



robosense
速 腾 聚 创

RS-LiDAR-16

—— 用户手册



修订历史

版本号	修订内容	修订时间	拟制
1.0	初次发行	2017-03-01	RD
3.0	按照 RS-LiDAR-16 1.0 硬件完善手册内容	2017-05-10	RD
3.1	修改激光通道与垂直角度描述 增加参数配置文件描述	2017-06-13	PD
3.2	按照 RS-LiDAR-16 2.0 硬件进行内容更新 增加每个点的时间计算方法	2017-07-17	PD
3.3	提升测距能力到 150m 删除 MAC 地址和序列号相同的描述 增加角度插值的方法 更正 UCWP 包数据格式结构描述 增加 RSVIEW 使用说明 增加 ROS 驱动使用说明	2017-08-10	PD
3.4	增加 ROS 驱动中坐标系的定义描述 增加 RSVIEW 中设备信息配置方法描述	2017-08-23	PD
3.5	修正水平角分辨率描述 增加 LiDAR 坐标原点物理位置说明	2017-09-16	PD
3.6	更新 RSVIEW 设备信息配置和端口设置 更新 DIFOP 包协议说明	2017-12-05	PD
3.7	更正图纸中定位孔深度尺寸 增加 Phase Lock 说明 增加故障诊断说明 增加运行状态说明	2018-02-05	PD
3.8	增加故障排除章节	2018-03-15	PD
4.0	MSOP 包中增加 LiDAR 型号标志位 更新 DIFOP 包协议 增加主板固件版本和底板固件版本描述 增加 GPS 输入状态标志位 增加激光排列物理位置坐标 增加底板固件在线升级 增加故障诊断使用方法 增加激光雷达安装建议	2018-06-25	PD
4.1	增加传感器清洁说明 增加 RSVIEW 兼容性说明	2018-08-04	PD

	增加 LiDAR 走线注意事项		
4.2	细化 LiDAR 供电注意事项 增加 LiDAR 安装支架上下间距说明 修改 DIFOP 数据格式 增加激光安全等级说明 增加航插版本接口说明及定义 增加 Interface Box 连接示意图 更新 GPS 同步协议说明 增加 RS232 转 TTL 转接板连线图及引脚定义 增加回波模式说明 增加故障说明项 修改 UCWP 数据格式，增加 FOV 设置协议说明 更新附录 C RSVIEW 使用说明 增加 0.5cm 分辨率说明 增加反射率 mode 3 说明 更正 GPS 接口定义标识错误	2019-05-30	PD
4.3	本版本手册适用于 V4.0 及其以后版本的雷达， V4.0 以前版本的雷达请参考 4.2 版本的手册 修正航插接口定义及示意图 增加恶劣环境下清洁提醒 适配 V4.0 版本雷达，每秒出点数 320000/S 修改为~300000/S； 适配 V4.0 版本雷达，点云水平角分辨率为由 0.09° -0.36° 修改为 0.1° -0.4° ； 更改工作温度为-30℃-60℃； 适配 V4.0 版本雷达，在附录 A 中精确的点时间计算中设备的通道间的发射间隔从 3us 修改为 2.8us，block 的时间从 50us 修改为 55.5us 新增 Ubuntu 系统下替换雷达参数文件说明 新增 V4.0 版本雷达接口盒 GPS pin 脚定义	2019-07-10	PD
4.3.1	更新电气接口示意图 网络接线定义中增加 “LiDAR”		
4.3.2	更正文中一些描述错误点； 增加机械安装说明； 更新 RSVIEW 下载地址 增加雷达通光面介绍 增加产品规格脚注说明	2019-12-11	PD
4.3.3	更换附录 E 结构图纸	2020-2-18	PD

	修正部分描述不准确内容		
--	-------------	--	--

术语表

MSOP	主数据流输出协议，Main data Stream Output Protocol，简称：MSOP
DIFOP	设备信息输出协议，Device Info Output Protocol，简称：DIFOP
UCWP	用户配置写入协议：User Configuration Write Protocol，简称：UCWP
Azimuth	雷达的水平角
Timestamp	时间戳，记录系统时间
Header	协议包中的帧头
Tail	协议包中的帧尾

目录

1 安全提示.....	1
2 产品简介.....	2
3 产品规格.....	3
3.1 规格参数.....	3
3.2 精度说明.....	4
4 电气接口.....	5
4.1 设备电源.....	5
4.2 电气安装.....	5
4.3 Interface Box 接口说明.....	6
4.4 Interface Box 连接.....	8
5 通信协议.....	9
5.1 主数据流输出协议（MSOP）.....	10
5.1.1 帧头.....	11
5.1.2 数据块区间.....	12
5.1.3 帧尾.....	14
5.1.4 数据包示范数据.....	14
5.2 设备信息输出协议（DIFOP）.....	16
5.3 用户配置写入协议（UCWP）.....	17
6 GPS 同步.....	19
6.1 GPS 时间同步原理.....	19
6.2 GPS 使用.....	19
7 关键特性.....	21
7.1 回波模式.....	21
7.1.1 回波模式原理.....	21
7.1.2 最强回波.....	21
7.1.3 最强，最后及双回波.....	21
7.1.4 回波模式标志.....	21
7.2 相位锁定.....	22
8 点云呈现.....	23
8.1 坐标映射.....	23
8.2 典型场景点云呈现.....	23
9 垂直角度定义.....	26
10 反射率信息解读.....	28
11 故障排除.....	30
附录 A 精确的点时间计算.....	32
附录 B 各寄存器定义详情.....	33
B.1 电机转速（MOT_SPD）.....	33
B.2 以太网（ETH）.....	33
B.3 FOV 设置（FOV_SET）.....	34
B.4 电机锁相相位(MOT_PHASE).....	34
B.5 主板固件版本(TOP_FRM).....	34
B.6 底板固件版本(BOT_FRM).....	35

B.7 垂直角校准 (COR_VERT_ANG)	35
B.8 序列号 (SN)	35
B.9 上位机驱动兼容性信息 (SOFTWARE_VER)	36
B.10 时间 (UTC_TIME)	36
B.11 运行状态 (STATUS)	37
B.12 故障诊断 (FALT_DIGS)	38
B.13 GPRMC 数据包-ASCII 码数据类型.....	39
附录 C RSView.....	40
C.1 软件功能.....	40
C.2 安装 RSView.....	40
C.3 设置网路.....	41
C.4 可视化数据.....	41
C.5 保存 RS-LIDAR-16 数据为 PCAP 格式.....	42
C.6 回放 pcap 数据.....	43
C.7 RS-LiDAR-16 工厂固件信息配置.....	46
C.8 配置 RSView Data Port.....	47
C.9 在线固件升级.....	48
C.10 故障诊断.....	49
附录 D RS-LiDAR-16 ROS Package.....	51
D.1 安装软件.....	51
D.2 编译 RS-LiDAR-16 ROS Package.....	51
D.3 配置电脑 IP.....	51
D.4 实时显示.....	52
D.5 查看离线数据.....	52
附录 E 结构图纸.....	54
附录 F 机械安装建议.....	55
附录 G 查找 MSOP 和 DIFOP 类型的包对应的端口.....	56
附录 H 传感器清洁.....	57
H.1 注意事项.....	57
H.2 需要的材料.....	57
H.3 清洁方法.....	57

非常感谢您购买了 RS-LiDAR-16 激光雷达产品，请您认真阅读并祝您使用愉快！

1 安全提示

为避免损坏设备及违反保修条款，请勿打开传感器。

- 激光安全等级

本产品激光安全等级符合以下标准：

IEC 60825-1:2014;

- 阅读说明 - 请在使用本产品之前，认真阅读所有安全和操作说明。
- 遵循说明 - 请遵循所有操作和使用说明。
- 保留说明 - 请保留所有安全和操作说明，以备将来参考。
- 注意警告 - 请遵守产品和操作说明中的所有警告，以免发生意外。
- 产品维修 - 在操作中描述的内容之外，请不要尝试维修产品。如需维修，请及时联系本公司。

2 产品简介

RS-LiDAR-16 是深圳市速腾聚创科技有限公司新推出的 16 线激光雷达，是世界领先的小型激光雷达，主要面向无人驾驶汽车环境感知、机器人环境感知、无人机测绘等领域。

RS-LiDAR-16 采用混合固态激光雷达方式，集合了 16 个激光收发组件，测量距离高达 150 米，测量精度 $\pm 2\text{cm}$ 以内，出点数高达 300,000 点/秒，水平测角 360° ，垂直测角 $-15^\circ\sim 15^\circ$ 。

RS-LiDAR-16 通过 16 个激光发射组件快速旋转的同时发射高频率激光束对外界环境进行持续性的扫描，经过测距算法提供三维空间点云数据及物体反射率，可以让机器看到周围的世界，为定位、导航、避障等提供有力的保障。

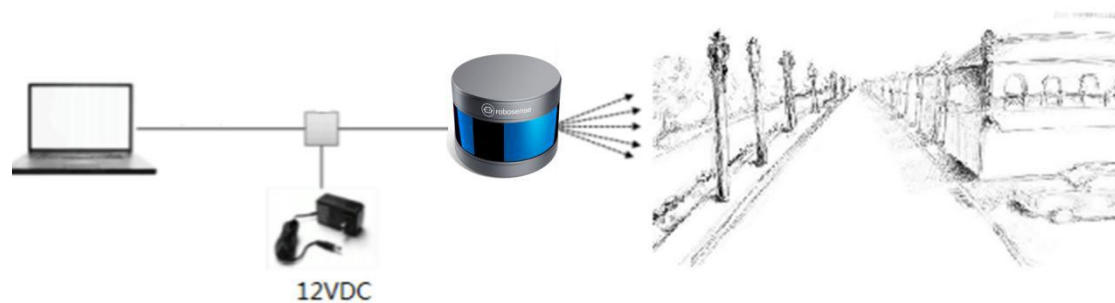


图 1 RS-LiDAR-16 激光雷达成像系统

该设备的使用过程包括以下步骤：

- 连接 RS-LiDAR-16 设备；
- 解析数据包获得旋转角，测距信息，以及校准反射率；
- 依据雷达的旋转角，测距以及垂直角度计算 XYZ 坐标值；
- 根据需求存储数据；
- 可读取设备当前状态配置信息；
- 可根据需求重新配置以太网、时间、转速信息。

3 产品规格¹

3.1 规格参数

表 1 产品规格

传感器	<ul style="list-style-type: none"> ● TOF 法测距 16 通道 ● 测距：40cm 至 150 米（目标反射率 20%）² ● 精度：±2cm（典型值，具体分布参考图 2 精度说明）³ ● 视角（垂直）：±15°（共 30°） ● 角分辨率（垂直）：2° ● 视角（水平）：360° ● 角分辨率（水平/方位角）：0.1°（5Hz）至 0.4°（20Hz） ● 转速：300/600/1200rpm（5/10/20Hz）
激光	<ul style="list-style-type: none"> ● Class 1 ● 波长：905nm ● 激光发射角（全角）：水平 7.4mrad，垂直 1.4mrad
输出	<ul style="list-style-type: none"> ● ~300k 点/秒 ● 百兆以太网 ● UDP 包中包含 <ul style="list-style-type: none"> 距离信息 旋转角度信息 经校准的反射率信息 同步的时间标签（分辨率 1us）
机械 / 电子操作	<ul style="list-style-type: none"> ● 功耗：12w(典型值)⁴ ● 工作电压：9-32VDC（需要配备接口盒子和稳定的电源） ● 重量：0.87kg（不包含数据线）

¹ 以下数据只针对量产产品，任何样品、试验机等其他非量产版本可能并不适用本规格数据，如有疑问请联系速腾聚创销售；

² 测距能力以 20% NIST 漫反射板作为目标，测试结果会受到环境影响，包括但不限于环境温度、光照强度等因素；

³ 测距精度以 50% NIST 漫反射板为目标，测试结果会受到环境影响，包括但不限于环境温度、目标物距离等因素，且精度值适用于大部分通道，部分通道之间存在差异；

⁴ 设备功耗测试结果会受到外部环境影响，包括但不限于环境温度、目标物的距离、目标物反射率等因素；

- 尺寸： 直径 109mm * 高 80.7 mm
- 防护安全级别： IP67
- 工作环境温度范围： -30℃~60℃⁵
- 存储环境温度范围： -40℃~85℃

3.2 精度说明

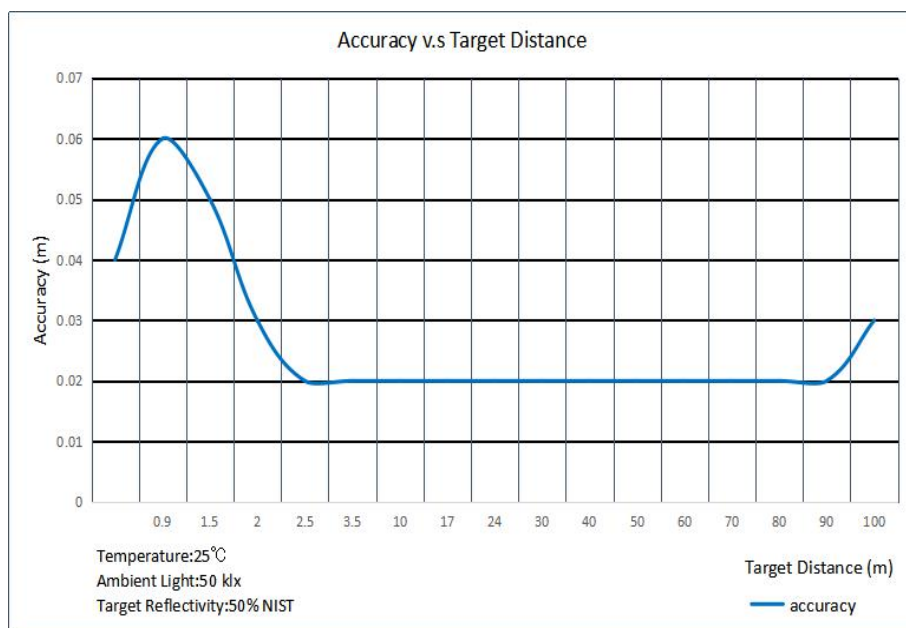


图 2 精度与目标物距离关系

⁵ 设备运行温度可能会受到外部环境影响，包括但不限于光照环境、气流变化等因素；

4 电气接口

4.1 设备电源

在配备接口盒子一同使用的时候，设备供电要求电压范围 9-32 VDC，推荐使用 12 VDC。

如果不使用接口盒子给连接雷达的端子供电，必须使用经过稳压的 12VDC。V4.0 及以后版本雷达将宽压功能集成在雷达内部，所以可以使用 9-32VDC 直接给雷达供电。

设备工作状态下功耗约为 12W（典型值）。

4.2 电气安装

RS-LiDAR-16 激光雷达从主机下壳体侧面引出的缆线（电源/数据线）的另一端使用了标准的 SH1.25 接线端子，接线端子针脚序号如下图所示。

用户使用 RS-LiDAR-16 可将 SH1.25 端子插入 Interface BOX 中对应的位置。

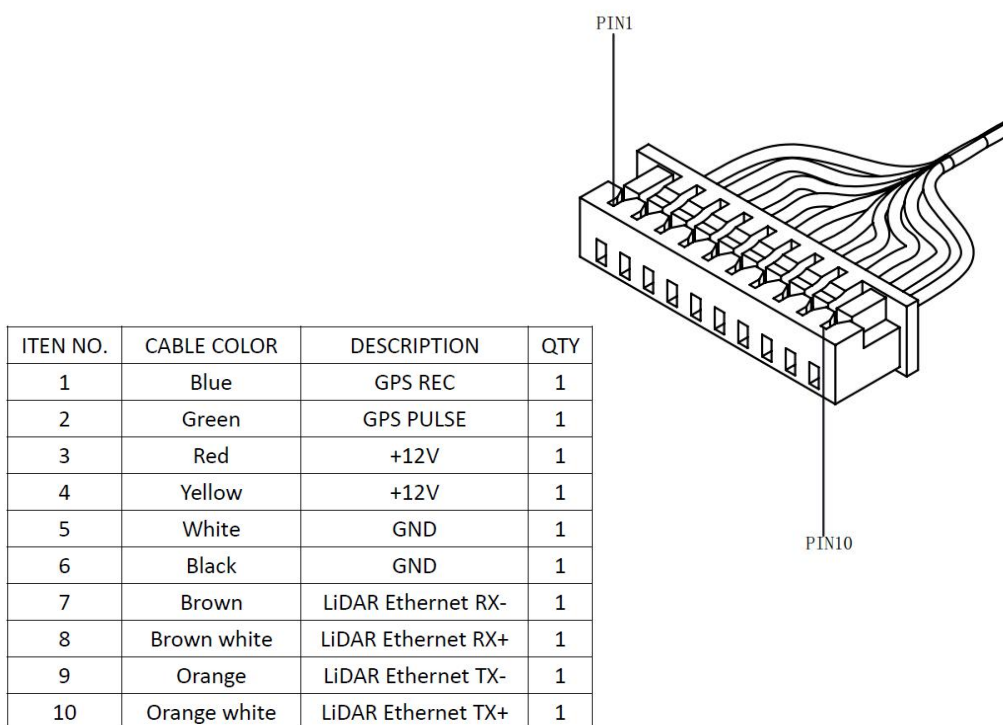
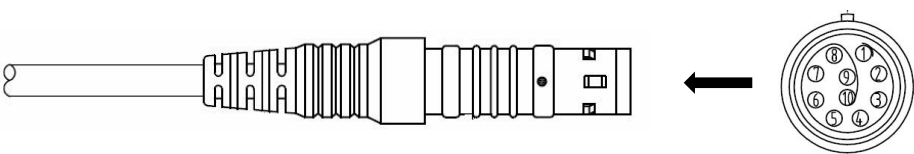


