HESAI

www.hesaitech.com

OT128

128 线机械式激光雷达
用户手册

保密等级：公开

文档版本号： O01-zh-240810

目录

■ **关于说明书** **1**
获取渠道 1
技术支持 1
图例及样式 1
■ **安全提示** **2**
特别警示 2
使用环境评估 3
人员评估 5
安装及操作 5
维修 8
1. 产品介绍 **9**
1.1. 适用版本 9
1.2. 工作原理 9
1.3. 基本结构 10
1.4. 通道分布 11
1.5. 激光器发光位置 12
1.6. 技术参数 14
2. 首次使用 **17**
2.1. 机械安装 17
2.1.1. 外观尺寸 17
2.1.2. 推荐安装 22
2.1.3. 螺丝安装说明 23
2.2. 电气接口 24
2.2.1. 引脚定义 24
2.2.2. 连接器插拔 26

2.2.3. 线缆折弯（网线） 27
2.3. 接线盒（选配） 28
2.3.1. 端口 30
2.3.2. 连接 33
2.4. 接收主机的网络设置 35
2.4.1. Windows 系统 36
2.4.2. Ubuntu 系统 39
2.5. 辅助工具 42
3. 数据格式 43
3.1. 点云数据包 44
3.1.1. 以太网包头 44
3.1.2. 点云 UDP 数据 45
3.1.3. 以太网数据尾 54
3.1.4. 点云数据解析方法 55
4. 参数接口 58
4.1. 网络连接 58
4.1.1. 源端 58
4.1.2. 目的端 60
4.2. 功能设置 60
4.3. 状态设置 65
4.4. 时间同步 65
4.5. 雷达信息 67
4.6. 运行状态数据 68
4.7. 升级 69
4.8. 日志 69
5. 通信协议 70
6. 仪器维护 71

7. 故障排查 **73**
附录 A: 通道分布数据 **76**
附录 B: 点云数据的绝对时间 **84**
B.1. 绝对时间的来源 84
B.1.1. PTP 作为时钟源 84
B.2. 点云数据包的绝对时间 85
B.3. 数据块的开始时间 85
B.4. 各通道的发光时刻偏移 87
附录 C: 反射率非线性映射 **96**
C.1. 非线性映射 1# 96
C.2. 非线性映射 2# 101
附录 D: 法律申明 **105**

■ 关于说明书

使用产品前，请务必仔细阅读本说明书，并遵循说明书的指示操作产品，以避免导致产品损坏、财产损失、人身损害和/或违反产品保修条款。

获取渠道

可通过以下方式获取说明书最新版本：

- 访问禾赛科技官网的“下载”页面： https://www.hesaitech.com/cn/product/download
- 联系禾赛科技销售人员。
- 联系禾赛技术支持：service@hesaitech.com

技术支持

如果遇到说明书无法解决的问题，请通过以下方式联系我们：

- service@hesaitech.com
- https://www.hesaitech.com/cn/support
- https://github.com/HesaiTechnology

图例及样式



警示：务必遵循的安全指示或正确操作方法。



注意：补充信息，以便更好地使用产品。

等宽字体：表示字段名，例如 `Distance`。

■ 安全提示

- 请仔细阅读产品说明书中的安全提示并遵守相关警告注意事项，以免导致产品损坏、财产损失或人身损害等。
- 请查看产品外壳（包括铭牌）上的认证信息，并查询相应的认证警语。如与特定用户商定不通过铭牌体现认证信息，请以商定的信息为准。
- 如果将此激光雷达产品作为您产品的一部分，请务必向您产品的预期使用者提供本说明书，或提供说明书的获取方式。
- 此激光雷达产品用作最终产品的零部件之一。最终产品提供者有责任根据最终产品的适用标准进行评估，并将适当的安全提示信息告知最终产品的预期使用者。
- 如存在与特定用户另行商定的情形，请以另行商定的信息为准。
- 用户在使用产品前，如果无法确认产品开发成熟度，请及时与禾赛科技联系确认。禾赛不对尚未开发完成的产品做出任何不侵权保证，也不承担任何质量保证责任。

