

镭神智能 C16 系列小型化 机械式 16 线激光雷达使用说明书 v3.5



欢迎关注镭神
微信

注意：激光雷达应该安装在金属块或其他散热装置上，否则由此引起的设备损坏镭神智能概不负责，具体可联系售后工程师。

www.leishen-lidar.com

版本说明:

版本号	修订日期	修订内容	拟制
V1.0	2018.11.07	初始版本	Leishen
V1.1	2019.01.22	GPS 接口定义, 支持电压范围, 协议	Leishen
V1.3	2019.04.08	更改了 ROS 操作和通讯协议数据	Leishen
V1.4	2019.04.25	雷达接口线序、点云显示软件说明	Leishen
V1.5	2019.07.15	通讯协议和方位角同步	Leishen
V3.2	2020.06.24	NC	Leishen
V3.3	2020.08.26	在设备包中增加雷达序列码、硬件版本号	Leishen
V3.4	2020.10.26	在数据包中增加 UTC 时间	Leishen
V3.5	2020.12.29	增加雷达序列号/固件版本号的说明	Leishen

目录

1 雷达介绍	5
1.1 说明	5
1.2 工作原理	5
1.3 产品描述	5
2 产品规格	6
2.1 规格参数	6
2.2 外形尺寸	7
3 电气接口	10
3.1 电源	10
3.2 电气接口	10
4 快速指南	13
4.1 连接激光雷达	13
4.2 WINDOWS 软件显示点云和配置雷达	13
4.3 解析点云数据	14
5 通讯协议	15
5.1 数据包协议	15
5.1.1 数据包格式	15
5.1.2 以太网包头	17
5.1.3 数据块	18
5.1.3.1 方位角	18
5.1.3.2 通道数据	18
5.1.4 附加信息	19
5.2 设备包协议	19
5.3 配置包协议	21
5.4 配置参数和状态描述	22
5.4.1 电机转速	22
5.4.2 以太网配置	22
5.4.3 PPS 对齐水平角度	23
5.4.4 UTC 时间	23
5.4.5 雷达扫描和静止	24
5.4.6 设备包发包间隔	24
5.4.7 经纬度	24
5.4.8 网关地址	24
5.4.9 子网掩码	24

5.5 配置包打包示例	25
6 时间同步	25
6.1 GPS 同步	25
6.1.1 GPS 设备使用	26
6.2 NTP 同步	27
6.3 外同步	27
6.4 雷达内部计时	27
7 点云数据的角度和坐标计算	27
7.1 垂直角度	27
7.2 水平角度	29
7.2.1 单回波模式水平角度计算	29
7.2.2 双回波模式水平角度计算	30
7.3 距离值	31
7.4 笛卡尔坐标表示	32
8 点云数据的精确时间计算	32
8.1 数据包结束时间计算	33
8.2 通道数据的精确时间计算	33
8.2.1 数据块结束时间	33
8.2.2 计算通道数据的精确时间	34
9 附录 A. 点云显示软件	35
9.1 介绍	35
9.2 适用范围	35
9.3 软件安装	35
9.4 功能介绍和使用	37
9.5 雷达网络通讯模式的参数配置示例	45
9.6 注意	49
10 附录 B. ROS 系统软件	57
10.1 硬件连接及测试	57
10.2 软件操作实例	58

1 雷达介绍

1.1 说明

- 1) 本手册的所有图示仅供参考，请以最新产品为准。
- 2) 为了避免违反保修条款，请勿私自拆卸雷达，相关操作请咨询镭神智能售后人员。

1.2 工作原理

多线混合固态激光雷达采用飞行时间测量法（Time of Flight）。激光雷达发出激光脉冲开始计时(t_1)，当激光遇到目标物体光返回，接收端停止计时(t_2)，

$$\text{距离} = \text{光速} \times (t_2 - t_1) / 2$$

1.3 产品描述

16 线激光雷达装有 16 对激光发射接收模组，电机以 5hz（或者 10hz、20hz）转速驱动进行 360 度扫描。

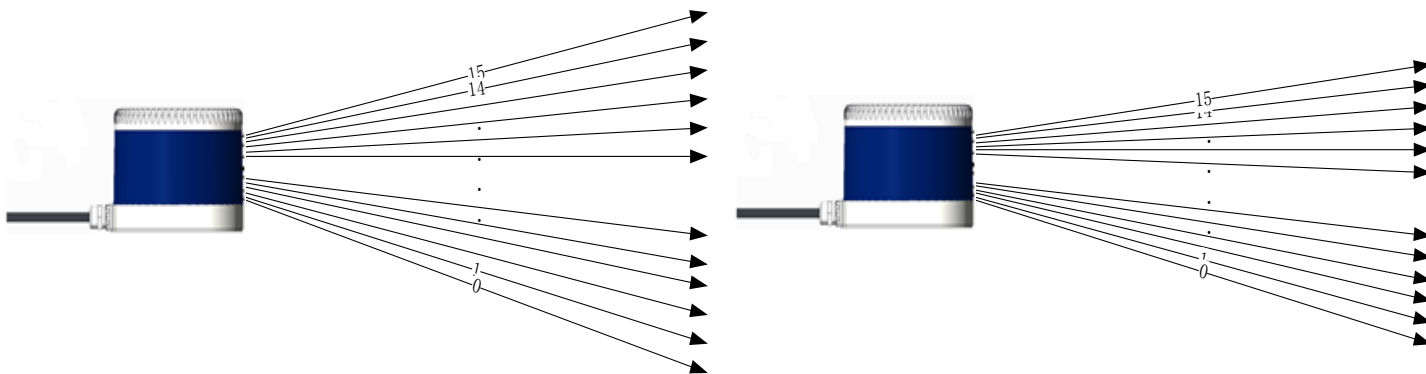


图 1.1 16 线 2 度(左)和 1.33 度(右)激光雷达示意图

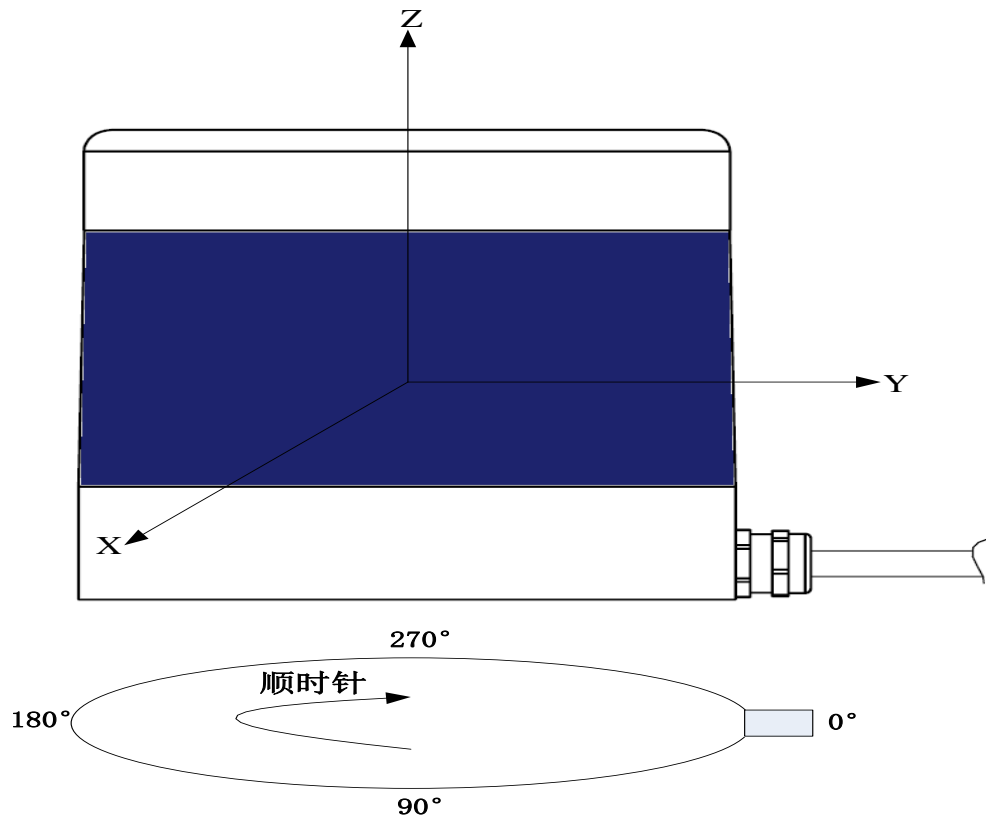


图 1.216 线激光雷达坐标系和扫描方向

2 产品规格

2.1 规格参数

表 2.1: 16 线均匀 2 度激光雷达

型号	C16-xxxB 型/C16-xxxD 型	
测距方式	脉冲式	
激光波段	905nm	
激光等级	1 级（人眼安全）	
激光通道	16 路	
测量范围	70 米~200 米	
测距精度	±3cm	
单回波数据速率 (双回波)	32 万点/秒 (64 万点/秒)	
视场角	垂直	-15°~+15°（无水平 0° 激光扫描线）
	水平	360°
角 度 分 辨 率	垂直	均匀 2°
	水平	5Hz: 0.09°
		10Hz: 0.18°
		20Hz: 0.36°
扫描速度	5Hz、10Hz、20Hz（可配置）	
通信接口	以太网、PPS	
供电范围	+9V~+36VDC	
操作温度	-20℃~+60℃（B 型）/-40℃~+60℃（D 型）	
储存温度	-40℃~+85℃	
冲击	500 m/sec ² , 持续 11 ms	
振动	5Hz~2000Hz, 3G rms	
防护等级	IP67	
尺寸	Φ102mm*81mm	
重量	1050g(标准型)/650g(轻量型)	

表 2.2: 16 线均匀 1.33 度激光雷达

型号	C16-xxxC 型/C16-xxxE 型	
测距方式	脉冲式	
激光波段	905nm	
激光等级	1 级（人眼安全）	
激光通道	16 路	
测量范围	70 米~200 米	

测距精度	±3cm	
单回波数据速率 (双回波)	32 万点/秒 (64 万点/秒)	
视场角	垂直	-10° ~+10° (无水平 0° 激光扫描线)
	水平	360°
角度 分辨率	垂直	均匀 1.33°
	水平	5Hz: 0.09° 10Hz: 0.18° 20Hz: 0.36°
扫描速度	5Hz、10Hz、20Hz(可配置)	
通信接口	以太网、PPS	
供电范围	+9V~+36VDC	
操作温度	-20℃~+60℃(C 型)/-40℃~+60℃(E 型)	
储存温度	-40℃~+85℃	
冲击	500 m/sec ² , 持续 11 ms	
振动	5Hz~2000Hz, 3G rms	
防护等级	IP67	
尺寸	Φ 102mm*81mm	
重量	1050g(标准型)/650g(轻量型)	

2.2 外形尺寸

雷达底部留有 2 个定位孔和 4 个 M4 螺丝安装孔，**数据线接口位置为激光雷达水平角 0 度（也可置为水平 180 度请咨询销售）**，雷达沿顺时针方向旋转。

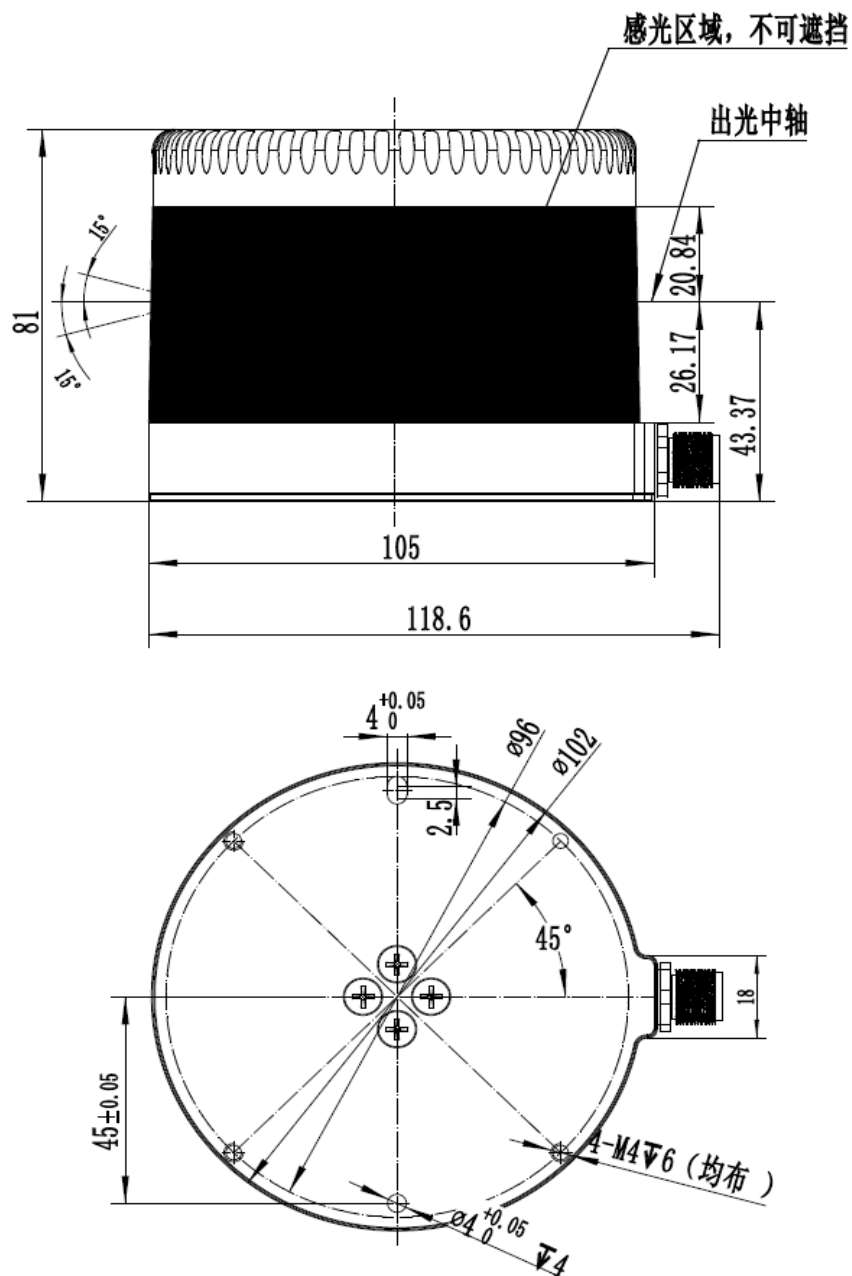


图 2.1 16 线小型激光雷达的结构尺寸图

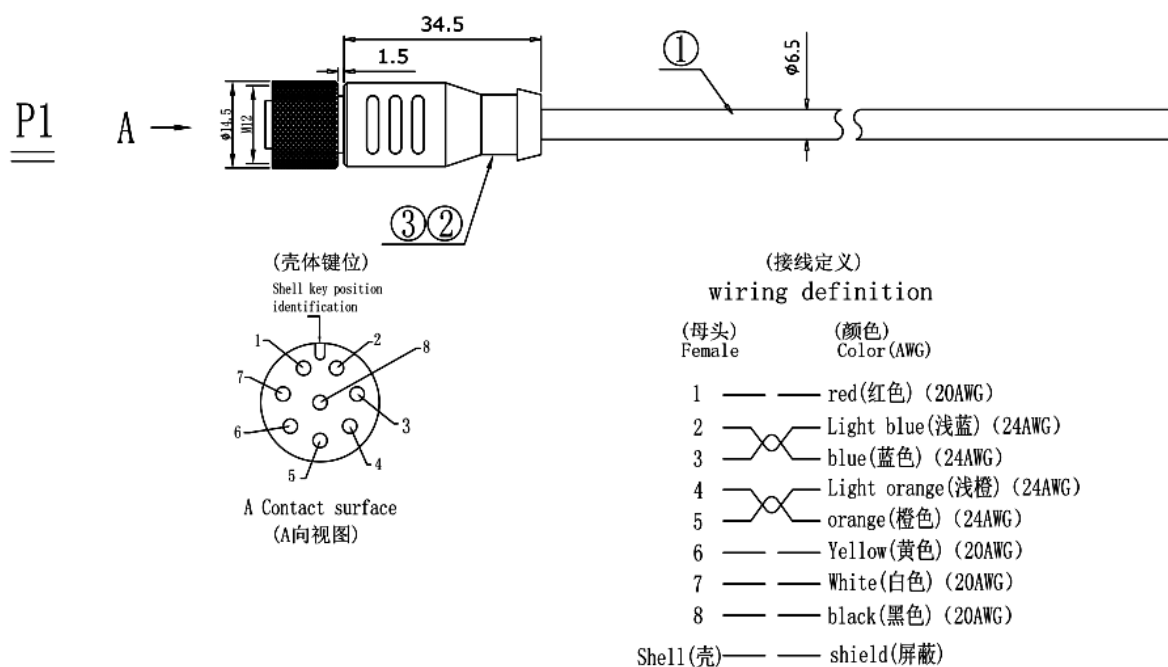
3 电气接口

3.1 电源

电源输入范围：9V~36VDC，雷达附件提供电源适配器。如果使用其它直流电源供电，推荐电源输出电压：12VDC、输出最大电流：≥3A（雷达启动时要求瞬时启动电流大，启动电流小可能导致不能正常启动）、输出纹波噪声：<120mVp-p；输出电压精度：<5%。

3.2 电气接口

16 线激光雷达下端底座侧面引出缆线连接航空插头（母头），缆线为 8 芯屏蔽线，如下图所示。



8 芯线缆的规格和定义如下：

序号	线缆的颜色和规格	定义	说明
1	红色 (20AWG)	VCC	电源正极
2	浅蓝 (24AWG)	TD_N	以太网发射差分负端
3	蓝色 (24AWG)	TD_P	以太网发射差分正端

4	浅橙（24AWG）	RD_N	以太网接收差分负端
5	橙色（24AWG）	RD_P	以太网接收差分正端
6	黄色（20AWG）	GPS_PPS	GPS 同步秒脉冲/外同步秒脉冲
7	白色（20AWG）	GPS_Rec	GPS 接收
8	黑色（20AWG）	GND	电源负极（GND）