图 3 接线端子针脚序号

RS-LiDAR-16 具备使用航插接口的版本，雷达侧面主机到航插头的线缆长度为 1 米。航

插接口上具体引脚定义如下：



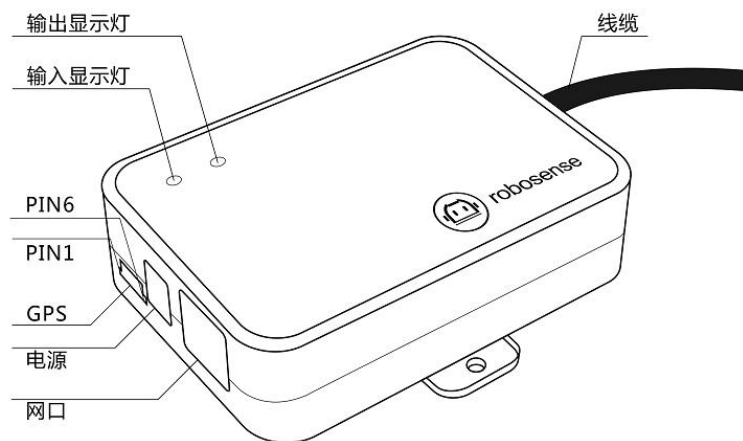
Pin	Wire Color	Function
1	Red	+12V
2	Yellow	+12V
3	White	GROUND
4	Black	GROUND
5	Green	GPS PULSE
6	Blue	GPS REC
7	Brown	LiDAR Ethernet RX-
8	Brown white	LiDAR Ethernet RX+
9	Orange	LiDAR Ethernet TX-
10	Orange white	LiDAR Ethernet TX+

图 4 航插接口引脚序号

4.3 Interface Box 接口说明

RS-LiDAR-16 出厂默认接驳 Interface BOX。

RS-LiDAR-16 附件 Interface BOX 具有电源指示灯及各类的接口，可接驳电源输入、网线及 GPS 输入线。其端口包含：设备电源输入（DC 5.5-2.1 母座），RS-LiDAR-16 数据输出（RJ45 网口座）以及 GPS 设备输入（SH1.0-6P 母座）。航插版接口盒线长有 3 米，有其他线长需求请联系 Robosense 技术支持。因为雷达版本不同，接口盒 GPS 口的定义和电平要求有两种，各接口相对应的位置如下图所示：



Pin No.	V4.0 and later versions	Other versions
1	GPS PULSE	GPS REC
2	+5V	GPS PULSE
3	GND	GND
4	GPS REC	NC
5	GND	NC
6	NC	+5V

图 5 Interface BOX 接口定义

注意：RS-LiDAR-16 的“地”与外部系统连接时，外部系统供电电源负极（“地”）与 GPS 系统的“地”必须为非隔离共地系统。

电源正常输入时，红色电源输入指示灯亮起；电源正常输出时，绿色电源输出指示灯亮起。当输入指示灯点亮，输出指示灯暗灭时，Interface BOX 进入保护状态。如输入指示灯及输出指示灯同时暗或灭时，请检查电源输入是否正常，如电源输入正常，即 Interface BOX 可能已经损坏，请返厂维修。

GPS 接口定义：GPS REC 为 GPS UART 输入；GPS PULSE 为 GPS PPS 输入。

网络接口遵循 EIA/TIA568 标准。

电源接口使用标准 DC 5.5-2.1 接口。

4.4 Interface Box 连接

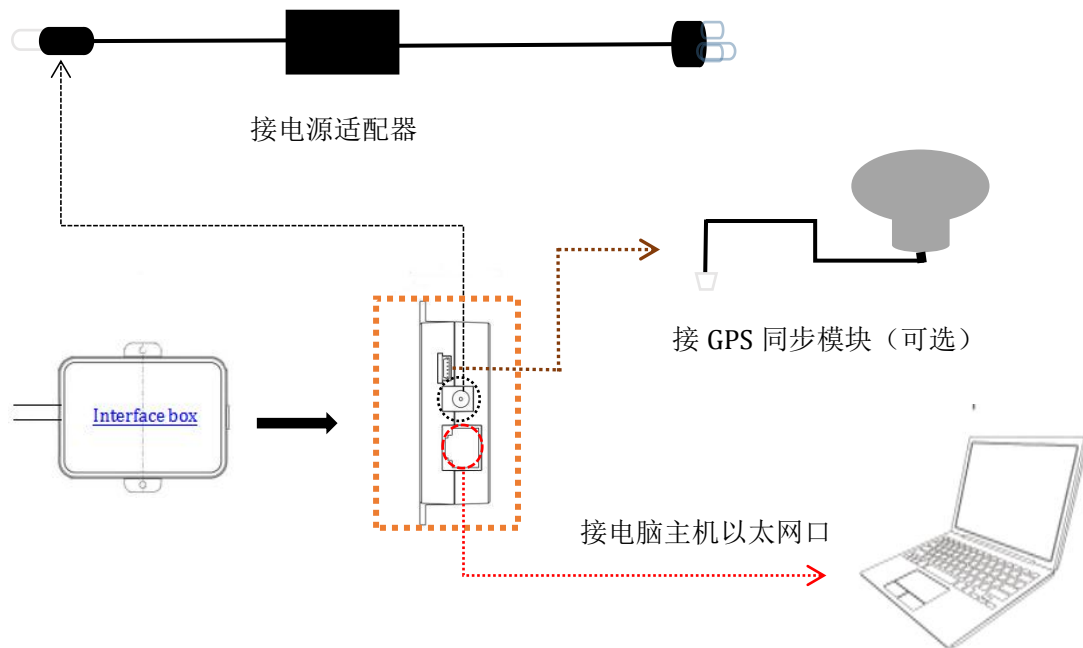


图 6 Interface Box 连接示意图

5 通信协议

RS-LiDAR-16 与电脑之间的通信采用以太网介质，使用 UDP 协议，输出包有两种类型：MSOP 包和 DIFOP 包。文中所有涉及 UDP 的协议包均为 1290byte 定长，其中 1248byte 为有效载荷，其余 42byte 为 UDP 封包开支。RS-LiDAR-16 网络参数可配置，出厂默认采用固定 IP 和端口号模式，按照如下表格。

表 2 出厂默认网络配置表

	IP 地址	MSOP 包端口号	DIFOP 包端口号
RS-LiDAR-16	192.168.1.200	6699	7788
电脑	192.168.1.102		

设备默认 MAC 地址是在工厂初始设置的，但是设备 MAC 地址可根据需求改动。

使用设备的时候，需要把电脑的 IP 设置为与设备同一网段上，例如 192.168.1.x(x 的取值范围为 1~254)，子网掩码为 255.255.255.0。若不知设备网络配置信息，请连接设备并使用 Wireshark 抓取设备输出包进行分析。

RS-LiDAR-16 和电脑之间的通信协议主要分三类，一览表见下表格。

- 主数据流输出协议 MSOP，将激光雷达扫描出来的距离，角度，反射率等信息封装成包输出给电脑；
- 设备信息输出协议 DIFOP，将激光雷达当前状态的各种配置信息输出给电脑；
- 用户权限写入协议 UCWP，用户可以根据自己需求，重新修改激光雷达的某些配置参数。

表 3 设备协议一览表

（协议/包）名称	简写	功能	类型	包大小	发送间隔
Main data Stream Output Protocol	MSOP	扫描数据输出	UDP	1248byte	约 1.33ms
Device Information Output Protocol	DIFOP	设备信息输出	UDP	1248byte	约 100ms
User Configuration Write Protocol	UCWP	配置设备参数输入	UDP	1248byte	INF

注：下面章节皆为对协议中的有效载荷（1248byte）部分进行描述和定义。

5.1 主数据流输出协议（MSOP）

主数据流输出协议：Main data Stream Output Protocol，简称：MSOP

I/O 类型：设备输出，电脑解析

默认端口号为 6699

MSOP 包完成三维测量相关数据输出，包括激光测距值、回波的反射率值、水平旋转角度值和时间戳。MSOP 包的有效载荷长度为 1248 字节，其中 42byte 的同步帧头 Header ，1200byte 的数据块区间（共 12 个 100byte 的 data block），以及 6byte 帧尾 Tail。

单回波数据包的基本结构如下图所示：

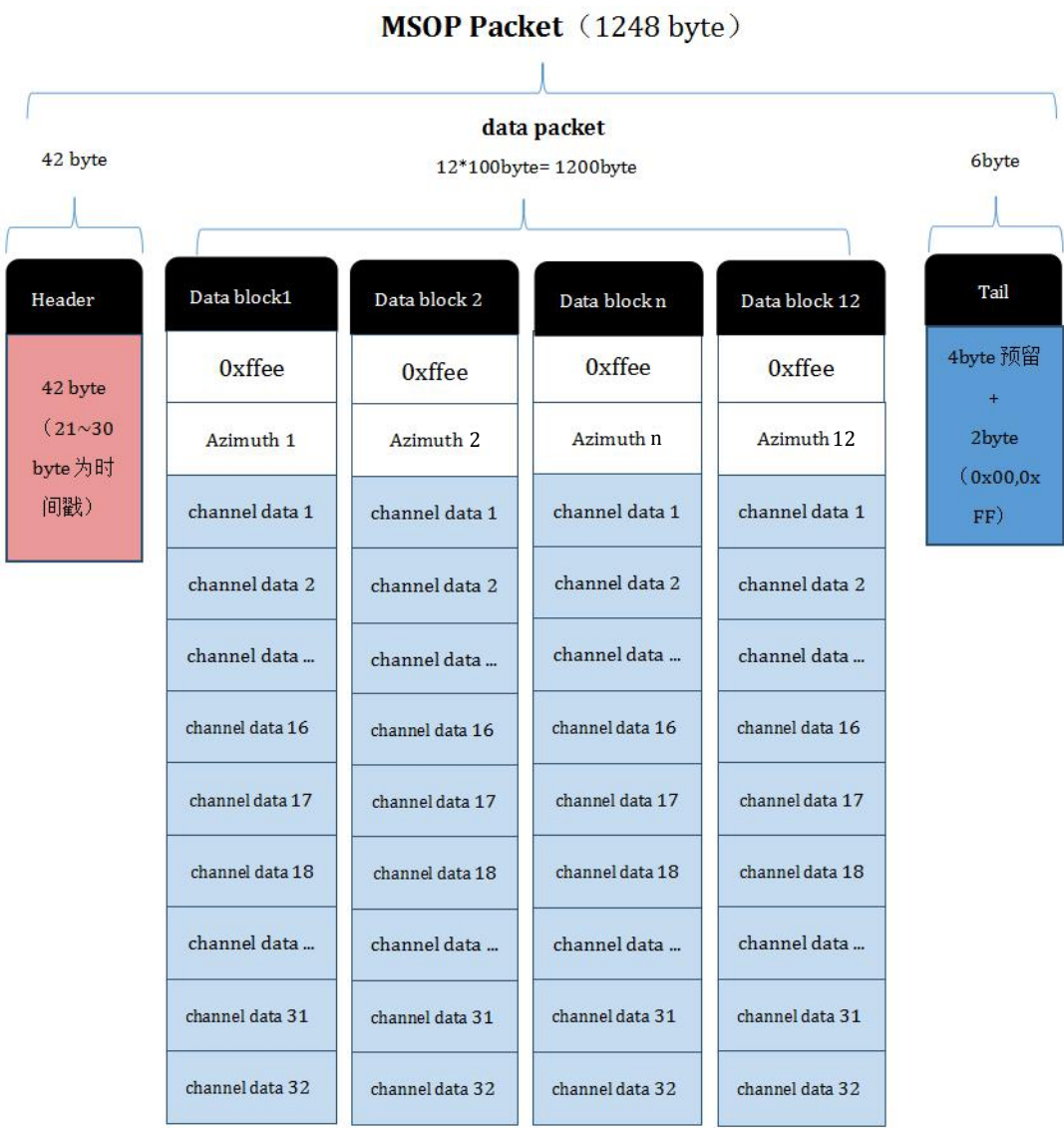


图 7 单回波 MSOP Packet 数据包定义示意图

双回波数据包的基本结构如下图所示:

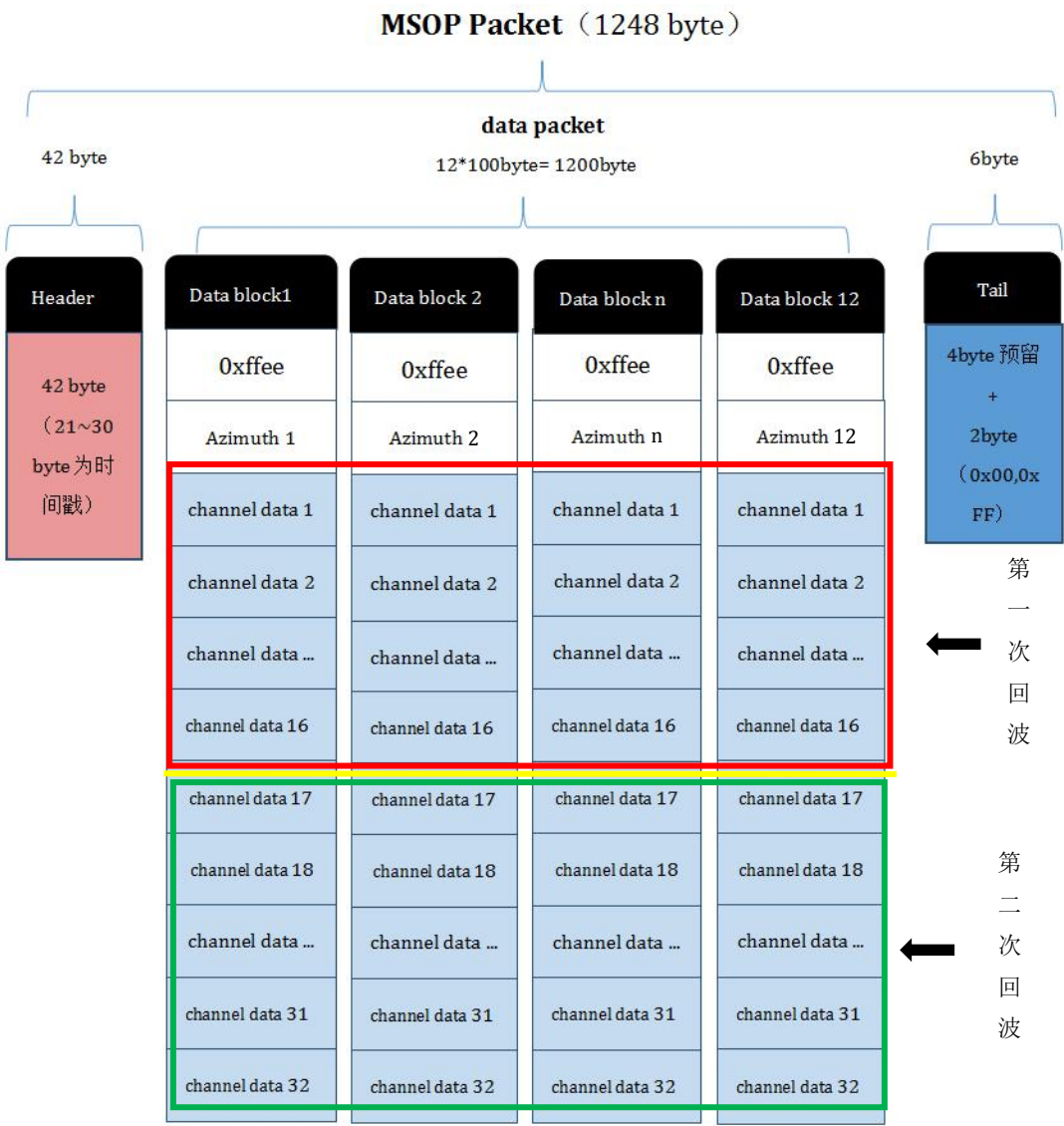


图 8 双回波 MSOP Packet 数据包定义示意图

5.1.1 帧头

帧头 Header 共 42byte，用于识别出数据的开始位置。

在 Header 的 42byte 数据中有 8byte 用于数据包头的检测，剩下 34byte 中，21~30byte 存储时间戳，第 31byte 用于表示激光雷达的型号，其余作预留处理，为后续的更新升级使用。

Header 的 8byte 定义为 0x55,0xAA,0x05,0x0A,0x5A,0xA5,0x50,0xA0，可作为包的检查

序列。

定义的时间戳用来记录系统的时间，分辨率为 1us，可以参考[附录 B.10](#)中的时间定义以及本章第 3 小节的表 8 对时间的解析。

第 31byte 的激光雷达的型号标识位描述如下表 4 所示：

表 4 LiDAR Model 标志位描述

LiDAR Model (1 byte)	
0x01	RS-LiDAR-16
0x02	RS-LiDAR-32

5.1.2 数据块区间

数据块区间是 MSOP 包中传感器的测量值部分，共 1200byte。它由 12 个 data block 组成，每个 block 长度为 100byte，代表一组完整的测距数据。Data block 中 100byte 的空间包括：2byte 的标志位，使用 0xffee 表示；2byte 的 Azimuth，表示水平旋转角度信息，每个角度信息对应着 32 个的 channel data，包含 2 组完整的 16 通道信息。（通道序号与垂直角度的关系参见文中第 9 章中的定义）。

5.1.2.1 角度值定义

在每个 Block 中，RS-LiDAR-16 输出的水平角度值是该 Block 中第一个通道激光测距时的角度值。角度值来源于角度编码器，角度编码器的零位即角度的零点，水平旋转角度值的分辨率为 0.01 度。事实上每个 data block 区域有 32 组的 channel data，对应两次 16 线测距信息，而每个 data block 只有一个水平旋转角度值，因此单回波模式下每个 data block 水平旋转角度值对应于该 data block 中的第一次 16 线测距中的第一通道的测量时的水平角度，第二次 16 线测距中的第一通道的水平角度对应需通过在点云解析过程中进行插值计算得到新的角度（插值做法请参考 5.1.2.2 的介绍说明）。

例如，在图 10 中，数据包的角度值计算方式是：

获取的数据包里的角度值得十六进制数：0x00, 0x44。

将数据组成 16bit，为 16bit 无符号整型数据。表示为：0x0044。

转换为十进制数字：68。

除以 100。

结果：0.68 度。

因此，这次的发射激光角度值为 0.68 度。

注意：设备规定的角度值为零对应的位置为图 14 中 Y 轴正方向所指位置。

5.1.2.2 角度插值

RS-LiDAR-16 每隔一组 16 线激光测距才输出一组水平旋转角度信息，因此在单回波模式下，对于没有输出水平旋转角度信息的那组 16 线激光测距需要通过插值来获得。有很多种方式可以插值，下面的方法是最简单和直接的一种。

对于一个 Packet 中的数据，Block 1 和 Block 2 的第一个数据采集的时间间隔是 ~100us，可以认为在这个期间雷达是匀速旋转的。因此可以计算第 N+1 组 16 线激光测距的第一个数据的水平角度是第 N 组 16 线激光测距的第一个数据的水平角度和第 N+2 组 16 线激光测距的第一个数据的水平角度的均值。

