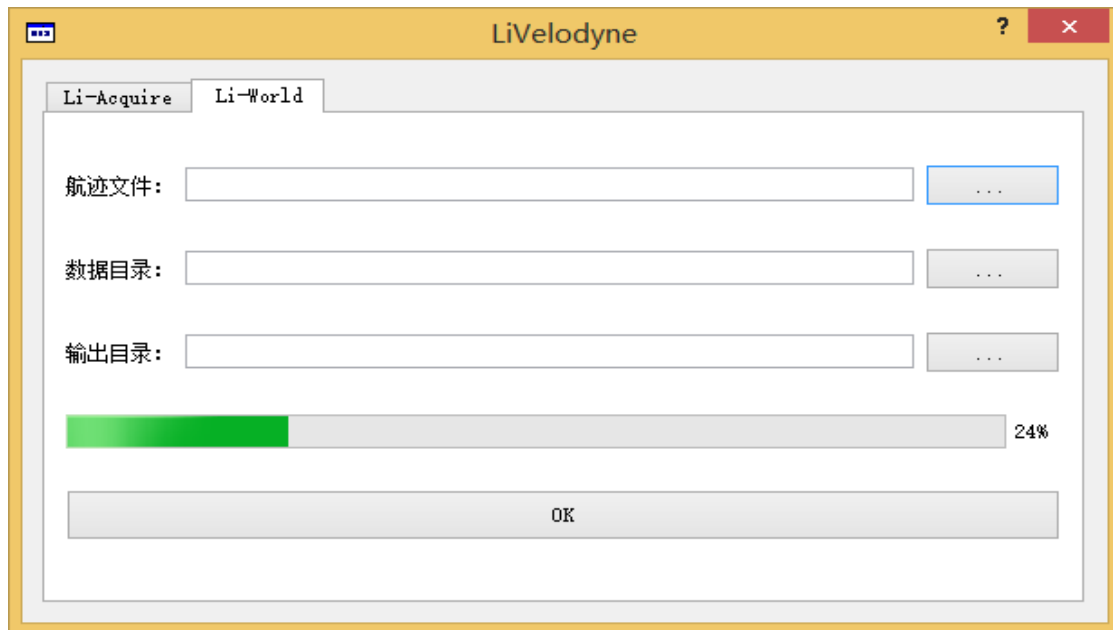


Inertial Explorer 后处理操作步骤示意图



航迹解算结果与 GoogleEarth 叠加图

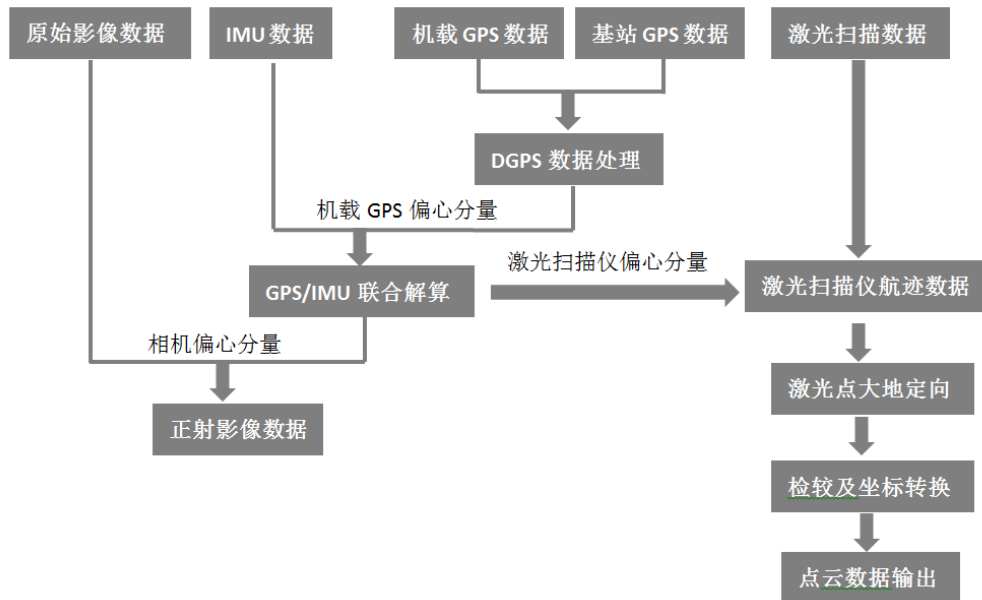
2.4.2 激光雷达与 POS 联合解算



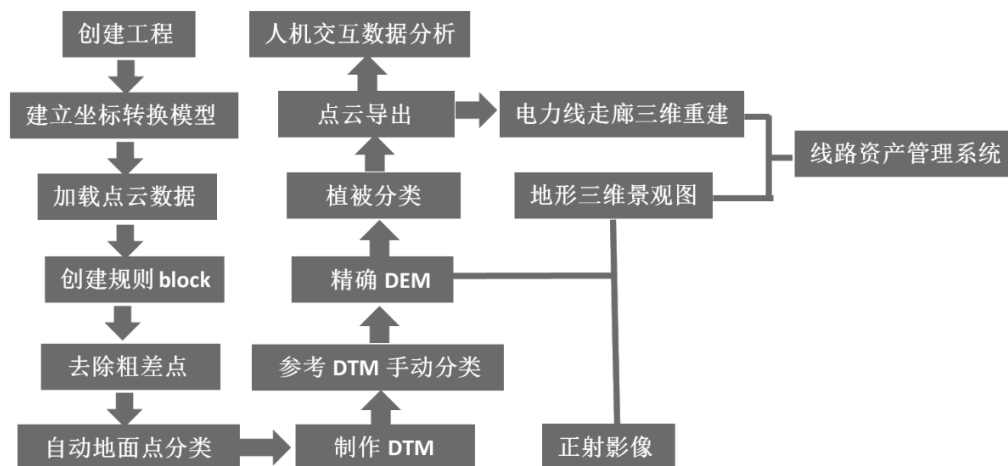
LiDAR 360 软件 Velodyne 激光扫描仪数据解算模块

要对激光雷达的测量数据进行实时的或者数据后处理，必须拥有统一的空间基准和时间基准，才能保证系统数据的集成处理。通过采用 LiDAR360 软件中针对 Velodyne

数据解算模块，将 GPS、IMU、LIDAR 等传感器的原点统一到一个基准参考坐标系中，建立严密的坐标关系；统一时间基准，将整个系统传感器采集的数据建立在同一时间坐标系中，以此实现 POS 数据和激光雷达数据的联合处理。



激光雷达数据预处理流程图



激光雷达数据后处理流程图



解算结果点云图

3. 关键产品指标

3.1 无人机 LiDAR 系统

无人机平台	
载体类型	八旋翼
对称电机轴距	1300 mm
电机	无刷电机
空机重量	6.0 Kg
任务载荷	4.0 Kg
最大起飞重量	15Kg
续航时间	25 分钟

最大速度	10 m/s
激光雷达	