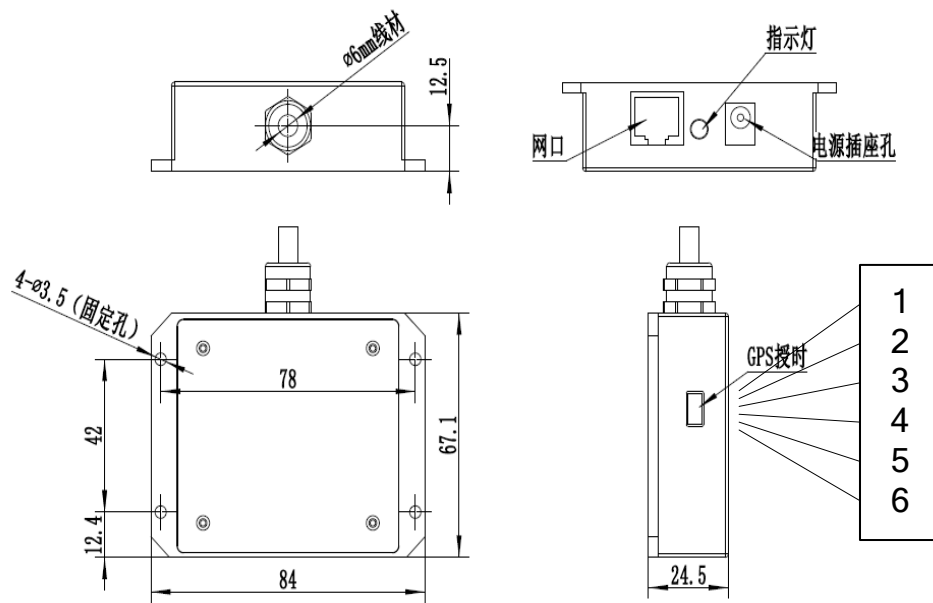
线盒作用是方便电脑使用雷达附带的电源适配器和以太网线直接连接雷达测试，若不需要接线盒，可自行将 8 芯端子线移出接线盒，单独连接供电电源、以太网接口和 GPS 设备接口，只需将接线盒外壳拆开，断开 8 芯连接线的焊接位置，从接线盒中取出 8 芯端子线接头即可。

16 线激光雷达出厂默认连接接线盒，雷达到接线盒线长分为两段，连接雷达部分线长 1.5, 连接接线盒线长 0.3 米，中间航空插头连接，如图所示。



图 3.3 接线盒与雷达连接示意图

16 线激光雷达接线盒接口包括：孔径 2.1MM 的 DC 插座、指示灯、百兆网 RJ45 网口、6 针 GPS 接口。



管脚号	说明
1	NC
2	GND
3	GPS_REC
4	GND
5	+5V
6	GPS_PPS

图 3.4 接线盒和 GPS 端口定义

4 快速指南

4.1 连接激光雷达

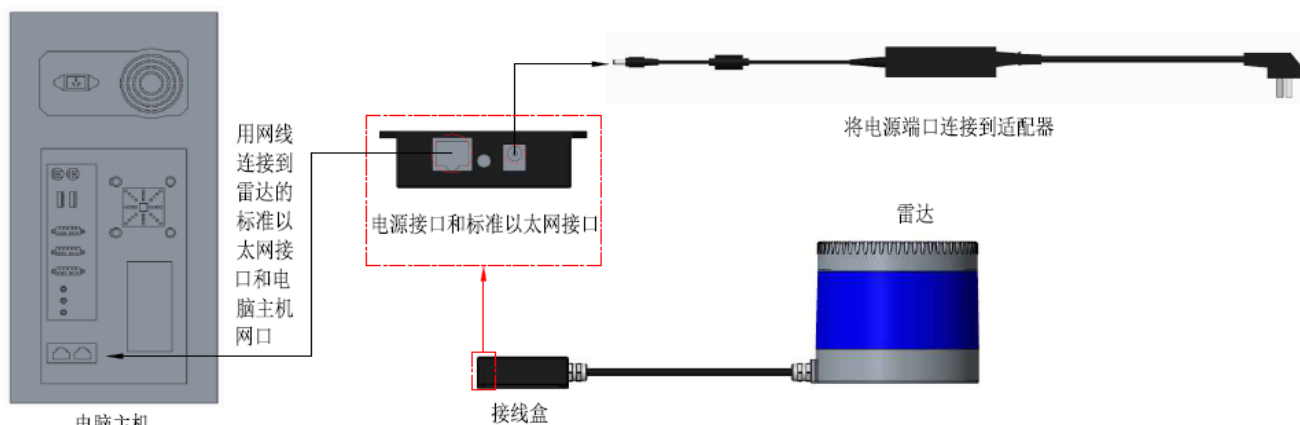


图 4.1 连接雷达和电脑

4.2 Windows 软件显示点云和配置雷达

随雷达附送的点云显示软件解析数据包和设备包信息，显示 3D 点云数据，通过可视化界面，用户可以重置雷达参数。具体操作流程参见点云显示软件章节。

雷达网络缺省的参数 IP 和端口号如下表：

表 4.1 雷达默认网络配置

	IP 地址	UDP 设备包端口号	UDP 数据包端口号
雷达	192.168.1.200	2368（固定不可配）	2369（固定不可配）
电脑	192.168.1.102	2369	2368

注意：1. 设置雷达 IP 时，本地 IP 与目的 IP 不能设置为同一 IP，否则雷达将不能正常工作。

2. 雷达组播模式时，两个目的端口禁止设置为同一个端口号。

连接雷达时，电脑与雷达的 IP 在不同网段时，需要设置网关；相同网段时，设置不同 IP 即可，例如：192.168.1.x，子网掩码为 255.255.255.0。若需查找雷达的以太网配置信息，连接雷达后电脑可以使用 Wireshark 软件抓取设备 ARP 包进行分析，有关 ARP 包的特征识别，见下图。

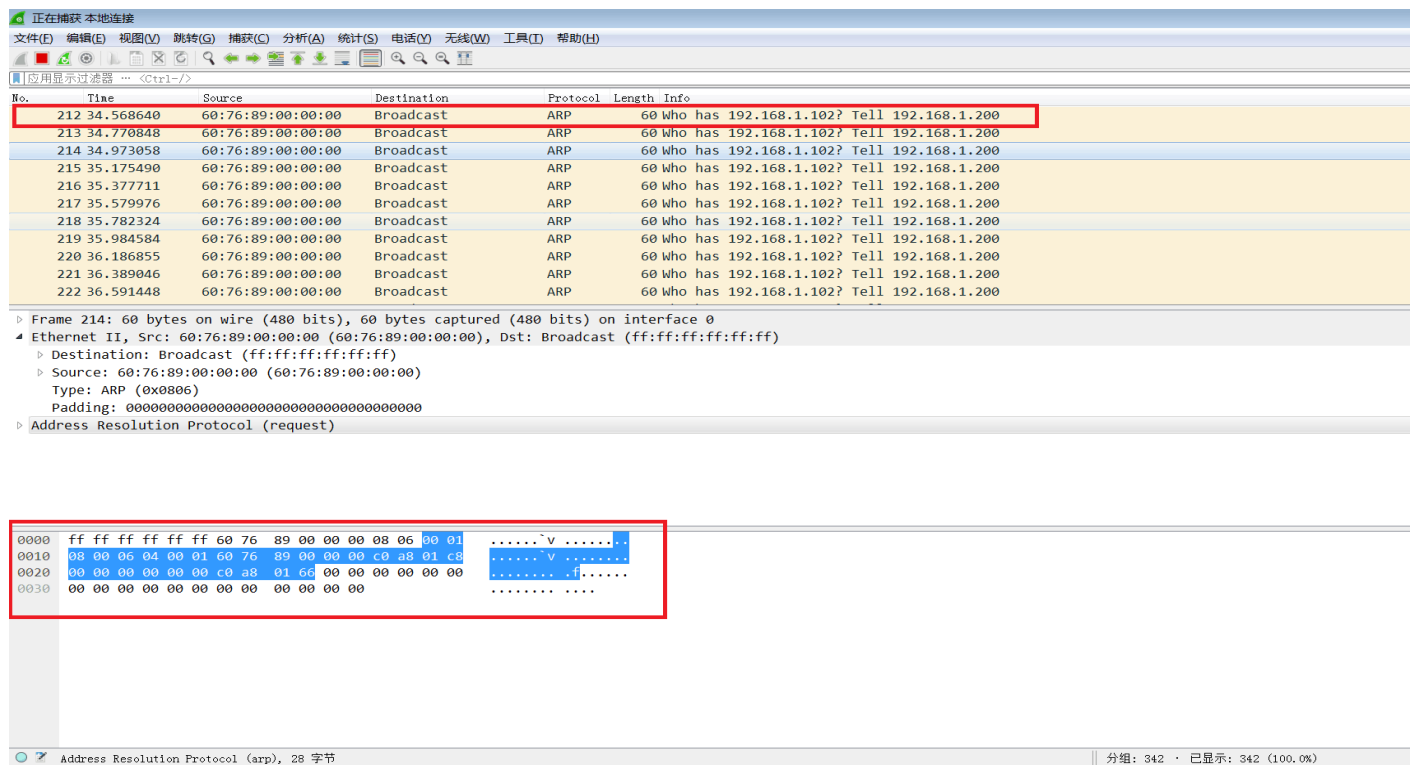


图 4.2 Wireshark 抓取 ARP 包

注意：Wireshark 软件为第三方软件，客户使用过程中造成的版权和商业纠纷等问题，均与镭神智能无关。

4.3 解析点云数据

用户如需自行解析雷达数据，依照如下步骤：

- 1) 解析数据包，获得每一线的相对水平角度、测距信息、强度数据和微秒时间戳信息；
- 2) 读取设备包，获取水平修正角度值、UTC 时间 (GPS 或 NTP 授时) 和设备当前状态配置等信息；
- 3) 依据雷达光束分布得到每一线的垂直角度；
- 4) 根据点云数据的测距值、垂直角度以及计算后的水平角度，得到 XYZ 坐标值；
- 5) 如果需要，通过 UTC 时间、微秒时间戳、雷达每一线发光时刻和单双回波模式，计算点云数据的精确时间；
- 6) 根据需要重新配置以太网、PPS 同步水平角度、转速等信息，打包配置包协议。

5 通讯协议

雷达数据输出和配置使用百兆以太网 UDP/IP 通讯协议，共有三种 UDP 包协议，包长均为 1248bytes（42bytes 以太网包头和 1206bytes 有效载荷）。雷达支持单播、广播和组播通信。

雷达的通信协议有：

- 1) 主数据流输出协议 **MSOP** (Main data Stream Output Protocol)，雷达测量的距离、角度、强度等信息输出；
- 2) 设备信息输出协议 **DIFOP** (Device Information Output Protocol)，雷达和附属设备的当前状态和各种配置信息输出；
- 3) 用户配置写入协议 **UCWP** (User Configuration Write Protocol)，设置雷达的配置参数。

表 5.1 UDP 包协议

UDP 包名称	简称	功能	长度 (Byte)	发送间隔
MSOP	数据包	输出测量数据、时间戳等	1248	约 1.2ms/0.6ms
DIFOP	设备包	输出参数配置和状态信息	1248	约 1s
UCWP	配置包	输入配置参数		不固定

5.1 数据包协议

数据包输出点云的角度值、距离值、强度值、时间戳等测量数据。**数据包的数据采用小端模式。**

数据包包括 42 字节以太网包头和 1206 字节的有效载荷，长度 1248 字节。有效载荷由 1200 字节点云数据 channel data（12 个 100 字节的数据块 block）和 6 字节的附加信息（4 字节的 Timestamp 和 2 字节的 Factory）组成。

5.1.1 数据包格式

16 线激光雷达数据支持单回波和双回波模式。

单回波测量最近回波值，双回波测量最近回波和次近回波值（时间轴）。

单回波模式时，一次单点激光发射测量一次回波数据。一个点云数据包包含 12 个数据块，每个数据块

包含了 2 组按照打包顺序测量的 16 个通道点云数据，每个数据块只返回一个方位角，每个方位角输出 2 组数据。参见下图：

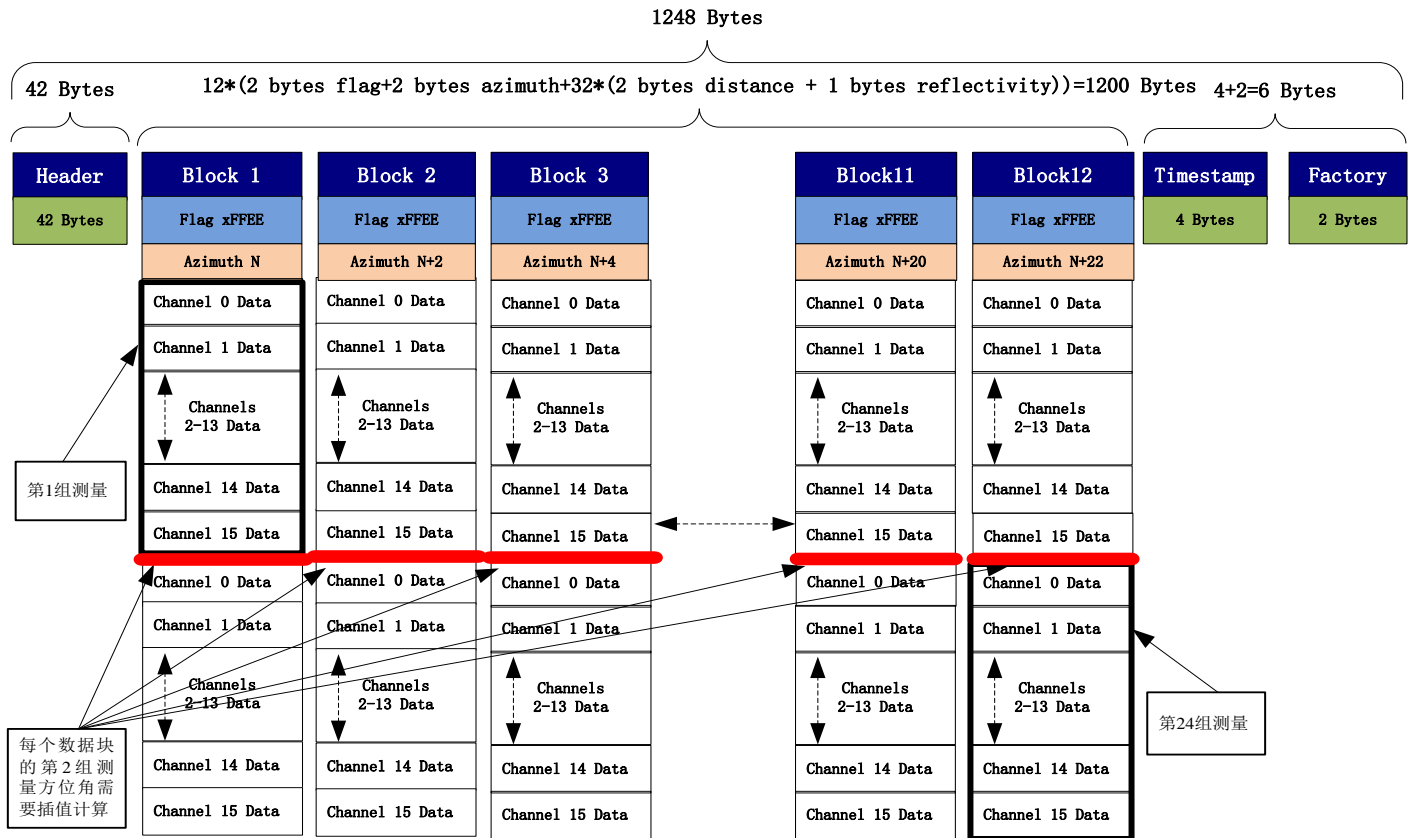


图 5.1 16 线单回波数据格式

当使用双回波模式时，一次单点激光发射测量两次回波数据。数据包包含 6 个奇偶数据块对，每 2 个数据块包含 2 组按照打包顺序测量的 16 个通道两次回波值。Block(1, 2) 数据块为第一个 2 组 16 个点云数据的两次回波数据，奇数块为一次回波数据，偶数块为二次回波数据；block(3, 4) 数据块为下一个 2 组 16 个点云数据的两次回波数据，...，以此类推。每个奇偶数据块对只返回一个方位角。参见下图：

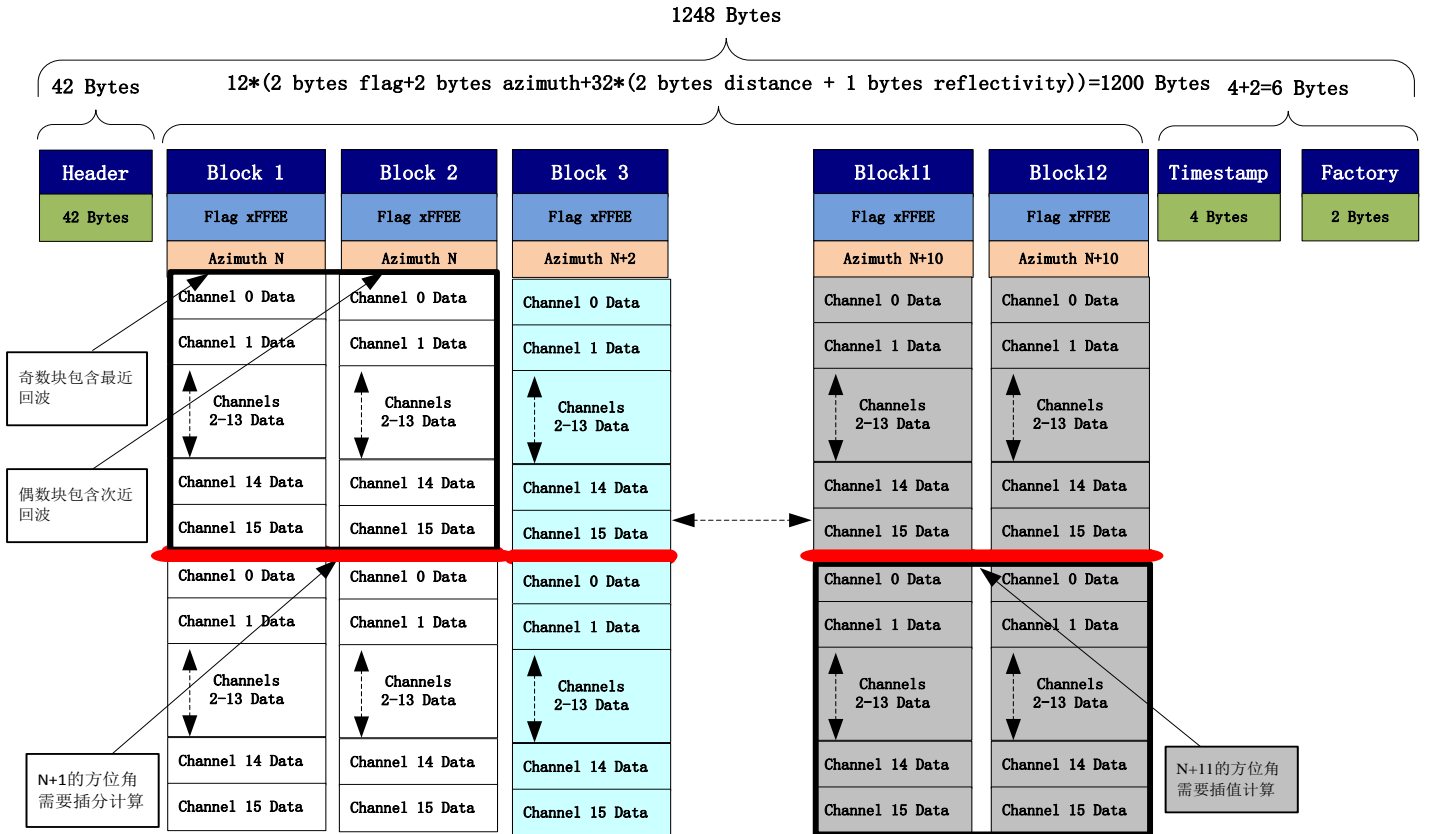


图 5.2 16 线双回波数据格式

5.1.2 以太网包头

以太网包头 Header 共 42 字节，举例如下表。

以太网包头: 42Bytes				
名称	序号	信息	Offset	长度 (Byte)
Ethernet II MAC	0	Destination	0	6
	1	Source	6	6
Ethernet 数据 包类型	2	Type	12	2
Internet Protocol	3	Version, Header Length, Differentiated Services, Field, Total Length, Identification, Flags, Fragment Offset, Time to Live, Protocol, Header, Checksum, Source IP Address, Destination IP Address	14	20
UDP 协议端口 号	4	源端口 (0x0941, 代表 2369)	34	2
	5	目的端口 (0x0940, 代表 2368)	36	2
UDP 协议的长	6	长度 (0x04BE, 代表 1214 bytes)	38	2