如下是伪代码，代码会检测在第 N 组到第 N+2 组的时候是否水平旋转角度从 359.99 经过 0 度。如下设定 N=1:

```
// First, adjust for a rollover from 359.99° to 0°
    If (Azimuth[3] < Azimuth[1])
    Then Azimuth[3] := Azimuth[3] + 360;
    Endif;

// Perform the interpolation
Azimuth[2] := Azimuth[1] + ((Azimuth[3] - Azimuth[1]) / 2);
// Correct for any rollover over from 359.99° to 0°
    If (Azimuth[2] > 360)
    Then Azimuth[2] := Azimuth[2] - 360;
    Endif
```

5.1.2.3 channel data 定义

channel data 是 3byte，高两字节用于表示距离信息，低一字节用于表示反射率信息，如下图所示。

表 5 channel data 示意图

Channel data n (3 byte)		
2 byte Distance		1 byte Reflectivity
Distance1 [15:8]	Distance2 [7:0]	Reflectivity(反射率信息)

Distance 是 2byte，单位为 cm，分辨率因为雷达固件版本的不同，有 1cm 和 0.5cm 的区别。

反射率信息为相对反射率，其具体定义参考“反射率信息解读”章节的描述，反射率信息可以反映实测环境下系统的反射率性能，通过反射率信息可以完成对不材质物体的区分。

channel data 的解析如下：

例如，在图 9/10 中，数据包的 channel data 解析，计算方式是：

获取数据包里的距离值的十六进制数：0x06,0x42。

将数据组成 16bit，为 16bit 无符号整型数据。表示为：0x0642。

距离值转换为十进制数字：1602。

根据距离分辨率不同，可计算。

1cm 分辨率结果：16.02 米；0.5cm 分辨率结果 8.01 米；

因此，这次的测距距离是 16.02 米。

5.1.3 帧尾

帧尾 (Tail) 长度 6byte，4byte 位预留信息，2byte 的 0x00，0xFF。

5.1.4 数据包示范数据

1	0.000000	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290 6677 → 6699	Len=1248
2	0.001153	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290 6677 → 6699	Len=1248
3	0.002355	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290 6677 → 6699	Len=1248
4	0.003616	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290 6677 → 6699	Len=1248
5	0.004768	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290 6677 → 6699	Len=1248

▷ Frame 4: 1290 bytes on wire (10320 bits), 1290 bytes captured (10320 bits) on interface 0		
▷ Ethernet II, Src: Dell_17:4a:cc (00:1c:23:17:4a:cc), Dst: Dell_48:60:3f (84:7b:eb:48:60:3f)		
▷ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.2.103, Dst: 192.168.1.102		
▷ User Datagram Protocol, Src Port: 6677 (6677), Dst Port: 6699 (6699)		
▷ Data (1248 bytes)		

0000	84 7b eb 48 60 3f 00 1c	23 17 4a cc 08 00 45 00	.{.H`>.. #.J...E.
0010	04 fc fc 40 40 00 80 11	74 92 c0 a8 02 67 c0 a8	...@... t....g..
0020	01 66 1a 15 1a 2b 04 e8	33 6f 55 aa 05 0a 5a a5	.f...+. 3cU...Z.
0030	50 a0 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	P.....
0040	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00
0050	00 00 5a 5a ff ee 2b 70	ff ff bc 06 76 09 ff ff	..ZZ..+pv...
0060	bc 06 7f 07 06 7b 12 06	6e 08 06 7d 0e 06 7d 09{.. n..}..}.
0070	06 78 0e 06 81 05 06 79	08 06 81 13 06 6b 10 06	.x....yk..
0080	79 0d 06 80 0c 06 7e 0c	ff ff bc 06 75 09 ff ff	y.....~.u...
0090	bc 06 7f 07 06 7a 11 06	6d 08 06 7c 0e 06 7c 09Z.. m.. .. .
00a0	06 78 0e 06 80 05 06 79	07 06 80 13 06 6a 10 06	.x....yj..
00b0	78 0d 06 7f 0c 06 7f 0c	ff ee 2b 78 ff ff bc 06	x.....+x....
00c0	75 09 ff ff bc 06 7e 07	06 7c 11 06 6c 08 06 7b	u.....~. ..1..{
00d0	0f 06 7c 09 06 77 0e 06	7f 05 06 79 07 06 7e 13	.. .w... ..y...~.
00e0	06 68 10 06 77 0d 06 80	0c 06 7d 0c ff ff bc 06	.h.w... ..}.....
00f0	73 09 ff ff bc 06 7d 07	06 7b 11 06 6c 08 06 7a	s.....}. ..{..1..z
0100	0f 06 7b 09 06 78 0e 06	7f 05 06 77 07 06 7e 13	..{..X... ..w...~.

图 9 MSOP packet 展示

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
41	0.048013	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248
42	0.049219	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248
43	0.050380	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248
44	0.051569	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248
45	0.052767	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248
46	0.053966	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248


```

.... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
> Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
Total Length: 1276
Identification: 0xfc66 (64614)
> Flags: 0x02 (Don't Fragment)
Fragment offset: 0
Time to live: 128

```

Header 序列: 0x55,0xaa,0x05,0x0a,0x5a,0xa5,0x50,0xa0

0000	84 7b eb 48 60 3f 00 1c	23 17 4a cc 08 00 45 00	..{.H?..#J...E.
0010	04 fc fc 66 40 00 80 1b	74 6c c0 a8 02 67 c0 a8	...f@..t...g..
0020	01 66 1a 15 1a 2b 04 e8	b0 20 55 5a 05 0a 5a a5+...U...Z.
0030	50 a0 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	P.....
0040	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00
0050	00 00 5a 5a ff ee 00 3d	06 42 15 06 3b 05 06 44	77 = B : D
0060	06 06 46 04 06 43 05 06	35 05 06 43 09 06 46 05	..F..C..S..C..F.
0070	06 41 06 06 49 04 06 40	05 06 48 07 06 34 07 06	..A..I..@..H..4..
0080	41 06 06 4a 06 06 46 06	06 42 15 06 3c 05 06 44	A..J..F..B..<..D
0090	06 06 47 04 06 43 05 06	35 05 06 43 09 06 44 05	..G..C..S..C..D.
00a0	06 41 06 06 49 03 06 41	05 06 48 07 06 33 07 06	..A..I..A..H..3..
00b0	41 06 06 49 06 06 47 06	ff ee 00 44 06 43 15 06	A..I..G...D.C..
00c0	3c 05 06 44 06 06 47 04	06 43 05 06 35 05 06 44	<..D..G..C..S..D
00d0	09 06 45 04 06 41 06 06	48 04 06 41 05 06 48 07	..E..A..H..A..H.
00e0	06 34 07 06 41 06 06 49	06 06 46 06 06 43 15 06	..4...I..F..C..
00f0	3c 05 06 44 06 06 47 04	06 43 05 06 35 05 06 44	<..D..G..C..S..D
0100	09 06 46 05 06 42 06 06	49 04 06 41 05 06 48 07	..F..B..I..A..H.
0110	06 34 07 06 40 06 06 4a	06 06 46 06 ff ee 00 4b	..4...@..J...F...K
0120	06 43 15 06 3b 05 06 45	05 06 47 04 06 44 05 06	..C...;..E..G..D..
0130	36 05 06 44 09 06 46 04	06 42 06 06 49 04 06 41	6..D..F..B..I..A
0140	05 06 49 07 06 34 07 06	04 06 06 4b 06 06 48 06	..I..4...@..K..H.
0150	06 43 15 06 3c 05 06 45	06 06 47 04 06 43 05 06	..C...<..E..G..C..
0160	36 05 06 45 09 06 46 04	06 43 06 06 4a 04 06 41	6..E..F..C..J..A
0170	05 06 49 07 06 35 07 06	04 06 06 4a 06 06 48 06	..I..5...@..J..H.
0180	ff ee 00 53 06 43 15 06	3c 05 06 46 06 06 48 04	..S..C...<..F..H.
0190	06 44 05 06 35 05 06 44	09 06 46 04 06 41 06 06	..D..S..D..F..A..
01a0	4a 03 06 42 05 06 49 06	06 34 07 06 41 06 06 4a	J..B..I..4...A..J
01b0	06 06 48 06 06 44 15 06	3d 05 06 45 06 06 47 04	..H..D...=..E..G.
01c0	06 44 05 06 36 05 06 45	09 06 46 04 06 47 06 06	..D..6...F...F...R..

data block 1
channel 1 data calculation

distance	: 0x0642	;	Atten	: 0x15
get distance	: 0x06 & 0x042	;	get atten	: 0x15
combine the byte	: 0x0642	;	combine the byte	: 0x15
convert to decimal	: 1602	;	convert to decimal	: 21
multiply by	: 1.0cm	;	result	: 21
result	: 16.02m	;		

data block 2
Azimuth n+2 calculation

second Azimuth	: 0x0044
get azimuth	: 0x00 & 0x44
combine the byte	: 0x0044
convert to decimal	: 68
Divide by	: 100
result	: 0.68°

图 10 1cm 精度 data block 区数据展示

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
41	0.048013	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248
42	0.049219	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248
43	0.050380	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248
44	0.051569	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248
45	0.052767	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248
46	0.053966	192.168.2.103	192.168.1.102	UDP	1290	6677 → 6699 Len=1248


```

.... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
> Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
Total Length: 1276
Identification: 0xfc66 (64614)
> Flags: 0x02 (Don't Fragment)
Fragment offset: 0
Time to live: 128

```

Header 序列: 0x55,0xaa,0x05,0x0a,0x5a,0xa5,0x50,0xa0

0000	84 7b eb 48 60 3f 00 1c	23 17 4a cc 08 00 45 00	..{.H?..#J...E.
0010	04 fc fc 66 40 00 80 1b	74 6c c0 a8 02 67 c0 a8	...f@..t...g..
0020	01 66 1a 15 1a 2b 04 e8	b0 20 55 5a 05 0a 5a a5+...U...Z.
0030	50 a0 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	P.....
0040	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00
0050	00 00 5a 5a ff ee 00 3d	06 42 15 06 3b 05 06 44	77 = B : D
0060	06 06 46 04 06 43 05 06	35 05 06 43 09 06 46 05	..F..C..S..C..F.
0070	06 41 06 06 49 04 06 40	05 06 48 07 06 34 07 06	..A..I..@..H..4..
0080	41 06 06 4a 06 06 46 06	06 42 15 06 3c 05 06 44	A..J..F..B..<..D
0090	06 06 47 04 06 43 05 06	35 05 06 43 09 06 44 05	..G..C..S..C..D.
00a0	06 41 06 06 49 03 06 41	05 06 48 07 06 33 07 06	..A..I..A..H..3..
00b0	41 06 06 49 06 06 47 06	ff ee 00 44 06 43 15 06	A..I..G...D.C..
00c0	3c 05 06 44 06 06 47 04	06 43 05 06 35 05 06 44	<..D..G..C..S..D
00d0	09 06 45 04 06 41 06 06	48 04 06 41 05 06 48 07	..E..A..H..A..H.
00e0	06 34 07 06 41 06 06 49	06 06 46 06 06 43 15 06	..4...I..F..C..
00f0	3c 05 06 44 06 06 47 04	06 43 05 06 35 05 06 44	<..D..G..C..S..D
0100	09 06 46 05 06 42 06 06	49 04 06 41 05 06 48 07	..F..B..I..A..H.
0110	06 34 07 06 40 06 06 4a	06 06 46 06 ff ee 00 4b	..4...@..J...F...K
0120	06 43 15 06 3b 05 06 45	05 06 47 04 06 44 05 06	..C...;..E..G..D..
0130	36 05 06 44 09 06 46 04	06 42 06 06 49 04 06 41	6..D..F..B..I..A
0140	05 06 49 07 06 34 07 06	04 06 06 4b 06 06 48 06	..I..4...@..K..H.
0150	06 43 15 06 3c 05 06 45	06 06 47 04 06 43 05 06	..C...<..E..G..C..
0160	36 05 06 45 09 06 46 04	06 43 06 06 4a 04 06 41	6..E..F..C..J..A
0170	05 06 49 07 06 35 07 06	04 06 06 4a 06 06 48 06	..I..5...@..J..H.
0180	ff ee 00 53 06 43 15 06	3c 05 06 46 06 06 48 04	..S..C...<..F..H.
0190	06 44 05 06 35 05 06 44	09 06 46 04 06 41 06 06	..D..S..D..F..A..
01a0	4a 03 06 42 05 06 49 06	06 34 07 06 41 06 06 4a	J..B..I..4...A..J
01b0	06 06 48 06 06 44 15 06	3d 05 06 45 06 06 47 04	..H..D...=..E..G.
01c0	06 44 05 06 36 05 06 45	09 06 46 04 06 47 06 06	..D..6...F...F...R..

data block 1
channel 1 data calculation

distance	: 0x0642	;	Atten	: 0x15
get distance	: 0x06 & 0x042	;	get atten	: 0x15
combine the byte	: 0x0642	;	combine the byte	: 0x15
convert to decimal	: 1602	;	convert to decimal	: 21
multiply by	: 0.5cm	;	result	: 21
result	: 8.01m	;		

data block 2
Azimuth n+2 calculation

second Azimuth	: 0x0044
get azimuth	: 0x00 & 0x44
combine the byte	: 0x0044
convert to decimal	: 68
Divide by	: 100
result	: 0.68°

图 11 0.5cm 精度 data block 区数据展示

5.2 设备信息输出协议（DIFOP）

设备信息输出协议，Device Info Output Protocol，简称：DIFOP

I/O 类型：设备输出，电脑读取

默认端口号为 7788

DIFOP 是为了将设备序列号（S/N）、固件版本信息、上位机驱动兼容性信息、网络配置信息、校准信息、电机运行配置、运行状态、故障诊断信息定期发送给用户的“仅输出”协议，用户可以通过读取 DIFOP 解读当前使用设备的各种参数的具体信息。

一个完整的 DIFOP Packet 的数据格式结构为同步帧头，数据区，帧尾。每个数据包共 1248byte：包括 8byte 同步帧头 Header，1238byte 的数据区，以及 2byte 帧尾 Tail。

数据包的基本结构如下表所示。

表 6 DIFOP Packet 的数据格式结构

段落划分	序号	信息	Offset	长度（byte）
Header	0	DIFOP 识别头	0	8
Data	1	电机转速	8	2
	2	以太网	10	22
	3	FOV 设置	32	4
	4	预留	36	2
	5	电机锁相相位	38	2
	6	主板固件版本号	40	5
	7	底板固件版本号	45	5
	8	反射率曲线校准值	50	240
	9	反射率曲线系数	290	1
	10	反射率计算模式	291	1
	11	序列号	292	6
	12	零度角标定值	298	2
	13	回波模式	300	1
	14	上位机驱动兼容信息	301	2
	15	时间	303	10
	16	运行状态	313	18
	17	预留	331	11
	18	故障诊断	342	40
	19	GPRMC	382	86
	20	预留	468	697
	21	垂直角校准	1165	48
	22	预留	1213	33
Tail	23	帧尾	1246	2

注：表格中 Header（DIFOP 识别头）为 0xA5,0xFF,0x00,0x5A,0x11,0x11,0x55,0x55，可作为包的检

查序列。

Tail 帧尾内容为 0x0F,0xF0。

每一项信息的寄存器的定义以及使用参见用户手册附录 B 中的详细描述。

5.3 用户配置写入协议（UCWP）

用户配置写入协议:User Configuration Write Protocol，简称：UCWP

I/O 类型：主机向设备写入

UCWP 实现功能：用户根据需求可以对设备的以太网、时间、电机参数重新配置。

一个完整的 UCWP Packet 的数据格式结构为同步帧头，数据区。每个数据包共 48byte：包括 8byte 同步帧头 Header 和 40byte 的数据区组成。

具体内容遵照的协议参考下表。

表 7 UCWP Packet 的数据格式结构

段落划分	序号	信息	Offset	长度 (byte)
Header	0	UCWP 识别头	0	8
Data	1	电机转速	8	2
	2	以太网	10	22
	3	FOV 设置	32	4
	4	时间	36	10
	5	电机锁相相位	46	2

注：表中 Header（UCWP 识别头）为 0xAA,0x00,0xFF,0x11,0x22,0x22,0xAA,0xAA，其中 Header 前 4 个字节作为包的检查序列，即 0xAA,0x00,0xFF,0x11。

在此声明，RS-LiDAR-16 并不包含电池系统及掉电后可持续运行的 RTC，在无 GPS 或者无 GPS 信号时，启动 RS-LiDAR-16 后必须由 PC 通过 UCWP 协议向设备写入时间，否则则按照默认的一个系统时间计时。

见附录 B 中对以太网、时间、电机转速、电机相位锁定四个寄存器的详细定义。

如用户想重新设置 LiDAR IP 为 192.168.1.105，目的 PC IP 为 192.168.1.225，Max_ADDR 为 001C23174ACC，MSOP 包端口为 6688，DIFOP 包端口位 8899，FOV 起始角度为 0 度，FOV 结束角度为 120 度，时间 2017 年 3 月 10 日 9 点 45 分 30 秒 100ms 200us，转速为 600rpm，电机锁相相位 90 度时，根据 UCWP Packet 和每个寄存器的定义，可以按照如下表格通过向 LiDAR 发送 UDP 包进行重新配置。

表 8 配置示例

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	600rpm	0x02 0x58	2
LiDAR IP (LIDAR_IP)	192.168.1.105	0xC0 0xA8 0x01 0x69	4
目的 PC IP (DEST_PC_IP)	192.168.1.225	0xC0 0xA8 0x01 0xE1	4
设备地址 (MAC_ADDR)	001C23174ACC	0x00,0x1C,0x23, 0x17,0x4A,0xCC	6
MSOP 端口 (port1)	6688	0x1A20	2
MSOP 端口 (port2)	6688	0x1A20	2
DIFOP 端口 (port3)	8899	0x22C3	2
DIFOP 端口 (port4)	8899	0x22C3	2
FOV 起始角度	0	0x0000	2
FOV 结束角度	12000	0x2EE0	2
时间	2017 年 3 月 10 日 9 点 45 分 30 秒 100ms 200us	0x11 0x03 0x0A 0x09 0x2D 0x1E 0x00,0x64 0x00,0xC8	10
电机调相	90	0x005A	2

使用本协议配置设备时，不可进行字节级或区段级寻址、写入，必须完整写入整个列表；列表写入后对应功能即刻更新，但网络参数会在下次启动设备的初始化流程中生效。

注：RSVIEW 软件提供了通过 UCWP 设置设备参数的可视化界面功能，对于 UCWP 协议不理解的情况下建议使用 RSVIEW 来进行参数调整。在进行参数写入过程时，请勿断电，务必在写入完成后进行断电，否则存在参数配置错误的风险。

6 GPS 同步

RS-LiDAR-16 可外接 GPS 模块，并且将 GPS 发出的时间同步为设备的系统时间，也可以将 GPS 发出的 GPRMC 消息保存到 DIFOP 包中输出。