激光等级	一级安全激光
测距范围	0.3-120 m
水平视角	360°
垂直视角	-15°~ +15°
测量速度	300,000 点/秒
测距精度	<2cm (1sigma@25 m)
相机	
像素	1200 万
分辨率	3000×4000
POS	
航向角精度 (RMS)	0.080°
俯仰/横滚角精度 (RMS)	0.015°
水平位置精度 (RMS)	0.01m

垂直位置精度 (RMS)	0.02m
----------------	-------

3.2 Inertial Explorer 后处理软件

Inertial Explorer 是 NovAtel 的 Waypoint 产品组提供的强大的、可配置度高的处理引擎，可利用所有可用的 GNSS 数据来提供高精度的 GNSS/INS 导航信息。

GNSS/INS 紧耦合处理是利用 GNSS 观测数据，即使在只有 2 颗卫星信号没有 GNSS 定位时，也可以约束误差增长，计算出导航结果。软件同样具有多种质量控制特性，所以输出结果的质量是没有问题的。基准站下载功能可以利用上千个公共可用的、连续工作的参考站和精密单点定位 (PPP)，这样可以满足众多没有基准站的应用需求。

优点

- 以方便地与 NovAtel 的 SPAN GNSS/INS 系统结合可以进行 GNSS 和 IMU 单步处理以达到高效的工作流程
- 多种数据完备性检测提供高质量数据