特别警示

激光安全



外壳高温



当心表面高温！
接触可能导致灼伤。
接触前请关机冷却半小时。

异常停用

以下列举的任一情形下，请立即停止使用产品：

- 怀疑产品已出现故障或受损。例如，察觉到产品有明显噪声或振动。
- 自身或周围环境中的人员感受到任何不适。
- 周围环境中的设备出现运行异常。

同时，请联系禾赛科技或其授权服务商处理疑似故障或受损产品，联系方式参见■ 关于说明书。

禁止拆卸

未经禾赛科技明确书面同意，禁止拆卸产品。

使用环境评估

射频干扰

- 请查看产品外壳（包括铭牌）上的认证信息，并查询相应的认证警语。如与特定用户商定不通过铭牌体现认证信息，请以商定的信息为准。
- 尽管产品的设计、检测和制造均符合射频能量辐射的相关规定（例如 FCC、CE-EMC 或 KCC），但来自产品的辐射仍有可能导致其他电子设备出现故障。

振动条件

- 如果使用环境中可能存在较强的机械冲击或振动，请联系禾赛技术支持以获取特定产品型号的冲击和振动性能参数。超过允许范围的机械冲击或振动可能导致产品受损。
- 应采用防震材料包装产品，以避免运输途中损毁。

爆燃性和其他空气条件

- 请勿在任何存在潜在爆燃性空气的区域内使用产品，例如空气中含高浓度可燃性化学物质、蒸汽或微粒（颗粒、灰尘或金属粉末等）的区域。
- 请勿将产品暴露在高浓度工业化学品环境中，包括易蒸发的液化气体（如氦气）附近，以免损坏或削弱产品功能。

化学环境

请勿将产品暴露在腐蚀性或强极性化学环境（液体或气体等）中，包括但不限于：强酸、强碱、酯类、醚类等，以免造成产品损坏（包括但不限于防水性能失效）。

侵入防护

请查阅 1.6 技术参数中的 IP 防护等级，避免将产品暴露于超过防护等级的环境中。

工作温度

请查阅 1.6 技术参数中的工作温度，避免将产品暴露于超过工作温度范围的环境中。

建议存储环境

请将产品存放于通风干燥处，建议存放温度为 23 ± 5°C，湿度为 30% ~ 70%。

光干扰

某些精密光学设备可能受到产品发出激光的干扰。请查阅这些设备的全部相关说明，并判断是否需要采取防护措施。例如，部分产品附赠了保护皮套，当产品暂时未用于测量时，可使用保护皮套遮挡激光。

人员评估

操作人员资质建议

建议由具备一定工程背景或光机电仪器设备操作经验的专业人员操作本产品。操作全程请务必遵循本说明书的指示，如有需要，请联系禾赛科技获取技术支持。

医疗设备干扰

- 产品包含的部分组件会发射电磁场。操作者及近距离环境中的其他人员如果使用医疗设备（例如植入耳蜗、心脏起搏器和除颤器等），请向相应的医师和医疗设备制造商咨询医疗建议，例如是否需要与产品保持安全距离。
- 如果怀疑产品正在干扰您的医疗设备，请立刻停止使用。

安装及操作

供电

- 给产品供电之前，请确保电气接口处干燥且无污物。请勿在潮湿环境中供电。
- 禁止使用不符合供电要求或已损坏的线缆或适配器。
- 建议使用禾赛科技提供的连接线和电源适配器。如果自行设计、配置或选型产品的供电系统（含线缆），请务必遵循产品说明书中相关电气参数（参照 1.6 技术参数和部分说明书的“供电指导”章节）或联系禾赛技术支持。
- 请查阅 2.2 电气接口，严格遵循连接器插拔操作说明。如果已经发现端口存在异常（例如引脚偏斜、线缆破损、螺纹松动等），请停止使用并联系禾赛科技获取技术支持。

人眼安全

本产品是 Class 1 激光产品，激光安全等级符合以下标准，请遵循相应的激光安全指示：

- IEC 60825-1:2014
- EN 60825-1:2014
- 21 CFR 1040.10 和 1040.11 标准，除 2019 年 5 月 8 日颁发的第 56 号激光公告（Laser Notice No.56）所述之偏差事项（IEC 60825-1 第三版）外。

注意：使用本品规定之外的控件、调节方法或工作步骤，有可能导致有害的辐射泄漏。

注意

- 为最大程度地实现自我保护，强烈建议请勿通过放大设备（例如显微镜、头戴式放大镜或其他形式的放大镜）直视传输中的激光。
- 产品没有电源开关，通电即运行；产品运行期间，整个光罩可视为产品的激光出射范围，直视光罩可视为直视传输中的激光。