6.1 GPS 时间同步原理

GPS 模块连续向设备发送 GPRMC 数据和 PPS 同步脉冲信号，PPS 同步脉冲长度为 20ms 至 200ms，GPRMC 数据必须在同步脉冲上升沿 500ms 内完成。

6.2 GPS 使用

RS-LiDAR-16 雷达 GPS_REC 接口电平协议有两种，分别为 3.3V TTL 电平标准和 RS232 电平标准；可以通过查看底板固件版本来区分，底板版本 08 开头的为 TTL 协议，09 开头的为 RS232 协议；查看固件版本请查看附录 C 中的图 C14。

RS-LiDAR-16 电源盒上面的 GPS_REC 接口规格为 SH1.0-6P 母座，引脚定义如图 5 所示。两种协议的区别有两点，分别为：

TTL 电平引脚定义：

引脚 GPS REC 接收来自 GPS 模块输出的 3.3V TTL 电平标准的串口数据；

引脚 GPS PULSE 接收 GPS 模块输出的正 TTL 同步脉冲信号；

RS232 引脚定义：

引脚 GPS REC 接收来自 GPS 模块输出的 RS232 电平标准的串口数据

引脚 GPS PULSE 接收 GPS 模块输出的正同步脉冲信号，电平要求 3.0V~15.0V；

若您使用的 GPS 输出是 RS232 串口协议，而雷达接收端的电平是 TTL 时，则需要自行购买 RS232 转 TTL 的电平转换模块，例如接线图及定义如下：

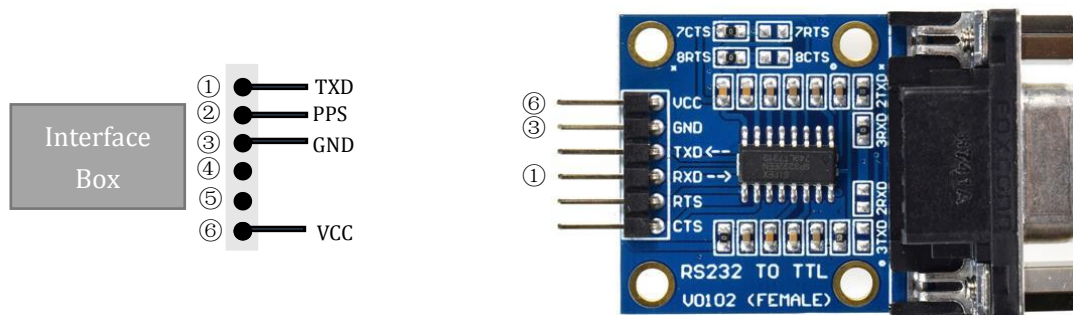


图 12 RS232 转 TTL 电平转换模块

引脚+5V 可以给 GPS 模块供电（如果是 3.3V 供电的 GPS 模块请自行进行电压转换。同时不要对+5V 引脚进行输入供电，因为该引脚是输出引脚。

引脚 GND 为外接 GPS 模块提供接地。

外接的 GPS 模块需要设置输出串口的波特率为 9600bps，8bit 数据位，无校验位，停止位 1。RS-LiDAR-16 只读取 GPS 模块发出的 GPRMC 格式的数据，其标准格式如下：

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

<1> UTC 时间

<2> 定位状态，A=有效定位，V=无效定位

<3> 纬度

<4> 纬度半球 N(北半球)或 S(南半球)

<5> 经度

<6> 经度半球 E(东经)或 W(西经)

<7> 地面速率

<8> 地面航向

<9> UTC 日期

<10> 磁偏角

<11> 磁偏角方向，E(东)或 W(西)

<12> 模式指示(A=自主定位，D=差分，E=估算，N=数据无效)

*后 hh 为\$到*所有字符的异或和

目前市场的 GPS 模块发出的 GPRMC 消息长度存在不一致情况，RS-LiDAR-16 在 DIFOP 包中预留的 GPRMC 消息长度最长为 86byte，可以兼容大部分市场上的 GPS 模块发出来的 GPRMC 消息格式，如果发现不兼容情况请联系 Robosense 技术支持。

7 关键特性

7.1 回波模式

7.1.1 回波模式原理

RS-LiDAR-16 支持多种回波模式，分别为：最强回波（Strongest Return）、最后回波（Last Return）及双回波（Dual Return）模式，当设置为双回波模式时，此时目标物的细节会增多，数据量是单回波的两倍。

由于光束发散，任何一次激光发射出去都有可能产生多次激光返回。当激光脉冲发射出去后光斑逐渐变大。假设一个光斑足够大，可以打到多个目标物上，产生多个反射。通常情况下目标物距离越远，它在接收器上的能量就越弱，明亮或反光的表面情况可能会相反。

RS-LiDAR-16 分析接收到的多个返回值，并根据情况输出最强、最后或同时输出最强最后两个回波值。如果设置为最强回波模式则只输出最强的反射回波值。同样，如果设置是最后回波模式，则只有最后时间上的回波输出；如果设置为双回波模式时，则会同时输出最强和最后回波信息。

注意：只有当 2 个距离物体之间距离大于 1 米时才会有两次回波。

7.1.2 最强回波

当雷达光束只打到一个物体上的时候，此时只有最强回波。

7.1.3 最强，最后及双回波

当激光雷达发送的激光脉冲，投射到两个不同距离下的两面墙面或其他物体时，会返回两个回波，此时有以下两种结果：

- （1）最强回波不是最后回波的时候，返回最强和最后回波；
- （2）最强回波既是最后回波的时候，返回最强回波和第二强回波；

7.1.4 回波模式标志

RS-LiDAR-16 出厂默认为最强回波（Strongest Return）模式，如您需要更改设置，请参照本用户手册附录 C RSVIEW 中的图 C14。在 DIFOP 中第 300 个 byte 是回波模式的标志位，具体对应如下：

表 9 回波模式和标志位对照表

标志位	回波模式
00	双回波
01	最强回波
02	最后回波

7.2 相位锁定

当多个 RS-LiDAR-16 近距离放置工作的时候,我们会观察到由于某个传感器接收了另外一个传感器发射的激光而产生干扰。为了减少传感器间的相互干扰, RS-LiDAR-16 提供相位锁定的功能,能够减少设备相互间的干扰。

相位锁定功能可用于设定 RS-LiDAR-16 在 PPS 脉冲触发的时刻,传感器旋转到特定的角度发射激光,当多个 RS-LiDAR-16 同时使用的时候保持他们之间相对旋转角度不变。为了保证相位锁定功能正常,需要 PPS 脉冲触发信号且保持稳定。

图 12 为 RS-LiDAR-16 设置不同相位的示意图,红色箭头表明,当 PPS 脉冲触发的时候,传感器分别旋转到 0 度、135 度、270 度发射激光。

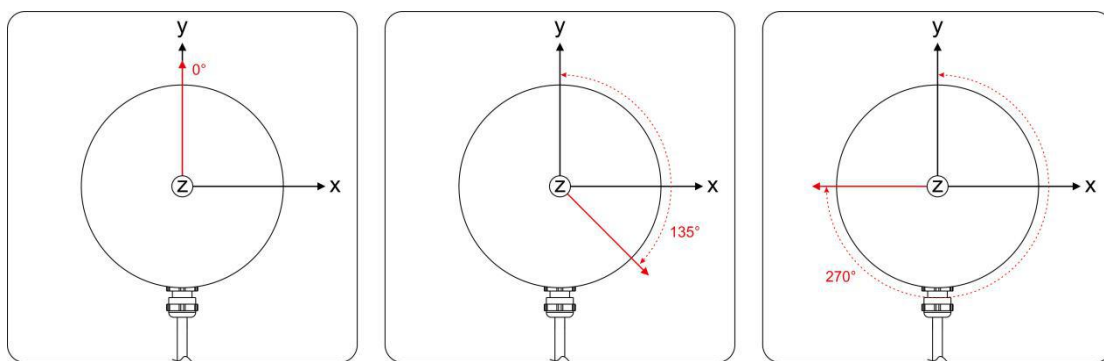


图 13 RS-LiDAR-16 不同相位设定示意图

RSVIEW 客户端的 **Tools > RS-LiDAR Information** 中提供了一个“Phase Lock”的参数设定,可以用于设定锁定的相位角度,输入范围是 0~359。

相位锁定功能需要激光雷达转速设置在 600 转或 1200 转的时候才生效。

8 点云呈现

8.1 坐标映射

由于雷达封装的数据包仅为水平旋转角度和距离参量，为了呈现三维点云图的效果，将极坐标下的角度和距离信息转化为了笛卡尔坐标系下的 x, y, z 坐标，如图 14 所示，他们的转换关系如下式所示：

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

其中 r 为实测距离， ω 为激光的垂直角度， α 为激光的水平旋转角度， x 、 y 、 z 为极坐标投影到 X 、 Y 、 Z 轴上的坐标。

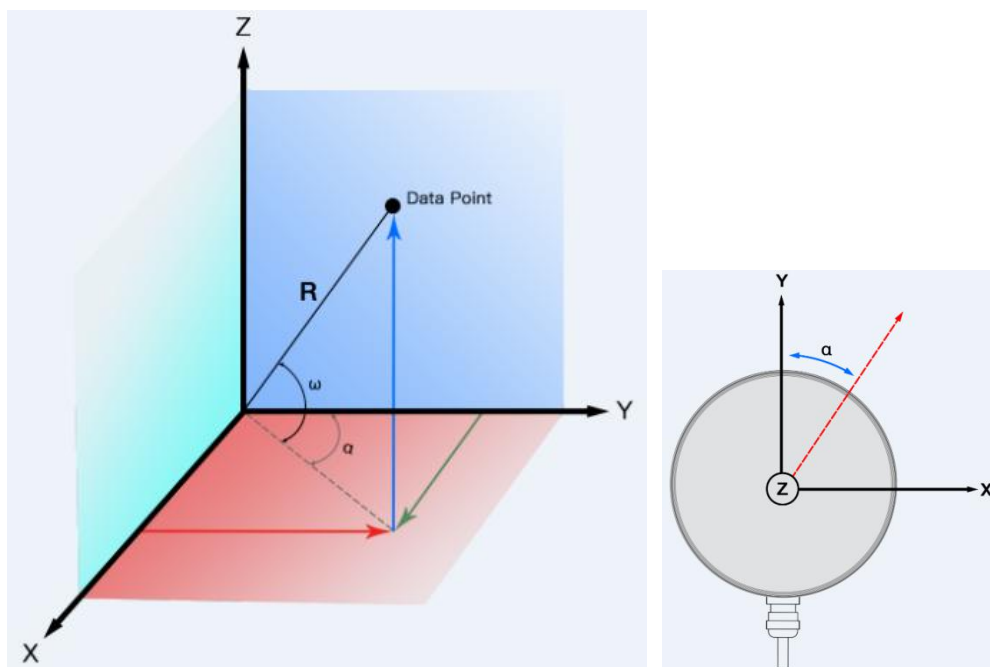


图 14 雷达极坐标和 XYZ 坐标映射

注 1：在 RS-LiDAR-16ROS 包源码中，默认进行了坐标变换来符合 ROS 的右手坐标系，ROS 下面的 X 轴定义指向图 14 中的 Y 正方向，ROS 下面的 Y 轴定义指向图 14 中的 X 负方向。

注 2：雷达的坐标原点定义在雷达结构中心，高度距离底座 39mm。

8.2 典型场景点云呈现

当激光雷达扫描平面墙体时，呈现出类似双曲线分布轮廓图，如图 15 所示，这是因为 16 线激光雷达在圆形环境中扫描一周的路径为若干个向上或向下的圆锥面，其形成的点云图均为圆形，当扫描的环境不为圆形时，其点云图为所有圆锥面与扫描环境的交线。因此，

当激光雷达扫描平面墙体时，矩形面与圆锥面的交线为一系列的双曲线，如图 16 所示。

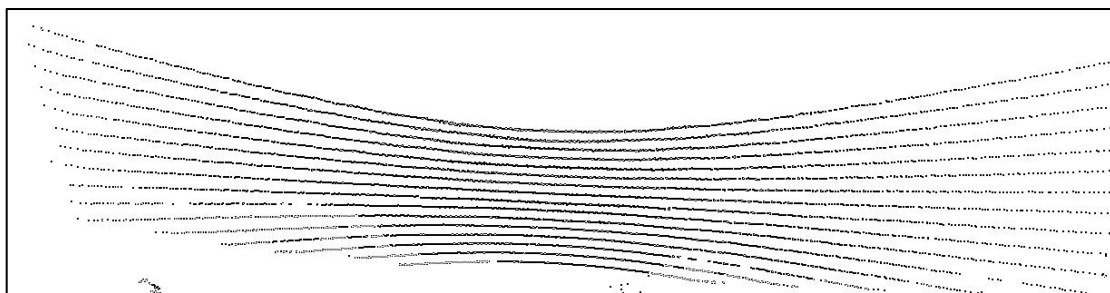


图 15 XZ 平面上的轮廓线

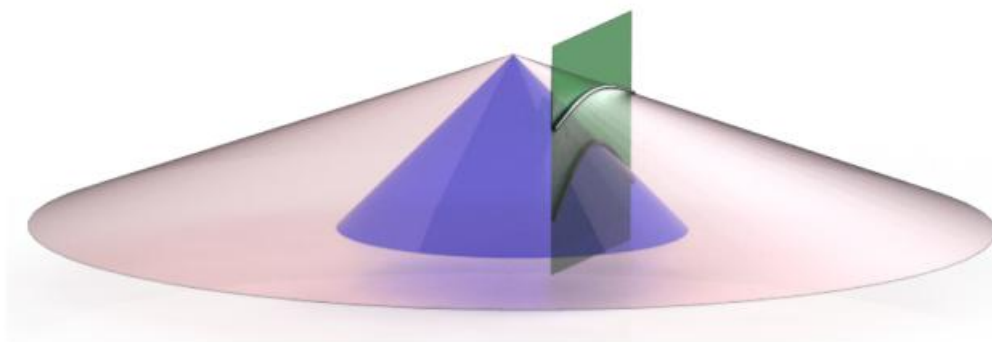


图 16 雷达扫描示意图

当然，也可通过极坐标转化为直角坐标的公式说明这一现象，如图 17 所示推导过程，

最终得到表达式为 $\frac{z^2}{(y \tan(\omega))^2} - \frac{x^2}{y^2} = 1$ 的双曲线。当 y 和 ω 为一个定值时，其表示焦点在 z 轴上的双曲线；当 y 一定时， α 越大，双曲线的渐进线斜率越小，离心率越小，双曲线形状越弯曲， α 越小，双曲线的渐进线斜率越大，离心率越大，双曲线形状越平坦；当 ω 一定时， y 越大，则同一角度的渐进线斜率一致， y 值的不同影响整个轮廓线的疏密程度。

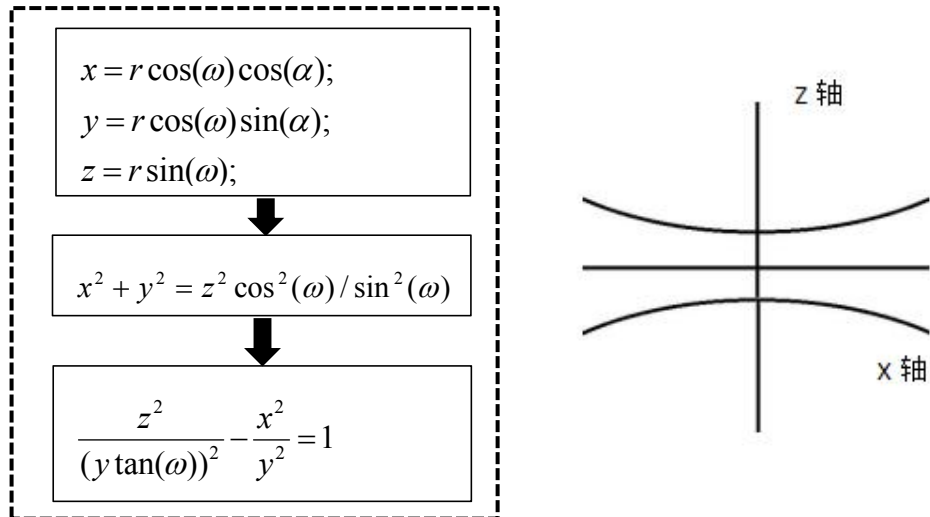


图 17 直角坐标转化为双曲线推导过程

9 垂直角度定义

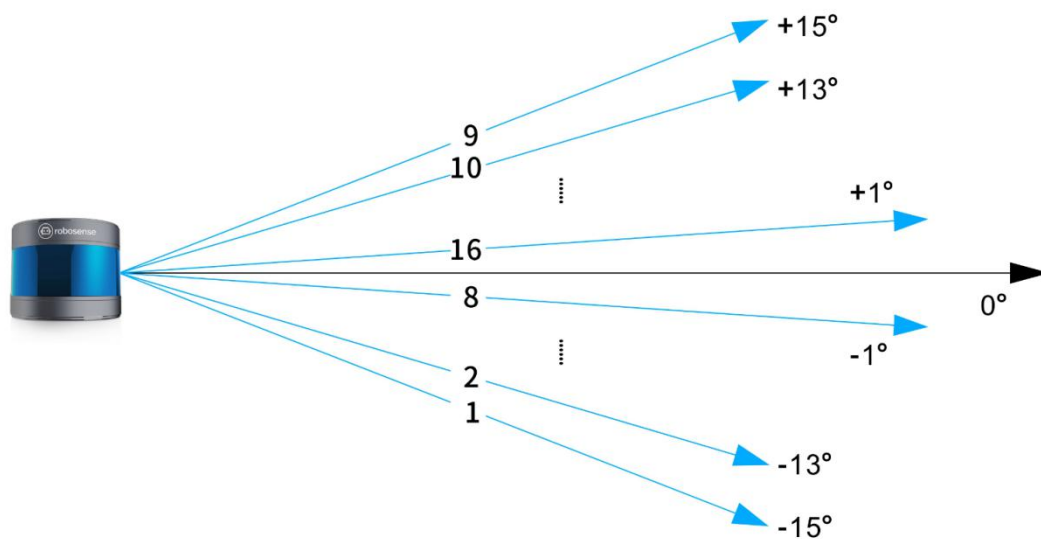


图 18 RS-LiDAR-16 俯仰角定义

RS-LiDAR-16 在垂直方向的角度范围是 -15° ~ $+15^{\circ}$ ，角度间隔为 2° 均匀分布。将 16 个激光器定义为 16 路通道，与真实的垂直角度对应关系如图 18 所示。