特性

- GNSS/INS 松耦合和紧耦合处理
- 视轴模块用于处理 IMU 与相机坐标系之间的偏差角
- NovAtel 的长距离 RTK 和精密单点定位 (PPP)
- 后处理以提高 GNSS/INS 精度

当组合后，GNSS 和惯性导航系统（INS）提供一个强健的和准确的位置、速度和姿态结果。由于用户可观测到的卫星数和载体的高动态运动，GNSS/INS 的实时精度往往是有限的。此外，很多对绝对精度要求比较高的情况，不需要实时得到结果信息。针对这些应用，可以通过后处理的方式大大提高 GNSS/INS 导航精度。将 GNSS 和 IMU 原始数据保持下来进行后处理。后处理软件利用本地基准站差分处理、前向和反向处理、事后平滑处理和精密卫星时钟和轨道信息，来达到比实时处理更精确的结果。

3.3 LiDAR 360 点云处理软件

LiDAR360 激光雷达点云处理软件，可以更加直观快捷高效地进行电力巡线分析管理，该软件在电力巡线方面能实现的功能如下：

一、数据读取：

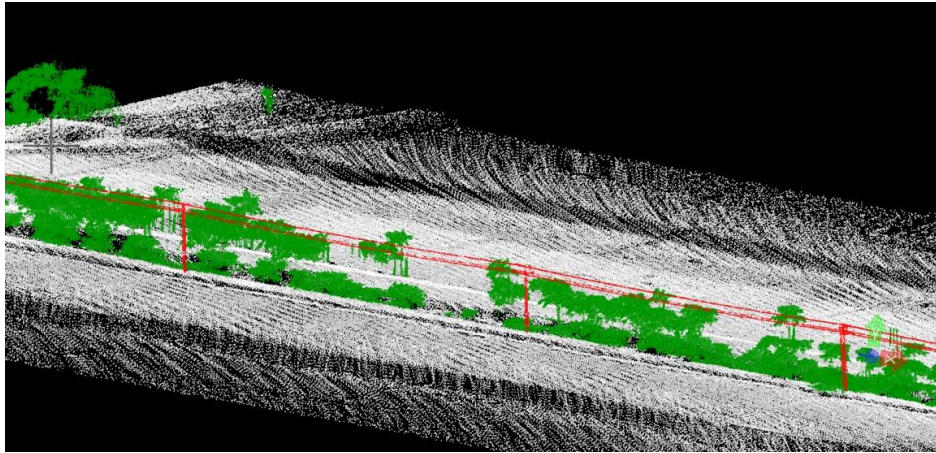
- las 点云、影像、线路矢量、osg 模型
- 金字塔点云数据库

二、数据显示

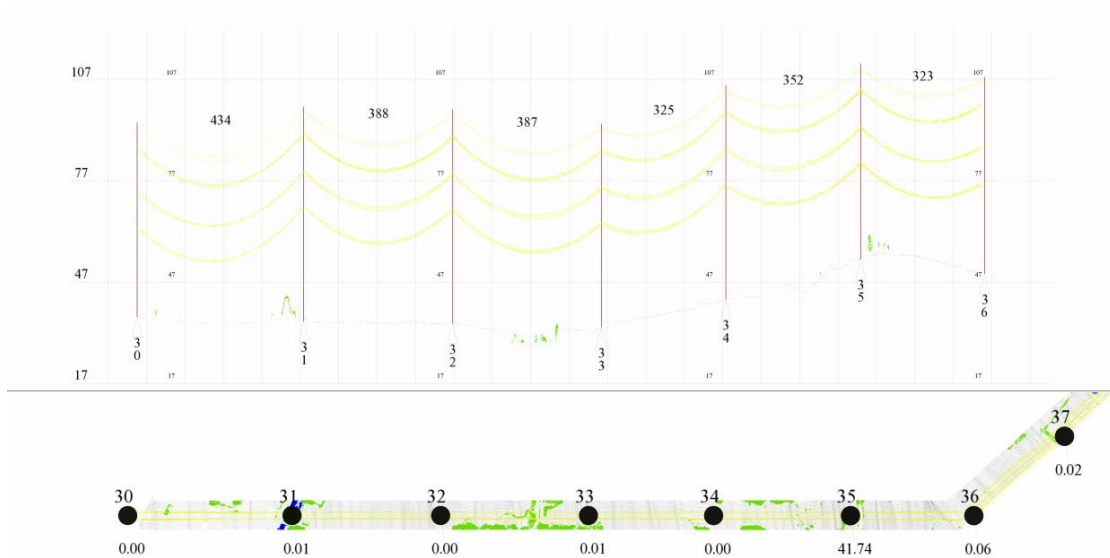
- 交互式的数据显示（放大、缩小、平移、量测、点选、框选、更改点云显示颜色、剖面图、杆塔标注）
- 实现可达 1 亿数量点云的流畅浏览