度和求和校验	7	求和检验	40	2
--------	---	------	----	---

5.1.3 数据块

测量数据共 1200 字节，它由 12 个数据块 (blocks) 组成，每个数据块长度为 100 字节。

一个数据块包括：2 字节 0xffee 固定值的标志位；

2 字节 Azimuth 的相对水平角度信息；

2 组 16 个通道的 channel 点云数据（每个通道 3 字节）。每组 16 通道 channel 数据（UDP 包封装顺序）对应雷达的一次 16 通道激光不同发射时刻的测量数据。

注意：通道数据的打包顺序依次递增，这个顺序与通道的垂直角度分布顺序和通道的激光发射测量时间顺序可能不一致，但有固定的一一对应关系（见第 7 章垂直角度和第 8 章通道发光时间）。

5.1.3.1 方位角

水平角度值 Azimuth 表示数据块 2 组 16 次激光发射第一次发射测距时的角度值，也即数据块第一个 channel 0 的角度，单位 0.01 度。水平角度值的分辨率根据电机转速 (5Hz、10Hz、20Hz) 对应 (0.09°、0.18°、0.36°)。

5.1.3.2 通道数据

通道数据 channel data 为无符号整数，高 2 字节为距离，低 1 字节为强度，如下表所示。

表 5.2 通道数据

Channel N data (3Bytes)		
Byte3	Byte2	Byte1
Distance	Distance	Intensity

距离的单位为 0.25/0.4cm。回波强度表示被测物的能量反射特性，强度值代表 0-255 个不同反射物的强度等级。

5.1.4 附加信息

附加信息长度 6 字节，包括 4 字节微秒时间戳 Timestamp 和 2 字节的 Factory。

表 5.3 附加信息

附加信息：6Bytes			
名称		长度 (Byte)	功能
Timestamp		4	时间戳，单位微秒 (us)
Factory	回波信息	1	0x37 代表最强回波，0x38 代表最后回波，0x39 代表双回波
	厂商信息	1	0x10 代表 C16 雷达，0x20 代表 C32 雷达

当 NTP 服务同步授时开启时，时间戳同步 NTP 服务器时间，时间戳的范围 0-999999 (us)，

若 NTP 服务同步授时无效：

- 1) 有 GPS 输入 PPS 时，依据 PPS 时间为周期计时产生时间戳，时间戳的范围 0-999999 (us)；
- 2) 有外同步输入 PPS 时，依据外同步 PPS 时间为周期计时产生时间戳，时间戳的范围 0-999999 (us)；
- 3) 无同步输入 PPS 时，雷达内部以 1 小时为周期计时产生时间戳，时间戳的范围 0-3599_999_999 (us)。

5.2 设备包协议

设备包输出版本号、以太网配置、电机转速和运行状态、故障诊断等只读参数和状态信息。设备包的数据采用大端模式。

设备包包括 42 字节以太网包头和 1206 字节的有效载荷，长度 1248 字节。有效载荷由 8 字节的帧头 Header、1196 字节的数据 Data 和 2 字节的帧尾 Tail 组成。

表 5.4 设备包的数据格式

以太网包头：42Bytes				
名称	序号	信息	Offset	长度 (Byte)
Ethernet II MAC	0	Destination	0	6
	1	Source	6	6
Ethernet 数据 包类型	2	Type	12	2

Internet Protocol	3	Version, HeaderLength, DifferentiatedServices, Field, Total Length, Identification, Flags, Fragment Offset, Time to Live, Protocol, Header, Checksum, Source IP Address, Destination IP Address	14	20
UDP 协议端口号	4	源端口 (0x0940, 代表 2368)	34	2
	5	目的端口 (0x0941, 代表 2369)	36	2
UDP 协议的长度和求和校验	6	长度 (0x04BE, 代表 1214 bytes)	38	2
	7	求和检验	40	2
有效载荷: 1206Bytes				
名称	序号	信息	Offset	长度(Byte)
Header	0	设备包识别头	0	8
Data	1	电机转速	8	2
	2	以太网 (IP, 端口, MAC, NTP)	10	22
	3	以太网 (网关, 子网掩码)	32	8
	4	雷达旋转/静止	40	2
	5	设备流发包间隔数	42	8
	6	设置秒脉冲对齐角度值	48	2
	7	检测秒脉冲角度偏差值	50	2
	8	UTC 时间	52	6
	9	经纬度	58	22
	10	2 号板温度	80	2
	11	垂直角度测量值 (1~16 线)	245	32
	12	雷达序列号	1164	20
	13	2 号板程序版本	1196	2
	14	3 号板程序版本	1198	6
Tail	15	帧尾	1204	2

Header 是设备包识别头, 固定为 0xA5, 0xFF, 0x00, 0x5A, 0x11, 0x11, 0x55, 0x55, 其中前 4 个字节可作为包的检查序列。帧尾 Tail 固定为 0x0F, 0xF0。

其中, 雷达序列号用 20 个字节表示, 每个字节代表一个字符, 需转换为 ASCII 码显示; 2 号板程序版本的 2 个字节依次代表主版本号、次版本号 (次版本号分别由高 4 位和低 4 位表示); 3 号板程序版本的 6 个字节依次代表年 (2 字节)、月、日、主版本号、次版本号 (次版本号分别由高 4 位和低 4 位表示);

雷达距离分辨率通过 3 号板版本号判断, V3.0-V3.4 距离分辨率为 0.25cm, V3.5-V3.9 距离分辨率为 0.4cm。

5.3 配置包协议

配置包协议对雷达的以太网、PPS 对齐角度、电机等参数进行配置，**配置包的数据采用大端模式。**

配置包包括 42 字节以太网包头和 1206 字节的有效载荷，长度 1248 字节。有效载荷由 8 字节的 Header、1238 字节的数据，以及 2 字节的 Tail 组成。

注意：推荐用户通过 Win 点云软件配置雷达，禁止客户自行打包配置雷达参数；除以太网配置、网关、子网掩码需要雷达重新启动才能生效外，其它配置立刻生效。

表 5.5 配置包数据格式

以太网包头：42Bytes				
名称	序号	信息	Offset	长度 (Byte)
Ethernet II MAC	0	Destination	0	6
	1	Source	6	6
Ethernet 数据 包类型	2	Type	12	2
Internet Protocol	3	Version, HeaderLength, DifferentiatedServices, Field, Total Length, Identification, Flags, Fragment Offset, Time to Live, Protocol, Header, Checksum, Source IP Address, Destination IP Address	14	20
UDP 协议端口 号	4	源端口 (0x0941, 代表 2369)	34	2
	5	目的端口 (0x0940, 代表 2368)	36	2
UDP 协议的长 度和求和校验	6	长度 (0x04BE, 代表 1214 bytes)	38	2
	7	求和检验	40	2
有效载荷：1206Bytes				
名称	序号	信息	Offset	长度 (byte)
Header	0	配置包识别头	0	8
Data	1	电机转速	8	2

	2	以太网(IP, 端口, MAC, NTP)	10	22
	3	以太网(网关, 子网掩码)	32	8
	4	雷达旋转/静止	40	2
	5	设备流发包间隔数	42	2
	6	设置 PPS 秒脉冲对齐角度值	48	2
	7	UTC 时间	52	6
Tail	8	帧尾	1204	2

Header 是配置包识别头, 固定为 **0xAA, 0x00, 0xFF, 0x11**, 0x22, 0x22, 0xAA, 0xAA, 其中前 4 个字节作为包的检查序列。帧尾 Tail 固定为 0x0F, 0xF0。

5.4 配置参数和状态描述

5.4.1 电机转速

电机转速 (2Bytes)		
序号	Byte1	Byte2
功能	转速 5Hz/10Hz/20Hz	

配置电机转速, 电机顺时针旋转, 可以设置三种转速: 当设置为 0x04B0 时, 转速 1200rpm; 设置为 0x04B0 时 0x0258 时, 转速 600rpm; 设置为 0x012C 时, 转速 300rpm。不支持其他设置数据。

5.4.2 以太网配置

表 5.6 以太网配置

以太网配置（22Bytes）								
序号	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
功能	IP_SRC				IP_DEST			
序号	Byte9	Byte10	Byte11	Byte12	Byte13	Byte14	Byte15	Byte16
功能	只读 MAC_ADDR						数据端口 port1	
序号	Byte17	Byte18	Byte19	Byte20	Byte21	Byte22		
功能	设备端口 Port2		NTP 服务器地址					

源 IP 地址 IP_SRC，长度 4Bytes；目的 IP 地址 IP_DEST，长度 4Bytes；每台雷达有固定的 MAC 地址 MAC_ADDR，用户不可配置；port1 为 UDP 数据端口号，port2 为 UDP 设备端口号；NTP 服务器地址，长度 4Byte，雷达内部时间可通过 NTP 协议从该服务器地址实现同步。

5.4.3 PPS 对齐水平角度

当雷达获取外部设备输入的 PPS 信号时，控制雷达此刻扫描到特定的水平角度。配置包设置 pps 对齐角度值，单位为 0.01 度。例如对齐角度为 90 度，设置值为 9000，转换成 16 进制为 0x2328，对应 byte2=23h，byte1=28h。

PPS 对齐角度值 (2Bytes)		
序号	Byte1	Byte2
功能	配置 PPS 时刻雷达旋转的水平角度	

设备包输出 PPS 同步时刻，雷达实际扫描的水平角度和设置 PPS 对齐角度值的差值，对齐角度误差的单位为 0.01 度。valid 为 0，表示秒脉冲信号有效；angle_err[14:0] 为对齐角度误差值，有符号整数，范围为-18000~18000，即-180 度到 180 度之间。

注意：此参数设置默认值为 0，定义为默认不开启 PPS 角度对齐功能，客户如果需要 PPS 秒脉冲来临时对齐 0 度，可将此参数设置为大于 0 的小量，比如 0.01 或者 1 之类。

对齐角度误差 (2Bytes 只读)		
序号	Byte1	Byte2
功能	valid	angle_err[14:0]

5.4.4 UTC 时间

雷达检测到 NTP 服务器授时开启时，UTC 时间同步 NTP 服务器时间；当 NTP 关闭时，雷达接收 GPS 信号，解析 \$GPRMC 信息，UTC 时间同步 GPS；当无 NTP 和 GPS 授时时，UTC 时间为全 0。

设备包输出的 UTC (GMT 格林尼治) 时间，精确到 1s，GPS 时间数据格式见下表。

UTC 时间 (6Bytes 只读)						
序号	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6
功能	Year	month	day	hour	min	sec
	0~255 对应 2000~2255 年	1~12 month	1~31 day	0~23 hour	0~59 min	0~59 sec

5.4.5 雷达扫描和静止

雷达旋转/静止 (2Bytes)		
序号	Byte1	Byte2
功能	0: 旋转; 1: 静止	

0x0000 雷达旋转, 0x0001 雷达静止, 雷达缺省值为旋转扫描。

5.4.6 设备包发包间隔

设备包发包间隔 (2Bytes)		
序号	Byte1	Byte2
功能	0: 与数据包间隔相同; 其它值: 1 秒 1 包	

配置 0x0000 表示设备包与数据包间隔发送, 其他参数意味着 1 秒 1 包。默认值为 0x0001。

5.4.7 经纬度

经纬度字节 (22Bytes 只读)								
序号	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
功能	保留	纬度 (Latitude)						
序号	Byte9	Byte10	Byte11	Byte12	Byte13	Byte14	Byte15	Byte16
功能			经度 (Longitude)					
序号	Byte17	Byte18	Byte19	Byte20	Byte21	Byte22		
功能					纬度南 北 N/S	经度东 西 W/E		

经纬度, ASCII 码形式输出。

5.4.8 网关地址

网关地址 (4Bytes)				
序号	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4
功能	网关地址			

5.4.9 子网掩码

子网掩码 (4Bytes)

序号	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4
功能	子网掩码			

5.5 配置包打包示例

如需重新设置转速、本地 IP 地址、目的 IP 地址、本地设备端口号、NTP 服务器地址、PPS 对齐角度值、雷达旋转/静止等，根据配置包的定义，1206 字节的有效载荷设置如下表：

信息	更改内容	配置内容	长度 (byte)
Header		0xAA, 0x00, 0xFF, 0x11, 0x22, 0x22, 0xAA, 0xAA	8
转速	1200rpm	0x04, 0xB0	2
本地 IP (IP_SRC)	192. 168. 1. 105	0xC0, 0xA8, 0x01, 0x69	4
目的 IP (IP_DEST)	192. 168. 1. 225	0xC0, 0xA8, 0x01, 0xE1	4
设备 (MAC_ADDR)	XXXX (只读)	0xxxxxx	6
数据端口 (port1)	XXXX	0xxxxxx	2
设备端口 (port2)	8899	0x22, 0xC3	2
NTP 服务器地址	192. 168. 1. 106	0xC0, 0xA8, 0x01, 0x6A	4
网关	192. 168. 1. 1	0xC0, 0xA8, 0x01, 0x01	4
子网掩码	255. 255. 255. 0	0xFF, 0xFF, 0xFF, 0x00	4
雷达旋转/静止	旋转	0x00, 0x00	2
设备流发包间隔	3 包	0x00, 0x00	2
PPS 对齐角度值	1. 28 度	0x00, 0x80	2
Tail	固定值	0x0F, 0xF0	2

配置包封装时，必须完整写入整包数据。

6 时间同步

激光雷达与外部设备的同步有三种方式：GPS 同步、NTP 同步、外 PPS 同步。如果没有外同步输入，雷达内部产生计时信息。点云数据的绝对精确时间由数据包 4 字节的时间戳（精确到微秒）与设备包 6 字节的 UTC 时间（精确到秒）相加获得。

6.1 GPS 同步

GPS 同步时，雷达在接收到 PPS 秒脉冲后以微秒 us 为单位计时，计时值作为数据包的时间戳输出。雷

达从 GPS 的\$GPRMC 信息提取 UTC 信息作为设备包的 UTC 时间输出，精确到秒。

6.1.1 GPS 设备使用

GPS 设备授时同步，用以标记和计算每个激光的精确发射测量数据时间。激光雷达精准的点云数据时间可以与 GPS/惯性测量系统的俯仰、滚动、偏航、纬度、经度和高度进行匹配。

雷达默认接收 GPS 数据输出的串行配置波特率为 9600，8N1。PPS 高脉冲宽度要求在 1us—100ms 之间。

GPRMC 信息其标准格式如下：

\$GPRMC, <1>, <2>, <3>, <4>, <5>, <6>, <7>, <8>, <9>, <10>, <11>, <12>*hh, 其中，

序号	名称	说明/格式
1	UTC 时间	hhmmss（时分秒）
2	定位状态	A=有效定位，V=无效定位
3	纬度	ddmm.mmmm（度分）
4	纬度半球	N（北半球）或 S（南半球）
5	经度	dddmm.mmmm（度分）
6	经度半球	E（东经）或 W（西经）
7	地面速率	000.0~999.9 节
8	地面航向	000.0~359.9 度，以真北为参考基准
9	UTC 日期	ddmmyy（日月年）
10	磁偏角	000.0~180.0 度
11	磁偏角方向	E（东）或 W（西）
12	模式指示	仅 NMEA0183 3.00 版本输出，A=自主定位，D=差分，E=估算，N=数据无效

16 线激光雷达兼容多种数据格式的 GPS 接口，GPRMC 数据格式满足以下两条即可：第 1 个逗号分隔符后的数据为时分秒信息；第 9 个逗号分隔符后的数据为日期信息。

下面两种格式均可正常使用：

1) \$GPRMC, 072242, A, 3027.3680, N, 11423.6975, E, 000.0, 316.7, 160617, 004.1, W*67;

2) \$GPRMC, 065829.00, A, 3121.86377, N, 12114.68162, E, 0.027, , 160617, , , A*74。

6.2 NTP 同步

连接 NTP 服务器同步时，雷达周期性获取 NTP 服务器时间并计时，计时值作为数据包的时间戳，提取的 UTC 时间作为设备信包的 UTC（GMT 格林尼治）时间输出。雷达每 4 秒向 NTP 服务器发送 1 次授时请求，服务器收到请求后按照 NTP 协议向雷达发送时间信息。

6.3 外同步

外同步时，雷达接收到外部其它设备输入的 PPS 信号后以微秒 us 为单位计时，计时值作为数据包的时间戳输出。此时无 UTC 时间基准，如需 UTC 时间，必须通过配置包写入，否则设备包的 UTC 时间输出信息无效。

外同步信号 PPS 电平为 3.3~5V，雷达接收上升沿触发，PPS 高脉冲宽度要求在 1us—100ms 之间。

6.4 雷达内部计时

无 GPS 和其它设备同步时，雷达以 1 小时（ 360×10^6 us）为周期，以微秒 us 为单位计时，计时值作为数据包的时间戳输出。此时无 UTC 时间基准，如需 UTC 时间，必须通过配置包写入，否则设备包的 UTC 时间输出信息无效。

7 点云数据的角度和坐标计算

7.1 垂直角度

16 线小型化雷达有两种不同垂直角度分布，其每个通道数据对应固定的垂直角度，见下表。

表 7.1 16 线均匀 2 度垂直角度分布

UDP 数据包封装顺序 Channel	Vertical Angle
Channel 0 Data	-15°
Channel1 Data	1°

Channel2 Data	-13°
Channel3 Data	3°
Channel4 Data	-11°
Channel5 Data	5°
Channel6 Data	-9°
Channel 7 Data	7°
Channel 8 Data	-7°
Channel 9 Data	9°
Channel 10 Data	-5°
Channel 11 Data	11°
Channel 12 Data	-3°
Channel 13 Data	13°
Channel 14 Data	-1°
Channel 15 Data	15°