表 10 激光通道序号与激光器垂直角度对应

通道序号	激光器理论垂直角度值
1	-15
2	-13
3	-11
4	-9
5	-7
6	-5
7	-3
8	-1
9	+15
10	+13
11	+11
12	+9
13	+7
14	+5
15	+3
16	+1

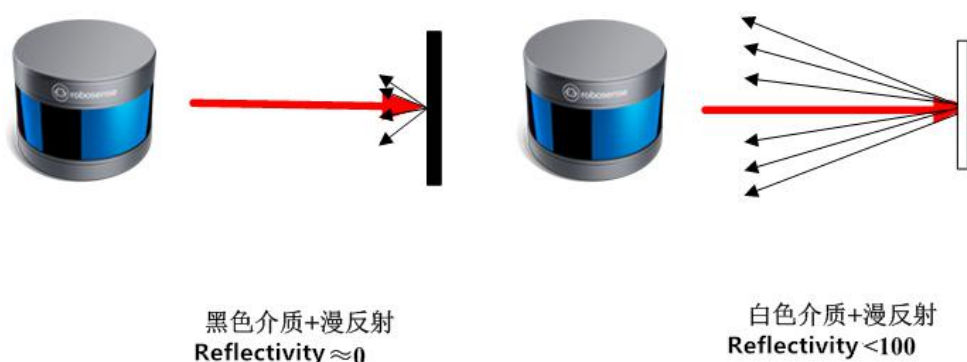
16 通道顺序完成一轮发射所需的时间为 55.5us。

10 反射率信息解读

RS-LiDAR-16 数据中包含了被测物体反射率信息，反射率是衡量一个物体对光的反射能力的指标，与物体本身的材质有很大的关系。因此，可利用此信息区分不同材质的物体。

在 RS-LiDAR-16 数据中，标定后的反射率范围区间为 0~255，漫反射物体的反射率强度在 0~100 分布，黑色物体反射率低，白色物体反射率高。全反射的物体的反射率强度值定义为 101~255，最理想的全反射物体的反射率接近 255。

漫反射



镜面反射



图 19 反射率的标定

如果要计算每个点的反射强度信息，需要根据 MSOP 包中的反射强度值和反射率标定文件一同计算得到。反射率标定文件可以从设备包装箱中提供的 U 盘中获取，文件路径为 `configuration_data/curves.csv`。具体的计算公式建议参考 RS-LiDAR-16 ROS 驱动中的 `rawdata.cc` 文件中的 `calibrateIntensity()` 函数。

注一：因为设备的固件升级，反射强度的计算方式 `calibrateIntensity()` 函数做过几次调整，新的代码中向下兼容早期设备固件。反射率的计算方式一共有三种，其中前两种都需要通过公式将激光雷达直接输出的 `intensity` 字节进行转换才能够得到最终的结果；V4.0 版本的设备采用 `mode 3` 方式直接使用激光雷达输出的 `intensity`，计算转换在激光雷达内部完成。

注二：出厂日期在 2018.11.20 后的设备，`mode 3` 方式直接使用激光雷达输出的 `intensity`，计算转换在激光雷达内部完成。

11 故障排除

在使用设备的过程中，我们会遇到一些常见的使用方面的问题，本章列举了部分常见的问题以及对应的问题排查方法。

问题	解决方法
Interface Box 上面红色指示灯不亮或闪烁	<ul style="list-style-type: none"> ● 检查输入电源连接和极性是否正常 ● 检查输入电源的电压和电流是否满足要求（12V 电压输入条件下，输入电流$\geq 2A$）
Interface Box 上面红色指示灯亮，绿色指示灯不亮或闪烁	<ul style="list-style-type: none"> ● 检查 Interface Box 与设备端的连接线是否松动
设备电机不旋转	<ul style="list-style-type: none"> ● 检查 Interface Box 上面指示灯是否正常，确认电源输入是否正常 ● 检查 Interface Box 与设备端的连接线是否松动
设备在启动时不断重启	<ul style="list-style-type: none"> ● 检查输入电源连接和极性是否正常 ● 检查输入电源的电压和电流是否满足要求（12V 电压输入条件下，输入电流$\geq 2A$） ● 检查设备安装平面是否水平或雷达底部固定螺丝是否拧的太紧
设备内部旋转，但是没有数据	<ul style="list-style-type: none"> ● 检查网络连接是否正常 ● 确认电脑端网络配置是否正确 ● 使用另外的软件（例如 wireshark）检查数据是否有被接收 ● 关闭防火墙和其他可能阻止网络的安全软件 ● 检查电源供电正常
Wireshark 可以收到数据但是 RSVIEW 不显示点云	<ul style="list-style-type: none"> ● 关闭电脑防火墙，并且运行 RSVIEW 通过防火墙 ● 确认电脑的 IP 配置和设备设置的地址一致 ● 确认 RSVIEW 上面的 Data Port 设置正确 ● 确认 RSVIEW 安装目录或配置文件存放目录不包含任何中文字符 ● 确认 wireshark 中收到的数据包是 MSOP 类型的包
设备存在频发的数据丢失	<ul style="list-style-type: none"> ● 确认网络中是否有大量的其他网络数据包或网路冲突 ● 确认网络中是否存在其他网络设备以广播模式发送大量数据造成传感器数据阻塞 ● 确认电脑的性能和接口性能是否满足要求 ● 移除其他所有网络设备，直连电脑确认是否存在丢包现象
无法同步 GPS 时间	<ul style="list-style-type: none"> ● 确认 GPS 模块波特率为 9600bps, 8bit 数据位, 无校验位, 停止位 1 ● 确认 GPS 模块输出为 3.3V TTL 还是 RS232 电平 ● 确认 1PPS 脉冲连续且连线正确 ● 确认 GPRMC 的 NMEA 消息格式正确 ● 确认 GPS 模块和 Interface Box 共地

	<ul style="list-style-type: none">● 确认 GPS 模块收到了有效的解
设备通过路由器后无数据输出	<ul style="list-style-type: none">● 关闭路由器的 DHCP 功能或在路由器内部设置传感器的 IP 为正确的 IP
点云成像形状异常	<ul style="list-style-type: none">● 确认使用的雷达配置文件正确
ROS 驱动显示点云的时候有一个固定的空白区域不断旋转	<ul style="list-style-type: none">● 此现象正常，是因为 ROS 驱动按照固定包数进行分帧显示，空白部分的数据会在下一帧进行显示
RSVIEW 软件输出点云成一条射线	<ul style="list-style-type: none">● 如果是 windows 10 系统请设置 RSVIEW 使用成 windows 7 兼容模式运行

附录 A 精确的点时间计算

在每个 MSOP Packet 中，有 12 个 Block，每个 Block 有 2 组完整的 16 线激光数据，因此一个 Packet 中有 24 组完整的激光数据。16 通道激光完成一轮发射和充能需要 55.5us。两线激光之间发射的时间间隔是 2.8us，16 线激光完成一轮发射时间为 $2.8 \times 16 = 44.8\text{us}$ ，并有 10.7us 的额外间隔时间，所以一轮发射和充电的时间周期是 $2.8 \times 16 + 10.7 = 55.5\text{us}$ 。

假设激光的序号 data_index 是 1-16，激光发射轮数序列为 sequence_index 是 1-24。每个 MSOP Packet 的时间戳是第 1 个激光点的时间，为了计算每个激光点的时间，需要将每个激光点的时间偏移量加到时间戳上。

时间偏移量 Time_offset:

$$\text{Time_offset} = 55.5\text{us} * (\text{sequence_index} - 1) + 2.8\text{us} * (\text{data_index} - 1)$$

精确的每个激光点的时间 Exact_point_time:

$$\text{Exact_point_time} = \text{Timestamp} + \text{Time_offset}$$

表 A-1 MSOP Packet 中每个激光点的时间偏移量

	Channel ID	Data Block											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
First Firing	1	0	111	222	333	444	555	666	777	888	999	1110	1221
	2	2.8	113.8	224.8	335.8	446.8	557.8	668.8	779.8	890.8	1001.8	1112.8	1223.8
	3	5.6	116.6	227.6	338.6	449.6	560.6	671.6	782.6	893.6	1004.6	1115.6	1226.6
	4	8.4	119.4	230.4	341.4	452.4	563.4	674.4	785.4	896.4	1007.4	1118.4	1229.4
	5	11.2	122.2	233.2	344.2	455.2	566.2	677.2	788.2	899.2	1010.2	1121.2	1232.2
	6	14	125	236	347	458	569	680	791	902	1013	1124	1235
	7	16.8	127.8	238.8	349.8	460.8	571.8	682.8	793.8	904.8	1015.8	1126.8	1237.8
	8	19.6	130.6	241.6	352.6	463.6	574.6	685.6	796.6	907.6	1018.6	1129.6	1240.6
	9	22.4	133.4	244.4	355.4	466.4	577.4	688.4	799.4	910.4	1021.4	1132.4	1243.4
	10	25.2	136.2	247.2	358.2	469.2	580.2	691.2	802.2	913.2	1024.2	1135.2	1246.2
	11	28	139	250	361	472	583	694	805	916	1027	1138	1249
	12	30.8	141.8	252.8	363.8	474.8	585.8	696.8	807.8	918.8	1029.8	1140.8	1251.8
	13	33.6	144.6	255.6	366.6	477.6	588.6	699.6	810.6	921.6	1032.6	1143.6	1254.6
	14	36.4	147.4	258.4	369.4	480.4	591.4	702.4	813.4	924.4	1035.4	1146.4	1257.4
	15	39.2	150.2	261.2	372.2	483.2	594.2	705.2	816.2	927.2	1038.2	1149.2	1260.2
	16	42	153	264	375	486	597	708	819	930	1041	1152	1263
Second Firing	1	55.5	166.5	277.5	388.5	499.5	610.5	721.5	832.5	943.5	1054.5	1165.5	1276.5
	2	58.3	169.3	280.3	391.3	502.3	613.3	724.3	835.3	946.3	1057.3	1168.3	1279.3
	3	61.1	172.1	283.1	394.1	505.1	616.1	727.1	838.1	949.1	1060.1	1171.1	1282.1
	4	63.9	174.9	285.9	396.9	507.9	618.9	729.9	840.9	951.9	1062.9	1173.9	1284.9
	5	66.7	177.7	288.7	399.7	510.7	621.7	732.7	843.7	954.7	1065.7	1176.7	1287.7
	6	69.5	180.5	291.5	402.5	513.5	624.5	735.5	846.5	957.5	1068.5	1179.5	1290.5
	7	72.3	183.3	294.3	405.3	516.3	627.3	738.3	849.3	960.3	1071.3	1182.3	1293.3
	8	75.1	186.1	297.1	408.1	519.1	630.1	741.1	852.1	963.1	1074.1	1185.1	1296.1
	9	77.9	188.9	299.9	410.9	521.9	632.9	743.9	854.9	965.9	1076.9	1187.9	1298.9
	10	80.7	191.7	302.7	413.7	524.7	635.7	746.7	857.7	968.7	1079.7	1190.7	1301.7
	11	83.5	194.5	305.5	416.5	527.5	638.5	749.5	860.5	971.5	1082.5	1193.5	1304.5
	12	86.3	197.3	308.3	419.3	530.3	641.3	752.3	863.3	974.3	1085.3	1196.3	1307.3
	13	89.1	200.1	311.1	422.1	533.1	644.1	755.1	866.1	977.1	1088.1	1199.1	1310.1
	14	91.9	202.9	313.9	424.9	535.9	646.9	757.9	868.9	979.9	1090.9	1201.9	1312.9
	15	94.7	205.7	316.7	427.7	538.7	649.7	760.7	871.7	982.7	1093.7	1204.7	1315.7
	16	97.5	208.5	319.5	430.5	541.5	652.5	763.5	874.5	985.5	1096.5	1207.5	1318.5

附录 B 各寄存器定义详情

此处内容补充 5 章节中协议里定义各个信息的定义，便于用户对设备的使用和开发。

B.1 电机转速（MOT_SPD）

电机转速寄存器（共 2bytes）						
序号	byte1	byte2				
功能	MOT_SPD					

寄存器说明：

- （1）本寄存器用以配置电机转向和电机转速；
- （2）数据存储采用大端模式；
- （3）配置转速列表如下：
 - （byte1==0x04）&&（byte2==0xB0）：转速 1200rpm，顺时针旋转；
 - （byte1==0x02）&&（byte2==0x58）：转速 600rpm，顺时针旋转；
 - （byte1==0x01）&&（byte2==0x2C）：转速 300rpm，顺时针旋转；

配置其他数据，电机转速皆为 0。

B.2 以太网（ETH）

以太网寄存器（共 22bytes）								
序号	byte1	byte2	byte3	byte4	byte5	byte6	byte7	byte8
功能	LIDAR_IP				DEST_PC_IP			
序号	byte9	byte10	byte11	byte12	byte13	byte14	byte15	byte16
功能	MAC_ADDR						port1	
序号	byte17	byte18	byte19	byte20	byte21	byte22		
功能	port2		port3		Port4			

寄存器说明：

- （1）LIDAR_IP 为 LiDAR 的源 IP 地址，占据 4byte
- （2）DEST_PC_IP 为目的 PC 的 IP 地址，占据 4byte
- （3）MAC_ADDR 为 LiDAR 的 MAC 地址
- （4）port1~port4 为端口号信息，port1 为 MSOP 包 LiDAR 输出的端口号，port2 为 MSOP 包目的 PC 接收端口号，port3 为 DIFOP 包 LiDAR 输出的本地端口，port4 为 DIFOP 包目的 PC 接收端口号。默认情况建议 port1 和 port2 设置相同，port3 和 port4 设置相同。

B.3 FOV 设置 (FOV_SET)

FOV 设置 (共 4bytes)						
序号	byte1	byte2	byte3	byte4		
功能	FOV_START		FOV_END			

寄存器说明:

设置设备输出有效数据的水平角度范围，FOV_START 和 FOV_END 调整范围 0~36000，对应角度 0~360°，存储方式为大端模式。比如：byte1=0x5d，byte2=0xc0，byte3=0x1f，byte4=0x40，则：

$$\text{FOV_START} = 93 \times 256 + 192 = 24000$$

$$\text{FOV_END} = 31 \times 256 + 64 = 8000$$

表明有效的数据输出的水平角度范围为 240.00°~80.00°。

注：以上 byte 已由十六进制转化为十进制后进行计算。

B.4 电机锁相相位(MOT_PHASE)

电机锁相寄存器 (共 2bytes)						
序号	byte1	byte2				
功能	MOT_PHASE					

寄存器说明:

调整电机在整数秒的旋转相位，配合 GPS 的 PPS 脉冲使用，调整值范围 0~360，对应角度 0~360°，存储方式为大端模式，比如：byte1=0x01、byte2=0x0e，则电机转动相位值为 $1 \times 256 + 14 = 270$ ；

注：以上 byte 已由十六进制转化为十进制后进行计算。

B.5 主板固件版本(TOP_FRM)

主板固件版本 (共 5bytes)						
序号	byte1	byte2	byte3	byte4	byte5	
功能	TOP_FRM					

寄存器说明:

该版本号与主板固件文件版本号对应，对应关系如下：

固件文件版本号： T6R23V6_T6_A

协议输出版本号： 06 23 06 06 A0

即协议输出版本号为： 0x06230606A0

版本号中标记“_A”表示发布程序版本 Application，“_F”表示工厂模式程序版本 Factory。

B.6 底板固件版本(BOT_FRM)

底板固件版本（共 5bytes）						
序号	byte1	byte2	byte3	byte4	byte5	
功能	BOT_FRM					

寄存器说明：

该版本号与固件文件版本号对应，对应关系如下：

固件文件版本号： B7R14V4_T1_F

协议输出版本号： 07 14 04 01 F0

即协议输出版本号为： 0x07140401F0

版本号中标记“_A”表示应用程序版本 Application，“_F”表示工厂模式程序版本 Factory。

B.7 垂直角校准（COR_VERT_ANG）

垂直角校准寄存器（共 48bytes）									
序号	byte1	byte2	byte3	byte4	byte5	byte6	byte7	byte8	byte9
功能	1 通道垂直角度			2 通道垂直角度			3 通道垂直角度		
序号	byte10	byte11	byte12	byte13	byte14	byte15	byte16	byte17	byte18
功能	4 通道垂直角度			5 通道垂直角度			6 通道垂直角度		
序号	byte19	byte20	byte21	byte22	byte23	byte24	byte25	byte26	byte27
功能	7 通道垂直角度			8 通道垂直角度			9 通道垂直角度		
序号	byte28	byte29	byte30	byte31	byte32	byte33	byte34	byte35	byte36
功能	10 通道垂直角度			11 通道垂直角度			12 通道垂直角度		
序号	byte37	byte38	byte39	byte40	byte41	byte42	byte43	byte44	byte45
功能	13 通道垂直角度			14 通道垂直角度			15 通道垂直角度		
序号	byte46	byte47	byte48						
功能	16 通道垂直角度								

寄存器说明：

- （1）每个通道的垂直角校准信息存储采用大端模式；
- （2）LSB = 0.0001 度；
- （3）角度值为无符号整数，1~8 通道角度为俯视角，9~16 通道角度为仰视角；

比如 9 通道寄存器值为 byte1 = 0x00, byte2 = 0x27, byte3 = 0x10, 则 9 通道的垂直角度值为： $(0 \times 256^2 + 39 \times 256 + 16) \times 0.0001 = 1$ 度，为仰视角。

B.8 序列号（SN）

序列号寄存器（共 6bytes）						
序号	1byte	2byte	3byte	4byte	5byte	6byte
功能	SN					

类似 mac 地址，以 16 进制共 6bytes 数值指示设备序列号。

B.9 上位机驱动兼容性信息（SOFTWARE_VER）

上位机驱动兼容寄存器（共 2bytes）						
序号	byte1	byte2				
功能	SOFTWARE_VER					

提供上位机版本兼容信息说明。

B.10 时间（UTC_TIME）

时间寄存器（共 10bytes）								
序号	byte1	byte2	byte3	byte4	byte5	byte6	byte7	byte8
功能	year	month	day	hour	min	sec	ms	
序号	byte9	byte10						
功能	us							

寄存器说明：

1) year

reg name: set_year								
序号	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
功能	set_year[7:0]: 数据 0~255 对应 2000~2255 year							

2) month

reg name: set_month								
序号	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
功能	保留	保留	保留	保留	set_month[3:0]: 1~12 month			

3) day

reg name: set_day								
序号	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
功能	保留	保留	保留	set_day[4:0]: 1~31 day				