三、数据分析：

- 点云数据分类



● 横断面图分析



● 实时工况安全距离分析

危险点快速定位与查看

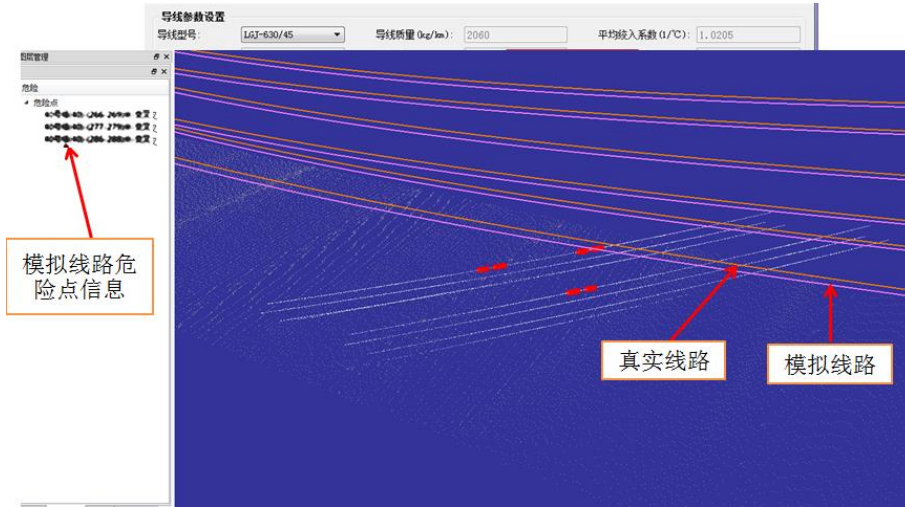
危险点信息

危险点详情

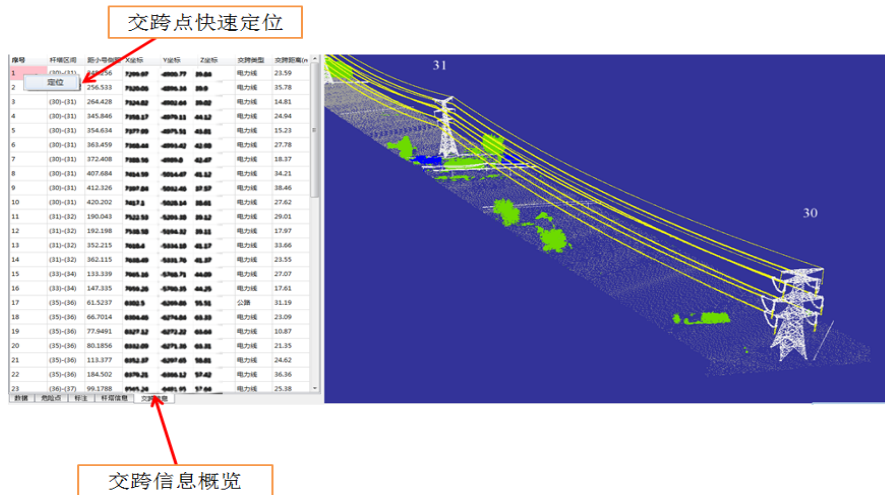
序号	:
小号杆名称	40
杆塔区间	40-41
距小号侧距离(m)	195.45
坐标点	(36.7432, -100.479)
危险点类型	危点
水平实测距离(m)	1.75
垂直实测距离(m)	8.5
净空实测距离(m)	4.55
水平安全距离(m)	2.05
垂直安全距离(m)	8.5