表 7.2 16 线均匀 1.33 度垂直角度分布

UDP 数据包封装顺序 Channel	Vertical Angle
Channel 0 Data	-10°
Channel1 Data	0.665°
Channel2 Data	-8.665°
Channel3 Data	2°
Channel4 Data	-7.33°
Channel5 Data	3.33°
Channel6 Data	-6°
Channel 7 Data	4.665°
Channel 8 Data	-4.665°
Channel 9 Data	6°
Channel 10 Data	-3.33°
Channel 11 Data	7.33°
Channel 12 Data	-2°
Channel 13 Data	8.665°
Channel 14 Data	-0.665°
Channel 15 Data	10°

通过查询上面表格，可以获取 16 通道数据的垂直角度。

注意：雷达按照 channel 号递增对应的垂直角度并不是从下到上依次递增，这是因为数据包的通道打

包顺序，与每通道的发光时刻顺序一致，而发光不是从下到上依次发光的，具体见 16 线发光时间说明。

7.2 水平角度

数据包每通道的水平角度值需要根据 16 通道的发光时刻计算。

7.2.1 单回波模式水平角度计算

单回波数据包中，每个数据块只有一个水平角度值，它代表了此数据块最早一次发射测量 channel 0 对应的水平角度值，其它的 2 组 16 个通道对应的角度需要插值得到。由于雷达匀速旋转，数据块的每个通道发光时间间隔相同，因此对相邻两个角度值（Azimuth N 和 Azimuth (N+2)）进行插值，再按照每通道的发光时间，可计算出数据块其余 31 次激光发光对应的水平角度值。

16 线单回波数据包的数据块结构如下：

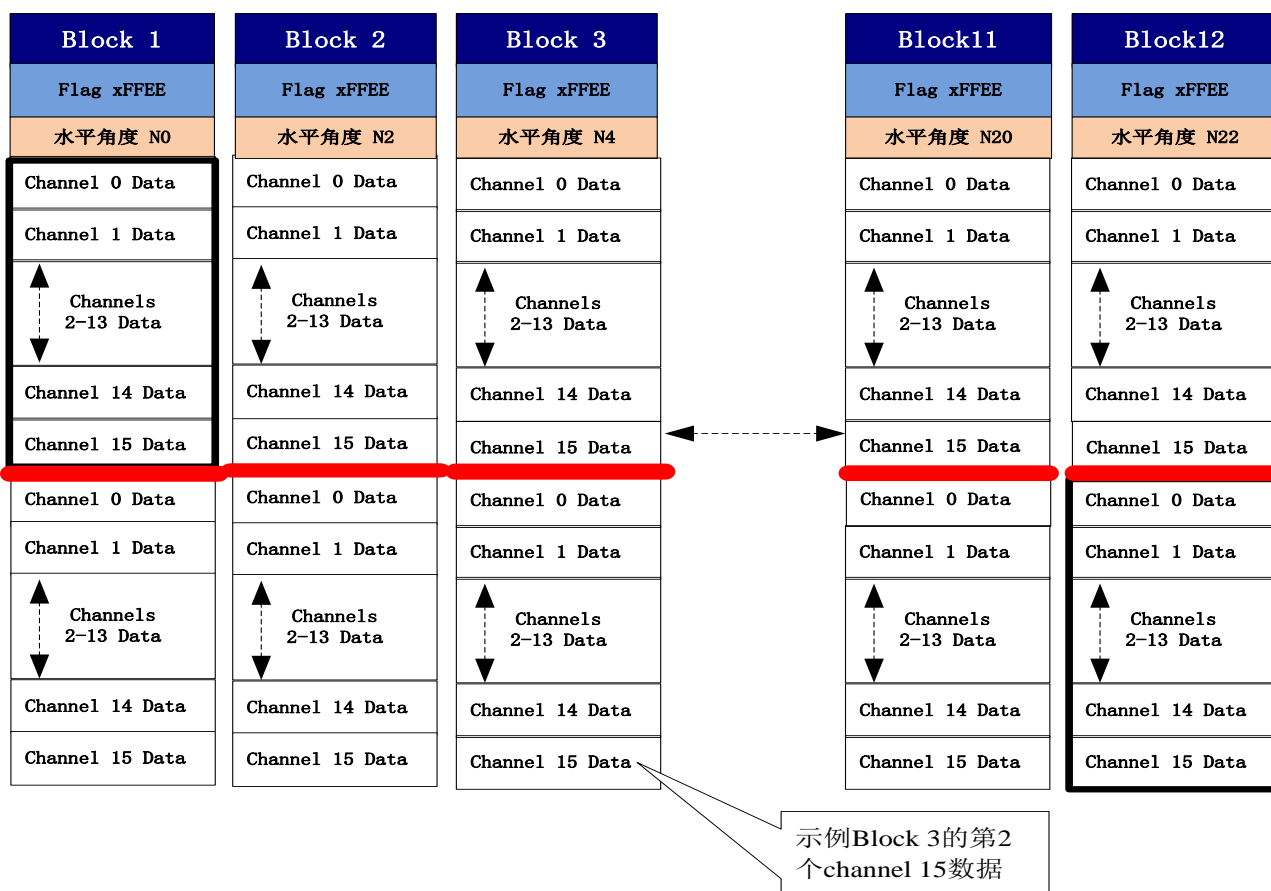


图 7.1 单回波数据块结构

以雷达 Block 3 的第二组 channel 15 数据为例：

- 1). Block3 第一组 channel 0 的发光时刻角度为 $N4$ 度；
- 2). Block3 第二组 channel 0 发光时刻与第一组 channel 0 的发光时刻的角度偏移为 $(N4-N2)/2$ 度，因此，第二组 channel 0 发光时刻的角度为 $(N4 + ((N4-N2)/2))$ 度；
- 3). 由 16 线雷达发光时间表 8.1 可知，Block 3 第二组 channel 15 的发光时刻 $(T_0 + (15 * T))$ 相对第二组 channel 0 的发光时刻 T_0 时间差 $(15 * T)$ ，角度偏转为 $((N4-N2)/2)/16 * 15$ 度，因此，第二组 channel 15 发光的水平角度=第二组 channel 0 的发光时刻角度+偏转角度= $(N4 + (N4-N2)/2) + (((N4-N2)/2)/16) * 15$ 度；
- 4). 公式中除以 16 是因为 A 型雷达的发光周期 $T=3.125\mu s$ ，每个数据块中每一组 16 通道起始发光时间间隔为 $=50\mu s/3.125\mu s=16$ 。

7.2.2 双回波模式水平角度计算

双回波数据包，一次单点激光发射测量两次回波数据。每对奇偶数据块包含了 2 组发射时间序列的 16 个通道的两次测量值，每一对奇偶数据块只返回一个方位角。第 N 个奇数块和偶数块提供的角度值为最近一次发射测量 channel 0 对应的水平角度值，其他 31 个通道对应的角度值需要插值得到。

16 线双回波数据包的数据块结构如下：

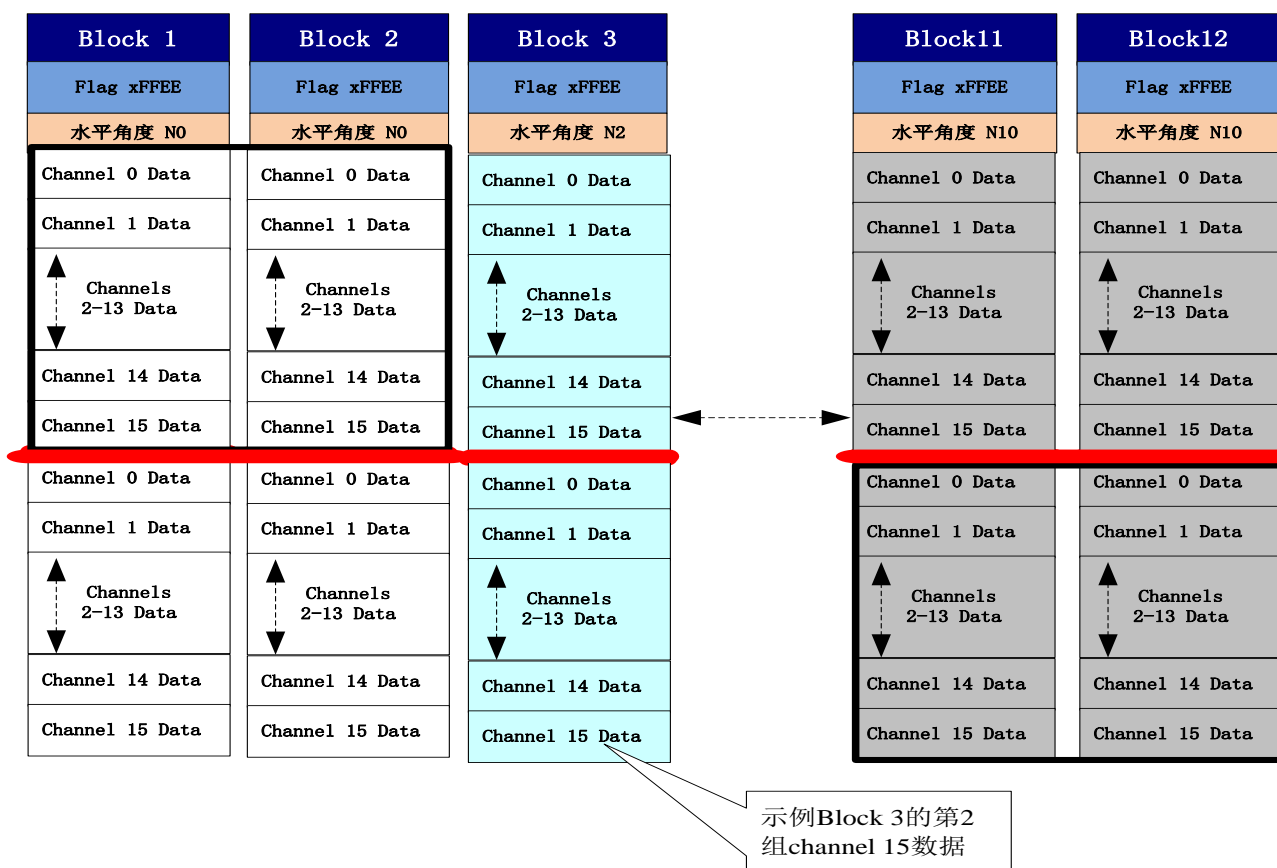


图 7.2 双回波数据块结构

以雷达的 Block 3 的第二组 channel 15 数据为例：

- 1). Block3 第一组 channel 0 的发光时刻角度为 N2 度；
- 2). Block3 第二组 channel 0 发光时刻与第一组 channel 0 的发光时刻的角度偏移为 $(N2 - N0) / 2$ 度，因此，第二组 channel 0 发光时刻的角度为 $(N2 + ((N2 - N0) / 2))$ 度；
- 3). 由 16 线雷达发光时间表 8.1 可知，Block 3 第二组 channel 15 的发光时刻 $(T_0 + (15 * T))$ 相对第二组 channel 0 的发光时刻 T_0 时间差 $(15 * T)$ ，角度偏转为 $((N2 - N0) / 2) / 16 * 15$ 度，因此，第二组 channel 15 发光的水平角度 = 第二组 channel 0 的发光时刻角度 + 偏转角度 = $(N2 + (N2 - N0) / 2) + ((N2 - N0) / 2) / 16 * 15$ 度；
- 4). 公式中除以 16 是因为 B/C 型雷达的发光周期 $T = 3.125\mu s$ ，每个数据块中每一组 16 通道起始发光时间间隔为 $50\mu s / 3.125\mu s = 16$ 。

7.3 距离值

channel 数据的距离计算：获取数据包小端模式的 2 字节 channel 距离，假设为 (0x72, 0x06)，十六进

制数表示为 0x0672, 转换为十进制数为 1650, 单位 0.25/0.4cm, 即 $1650 \times 0.25\text{cm} = 412.5\text{cm}$ 或 $1650 \times 0.4\text{cm} = 660\text{cm}$

7.4 笛卡尔坐标表示

获取雷达的垂直角度、水平角度和距离参数, 可将极坐标下的角度和距离信息转化到右手笛卡尔坐标系下的 x, y, z 坐标, 转换关系如下式所示:

$$\begin{cases} x = r \cos \alpha \cos \theta; \\ y = r \cos \alpha \sin \theta; \\ z = r \sin \alpha \end{cases}$$

其中 r 为距离, α 为垂直角度, θ 为水平旋转角度 (计算时需要考虑水平修正角度), x, y, z 为极坐标投影到 x, y, z 轴上的坐标。

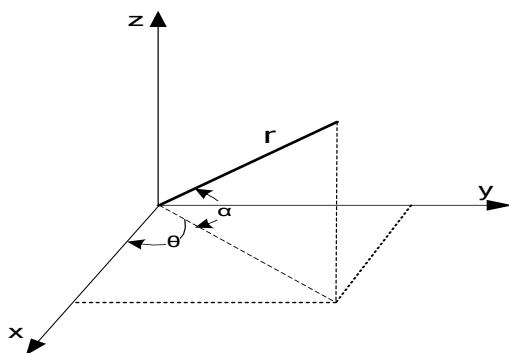


图 7.3 坐标映射

8 点云数据的精确时间计算

要精确计算点云数据的时间, 需要获取雷达输出的数据包时间戳和设备包 UTC 时间, 时间戳和 UTC 时间来自同一同步源, 如 GPS 或者 NTP 服务器等。

16 线激光雷达每个数据块中一组数据的测量时间间隔为 50us。数据包有 12 个数据块, 1 个数据块包含 2 组 16 通道数据。

一个数据包共有 $(16 \times 2) \times 12 = 384$ 个通道数据, 数据包打包时长约需 $(50\text{us} \times 2) \times 12 = 1.2\text{ms}$, 数据速率为 $1\text{s} / 1.2\text{ms} = 833.3$ 个数据包/秒。双回波模式数据速率加倍。

8.1 数据包结束时间计算

数据包中的时间戳是微秒级的相对时间，定义为数据包中最后一通道激光测量数据的打包时刻（数据包结束时间），小于 1 秒，因此计算数据包结束的绝对时间，需要先获取数据包中 4 字节的微秒时间戳，再从设备包中获取 UTC 时间（大于 1 秒），两者相加即为数据包结束的准确时间。

8.2 通道数据的精确时间计算

取得数据包结束的准确时间，按照 12 个数据块中，每个数据块包含 2 组 16 个通道的发光时刻和每个通道的发光时间间隔，就可以计算每个通道数据的精确测量时刻。

8.2.1 数据块结束时间

16 线雷达每个数据块包含 2 组 16 个通道测量数据，因此，每个数据块中每一组通道结束时间间隔为 50us，每个数据块（单回波模式）或者每个奇偶块对（双回波模式）的结束时间间隔为 $2 \times 50\text{us} = 100\text{us}$ 。假设数据包结束的绝对时间为 $T_{\text{Packet_end}}$ ，计算数据块结束时间 $T_{\text{Block_end}}(N)$ 步骤如下：

1) 单回波模式

数据包中包含 12 个数据块。在单回波模式下，每一个数据块包括 2 组 16 个激光通道的单次测量数据。每一个数据块的结束时间是指 2 组 16 个通道全都结束发光。计算每个数据块的结束时间如下：

$$T_{\text{Block_end}}(N) = (T_{\text{Packet_end}} - 100 \times (12 - N)) \text{us} \quad (N = 1, 2, \dots, 12)$$

其中 $T_{\text{Block_end}}(N)$ 表示第 N 个数据块的结束时间。

2) 双回波模式

数据包中包含 12 个数据块。在双回波模式下，Block (1, 2) 对应 2 组 16 个激光通道的 2 次回波测量数据，每一组数据的奇数 block 代表一次回波，偶数 block 代表二次回波。Block (3, 4), ..., Block (11, 12) 同理。计算每个 Block 的结束时间如下：

$$T_{\text{Block_end}}(2N) = T_{\text{Block_end}}(2N-1) = (T_{\text{Packet_end}} - 100 \times (6 - N)) \text{us} \quad (N = 1, 2, \dots, 6)$$

其中 $T_{\text{Block_end}}(M)$ 表示第 M 个数据块的结束时间， $M=2N$ 或者 $(2N-1)$ 。

8.2.2 计算通道数据的精确时间

16 线雷达 2 度/1.33 度类型每通道发光时间间隔固定为： $T=50\mu s/16=3.125\mu s$ 。发光时间与 UDP 数据包封装顺序有固定的对应关系，假设 Channel 0 发光时刻为 T_0 ，则对应 16 通道发光时间如下表所示：

表 8.116 线小型雷达通道发光时间

UDP 包封装顺序 (Channel)	Vertical Angle	开火时刻 ($T=3.125\mu s$)
Channel 0 Data	-15°	T_0
Channel 1 Data	1°	$T_0+(1*T)$
Channel 2 Data	-13°	$T_0+(2*T)$
Channel 3 Data	3°	$T_0+(3*T)$
Channel 4 Data	-11°	$T_0+(4*T)$
Channel 5 Data	5°	$T_0+(5*T)$
Channel 6 Data	-9°	$T_0+(6*T)$
Channel 7 Data	7°	$T_0+(7*T)$
Channel 8 Data	-7°	$T_0+(8*T)$
Channel 9 Data	9°	$T_0+(9*T)$
Channel 10 Data	-5°	$T_0+(10*T)$
Channel 11 Data	11°	$T_0+(11*T)$
Channel 12 Data	-3°	$T_0+(12*T)$
Channel 13 Data	13°	$T_0+(13*T)$
Channel 14 Data	-1°	$T_0+(14*T)$
Channel 15 Data	15°	$T_0+(15*T)$

获得每个数据块的结束时间后，可根据上表中通道数据打包顺序和发光时间对应关系，计算数据块中的每个通道点云数据的精确测量时刻。

1. 以计算单回波模式 Block 3 第 1 组(Group1)的 Channel 3 数据时间 T_{B3G1C3} 为例：

1) 计算数据包结束时间，从数据包获取微秒时间戳 $T_{\text{Timestamp}}$ ，从设备包获取 UTC 时间 T_{UTC} ，数据包结束时间 $T_{\text{Packet_end}} = T_{\text{Timestamp}} + T_{\text{UTC}}$ ；

2) 计算 Block 3 的结束时间 $T_{\text{Block_end}}(3) = (T_{\text{Packet_end}} - 100\mu s * (12-3)) = (T_{\text{Packet_end}} - 900)\mu s = (T_{\text{Timestamp}} + T_{\text{UTC}} - 900)\mu s$ ，也即是 Block 3 的第 2 组 Channel 15 时间。其中 $100\mu s$ 表示每个 block 结束发光的时间间隔。