4) hour

reg name: set_hour								
序号	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
功能	保留	保留	保留	set_hour[4:0]: 0~23 hour				

5) min

reg name: set_min								
序号	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0

功能	保留	保留	set_min[5:0]: 0~59 min
----	----	----	------------------------

6) sec

reg name: set_sec								
序号	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
功能	保留	保留	set_sec[5:0]: 0~59 sec					

7) ms

reg name: set_ms								
序号	bit15	bit14	bit13	bit12	bit11	bit10	bit9	bit8
功能	保留	保留	保留	保留	保留	保留	ms[9:8]	
序号	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
功能	set_ms[7:0]							

注：set_ms[9:0]值范围：0~999

8) us

reg name: set_us								
序号	bit15	bit14	bit13	bit12	bit11	bit10	bit9	bit8
功能	保留	保留	保留	保留	保留	保留	us[9:8]	
序号	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
功能	set_us[7:0]							

注：set_us[9:0]值范围：0~999

B.11 运行状态（STATUS）

运行状态寄存器共 18bytes								
序号	byte1	byte2	byte3	byte4	byte5	byte6	byte7	byte8
功能	Idat1_reg			Idat2_reg			Vdat_12V_reg	
序号	byte9	byte10	byte11	byte12	byte13	byte14	byte15	byte16
功能	Vdat_12V_M_reg		Vdat_5V_reg		Vdat_3V3_reg		Vdat_2V5_reg	
序号	17byte	18byte						
功能	Vdat_1V2_reg							

寄存器说明：

（1）Idat，包括 2 路电流值，其中 Idat1 是设备供电电流，Idat2 是主板供电电流。每路电流值大小由 3byte 组成，组成 Idat_reg[23:0]。其中最高位 Idat_reg[23]是符号标志位，Idat_reg[23] = 1 为负值，Idat_reg[23] = 0 为正值。Idat_reg[22:0]对应电流值大小，LSB 为 1uA，电流计算公式：

$$Idat = \begin{cases} Idat_reg[22:0] \cdots \cdots (Idat_reg[23] = 0) \\ -Idat_reg[22:0] \cdots \cdots (Idat_reg[23] = 1) \end{cases}$$

比如，当 byte1 = 0x8C，byte2 = 0xD5，byte3 = 0x00 时，实际电流值：

$I_{dat} = -I_{dat_reg}[22:0] = -0x0CD500 \text{ uA} = -840960 \text{ uA} \approx -841 \text{ mA}$

(2) V_{dat} , 包括 6 路电压值, 每路电压值大小由 2byte 组成, 组成 $V_{dat_reg}[15:0]$ 。其中高 4 位 $V_{dat_reg}[15:12]$ 数据无效。 $V_{dat_reg}[11:0]$ 对应电压值大小, 各路电压计算公式如下:

$$V_{dat_12V} = V_{dat_12V_reg}[11:0] / 4096 * 2.5 * 12$$

$$V_{dat_12V_M} = V_{dat_12V_M_reg}[11:0] / 4096 * 2.5 * 12$$

$$V_{dat_5V} = V_{dat_5V_reg}[11:0] / 4096 * 2.5 * 4$$

$$V_{dat_3V3} = V_{dat_3V3_reg}[11:0] / 4096 * 2.5 * 2$$

$$V_{dat_2V5} = V_{dat_2V5_reg}[11:0] / 4096 * 2.5 * 2$$

$$V_{dat_1V2} = V_{dat_1V2_reg}[11:0] / 4096 * 2.5 * 2$$

以上电压计算公式的单位是伏特 (V)。

B.12 故障诊断 (FALT_DIGS)

故障诊断寄存器 (共 40bytes)								
序号	byte1	byte2	byte3	byte4	byte5	byte6	byte7	byte8
功能	内部调试使用							
序号	byte9	byte10	byte11	byte12	byte13	byte14	byte15	byte16
功能	内部调试使用		cksum_st	manc_err1		manc_err2		gps_st
序号	byte17	byte18	byte19	byte20	byte21	byte22	byte23	byte24
功能	temperature1		temperature2		temperature3		temperature4	
序号	byte25	byte26	byte27	byte28	byte29	byte30	byte31	byte32
功能	temperature 5		内部调试使用					r_rpm1
序号	byte33	byte34	byte35	byte36	byte37	byte38	byte39	byte40
功能	r_rpm2	内部调试使用						

寄存器说明:

(1) 表中 byte11 的 cksum_st 是读取 EEPROM 的温飘补偿值的校验和的出错状态指示, cksum=0x00 表示温飘补偿值正常可用, cksum=0x01 表示温飘补偿值不正常, FPGA 内部温飘校正出错。

(2) manc_err1 和 manc_err2 用于计算数据通信传输的误码率, manc_err1 用于计算 1bit 误码率, manc_err2 用于计算 2bit 误码率。误码率的计算公式如下:

$$manc_err1_per = manc_err1 / 65536 * 100\%$$

$$manc_err2_per = manc_err2 / 65536 * 100\%$$

manc_err1_per 或 manc_err2_per 为 0 时, 表明通信传输值正常。

(3) temperature1, temperature2 是底板温度, temperature3, temperature4 是顶板

温度。温度值大小由 2byte 组成，低 3 位 $temperature[2:0]$ 数据无意义。高 13 位 $temperature[15:3]$ 是温度有效值，其中最高位 $temperature[15]$ 是符号标志位， $temperature[15] = 0$ 为正值， $temperature[15] = 1$ 为负值。温度计算公式：

$$temperature_{1_4} = \begin{cases} temperature[15:3] / 16 & (temperature[15] = 0) \\ -((8192 - temperature[15:3]) / 16) & (temperature[15] = 1) \end{cases}$$

Temperature5 是底板温度。温度值大小由 2byte 组成，高 4 位 $temperature[15:12]$ 数据无意义。低 12 位 $temperature[11:0]$ 是温度有效值，其中最高位 $temperature[11]$ 是符号标志位， $temperature[11] = 1$ 为负值， $temperature[11] = 0$ 为正值。温度计算公式：

$$temperature_5 = \begin{cases} temperature[11:0] / 4 & (temperature[11] = 0) \\ -(4096 - temperature[11:0]) / 4 & (temperature[11] = 1) \end{cases}$$

(4) byte16 是 GPS 信号输入状态寄存器 gps_st ，该寄存器使用 3 个比特位，用于指示当前接入的 PPS 信号和 GPRMC 信号是否有效，同时指示当前系统运行的时间是设备本地计数时间还是同步到 UTC。bit 位定义如下：

GPS 信号输入状态寄存器 GPS_ST			
比特号	功能	状态值	状态说明
bit0	PPS 标志：	0	PPS 信号无效
	PPS_LOCK	1	PPS 信号有效
bit1	GPRMC 标志：	0	GPRMC 信号无效
	GPRMC_LOCK	1	GPRMC 信号有效
bit2	UTC 锁定标志：	0	LiDAR 内部时间没有和 UTC 时间进行同步
	UTC_LOCK	1	LiDAR 内部时间正在和 UTC 时间进行同步
bit3~bit7	预留	x	N/A

(5) 电机的实时转速，由 byte32 和 byte33 两个字节组成，计算公式如下：

$$\text{电机实时转速} = (256 * r_rpm1 + r_rpm2) \div 6$$

(6) 其他寄存器是内部调试使用寄存器

B.13 GPRMC 数据包-ASCII 码数据类型

GPRMC 数据包位预留了 86 个字节，根据外接的 GPS 模块输出的 GPRMC 消息长度自适应完整的存储所接收到的 GPRMC 消息，可以 ASCII 码进行解析查看。

附录 C RSView

在本附录中将展示如何使用 RSView 获取、可视化、保存和回放 RS-LiDAR-16 数据。

对于从 RS-LiDAR-16 得到的原始数据，可以使用一些免费工具去检测，例如 Wireshark 和 tcp-dump。但对于可视化这些数据，使用 RSView 是更为便捷和容易实现的方式，本次使用的版本为 RSView3.1.5。

C.1 软件功能

RSView 提供将 RS-LiDAR-16 数据进行实时可视化的功能。RSView 也能回放保存为 pcap 文件格式的数据，但是还不能支持.pcapng 格式的文件。

RSView 将 RS-LiDAR-16 得到距离测量值显示为一个点。它能够支持多种自定义颜色来显示数据，例如反射率、时间、距离、水平角度和激光线束序号。所显示的数据能够导出保存为 CSV 格式，RSView3.1.3 以后的版本支持导出 LAS 格式的数据；之前的版本不支持导出 LAS、XYZ 或者 PLY 格式文件。

RSView 所包含的功能：

- 通过以太网实时显示数据
- 将实时数据记录保存为 PCAP 文件
- 从记录的 PCAP 文件中回放
- 不同类型可视化模式，例如距离、时间、水平角度等等
- 用表格显示点的数据
- 将点云数据导出为 CSV 格式文件
- 测量距离工具
- 将回放数据的连续多帧同时显示
- 显示或者隐藏 RS-LiDAR-16 中个别线束
- 裁剪显示

C.2 安装 RSView

RSView 的安装文件支持 Windows 的 64 位操作系统，安装前不需要安装其他依赖软件。

RS-LiDAR-16 的包装里面的 U 盘中有 RSView 的安装包 **RSView_X.X.X_Setup.exe**。也可以从 Robosense 的官网（<http://www.robosense.cn/resource>）上面下载最新版本 RSView

安装包。点击执行并根据安装提示操作即可，安装完后会在桌面生成快捷方式。安装路径不可以有中文字符。

C.3 设置网路

在第 5 章中有提到雷达出厂时设定的发送电脑的 IP 地址，因此默认情况下需要设定计算机的静态 IP 的地址为 192.168.1.102，子网掩码为 255.255.255.0。此外还需要确保 RSView 没有被防火墙或第三方安全软件给禁止。

C.4 可视化数据

1. RS-LIDAR-16 接通电源，并用网线和电脑连接。
2. 右键使用管理员权限运行打开 RSView 软件。
3. 点击 **File > Open** 并且选择 **Sensor Stream** (图 C-1)

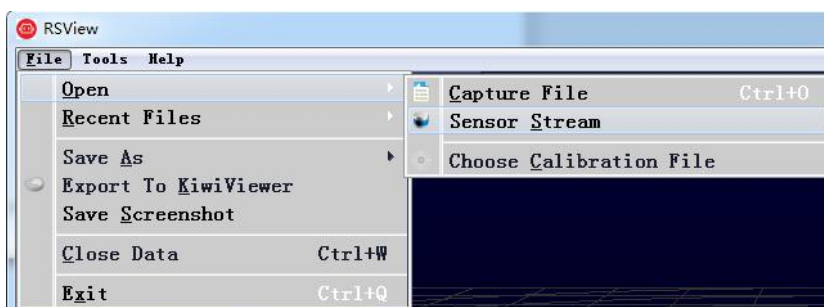


图 C-1 打开 RSView 实时数据显示

4. 在弹出的 **Sensor Configuration** 窗口中，选择 RSlidar16, “Type of Lidar” 勾选 RS16, “Intensity” 选择 Mode3,之后点击 “OK” 即可，如下图 C-2 所示：

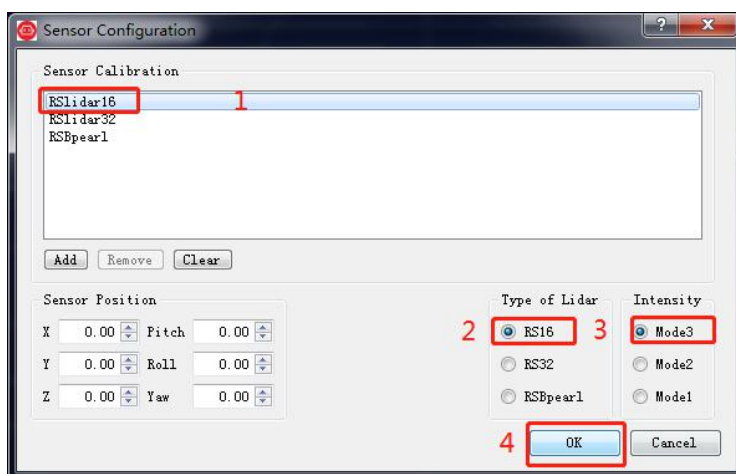


图 C-2 选择 RS-LIDAR-16 参数配置文件

5. RSView 开始显示实时采集到数据(图 C-3)。可以通过点击 **Play** 按钮暂停，再点击一次可以继续显示。

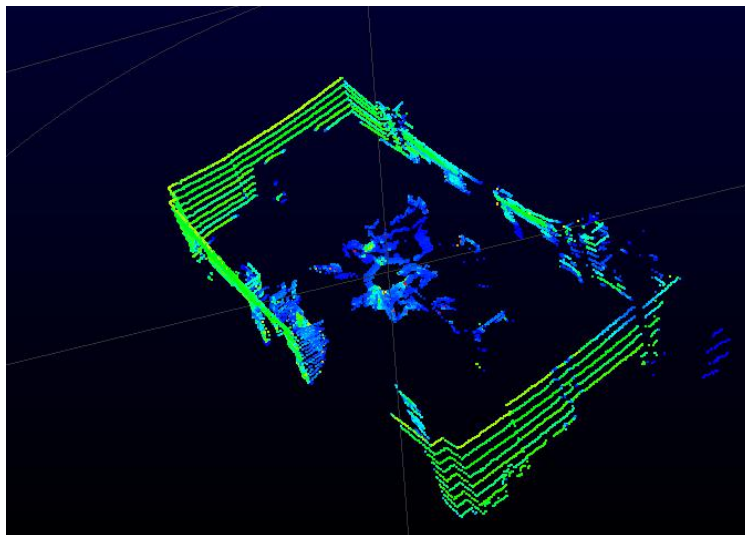


图 C-3 雷达点云数据

C.5 保存 RS-LIDAR-16 数据为 PCAP 格式

1. 在实时显示数据时点击 **Record** 按钮(图 C-4)。



图 C-4 RSView 保存按钮

2. 在弹出的 **Choose Output File** 对话框中，选择需要保存的路径和保存的文件名后，点击“保存 (S)”按钮(图 C-5)。RSView 将开始将数据包文件写入目标 pcap 文件中。(注意：RS-LiDAR-16 将会产生大量的数据，随着记录时间变长，目标 pcap 文件将会变大。因此最好将记录文件保存到 HDD 或者 SSD 中，而不是保存到较慢的 USB 设备或者用网络保存)。

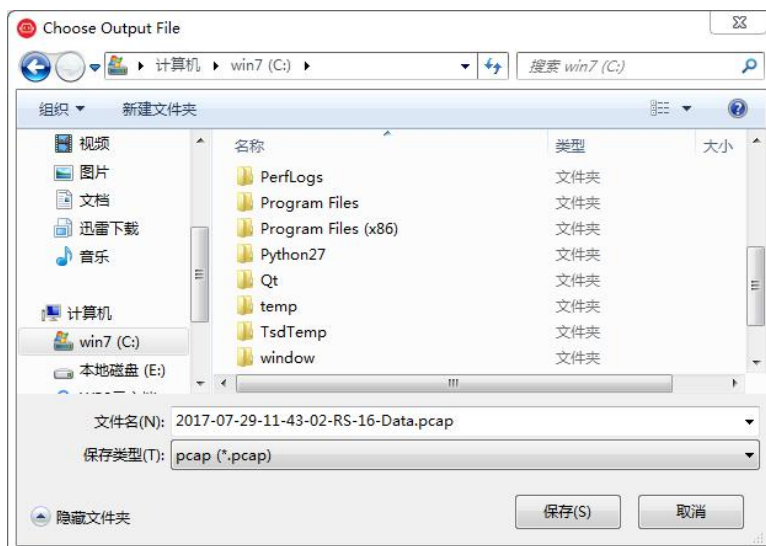


图 C-5 RSView 保存对话框

3. 再次点击 **Record** 按钮停止保存 pcap 数据。

C.6 回放 pcap 数据

可以使用 RSView 对 RS-LiDAR-16 保存的数据 pcap 文件进行回放或者测试。您可以使用 **Play** 按钮去播放或者选择数据中个别帧。也可以用鼠标选择 3D 点云数据中的一部分，然后打开表格进行分析。pcap 文件的保存路径不可以有中文。

1. 点击 **File > Open** 并且选择 **Capture File**。

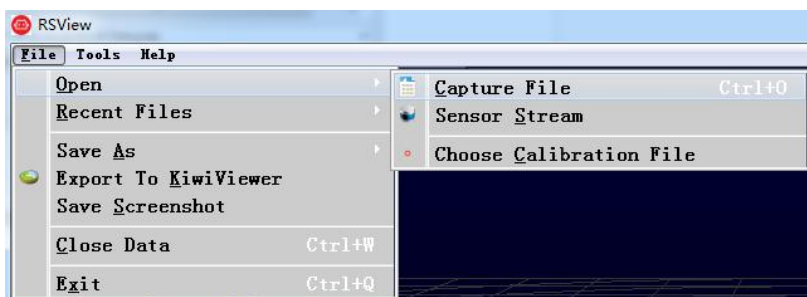


图 C-6 打开 pcap 记录文件

2. 弹出 Open File 对话框，选择一个记录的 pcap 文件并且点击“**打开 (O)**”按钮。

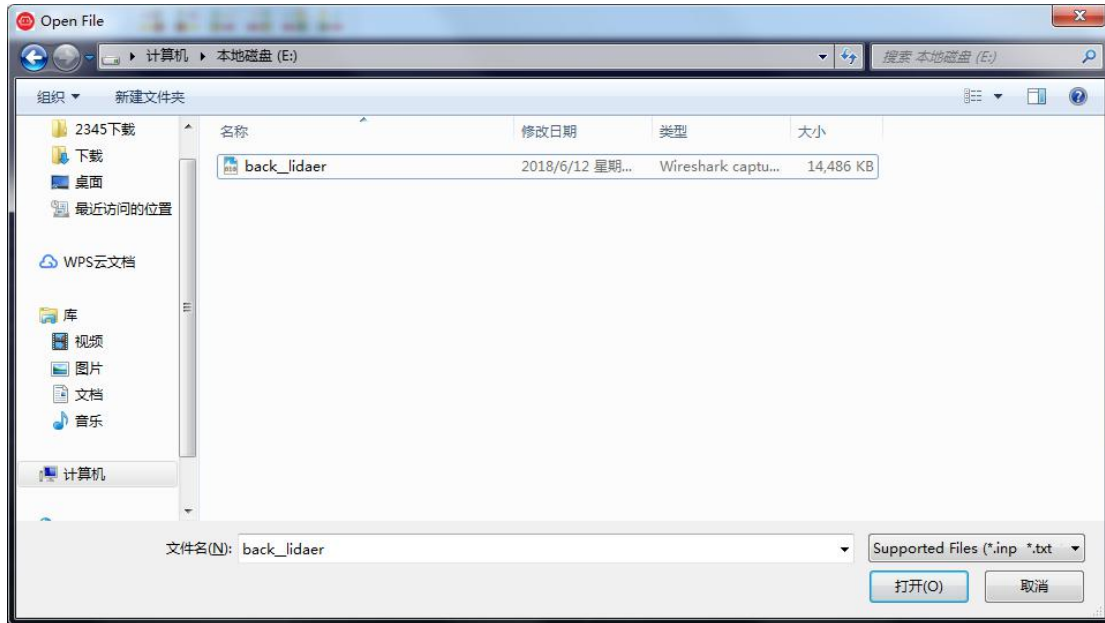


图 C-7 打开 pcap 记录文件

3. 弹出 Sensor Configuration 对话框，添加并选择正确的 RS-LiDAR-16 的配置文件并点击 **OK** 按钮。
4. 点击 **Play** 按钮可以播放或者暂停数据。使用 **Scrub** 滑动工具前后滑动可以选择数据中不同位置的帧，此工具和 **Record** 按钮在同一个工具栏内(图 C-8)