危险点

● 综合工况模拟与安全距离分析



● 交跨点提取



龙政线LiDAR分析报告

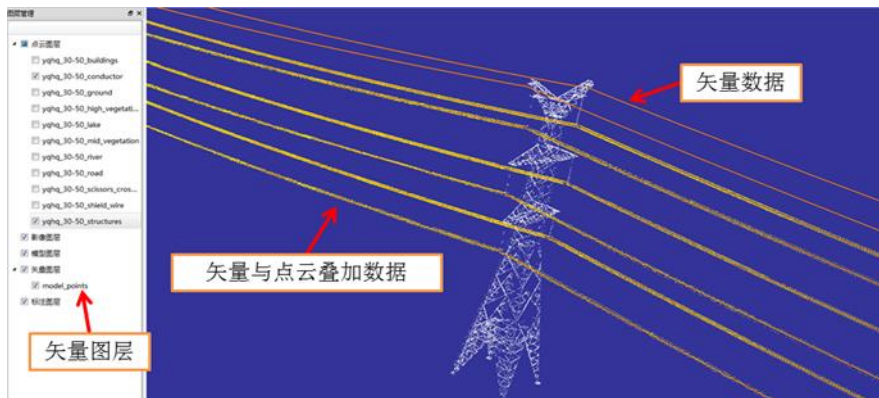
1. 基本信息

线路名称: 龙政线
 电压等级: 500kV
 采集日期: 2013年12月10日
 电力标准: 架空输电线路运行规程
 坐标系: WGS84
 投影带: UTM50
 温度: 25.1
 风速: 5
 负荷: 200

2. 交跨点明细表

序号	杆塔区间	距小号塔距离 (m)	坐标点	交跨类型	垂直距离 (m)	净空距离 (m)	小号杆名称	交跨角 (°)	备注
1	(30)-(31)	248.26	32.7790613389 117.4897675812	电力线	23.59	23.66	30		无
2	(30)-(31)	256.53	32.7791004602 117.4899823191	电力线	35.78	35.83	30		无
3	(30)-(31)	264.43	32.7790434331 117.4900328344	电力线	14.81	14.94	30		无
4	(30)-(31)	345.85	32.7783522522 117.4903851585	电力线	24.94	25.01	30		无
5	(30)-(31)	354.63	32.7783838969 117.4905969709	电力线	15.23	15.35	30		无
6	(30)-(31)	363.46	32.7782227414 117.4904941114	电力线	27.78	27.85	30		无
7	(30)-(31)	372.41	32.7782545538 117.4907091279	电力线	18.37	18.47	30		无
8	(30)-(31)	407.68	32.7780309323 117.4909858489	电力线	34.21	34.27	30		无
9	(30)-(31)	412.33	32.7778693567 117.4908061053	电力线	38.46	38.50	30		无
10	(30)-(31)	420.20	32.7779075188 117.4910119729	电力线	27.62	27.69	30		无
11	(31)-(32)	190.04	32.7763223724 117.4921290276	电力线	29.01	29.07	31		无
12	(31)-(32)	192.20	32.7764034236 117.4923008525	电力线	17.97	18.06	31		无
13	(31)-(32)	352.21	32.7751384829 117.4931461781	电力线	33.66	33.71	31		无
14	(31)-(32)	362.11	32.7751594676	电力线	23.55	23.63	31		无