3) 查询通道发光时间表 8.1, Block 3 第 1 组的 Channel 3 发光时间($T_0 + (T \times 3)$)与第 2 组 Channel 15 的发光时间($16 \times T + (T_0 + (T \times 15))$)相差($16 \times T + (T \times (15 - 3))$) = 28 个发光周期, 因此, 此通道数据的精确时间 $T_{B3G1C3} = (T_{Block_end}(3) - 28 \times T)_{us} = ((T_{Timestamp} + T_{UTC} - 900) - 28 \times 3.125)_{us}$ 。其中 $16 \times T$ 为每个数据块中每组通道结束时间间隔。

2. 以计算双回波模式 Block 3 第 1 组(Group1)的 Channel 3 数据时间 T_{B3G1C3} 为例:

1) 计算数据包结束时间, 从数据包获取微秒时间戳 $T_{Timestamp}$, 从设备包获取 UTC 时间 T_{UTC} , 数据包结束时间 $T_{Packet_end} = T_{Timestamp} + T_{UTC}$;

2) 计算 Block 3 的结束时间 $T_{Block_end}(3) = (T_{Packet_end} - 100 \times (6 - 2))_{us} = (T_{Packet_end} - 400)_{us} = (T_{Timestamp} + T_{UTC} - 400)_{us}$, 也即是 Block 3 的第 2 组 Channel 15 时间。其中 100us 表示每个奇偶 block 对结束发光的时间间隔。

3) 查询通道发光时间表 8.1, Block 3 第 1 组的 Channel 3 发光时间($T_0 + (T \times 3)$)与第 2 组 Channel 15 的发光时间($16 \times T + (T_0 + (T \times 15))$)相差($T \times (16 + 15 - 3)$) = 28 个发光周期, 因此, 此通道数据的精确时间 $T_{B3G1C3} = (T_{Block_end}(3) - 28 \times T)_{us} = ((T_{Timestamp} + T_{UTC} - 400) - 28 \times 3.125)_{us}$ 。其中 $16 \times T$ 为每个数据块中每组通道结束时间间隔。

9 附录 A. 点云显示软件

9.1 介绍

本章节是为了指导用户及开发人员使用镭神智能的 16 线激光雷达及配套的激光雷达点云显示软件。

9.2 适用范围

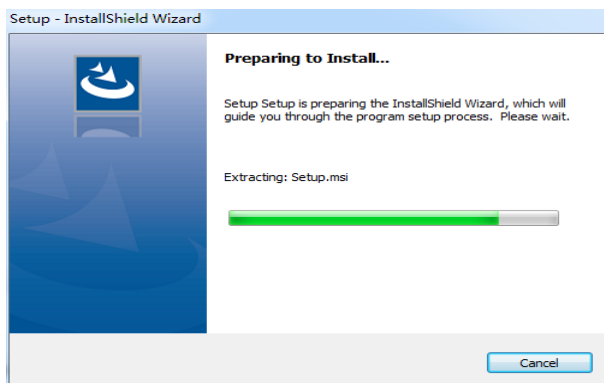
镭神智能多线激光雷达显示软件适用于镭神智能 16 线激光雷达。

9.3 软件安装

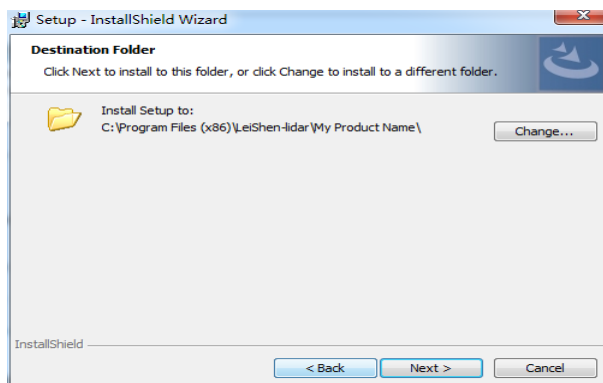
1、安装环境

本软件目前只能运行在 Windows x64 系统操作平台下。对安装软件的计算机配置要求为：CPU: Intel (R) Core (TM) i5 以上，显卡：NVIDIA GeForce GTX750 以上效果最好，否则可能影响软件的显示效果。且需要在安装完成镭神多线软件后，补充安装随软件安装文件携带的 WinPcap 第三方库。

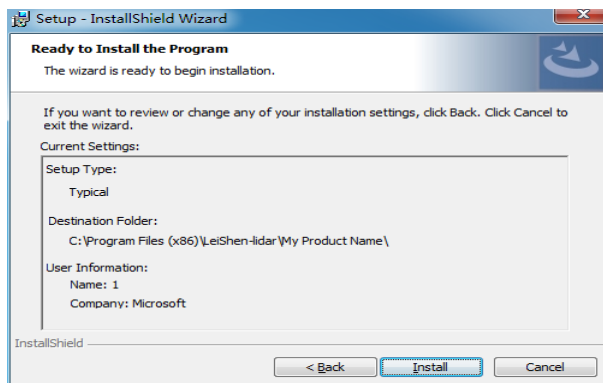
2、将雷达附赠软件安装光盘插入光驱，打开光盘内容，双击安装文件。

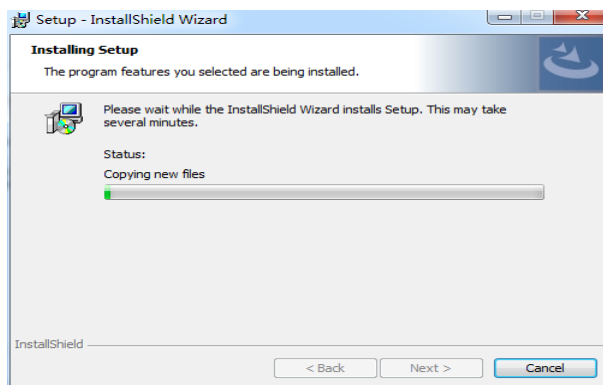


3、点击 next 进入安装路径选择界面。




4、完成自定义安装路径后(请不要使用中文路径)，点击 next 进入安装界面，点击 install 按钮，等待完成安装。

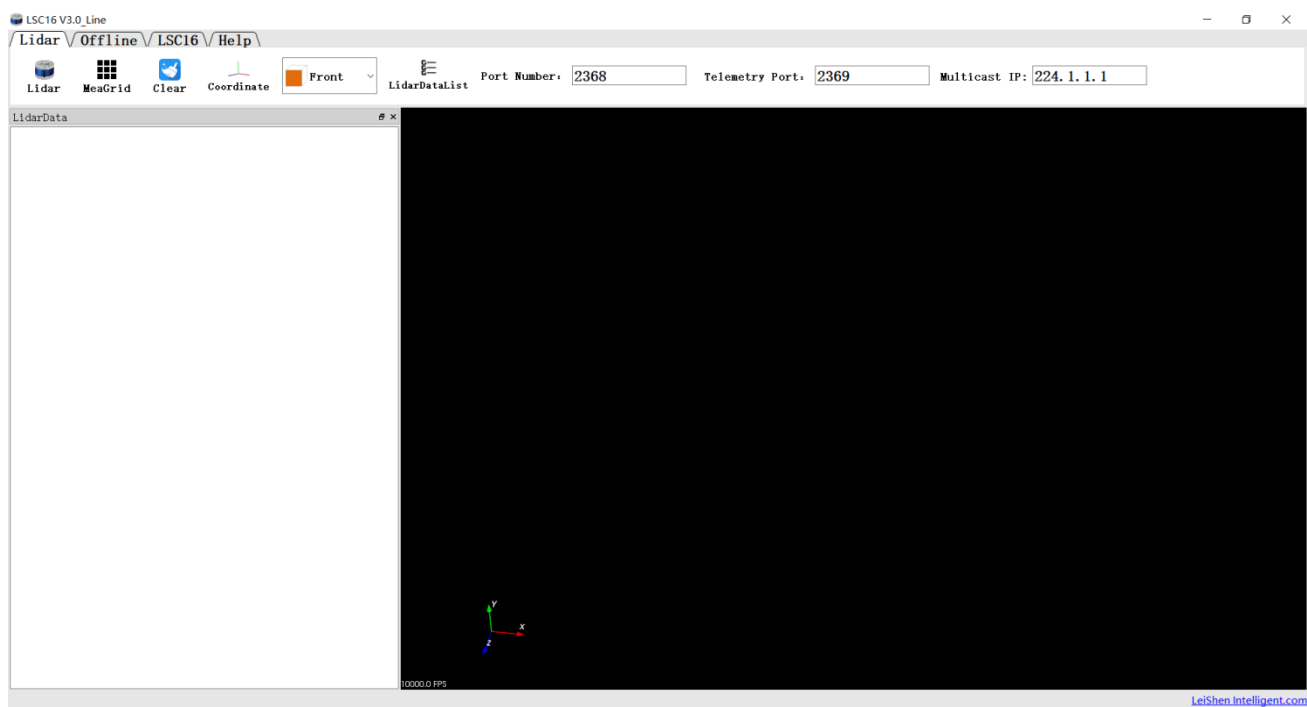




9.4 功能介绍和使用

镭神智能激光雷达显示系统的运行

双击桌面上的快捷图标： 初始界面如下图所示：




1) 工具栏按钮功能介绍

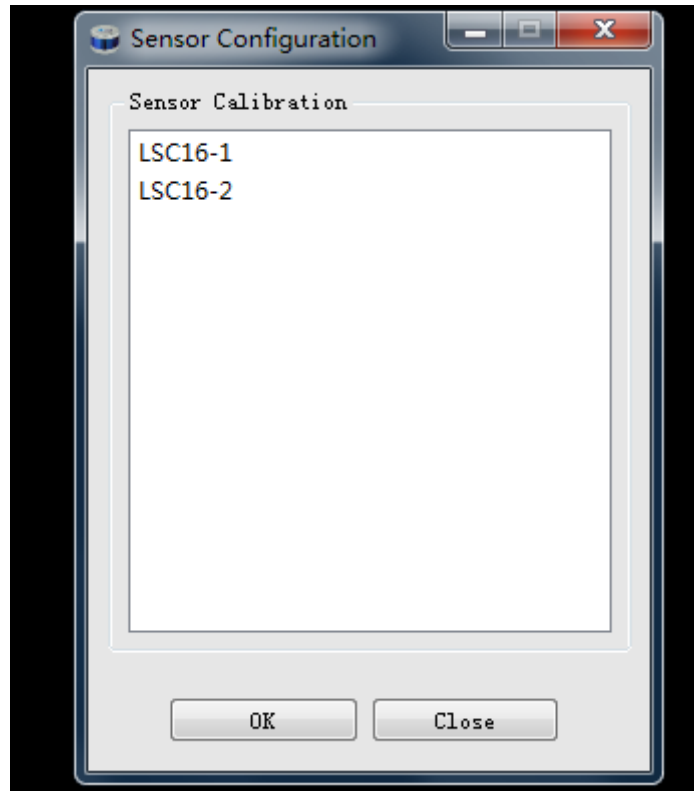
实时雷达数据接收按钮介绍

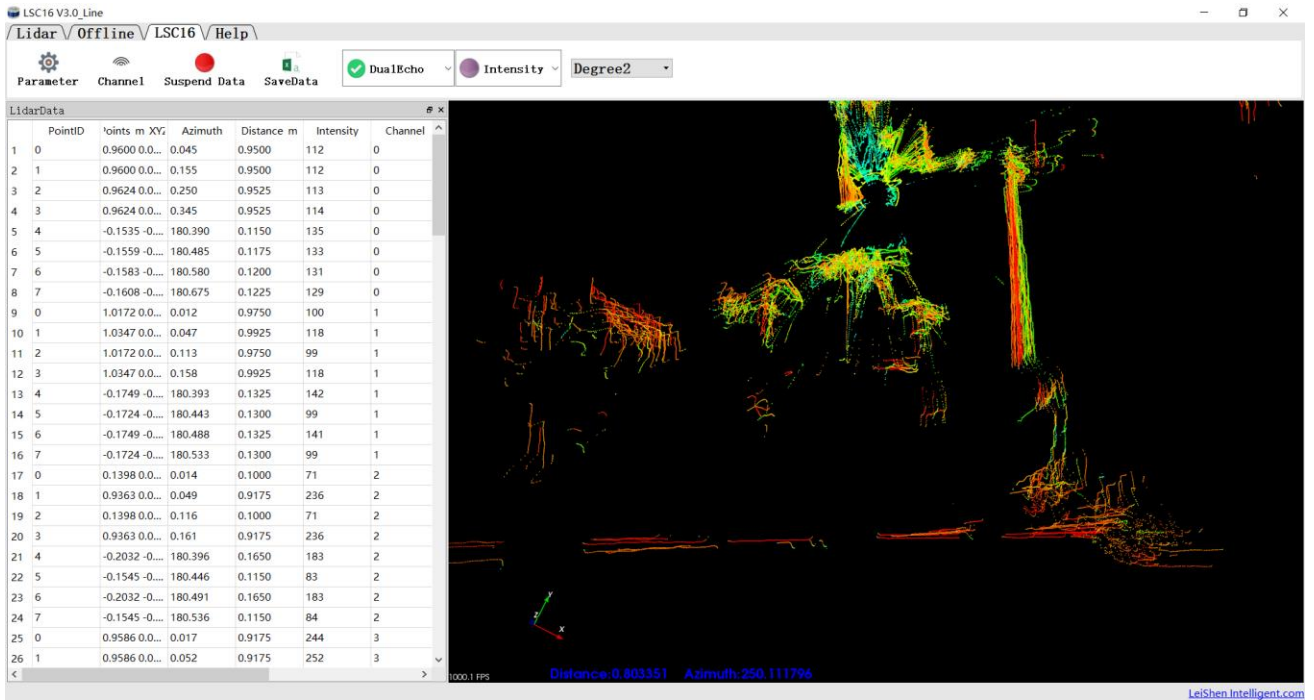
设置数据端口号（默认 2368），设备包端口号（默认 2369）

Data Port: 2368 Telemetry Port: 2369



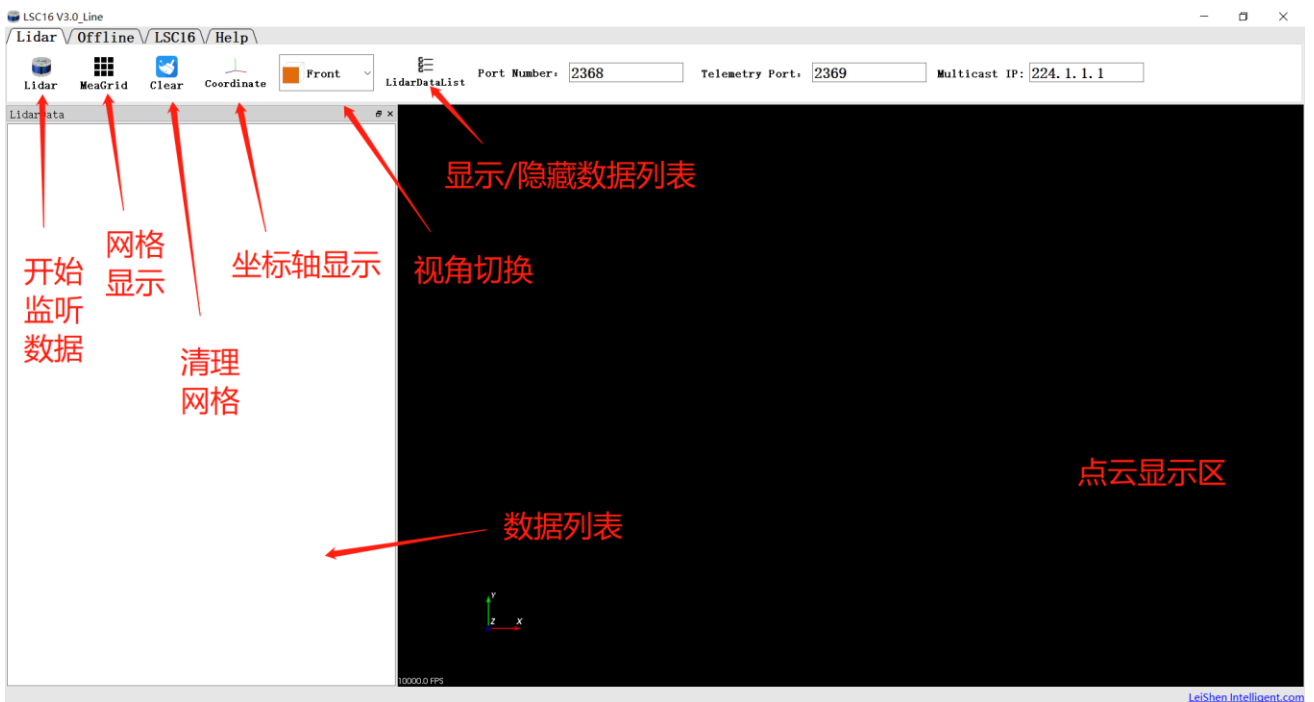
当雷达的电源和网线连接后，点击按钮，实现实时接收雷达数据。在弹出的雷达使用向导界面中点击确定按钮，则软件自动探测数据是否接收到，进行实时数据处理与显示，点击取消按钮，则不会接收雷达数据显示。选择 LSC16-1（单次回波）或 LSC16-2（双次回波）数据直接显示。