图 C-8 RSView Play 按钮和 Scrub 滑动工具

5. 为了得到更为具体的分析,选择一帧您感兴趣的数据并且点击 **Spreadsheet** 按钮(图 C-9)。一个侧边栏数据表将会显示在软件中右边，在表中包含了这一帧所有的数据。



图 C-9 RSView 表格工具

6. 可以调整表格每列的宽度，或者排序得到更直观的显示。

Showing Data Attribute: Point Data Precision: 3 F								
	Point ID	Points	adjustedtime	azimuth	distance_m	intensity	laser_id	timestamp
0	739	1.776...	998301570.000	993	10.380	5	11	998301570
1	752	1.814...	998301620.000	1011	10.415	6	11	998301620
2	753	1.820...	998301623.000	1012	10.390	25	12	998301623
3	754	1.829...	998301626.000	1013	10.390	13	13	998301626
4	766	1.846...	998301670.000	1029	10.415	6	11	998301670
5	767	1.861...	998301673.000	1030	10.440	25	12	998301673
6	768	1.861...	998301676.000	1031	10.390	13	13	998301676
7	769	1.871...	998301679.000	1032	10.410	33	14	998301679
8	780	1.877...	998301720.000	1047	10.410	6	11	998301720
9	781	1.893...	998301723.000	1048	10.440	25	12	998301723
10	782	1.896...	998301726.000	1049	10.405	13	13	998301726
11	783	1.906...	998301729.000	1050	10.425	40	14	998301729

图 C-10 RSView 表格显示

7. 点击 Spreadsheet 中的 **Show only selected elements**, 可以得到所选择点对应的数据(图 C-11)。

Showing Data Attribute: Point Data Precision: 3 F Show only selected elements								
	Point ID	Points	adjustedtime	azimuth	distance_m	intensity	laser_id	timestamp
0	739	1.776...	998301570.000	993	10.380	5	11	998301570
1	752	1.814...	998301620.000	1011	10.415	6	11	998301620

图 C-11 RSView show only elements 工具

8. 点击 **Select All Points** 工具, 这使得您的鼠标变成一个数据点选择工具(图 C-12)。



图 C-12 RSView Select All Points 工具

9. 在 3D 数据显示空间中, 使用鼠标画一个长方形框住一些数据点, 这些点的数据将会在 Spreadsheet 被选择, 并且在图中会变成粉红色(图 C-13)。

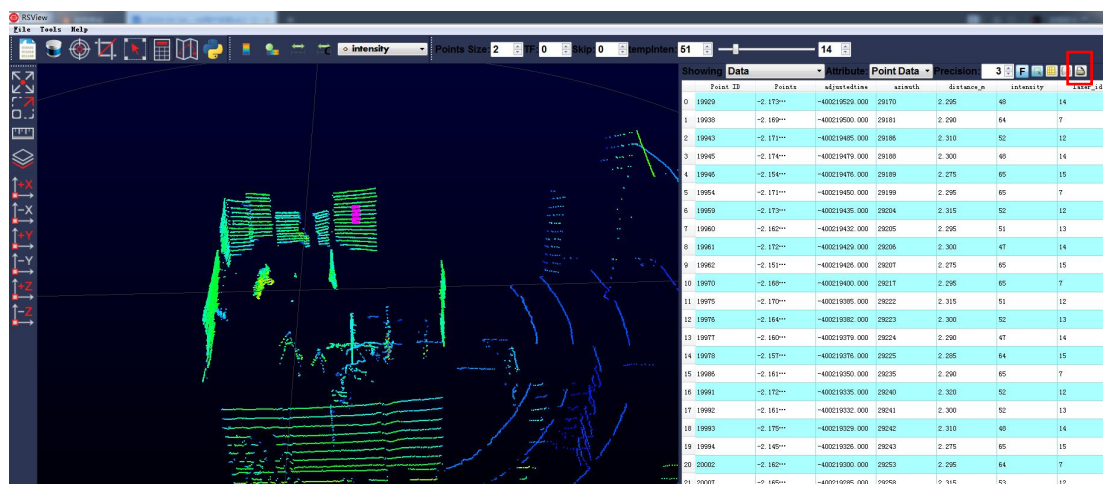


图 C-13 RSView List Selected Points 工具

10. 任何被选中的点都可以通过 Spreadsheet>Show only selected elements>Output CSV data 保存。

C.7 RS-LiDAR-16 工厂固件信息配置

RSView 提供了集成了 UCWP 协议的工具可以用来配置 RS-LiDAR-16 工厂固件设定的转速、以太网参数、时间参数、可选输出角度及回波模式。

在配置 RS-LiDAR-16 工厂固件的参数的时候，需要首先保证 RS-LiDAR-16 设备已经正常连接并且可以实时显示数据。点击 **Tools > RS-LiDAR Information**，会弹出配置窗口。点击窗口中 **Get** 按钮，会显示当前 RS-LiDAR-16 内部固件设定的参数。

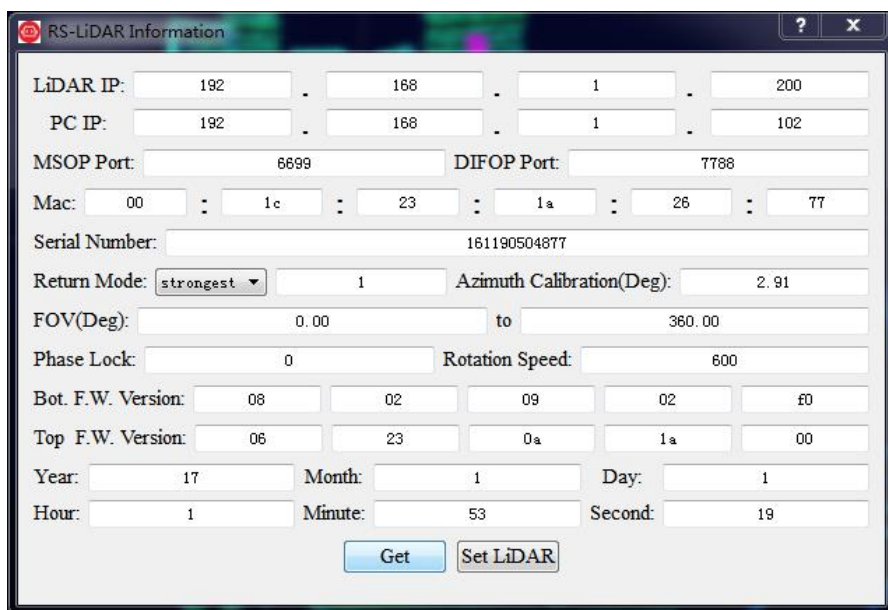


图 C-14 读取雷达内部参数

我们可以在窗口中修改我们想设定的参数（红色框中的只是举例，使用过程中以实际情况为准），然后点击 **Set LiDAR**。提示成功后，再次 Get 查看 RS-LiDAR Information 确认参数是否被修改成功。

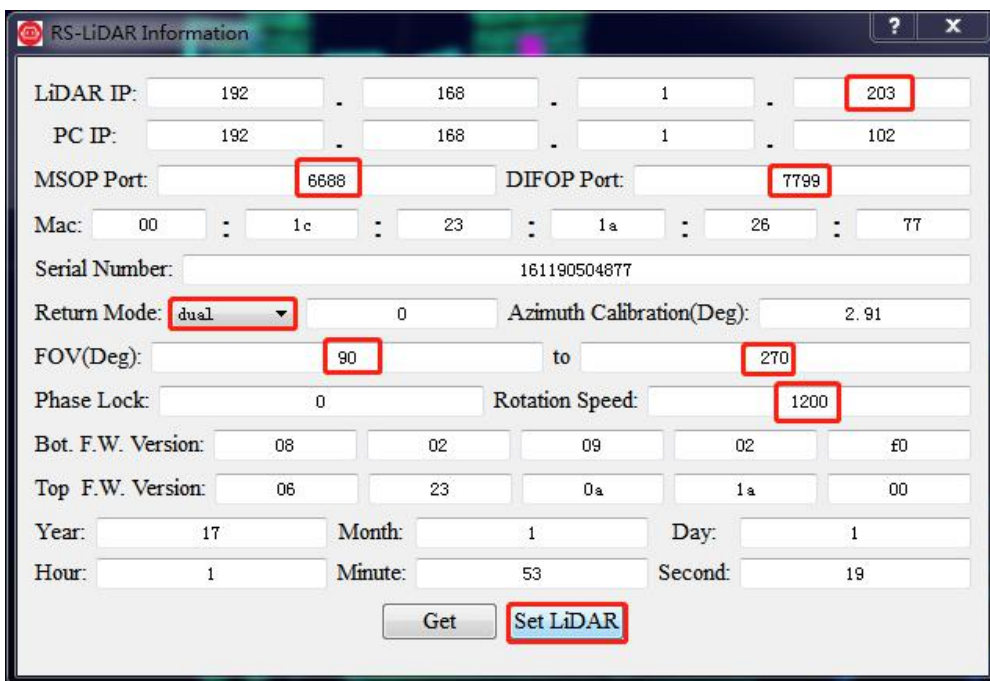


图 C-15 设置雷达内部参数

注 1：在进行参数设定过程中，一定不要断电 LiDAR，否则会造成 LiDAR 内部参数保存错误。

注 2：如果修改了 RS-LiDAR-16 工厂固件的 MSOP Port 或 DIFOP Port 参数，重新连接设备的时候需要先根据 C.8 节配置 RSView 的 Data Port。

C.8 配置 RSView Data Port

RS-LiDAR-16 默认的 MSOP 端口号是 6699，默认的 DIFOP 端口号是 7788，如果在 C.7 节中修改了这 2 个参数或用其他方式修改了 RS-LiDAR-16 的端口号，我们则需要重新设定 RSView 获取数据的 Data Port 为修改后的端口号，否则将不会有数据显示。如果不知道 RS-LiDAR-16 的 MSOP 端口和 DIFOP 端口，可以连接设备到电脑后，使用 Wireshark 软件抓包查看 LiDAR 数据包的 Dst Port。

点击 Tools > Data Port，输入修改后的 RS-LiDAR-16 MSOP Port 和 DIFOP Port，然后点击 Set Data Port。

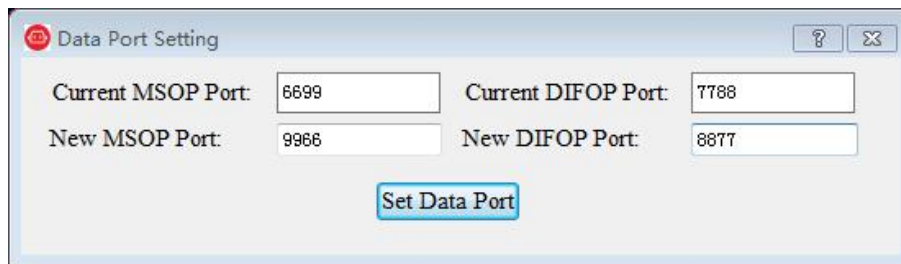


图 C-17 设置端口号

C.9 在线固件升级

需要首先保证 RS-LiDAR-16 设备已经正常连接, 并可以正常显示点云和获取 C.8 中工厂固件信息。

点击 **Tools > Online Update**, 如图 C-18 所示显示, 可以选择主板固件更新和底板固件。



图 C-18 在线升级

例如, 点击 **Bottom Board Update** 后在弹出的窗口中选择升级所需的.rpd 固件文件, 然后点击打开, 开始底板固件的在线升级。升级过程会持续一段时间, 升级完成后会显示“Online Update Successful”

注: Config Updata 选项不可用。

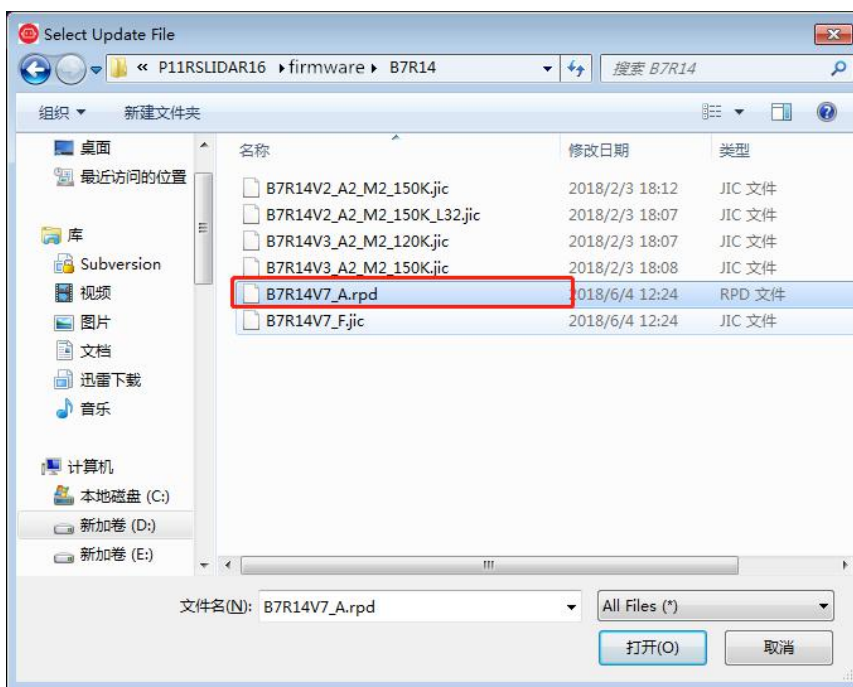


图 C-19 选择升级固件

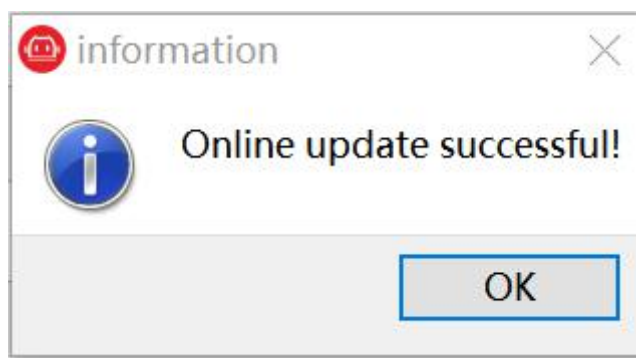


图 C-20 更新成功

C.10 故障诊断

需要首先保证 RS-LiDAR-16 设备已经正常连接，并可以正常显示点云和获取 C.8 中工厂固件信息。

点击 **Tools > Fault Diagnosis**，弹出故障诊断窗口。点击 **Start** 按钮可以开始对 RS-LiDAR-16 的实时状态监控，包含有电流、电压、温度、数据误码率等信息监控。

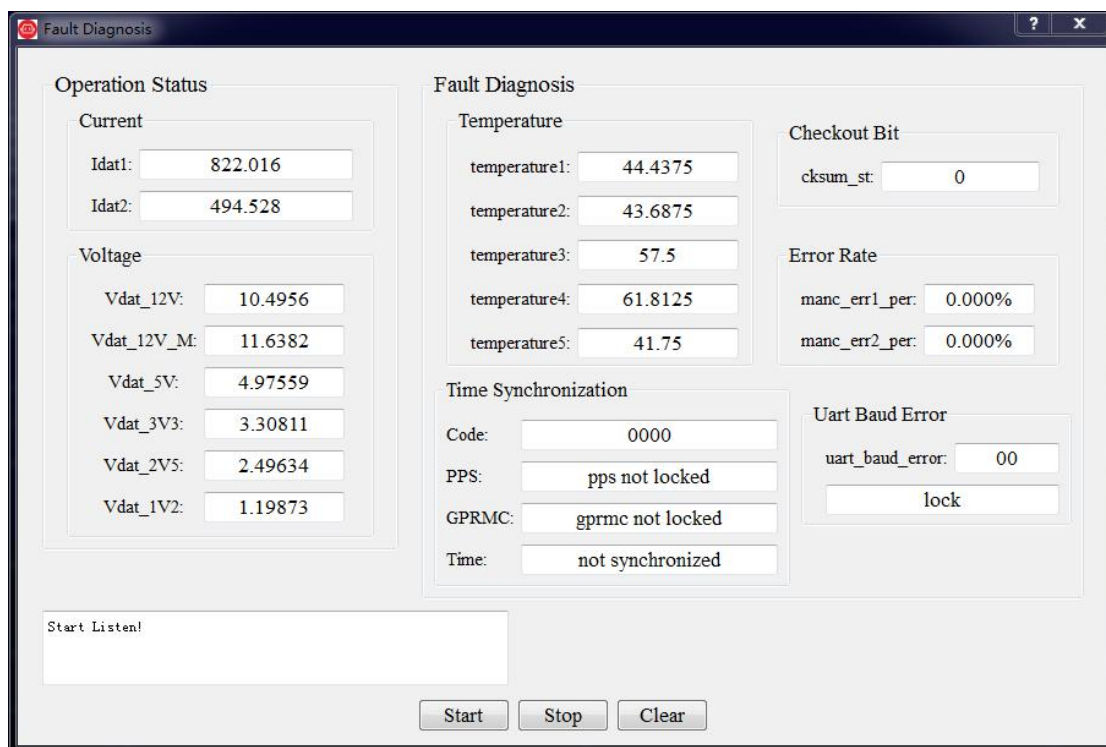


图 C-21 故障诊断

附录 D RS-LiDAR-16 ROS Package

本附录将说明如何使用 Ubuntu+ROS 来获取和可视化 RS-LiDAR-16 的数据。

D.1 安装软件

1. 下载并安装 Ubuntu 16.04 操作系统。
2. 根据链接 (<http://wiki.ros.org/kinetic/Installation>) 安装并测试 ROS kinetic 基本功能。
3. 下载并安装 [libpcap-dev](#)。