● 导线矢量化



四、功能应用

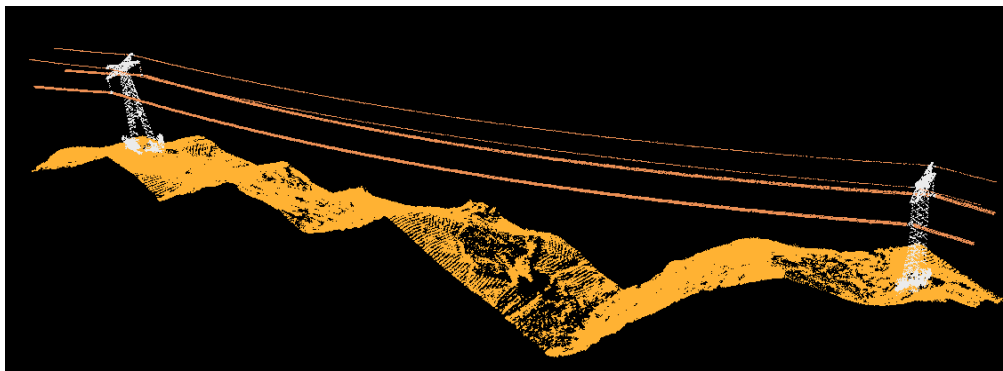
- 应急响应，故障排查

电力设施大多是无人值守，分布区域环境复杂，可能经常受到自然灾害、自身故障或缺陷、人员过失导致故障。

机载激光雷达系统可快速对灾害区域进行数据采集，实现灾害区域快速定位，并三维还原灾害场景。监测人员根据三位点云以及影像数据对灾害现场损坏性精准评估，及时提出安全有效的响应办法。

- 线路资产管理

基于激光点云对电力走廊范围的地物建立三维模型，与地形景观共同组成电力线路资产管理平台。根据已知的电力资产信息建立资产管理数据库，增加三维模型的拓扑关系和详细的资产信息，实现电力资产的三维可视化管理。根据电塔上的监控设备传回的数据，在三维数字化电网的基础上进行各种专业电力分析，如预测模拟不同温度、风速、覆盖条件下弧垂变化情况，模拟树木生长情况，为线路管理决策提供有力支撑。



杆塔和电力线提取

4. 售后服务及技术支持范围

对于我们的服务对象，承诺售后服务及技术支持范围如下：

1. 提供技术操作人员的详细培训，包括调试、安装、维护等内容。
2. 提供详细的产品使用手册及常见问题解决办法。
3. 提供现场调试及安装指导。
4. 产品售后服务支持，包括免费电话支持及有偿现场支持（含异地）。
5. 应急支持，包括紧急及突发重大事件支持。

5. 售后响应时间及问题解决时间

此售后响应及问题解决时间适用于用户方售后服务及技术支持，具体为：

1. 电话支持：提供 7*24h 电话支持；
2. 北京本地支持：提供 7*24h 电话支持，2h 内到达现场；
3. 对于全国范围内：提供 7*24h 电话支持，部分城市 48h 内到达用户现场；

可参照如下表格：

序号	支持方式	本地		异地		备注
		售后响应时间	问题解决时间	售后响应时间	问题解决时间	
1	电话支持	实时响应	通话时间内解决	实时响应	通话时间内解决	
2	北京现场	实时响应	2h 内到达现场	——	——	
3	异地支持	——	——	实时响应	广州、南京、武汉、西安 48h 内到达现场	

		——	——	实时响应	其他地区实时响应, 72h 内到达用户现场	
--	--	----	----	------	-----------------------	--

6. 培训内容及内容

产品培训是保证客户正确使用该产品、使该产品发挥应有功效的基础，任何产品，特别是高科技产品，在保证人性化操作的同时，也要求使用者按操作手册进行操作，才能使产品正常使用，发挥应有的功效，避免设备人为损坏及给用户带来损失。

贵方采购产品的培训主要是产品维护、管理人员的培训和操作使用的培训。

产品的维护是产品长期有效运行的保证，只有做好产品的日常维护工作，才能保证产品的长期稳定运行，我公司一贯重视产品的维护工作，针对贵公司购买的产品，我公司将根据应用情况及产品使用各阶段对相关人员进行相应的产品性培训，并对产品的维护性工作培训。

产品的维护包括产品的日常使用和产品的维修，我们公司积累了丰富的产品和设备维护经验，以“服务就是品牌”为产品维护的宗旨，在产品维护方面一贯采取：加强产品的日常规范使用，避免不规范操作，尽量使产品的故障处理在隐患阶段。