软件界面相关介绍：

软件界面包含菜单区、工具栏区、3D 视窗区域、数据表区域、播放帧信息区、公司网站链接等。各部分的标示如下图所示：

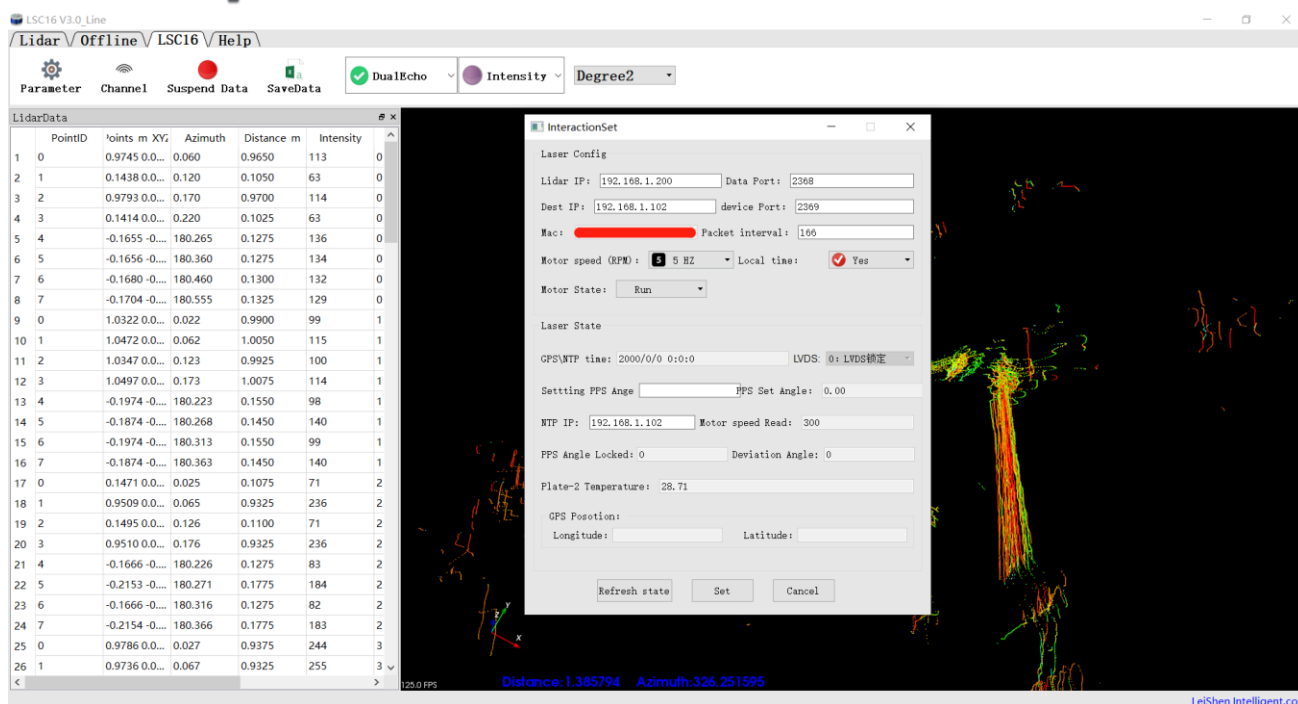


数据表包含 (PointID、Points_m_XYZ、adjustedtime、Azimuth、Distance、Intensity、Laser_id、

timestamp)。其中的 PointID 为点号, Points_m_XYZ 为空间 x、y、z 的坐标。Azimuth 为方位角、Distance 为距离、Intensity 为反射强度、Laser_id 为雷达通道、adjustedtime 为调节时间、timestamp 为时间戳。

用户配置写入

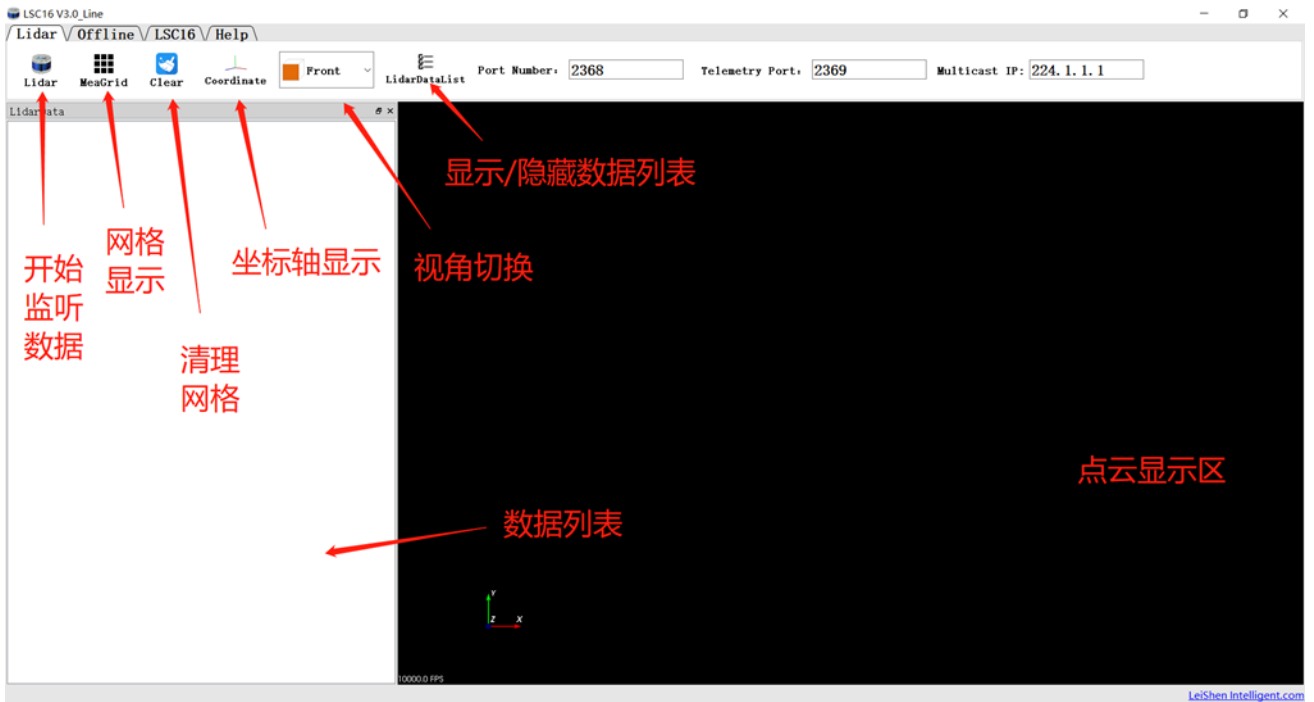
点击图标弹出雷达参数设置窗体, 如下图所示, 可以实现对雷达进行相关的设置。



窗体上部为雷达参数设置部分, 可以设置的参数包括雷达本地 IP, 雷达目的 IP, 雷达本地端口, 雷达目的端口, **雷达转速设置**(在 combobox 下可选择 5hz/10hz/20hz 三种转速模式), 是否获取本地时间, Mac 地址信息, 是否停止雷达。下面部分为雷达实时状态信息栏, 根据雷达定时发出的 DIFOP 状态包, 显示雷达当前的状态信息, 包括 GPS 位置信息, 卫星时间信息, 电机转速、雷达当前 IP、雷达当前端口号。


点击**状态信息刷新**, 可获取雷达的之前的配置信息(设备信息流内容), 填写设置信息之后, 点击**设置按钮**, 按照此步骤使用软件配置最佳。UCWP 数据包发送给雷达, 雷达接收到 UCWP 包后, 需断电之后, 使设置生效。


Lidar 菜单

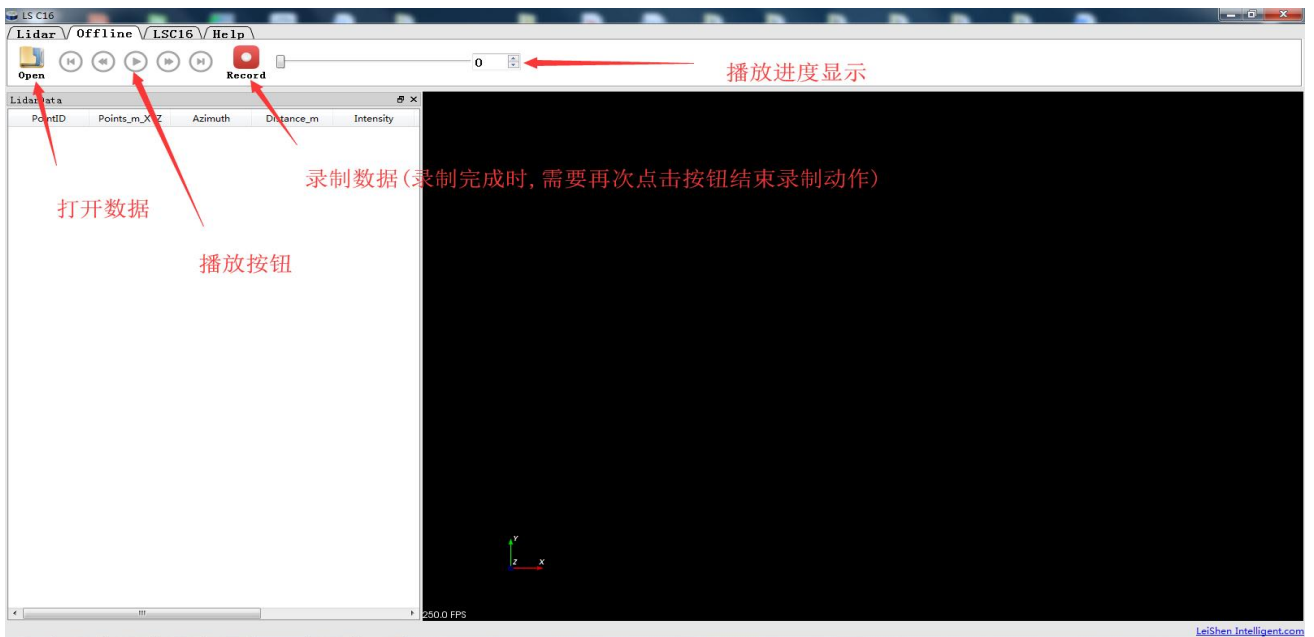


Offline 菜单

点击雷达按钮 ，选择雷达类型。

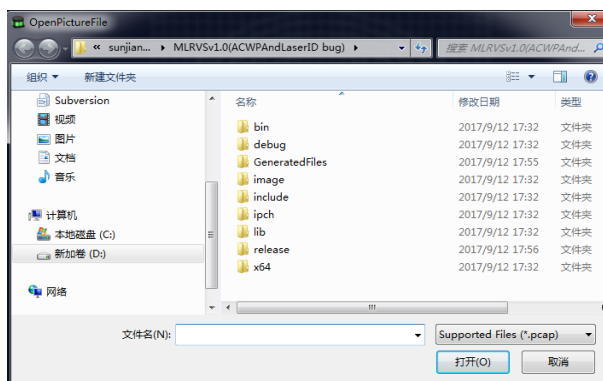
选择  按钮，打开离线数据。

选择  按钮，开始保存离线数据，雷达实时接受数据时有效。




播放 pcap 离线点云文件



点击打开文件按钮弹出对话框：




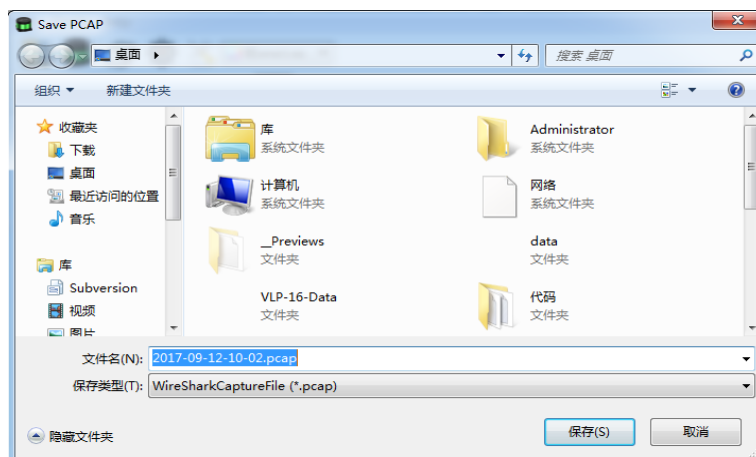
选择要播放的 pcap 文件，点击打开按钮。

点击按钮 ，选择 LSC16 数据直接显示，开始播放离线点云 pcap 文件，可视化点云数据。

播放相关按钮介绍

点击  按钮，播放/暂停按钮，当播放时，点击按钮暂停，暂停时点击  按钮，恢复播放。

点击  按钮存储数据，录制点云 pcap 文件，此功能只能在实时接收雷达数据状态下并且为播放的模式时使用，点击后弹出 pcap 文件存储对话框，选择路径之后开始存储，如下所示：



再次点击  则停止存储。

注：在播放离线 pcap 文件时，按钮处于灰色，该功能处于不可使用状态。



工具栏中进度条显示播放文件的进度，输入框中的数据为当前播放的帧数。

点云显示介绍

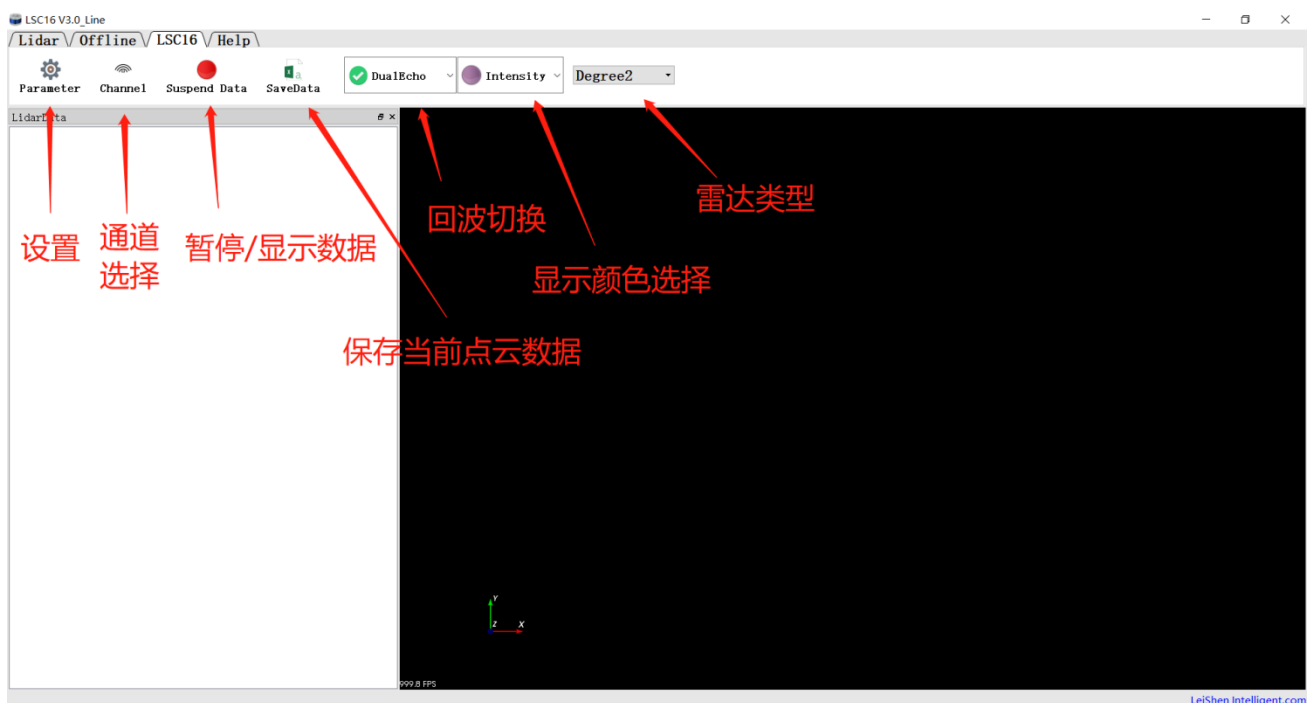
20 个圆和 40*40 的网格，每两个相邻的圆半径相差 10m，每两个网格(横向或者纵向)间相差 10m，最外层圆圈半径为 200m。网格和辅助圆便于用户查看点云的位置。


3D 显示界面坐标轴的方向与点云参考系 x-y-z 轴上的 X-Y 轴方向一致。

点云显示界面支持操作：

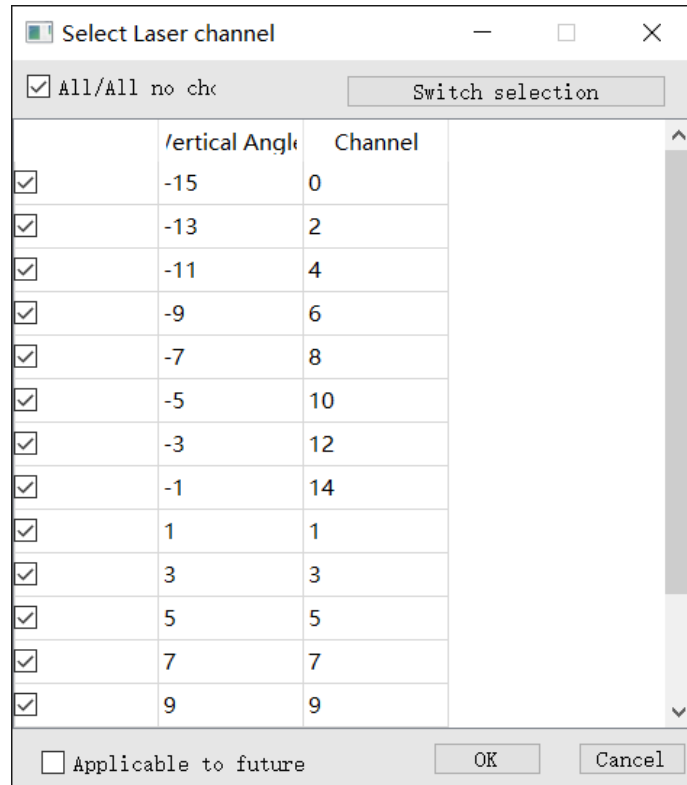
1. 鼠标滚轮进行放大/缩小显示界面；按住鼠标右键向上 /向下拖动，也可进行放大/缩小操作。
2. 按住鼠标左键拖动，可以调整显示界面的视角；
3. 按住鼠标滚轮拖动，可进行平移显示界面；或者按住键盘上的 shift 键与鼠标左键也可以进行界面的平移。

LSC16 菜单

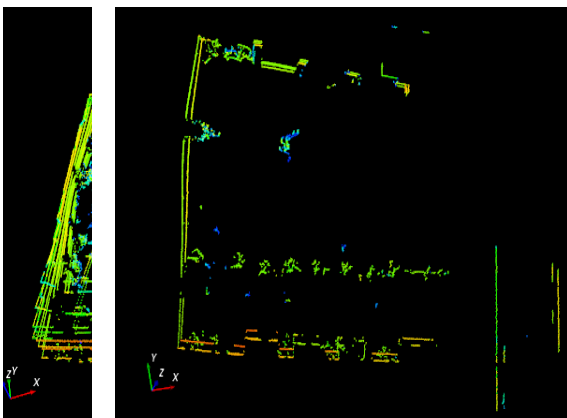


选择  按钮，控制雷达相关通道号是/否显示。点击左侧的复选框可以相应的关闭(打开)某一通道

数据，点击左上角的选择全部/全部不选可以一次性的打开（关闭）所有通道数据。点击左下角的适用于以后对话框，可以记录当前雷达线束选择状态，便于下次应用。窗体表格中的 Vertical Angle 表示对应通道数据在垂直方向的角度、channel 表示通道对应的数据排列序号。



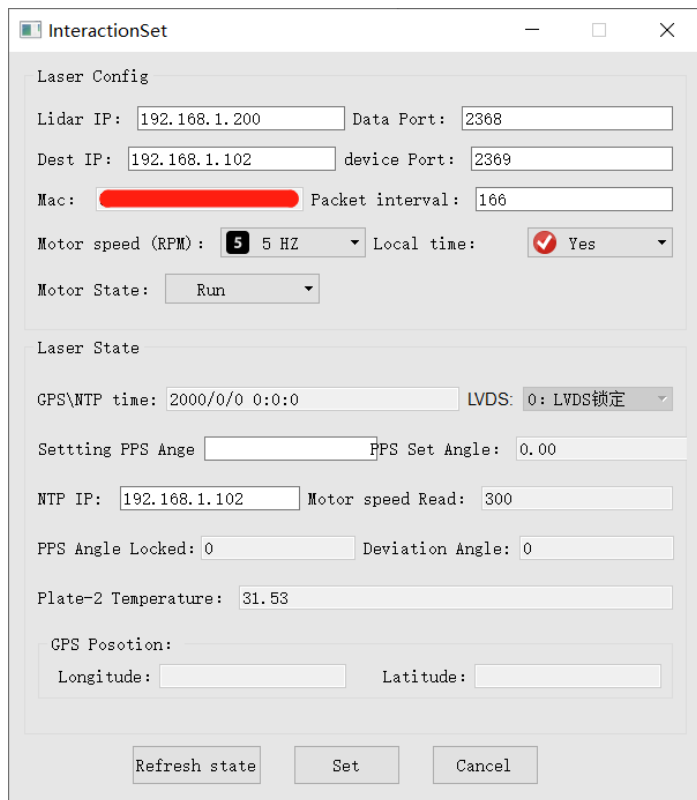
如下图所示，左图为隐藏 16 线中部分通道数据，右图为完整数据：



9.5 雷达网络通讯模式的参数配置示例

单播

雷达的源 IP 地址和目的 IP 地址在同一网段。



The screenshot shows the 'InteractionSet' configuration window. It is divided into two main sections: 'Laser Config' and 'Laser State'.
Laser Config:
- Lidar IP: 192.168.1.200
- Data Port: 2368
- Dest IP: 192.168.1.102
- device Port: 2369
- Mac: (redacted)
- Packet interval: 166
- Motor speed (RPM): 5 5 HZ
- Local time: ☒ Yes
- Motor State: Run
Laser State:
- GPS\NTP time: 2000/0/0 0:0:0
- LVDS: 0: LVDS锁定
- Setting PPS Ange: (empty)
- PPS Set Angle: 0.00
- NTP IP: 192.168.1.102
- Motor speed Read: 300
- PPS Angle Locked: 0
- Deviation Angle: 0
- Plate-2 Temperature: 31.53
- GPS Posotion: (empty)
- Longitude: (empty)
- Latitude: (empty)
At the bottom, there are three buttons: 'Refresh state', 'Set', and 'Cancel'.