D.2 编译 RS-LiDAR-16 ROS Package

1. 创建 ros 工作目录：

```
cd ~  
mkdir -p catkin_ws/src
```

2. 拷贝对应您购买的 RS-LiDAR-16 对应的 ros_rslidar 驱动到 ROS 工作目录~/catkin_ws/src 下面。最新版本的 ros_rslidar 驱动可以从 https://github.com/RoboSense-LiDAR/ros_rslidar 下载。

3. 在终端中运行如下命令进行编译：

```
cd ~/catkin_ws  
catkin_make
```

4. 放入 U 盘中对应雷达的参数文件：

雷达参数文件在随雷达出货的 U 盘中，需要将 U 盘中的 configuration_data 文件夹内容拷贝到 launch 文件中指定的文件夹下即可，此路径可自定义，例如：

rslidar_pointcloud/data/rs_lidar_16。

注：如若配件中无 U 盘或者 U 盘中无 configuration_data 文件夹则不需要放置，使用默认即可。

D.3 配置电脑 IP

默认 RS-LiDAR-16 固件情况下，配置电脑系统的静态 IP 地址为“192.168.1.102”，子网掩码为“255.255.255.0”，网关不需要配置。

配置完成后，可以通过 ifconfig 命令查看静态 IP 是否生效。

D.4 实时显示

1. 将 RS-LiDAR-16 连接网线到电脑，并且上电，运行，等待电脑识别到 LiDAR 设备。
2. 使用 `ros_rslidar` 包里面提供的 `launch` 文件运行来启动实时显示数据的节点程序，该 `launch` 文件位于 `rslidar_pointcloud/launch`。打开一个终端运行：

```
cd ~/catkin_ws
source devel/setup.bash
roslaunch rslidar_pointcloud rs_lidar_16.launch
```

3. 在另外一个终端中运行：

```
rviz
```

然后设置 Fixed Frame 为 `rslidar`，添加 `PointCloud2` 类型的消息并设置 topic 为 `rslidar_points`。

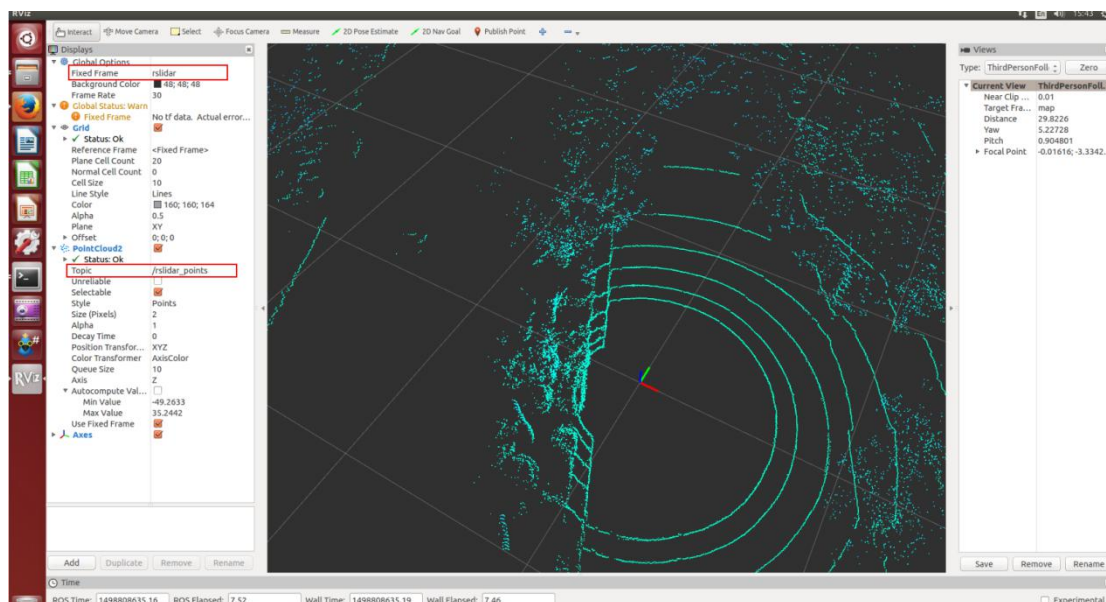


图 D-1 rviz 显示 RS-LiDAR-16 点云数据

D.5 查看离线数据

可以利用 `ros_rslidar` 来将保存的离线 `pcap` 文件解析成点云数据进行显示。

1. 修改 `rs_lidar_16.launch` 文件为如下（主要修改标记为红色的那一行）：

```
<launch>

<arg name="model" default="RS16" />

<arg name="device_ip" default="192.168.1.200" />

<arg name="msop_port" default="6699" />

<arg name="difop_port" default="7788" />
```

```
<arg name="lidar_param_path" default="$(find rslidar_pointcloud)/data/rs_lidar_16/" />

<node name="rslidar_node" pkg="rslidar_driver" type="rslidar_node" output="screen" >

  <param name="model" value="$(arg model)" />

  <param name="device_ip" value="$(arg device_ip)" />

  <param name="msop_port" value="$(arg msop_port)" />

  <param name="difop_port" value="$(arg difop_port)" />

  <param name="pcap" value="指向.pcap 的绝对路径" />

</node>

<node name="cloud_node" pkg="rslidar_pointcloud" type="cloud_node" output="screen" >

  <param name="model" value="$(arg model)" />

  <param name="curves_path" value="$(arg lidar_param_path)/curves.csv" />

  <param name="angle_path" value="$(arg lidar_param_path)/angle.csv" />

  <param name="channel_path" value="$(arg lidar_param_path)/ChannelNum.csv" />

</node>

<node name="rviz" pkg="rviz" type="rviz" args="-d $(find rslidar_pointcloud)/rviz_cfg/rslidar.rviz" />

</launch>
```

2. 打开终端，运行节点程序：

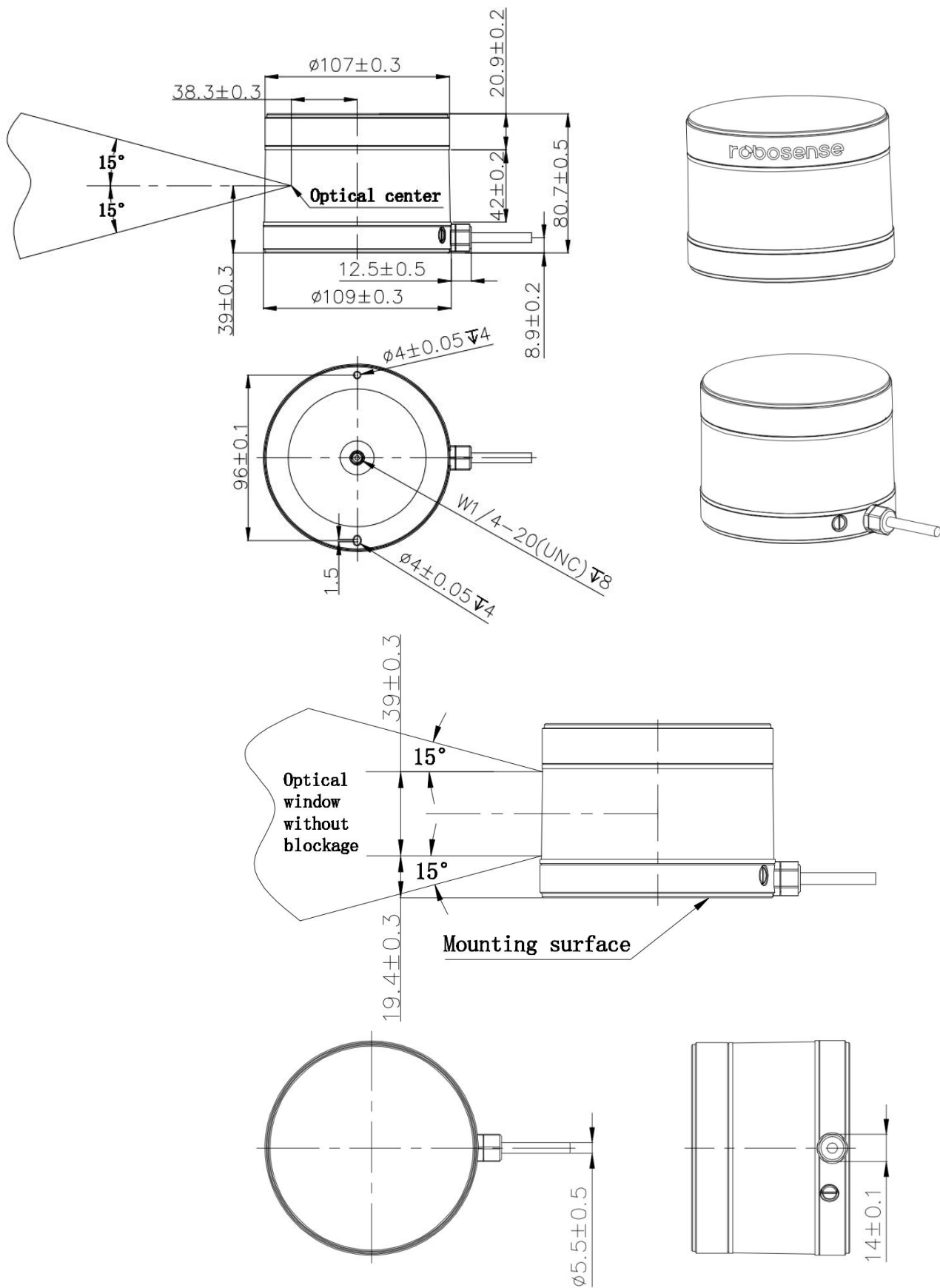
```
cd ~/catkin_ws

source devel/setup.bash

roslaunch rslidar_pointcloud rs_lidar_16.launch
```

3. 通查看实时数据第 3 步一样。

附录 E 结构图纸



附录 F 机械安装建议

如下图所示，用于固定激光雷达的安装底座建议尽可能的平整，不要出现凹凸不平的现象。

安装底座上的定位柱应严格遵循激光雷达底部定位柱的深度，定位柱的高度不能高于4mm。安装底座的材质建议使用铝合金材质，有助于激光雷达的散热。

激光雷达安装的时候，如果激光雷达上下面都有接触式的安装面，请确保安装面之间的间距大于激光雷达的高度，避免挤压激光雷达。

激光雷达固定安装的时候，倾斜角度不建议超过 90 度，倾斜角度过大会对激光雷达的寿命造成影响。

激光雷达安装走线的时候，不要将雷达上面的线拉的太紧绷，需要保持线缆具有一定的松弛。

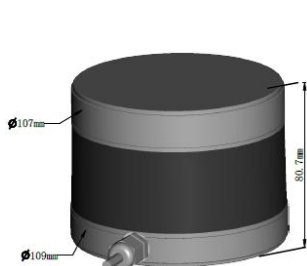


图1: 雷达侧面图示

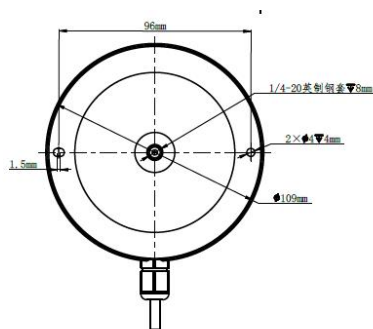
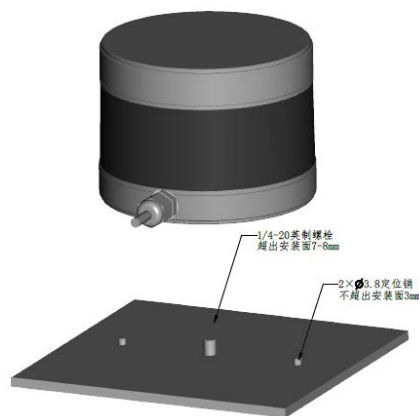
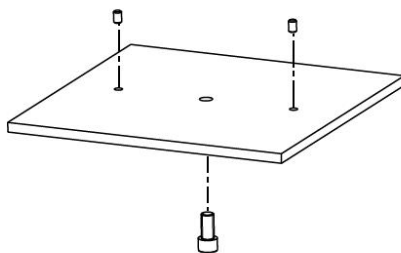


图2: 雷达底面安装图示

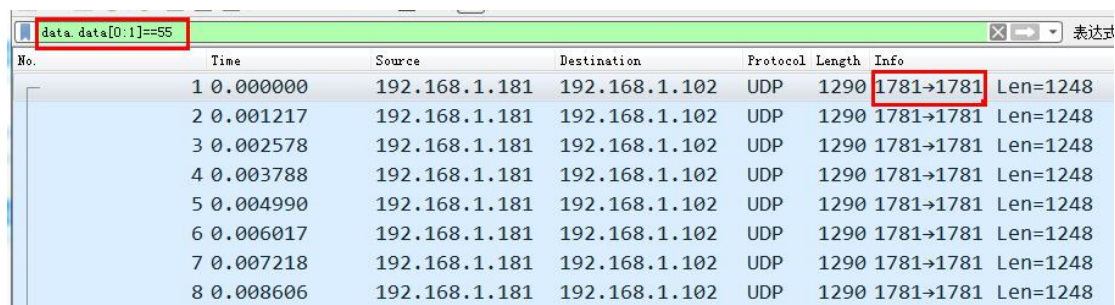


雷达安装示意图

附录 G 查找 MSOP 和 DIFOP 类型的包对应的端口

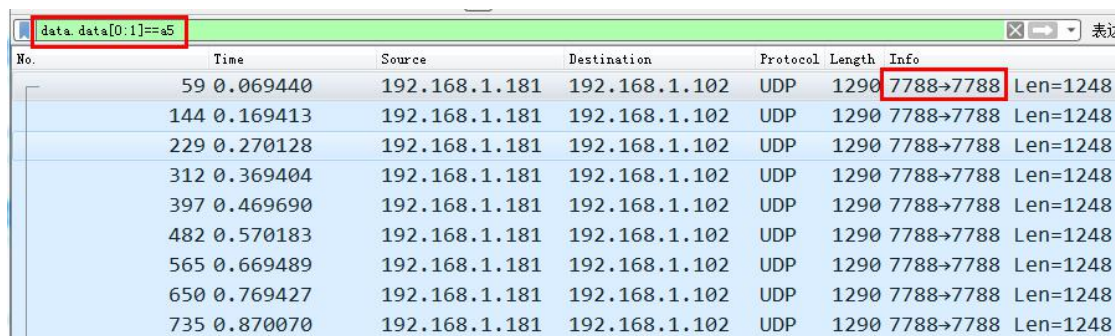
根据第 5 章描述 RS-LiDAR-16 会输出 MSOP 和 DIFOP 两种类型的包，可以使用 Wireshark 工具过滤包内容来区分 MSOP 和 DIFOP 包的输出端口，从而在 RSView 中进行 Data Port 设置的时候使用。

连上设备到电脑，并且给设备供电，启动 Wireshark，选择正确的网口，开始抓包过程。在应用显示过滤器中输入 `data.data[0:1]==55` 表达式可以过滤出其中的 MSOP 包，在 Info 栏中可以获取雷达数据中 MSOP 端口号，如图 G-1 所示；同理输入 `data.data[0:1]==a5` 表达式则可以得到雷达数据中 DIFOP 端口号，如图 G-2 所示。



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	1781->1781 Len=1248
2	0.001217	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	1781->1781 Len=1248
3	0.002578	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	1781->1781 Len=1248
4	0.003788	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	1781->1781 Len=1248
5	0.004990	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	1781->1781 Len=1248
6	0.006017	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	1781->1781 Len=1248
7	0.007218	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	1781->1781 Len=1248
8	0.008606	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	1781->1781 Len=1248

图 G-1 Wireshark 过滤 MSOP 端口号方法



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
59	0.069440	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	7788->7788 Len=1248
144	0.169413	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	7788->7788 Len=1248
229	0.270128	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	7788->7788 Len=1248
312	0.369404	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	7788->7788 Len=1248
397	0.469690	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	7788->7788 Len=1248
482	0.570183	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	7788->7788 Len=1248
565	0.669489	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	7788->7788 Len=1248
650	0.769427	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	7788->7788 Len=1248
735	0.870070	192.168.1.181	192.168.1.102	UDP	1290	7788->7788 Len=1248

图 G-2 Wireshark 过滤 DIFOP 端口号方法

附录 H 传感器清洁

为了能够准确地感知周围环境，RS-LiDAR 需要保持洁净，特别是环形的防护罩。

H.1 注意事项

请在清理 RS-LiDAR 前仔细并完整的阅读本附录 H 的内容，否则不当的操作可能会损坏设备。

雷达在环境比较恶劣的情况下使用，需要及时清理表面的脏污保持雷达清洁，否则会影响雷达的正常使用。

H.2 需要的材料

1. 洁净的纤维布
2. 装有中性的温洗皂液的喷雾
3. 装有洁净的水的喷雾
4. 异丙醇溶剂
5. 干净的手套

H.3 清洁方法

如果雷达的表面只是粘附了一些灰尘/粉尘，可直接用洁净的纤维布粘少量的异丙醇溶液，然后轻轻地对雷达表面拭擦清洁，再用一块干燥洁净的纤维布将其擦干。

如果雷达表面沾上了泥浆等块状异物，首先应使用洁净水喷洒在雷达脏污部位表面让泥浆等异物脱离（注意：不能直接用纤维布将泥浆擦掉，这样做可能会划伤表面特别是防护罩表面）。其次用温的肥皂水喷洒在脏污部位，因肥皂水的润滑作用可加速异物的脱离。再次用纤维布轻轻拭擦雷达表面，但注意不要擦伤表面。最后用洁净的水清洗雷达表面肥皂的残留（如果表面仍有残留，可用异丙醇溶液对其再次清洁），同时用一块干燥的微纤维布擦干。

 400 6325 830

Smart Sensor, Safer World

深圳市速腾聚创科技有限公司
Shenzhen Suteng Innovation Technology Co., LTD.

Address: 深圳市南山区留仙大道 3370 号南山智园崇文园区 3 栋 10-11 层 10-11/F, Block 3,
Chongwen Garden, Nanshan IPark, 3370 Liuxian Avenue, Nanshan District, Shenzhen, China
Web: www.robosense.cn Tel: 0755-8632-5830 Email: Service@sz-sti.com