外壳

- 产品主要由金属、玻璃和塑料构成，内部含敏感电子元件，应避免跌落、焚烧等不当操作。产品一旦经历跌落或焚烧，请立即停止使用，并联系禾赛科技获取技术支持。
- 避免挤压或刺穿产品。产品一旦外壳破损，请立即停止使用，并联系禾赛科技获取技术支持。
- 部分型号的产品内含高速旋转部件，请勿在外壳松动的情况下运行产品，以免损害人身安全。
- 产品外壳如果包含齿状结构和沟槽，操作时请佩戴手套，避免因用力过猛而导致割伤、压伤等人身损伤。

光罩

各型号产品的光罩位置参见 1 产品介绍。

- 禁止在光罩上贴膜、打蜡或附着其他任何物质。
- 请勿用手触摸光罩，以免光罩沾上指印或污物。如果光罩已经沾上污渍，请按产品说明书 6 仪器维护所述方法清洁。
- 请避免用坚硬或锋利物体接触光罩，以免光罩产生划痕。如果已经产生划痕，请停止使用产品并联系禾赛技术支持；严重的光罩划痕可能影响产品输出的点云数据质量。

安装

- 运行产品之前，请确保产品已牢固固定，避免外力（如撞击、大风、飞石等）导致产品脱离固定位置。
- 如需安装外饰，请确保外饰件及其可移动区域与产品的视场无交集。

激光雷达的视场是指由水平视场角和垂直视场角（参见 1.6 技术参数）限定的空间角度范围，不限定到雷达坐标系原点的距离。如果无法确认产品的视场，请联系禾赛技术支持。

表面高温

产品运行时或运行后一定时间内，产品外壳可能温度较高，此时请注意：

- 避免皮肤直接接触产品外壳，以免导致不适甚至烫伤。
- 避免易燃物直接接触产品外壳，以免引发火灾。

部分型号的产品提供光罩的主动加热功能，以减少光罩表面结冰、结霜对产品功能的影响。

- 光罩主动加热期间，请避免皮肤直接接触光罩。
- 用户可以关闭该功能。

外部设备

- 产品可能配合使用的外设包括：吸盘支架、延长线、供电设备、网络设备、GPS/PTP 设备、CAN 收发设备和清洁设备等。
- 外设选型时，请务必参照产品说明书中全部相关参数，或联系禾赛科技获取技术支持。采用不合规或不匹配的外设可能损坏产品或损害人身安全。

特殊定制固件及软件

- 使用特殊定制的软固件之前，请充分知悉该版本软固件的功能和性能相较于标准版本的差异。
- 请务必严格遵守该版本软固件配套的使用说明及安全注意事项。如果产品表现不符合预期，请立即停止使用，并联系禾赛科技获取技术支持。

固件及软件升级

请务必使用禾赛科技提供的升级包，并严格遵循该升级包配套的指导说明。

点云数据处理

- 部分型号产品提供可配置的点云数据处理功能，包括但不限于：噪点过滤、拖点过滤、二倍距离鬼像过滤、反射率非线性映射等。
- 该功能旨在辅助用户更好地提取点云信息，用户对于是否使用这些功能具有决定权和控制权。用户有责任评估其应用场景，判断这些功能的开启或组合使用是否会引入风险。
- 如需了解特定型号是否支持上述功能，请联系禾赛技术支持。

维修

- 未经禾赛科技明确书面同意，禁止自行或委托第三方拆卸、修理、修改或改装产品，以免造成产品损坏（包括但不限于防水性能失效）、财产损失、人身损害，以及违反产品保修条款。
- 关于产品维修的更多事宜，请联系禾赛科技或其授权服务商处理。

1. 产品介绍

1.1. 适用版本

本手册适用于以下版本：

软件	1.4.02a 及以上
传感器（上仓）固件	1.4.1t10 及以上
控制器（下仓）固件	1.4.1t3 及以上

1.2. 工作原理

本产品的测距原理为飞行时间测量法（Time of Flight，ToF）：

1. 激光发射器发出一束超短激光脉冲。
2. 激光投射到物体上并反射，激光接收器收到反射光。
3. 通过测量激光束在空中的飞行时间，可准确计算目标物体到传感器的距离。