雷达的源 IP 地址和目的 IP 地址在不同网段时，如雷达目的 IP 地址是 192.168.10.102，雷达源 IP 是 192.168.1.200，**需要通过交换机进行连接。**

InteractionSet

Laser Config

Lidar IP: 192.168.1.200 Data Port: 2368

Dest IP: 192.168.10.102 device Port: 2369

Mac: XXXXXXXXXX Packet interval: 1

Motor speed (RPM): 5 5 HZ Local time: ☒ Yes

Motor State: Stop

Laser State

GPS\NTP time: 2000/0/0 0:0:0 LVDS: 0: LVDS锁定

Setting PPS Ange PPS Set Angle: 0.00

NTP IP: 0.0.0.0 Motor speed Read: 108

PPS Angle Locked: 0 Deviation Angle: 0

Plate-2 Temperature: 31.37

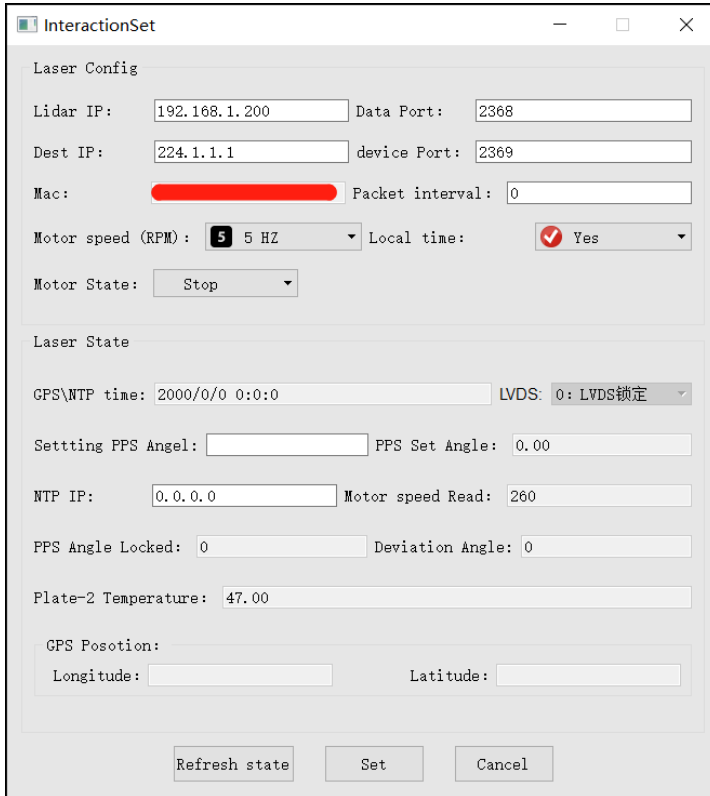
GPS Posotion:

Longitude: Latitude:

Refresh state Set Cancel

组播

雷达的目的 IP 是组播组的地址。



The image shows a software window titled "InteractionSet" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window is divided into two main sections: "Laser Config" and "Laser State".

Laser Config Section:

- Lidar IP: 192.168.1.200
- Data Port: 2368
- Dest IP: 224.1.1.1
- device Port: 2369
- Mac: [Redacted]
- Packet interval: 0
- Motor speed (RPM): 5 5 HZ (dropdown menu)
- Local time: [Checked] Yes (checkbox)
- Motor State: Stop (dropdown menu)

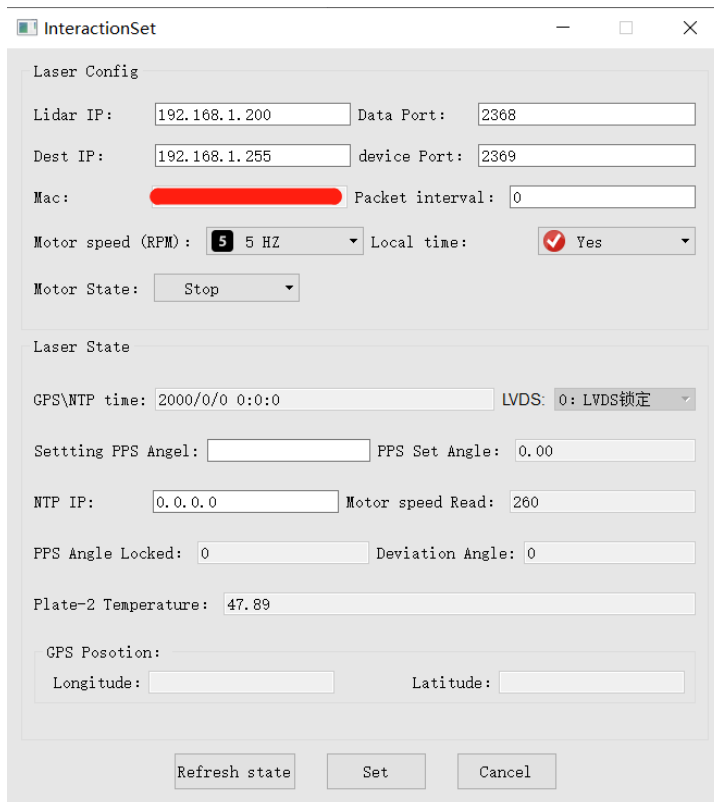
Laser State Section:

- GPS\NTP time: 2000/0/0 0:0:0
- LVDS: 0: LVDS锁定 (dropdown menu)
- Settting PPS Angel: [Empty]
- PPS Set Angle: 0.00
- NTP IP: 0.0.0.0
- Motor speed Read: 260
- PPS Angle Locked: 0
- Deviation Angle: 0
- Plate-2 Temperature: 47.00
- GPS Posotion: [Empty]
- Longitude: [Empty]
- Latitude: [Empty]

At the bottom of the window, there are three buttons: "Refresh state", "Set", and "Cancel".

广播

设置雷达工作在广播模式下，雷达的目的 IP 地址是广播地址，且雷达的源 IP 地址和雷达的目的 IP 地址在同一个网段。



The image shows a software window titled "InteractionSet" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window is divided into two main sections: "Laser Config" and "Laser State".

Laser Config Section:

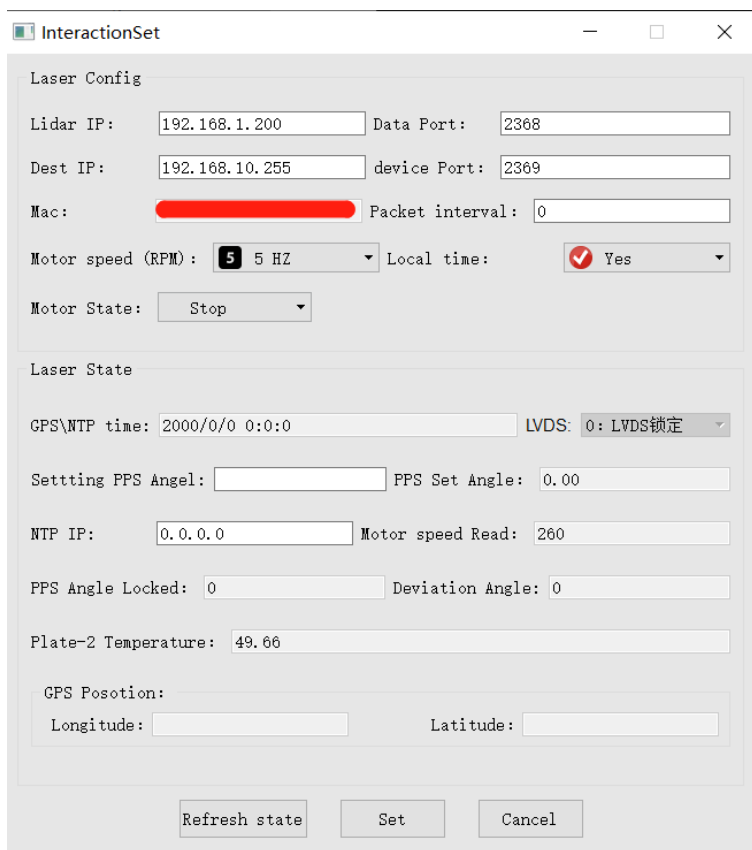
- Lidar IP: 192.168.1.200
- Data Port: 2368
- Dest IP: 192.168.1.255
- device Port: 2369
- Mac: [Redacted]
- Packet interval: 0
- Motor speed (RPM): 5 5 HZ (dropdown menu)
- Local time: [Checked] Yes (checkbox)
- Motor State: Stop (dropdown menu)

Laser State Section:

- GPS\NTP time: 2000/0/0 0:0:0
- LVDS: 0: LVDS锁定 (dropdown menu)
- Settting PPS Angel: [Empty]
- PPS Set Angle: 0.00
- NTP IP: 0.0.0.0
- Motor speed Read: 260
- PPS Angle Locked: 0
- Deviation Angle: 0
- Plate-2 Temperature: 47.89
- GPS Posotion: [Empty]
- Longitude: [Empty]
- Latitude: [Empty]

At the bottom of the window, there are three buttons: "Refresh state", "Set", and "Cancel".

雷达的目的 IP 地址是广播地址，且雷达的源 IP 地址和雷达的目的 IP 地址不在同一个网段时，**需要通过交换机进行连接。**



The image shows a software window titled "InteractionSet" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window is divided into two main sections: "Laser Config" and "Laser State".

Laser Config Section:

- Lidar IP: 192.168.1.200
- Data Port: 2368
- Dest IP: 192.168.10.255
- device Port: 2369
- Mac: [Redacted]
- Packet interval: 0
- Motor speed (RPM): 5 5 HZ (dropdown menu)
- Local time: Yes (checkbox checked)
- Motor State: Stop (dropdown menu)

Laser State Section:

- GPS\NTP time: 2000/0/0 0:0:0
- LVDS: 0: LVDS锁定 (dropdown menu)
- Settting PPS Angel: [Empty field]
- PPS Set Angle: 0.00
- NTP IP: 0.0.0.0
- Motor speed Read: 260
- PPS Angle Locked: 0
- Deviation Angle: 0
- Plate-2 Temperature: 49.66
- GPS Posotion: (Label with typo)
- Longitude: [Empty field]
- Latitude: [Empty field]

At the bottom of the window, there are three buttons: "Refresh state", "Set", and "Cancel".

9.6 注意

1、雷达设置使用问题：

(1) 在同一台电脑中不能同时使用镭神 16 线激光雷达显示软件两次进程（同时打开两次）接收数据，由于 PC 机的端口暂用一般具有排他性，一个进程绑定指定端口号后，其他相同进程或者使用同一端口号的软件均不能正常工作，例如 Veloview 软件使用相同端口号，则不能在同一 PC 上使用这两种软件同步接收雷达数据，会导致其中一方软件崩溃。同时由于软件开发底层使用了 Qt，对中文路径不能识别，所以在文件命名及路径文件夹命名时请不要使用中文路径。

镭神 16 线激光雷达显示软件检测到端口被暂用后，会提示通信网口配置失败，并且自动关闭软件，用户需关闭占用端口的软件进程，并且重新打开镭神 16 线激光雷达显示软件，方能正常使用。

(2) 由于镭神 16 线激光雷达能够通过用户配置修改端口号，雷达通过预设好的目的 IP 和端口向上位机发送数据，所以本地的笔记本或者台式机及其他设备在接收数据时，需将 IP 设置为雷达的目的 IP，本地的上位机程序绑定的端口需为设置好的目的端口号，如下图所示，通过 Wireshark 抓取分析的数据包参

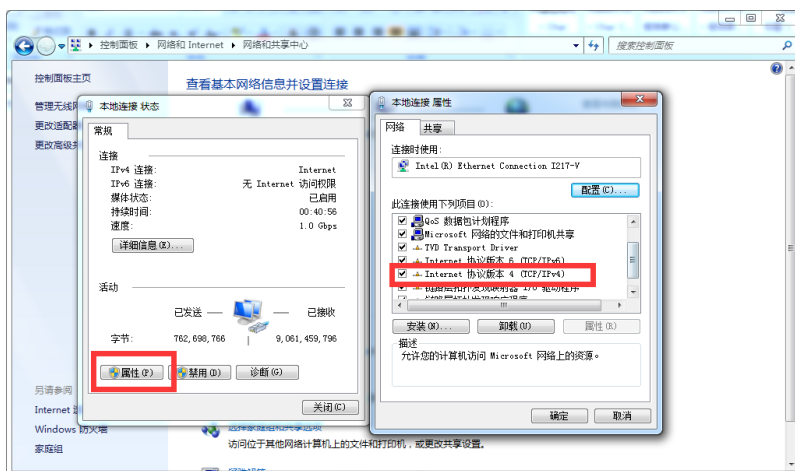
数:

	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	192.168.3.208	192.168.3.144	UDP	1248	2368 → 2368 Len=1206
2	0.000704	192.168.3.208	192.168.3.144	UDP	1248	2368 → 2368 Len=1206
3	0.001318	192.168.3.208	192.168.3.144	UDP	1248	2368 → 2368 Len=1206