设备安装调试完毕后，进入试运行阶段。在产品的调试阶段，产品维护、管理人员介入，一起参与产品的调试工作，了解该产品的整体情况及了解相关的工作原理情况。

在产品移交期间，我们将对产品维护、管理人员重点进行以下免费培训：

1、产品使用及操作指导

- 2、产品工作基本原理及功能
- 3、产品安装及调试指导
- 4、数据处理培训及指导
- 5、产品维护及规范操作指导
- 6、常见故障排除

在产品的维护初期，项目部门安排技术人员协同维护人员一起对产品进行维护，针对产品的使用及维护情况进行补充培训，同时参照进行细化培训。

为使贵方的操作管理人员能熟练地使用、管理和维护我公司的产品，我公司将针对该产品的特点及应用情况制定了培训计划。

6.1 培训目标

培训的目标是使每个参加培训的人员明知整个产品的构成和原理，熟悉产品的功能，能够熟练的操作产品并能排除常见故障，掌握规范化操作。

6.2 培训内容计划

1) 产品管理人员的培训

对整个产品的运行和原理有充分的了解，理解工作原理；

培训时间和地点安排如下：

地点	天数	内容
双方商定	1天	产品原理
		设备的操作与维护
		计算机软件系统的操作与维护
		管理注意事项

2) 产品工程维护人员

对整个产品的运行和原理、操作和故障排除有充分的了解，掌握其工作原理及注意事项；

清楚的了解各种设备的性能和参数配置；

学习整个产品的安装、调试和维护。

培训时间和地点安排如下：

地点	天数	内容
双方商定	1天	产品原理
		设备的安装、操作
		设备的维护
		计算机软件产品的操作与维护
		常见故障排除

3) 操作员等相关产品使用人员

培训时间和地点安排如下：

地点	天数	内容
双方商定	1天	产品原理
		设备的安装、操作
		设备的维护
		计算机软件产品的操作与维护
		常见故障排除

4) 技术人员现场协助

在产品能够使用初期提供技术人员协助用户现场支持作业，以便保证用户的正常使用。

6.3 培训内容及时间安排

本产品调试开通后，我公司将为贵方提供相应培训。培训前，将该产品有关人员发放培训手册，手册内容包括基本操作、数据处理，故障排除，维护说明等项目。

为使用用户及操作人员提供的培训包括以下内容：

产品涉及硬件、软件组成及功能特点；

产品的构成及工作原理；

产品运行过程中的维护；

疑难问题解答；

序号	内容	天数	地点
1	产品原理	3 天	双方商定
2	设备的操作与维护		
3	计算机软件产品的操作与维护		
4	管理注意事项		
5	常见故障排除		

注：培训计划与设备的安装可以是同步的，也可不同步进行，具体根据实际情况调整；对于产品使用及操作方面的培训建议采取培训和手动操作同步进行的方式，便于熟悉对产品的操作和维护。