测距公式如下：

$$d = \frac{ct}{2}$$	d：距离 c：光速 t：激光束的飞行时间

1.3. 基本结构

激光雷达结构见图 1. 部分横截面。激光雷达的转子上固定安装了多对激光发射和接收装置，通过内部电机旋转实现水平方向 360° 扫描。

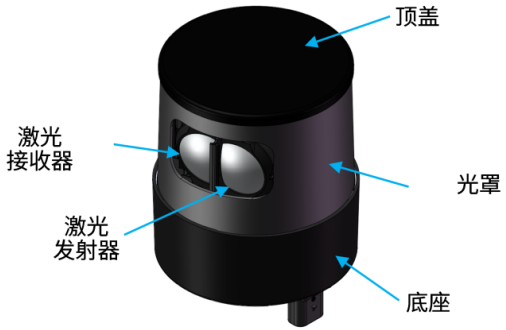


图 1. 部分横截面

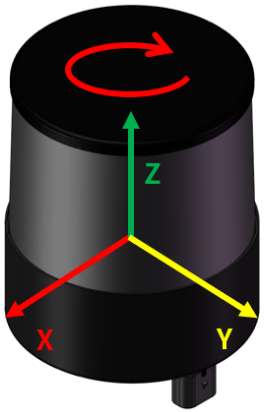


图 2. 坐标系（等距视图）

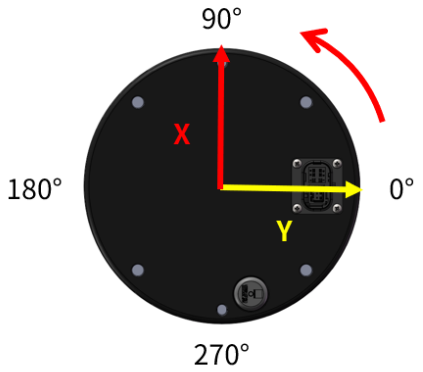


图 3. 雷达角度位置（仰视图）

以上图示以外观一为例，详见 2 首次使用。

激光雷达坐标系见图 2. 坐标系（等距视图）。

- Z 轴为旋转中心轴。
- 坐标原点的准确位置标记为 1.5 激光器发光位置中的红点，测量数据均以坐标原点为基准。

雷达转动的水平角度位置见图 3. 雷达角度位置（仰视图）。

- 默认按仰视图中的逆时针方向旋转，也可通过 lu 或 PTC 指令选择反转。
- Y 轴方向定义为 0°。

1.4. 通道分布

各通道在垂直方向呈非均匀分布，见图 4. 通道垂直分布示意图。

- 垂直角分辨率：参见 1.6 技术参数。