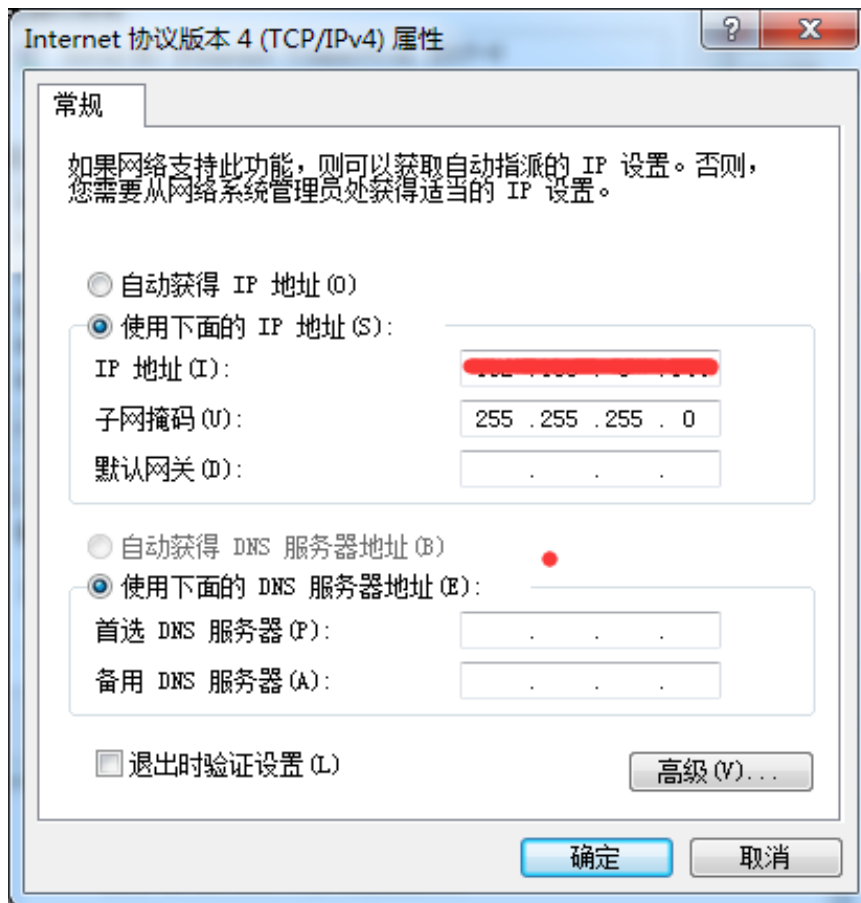
红框中标示出的分别为雷达的目的 IP 和端口。

在控制面板->网络和 Internet->网络共享中心，点击本地连接按钮。

在弹出的状态框中点击属性，在弹出的属性框中点击 TCP/IP4 协议版本，如下图所示。



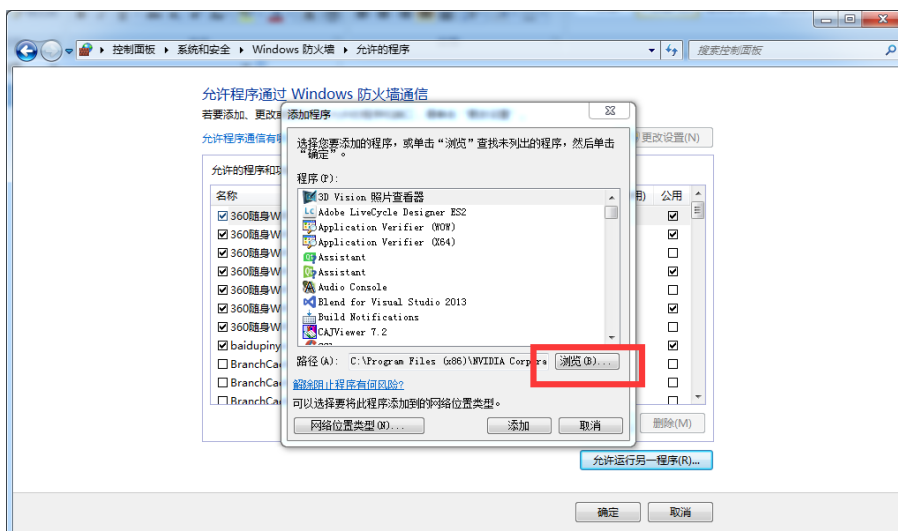
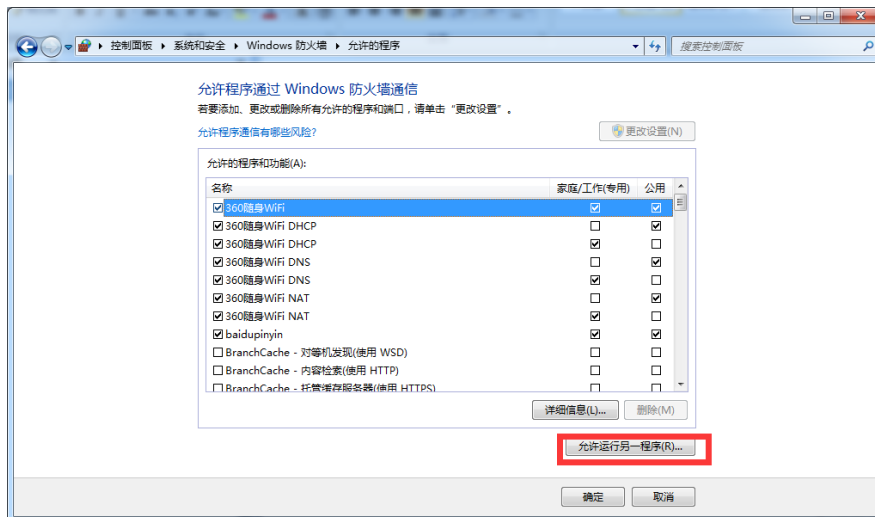
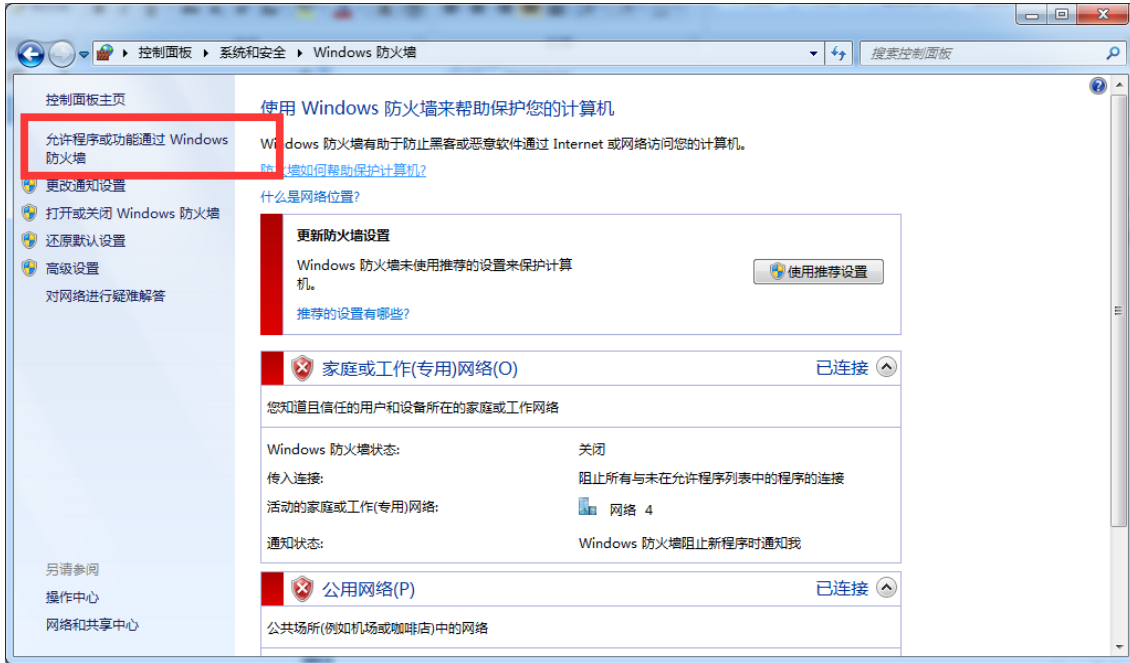
在 TCP/IP4 属性设置中将 ip 地址设置为雷达的目的 IP(在雷达通讯协议中有雷达默认出厂 IP 和端口)，子网掩码设置为 255.255.255.0。



(3) 由于镭神多线雷达显示系统程序需通过网络在短时间内获取大量的数据包，所以可能会被网络防火墙认为是恶意程序而禁止。

可能会出现用 wireshark 软件抓包可以看到数据包已经发送到电脑，但是上位机不能显示的情况。

在控制面板->系统和安全->Windows 防火墙设置中，点击允许程序或功能通过 Windows 防火墙，如下图所示。



通过浏览，找到软件安装路径选中之后点击确定，将程序的网络将设置应用。如下图所示：



根据用户的网络性质将红框中标出的部分勾选，点击确定后，即可看到数据。

2、在具有双显卡的台式机或者笔记本上安装镭神智能多线激光雷达显示软件时，由于电脑操作系统默认的全局设置为使用全局设置（自动选择：集成式显卡），影响软件的显示效率。为保证软件的使用与显示效率，需手动设置电脑显卡设置。

双显卡的情况可在电脑配置中查看，如下图所示，在我的电脑->右键->属性->设备管理器中可以看到电脑的显示适配器情况：

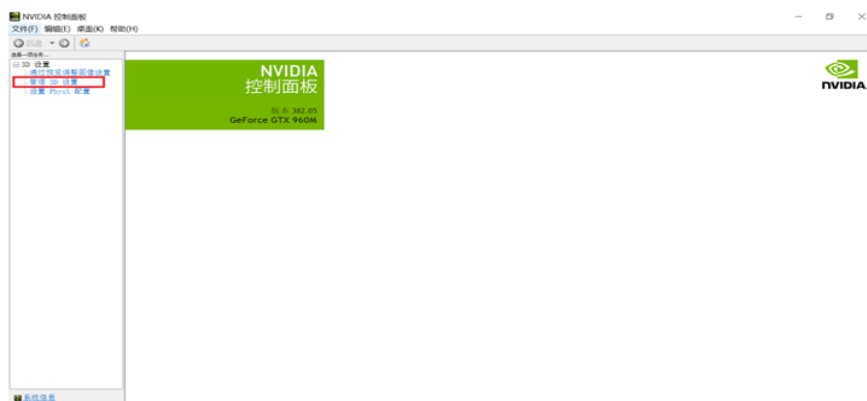


所以需要手动调整设置，将软件的适用显卡手动切换选定为高性能独立显卡。设置步骤如下所示：

1、以安装了 Intel(R)HD Graphics 530 集成显卡和 NVIDIA GeForce GTX 960 独立显卡的笔记本电脑为例，在桌面空白处点击鼠标右键弹出右键菜单，选择 NVIDIA 控制面板。



2、在弹出的 NVIDIA 控制面板程序界面中选择管理 3D 设置按钮，如下图所示。



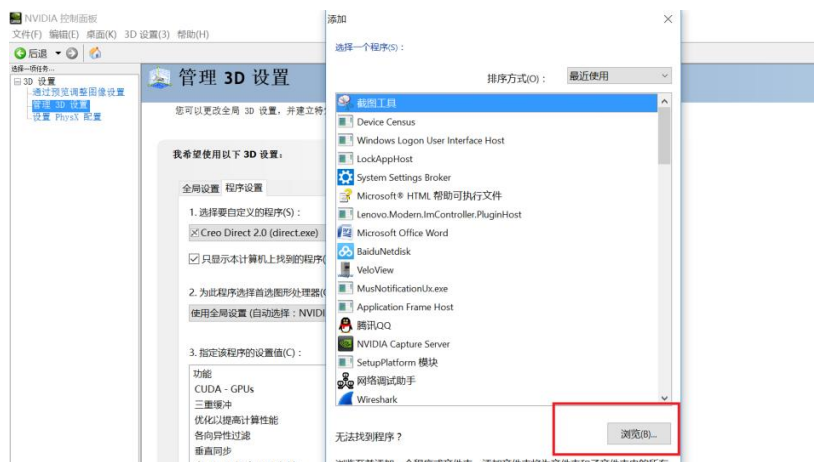
3、在管理 3D 设置界面选择程序设置按钮，如下图所示。



4、在管理 3D 设置界面点击添加按钮，如下图所示。



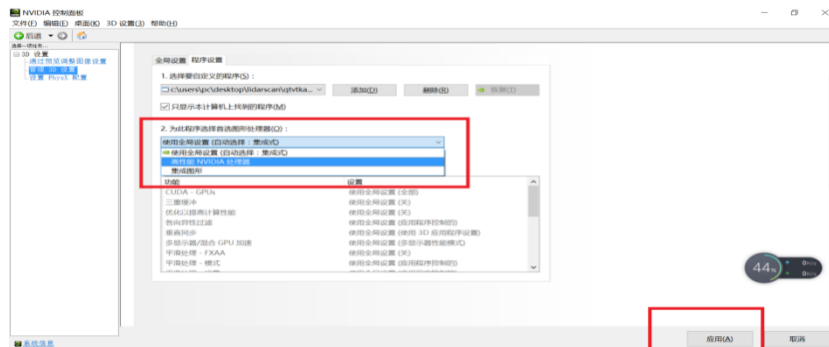
5、在弹出的添加界面中点击浏览按钮，如下图所示。



6、在弹出的浏览界面中根据软件的安装路径找到软件的应用程序文件（.exe 文件）：

名称	修改日期	类型	大小
bin	2017/8/26 17:37	文件夹	
doc	2017/9/13 11:01	文件夹	
iconengines	2017/9/9 15:45	文件夹	
image	2017/9/13 11:48	文件夹	
imageformats	2017/9/9 15:45	文件夹	
include	2017/9/9 15:45	文件夹	
lib	2017/9/9 15:45	文件夹	
platforms	2017/9/13 10:58	文件夹	
system32	2017/9/9 17:05	文件夹	
SysWOW64	2017/9/9 17:05	文件夹	
icudt53.dll	2014/9/3 16:42	应用程序扩展	21,025 KB
icuin53.dll	2014/9/3 16:42	应用程序扩展	2,412 KB
icuc53.dll	2014/9/3 16:42	应用程序扩展	1,675 KB
LSLidar.exe	2017/9/29 10:37	应用程序	817 KB

7、点击确定自动返回 NVIDIA 控制面板，在选项—2. 为此程序选择首选图形处理器下拉框中选择高性能 NVIDIA 处理器，并点击右下角应用，带电脑应用设置完毕之后，关闭 NVIDIA 控制面板，完成设置，如下图所示。



10 附录 B. ROS 系统软件

10.1 硬件连接及测试

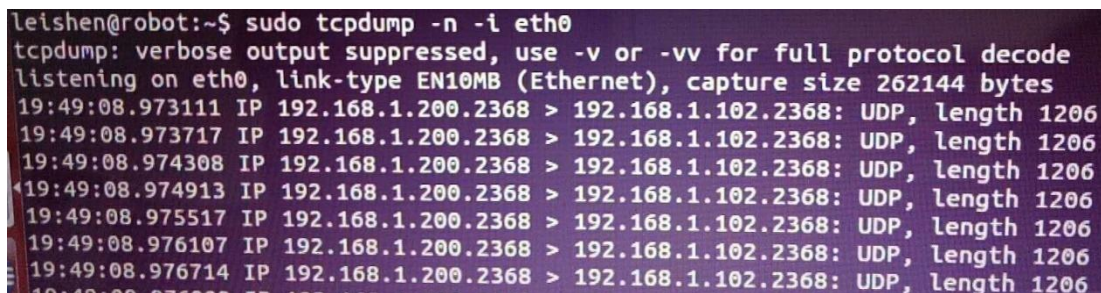
1. 连接雷达网络接口和电源线
2. 根据雷达设置的目标 IP 设置电脑有线连接 IP, (可用 ifconfig 命令查看有线 ip 是否设置成功, 如图目标 ip 为 192.168.1.102)



```
leishen@robot:~$ ifconfig
eth0      Link encap:以太网  硬件地址 c4:54:44:89:ee:52
          inet 地址:192.168.1.102 广播:192.168.1.255 掩码:255.255.255.0
          inet6 地址: fe80::c654:44ff:fe89:ee52/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  跃点数:1
          接收数据包:68364 错误:0 丢弃:0 过载:0 帧数:0
          发送数据包:121 错误:0 丢弃:0 过载:0 载波:0
          碰撞:0 发送队列长度:1000
          接收字节:85304016 (85.3 MB)  发送字节:37473 (37.4 KB)
```

备注: 雷达出厂默认目的 ip: 192.168.1.102, 要根据雷达实际配置修改的目的 IP 对电脑进行配置。

- 1) 雷达上电启动后, 观察电脑有线连接图标是否连接正常
- 2) 打开终端:ping 雷达 IP, 测试硬件是否连接正常, 若 ping 通则正常, 否则检查硬件连接
- 3) 可进一步用:sudo tcpdump -n -i eth0, (此处 eth0 为有线网络设备名, 详见 ifconfig 有线连接显示设备名)查看雷达发送数据包情况(如图显示雷达发送到目的端数据包 1206 个字节,则表示雷达数据发送正常)



```
leishen@robot:~$ sudo tcpdump -n -i eth0
tcpdump: verbose output suppressed, use -v or -vv for full protocol decode
listening on eth0, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
19:49:08.973111 IP 192.168.1.200.2368 > 192.168.1.102.2368: UDP, length 1206
19:49:08.973717 IP 192.168.1.200.2368 > 192.168.1.102.2368: UDP, length 1206
19:49:08.974308 IP 192.168.1.200.2368 > 192.168.1.102.2368: UDP, length 1206
19:49:08.974913 IP 192.168.1.200.2368 > 192.168.1.102.2368: UDP, length 1206
19:49:08.975517 IP 192.168.1.200.2368 > 192.168.1.102.2368: UDP, length 1206
19:49:08.976107 IP 192.168.1.200.2368 > 192.168.1.102.2368: UDP, length 1206
19:49:08.976714 IP 192.168.1.200.2368 > 192.168.1.102.2368: UDP, length 1206
19:49:08.976908 IP 192.168.1.200.2368 > 192.168.1.102.2368: UDP, length 1206
```

备注: 第一次设置 IP 后, 请重启雷达电源。

10.2 软件操作实例

1. 建立工作空间，构建编译环境

```
mkdir -p ~/leishen_ws/src
```

```
cd ~/leishen_ws
```

备注：

工作空间可以任意命名，例如 leishen_ws 可以改成任意命名。

2. 下载雷达驱动和依赖包

备注：

驱动和依赖包也可以直接从我司网站或客服处获取，将获取到的
lslidar_c16_V1.01.180118.tar 拷贝到新建的工作空间 turtlerot_ws/src 下，
使用 `tar -xvf lslidar_c16_V1.01.180118.tar` 命令解压缩即可

3. 编译打包

```
cd ~/leishen_ws
```

```
catkin_make
```

4. 运行程序

```
source ~/leishen_ws /devel/setup.bash
```

```
roslaunch lslidar_c16_decoder lslidar_c16.launch --screen
```

备注：若修改了雷达目的端口及转速，请打开 lslidar_c16.launch 进行相应的修改配置，默认端口为 2368，转速为 10HZ 即 point_num 为 2000 点。

```
process[lslidar_c16_driver_node-2]: started with pid [2805]
process[lslidar_c16_decoder_node-3]: started with pid [2806]
[ INFO] [1516783392.203906505]: Opening UDP socket: address 192.168.1.200
[ INFO] [1516783392.203990664]: Opening UDP socket: port 2368
[ INFO] [1516783392.204029421]: expected frequency: 833.333 (Hz)
[ INFO] [1516783392.205527211]: Opening UDP socket: port 2368
[ INFO] [1516783392.205580293]: Initialised lslidar c16 without error
```

备注：若出现 timeout 则表示驱动无数据接受，请检测硬件连接。

再重新打开一个终端，执行以下命令：

```
roslaunch rviz rviz
```

备注：

如果 1, 2, 3 步已完成，下次再重新打开 Displays 窗口时，只需要从第 4 步开始执行即可

5、显示雷达检测到的数据

在弹出的 Displays 窗口中，将“Fixed Frame”的值修改成 laser_link 即可，同时点击 add 按钮，在 By topic 下点击 PointCloud2 添加多线点云节点。



镭神，让机器更智能，让驾驶更安全，让世界更美好！

深圳市镭神智能系统有限公司

LeiShen Intelligent System Co., LTD.

总部地址: 深圳市宝安区沙井街道蚝乡路运华时代大厦 4 楼

电话 (TEL): +86-0755-23242821

传真 (FAX): +86-0755-23244316

镭神工厂地址: 深圳市光明新区公明街道办田寮社区同观路泰嘉乐工业园办公楼 601

电话 (TEL): +86-0755-27190511

传真 (FAX): +86-0755-23244803

浙江工厂地址: 浙江省嘉善县罗星街道归谷五路 18 号 1 栋 3 层

联系电话: +86-0573-88482301

天津办事处: 天津市南开区红旗南路 582 号豪景国际 C 栋 1601

联系电话: 李先生 (18018784592)

成都办事处: 成都市天府新区华阳华府大道一段一号蓝润 ISC 2 栋 1202 号 (覆盖范围: 西南地区, 西北地区和湖北省)

联系电话: 林先生 (18026965489)

销售邮箱: sales@lslidar.com

售后邮箱: support@lslidar.com

官网: www.leishen-lidar.com

*未经镭神智能事先书面许可, 本手册内容不得以任何方式进行翻版、传播、或储存在可检索系统内。

*本公司已竭尽全力来确保手册迄印刷之止内载信息的准确性和完善性。若您发现任何错误或遗漏, 请您与我们联系, 对此, 我们深表感谢。

*镭神智能保留可随时更改手册内产品信息的权利而无需事先通知。©2019 深圳市镭神智能系统有限公司版权所有, 并保留所有权利。