6.4 培训设施

培训设施主要包括工程中的工具、现场的设备和仪器。我们公司还将提供相关的与产品有关的设备供培训使用。

6.5 培训材料和文件

产品使用说明书；

产品设备安装手册；

维护手册。

7. 产品免费保修范围及维修期与维修流程

7.1 产品免费保修范围

1、自验收合格之日起，无人机、接收机、天线、激光扫描仪、组合导航系统、GNSS/INS 后处理软件、点云处理软件均享有 1 年免费保修，其余附件保修 3 个月。

2、甲方在免费保修期终止后仍享有永久维修服务，乙方在维修时仅向用户收取成本费。

3、免费保修范围

由于设备本身质量问题自然损坏，在免费保修期内免费修理或更换；对于非正常操作造成的损坏不享有免费保修。

有下列情况之一的，为超出保修范围，不再享受保修服务：

- 未按产品操作手册或说明书使用，违规操作造成烧坏或损坏的；

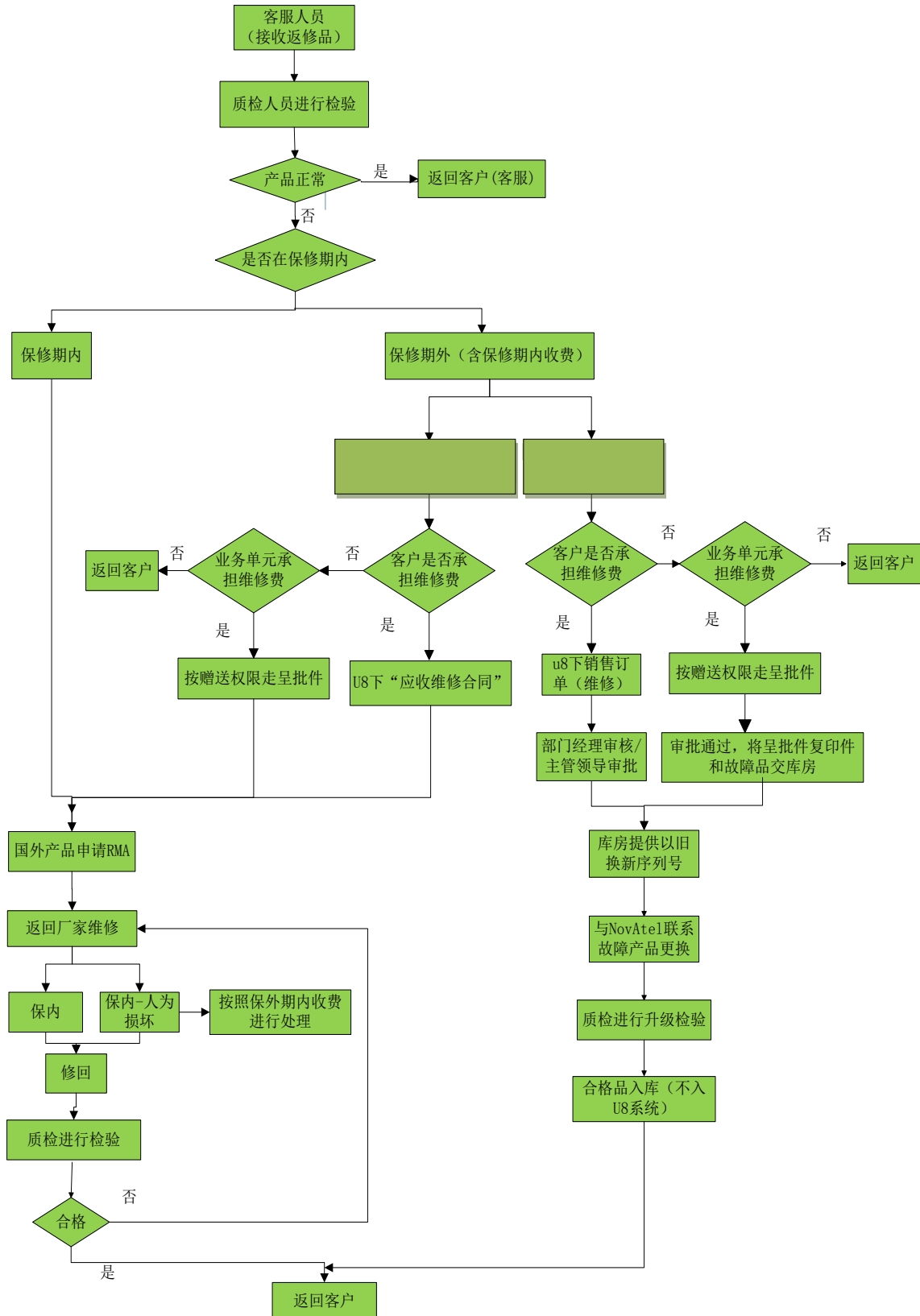
- 未经许可，对产品进行拆装、维修、改动的；对产品软件进行任何方式的修改而产生的软件运行故障；
- 产品序列号被涂改或无法识别的；
- 意外因素或用户使用不当（如磕碰、防静电保护措施不当等）所造成的损坏；
- 用户使用中外力作用造成的物理损伤，如部件脱落、针脚/插座/连接线断裂、脱落等；
- 不可抗力引起的故障。

注：北京和异地的产品免费保修范围一样。

7.2 维修流程

对于提供的产品维修方面，我们承诺如下：

- 我们公司均为用户提供及时、快速的维修服务：
- 快速响应机制：在合同保修期内，若产品发生故障，客户服务中心将提供及时的电话技术支持服务或远程登录维护服务。若通过电话或远程维护不能解决问题，必要时将亲临现场，并及时、准确解决设备出现的故障。



注：北京和异地的维修流程一样。

8. 其它服务承诺条款

- 产品升级：对于提供的产品，当有新的固件推出时，免费给用户提供升级服务。
- 定期技术交流及探讨：可以组织定期技术交流及探讨，解决使用中面临的问题。