- 角度设计值：详见附录 A 通道分布数据。
- 通道序号从上到下，从 1 开始。

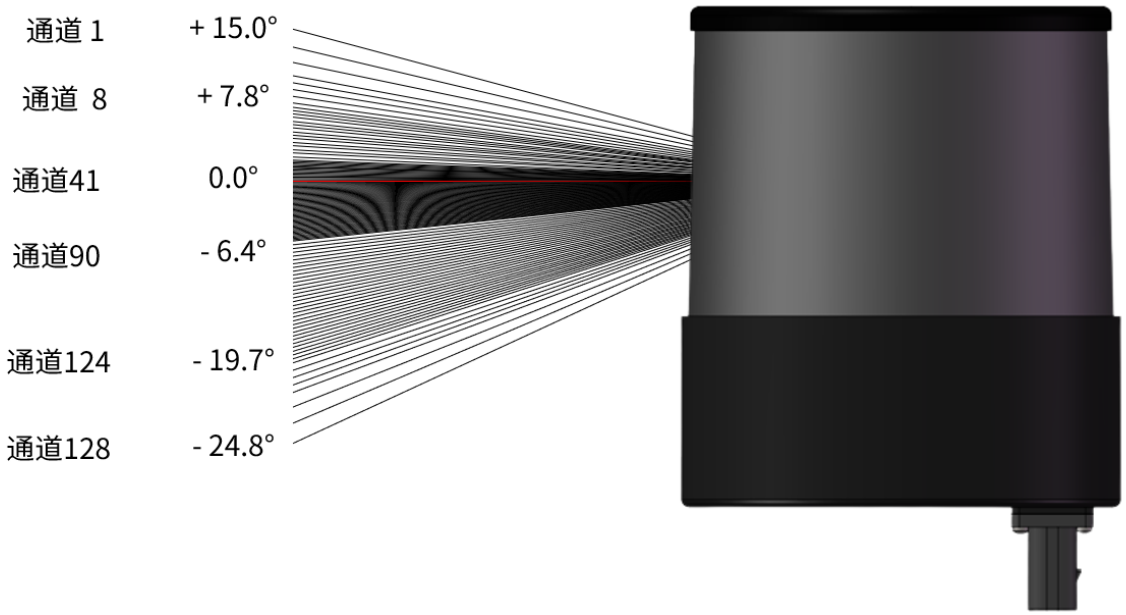


图 4. 通道垂直分布示意图

以上图示以外观一为例，详见 2 首次使用。

1.5. 激光器发光位置

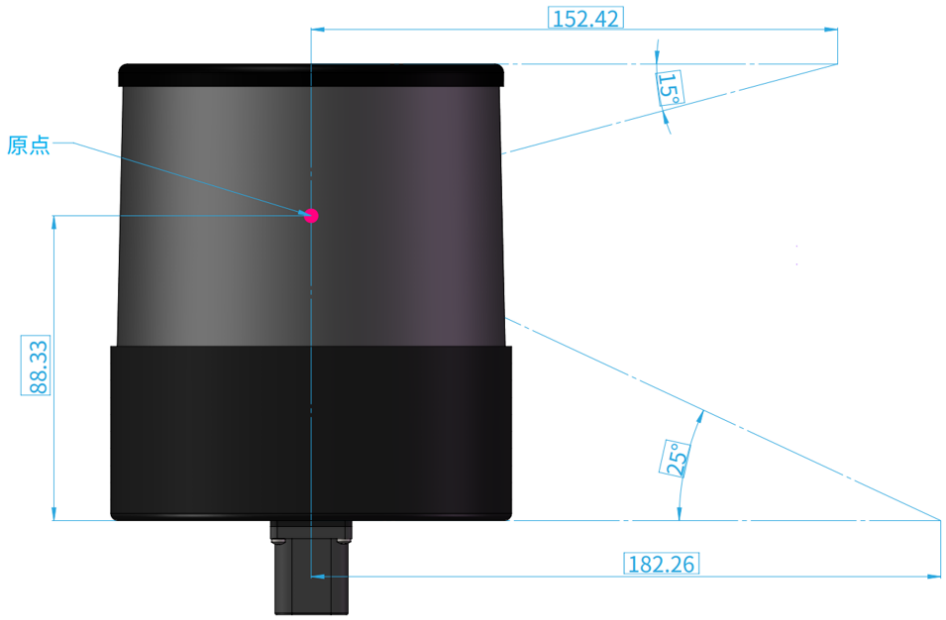


图 5. 前视图（单位：mm）

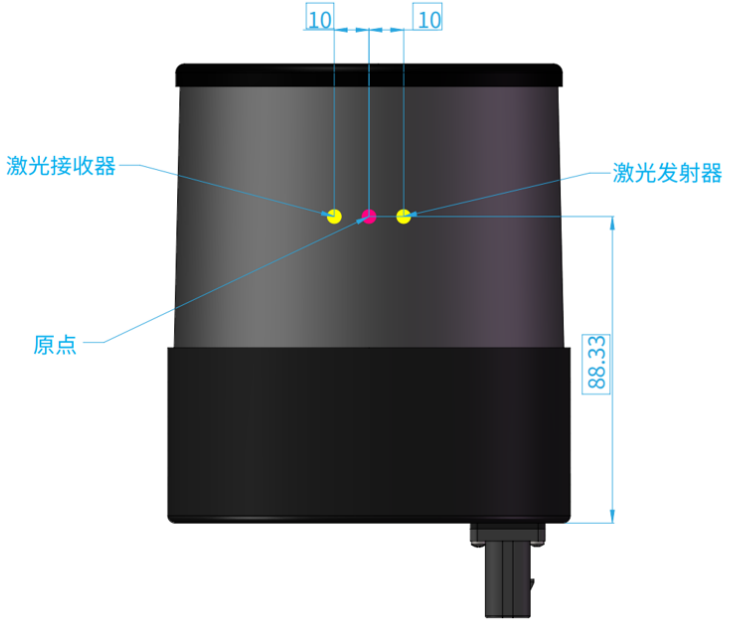


图 6. 侧视图（单位：mm）

以上图示以外观一为例，详见 2 首次使用。

各通道在垂直和水平方向上存在固定角度偏差，详见该台雷达的角度修正文件（通常在发货时提供）。

角度修正文件

可通过以下方式再次获取：

- 用 PTC 指令（指令编号 0x05）获取修正文件，详见 5 通信协议。
- 用 PandarView 2 软件导出修正文件，详见 PandarView 2 用户手册。

- 联系禾赛科技销售代表或技术支持。

1.6. 技术参数

传感器

扫描原理	机械旋转
通道数	128
仪器测距	0.3 ~ 230 m
测距能力 ①	1 ~ 200 m（10% 反射率）
测距准度 ②	±3 cm（3 ~ 200 m，典型值）
水平视场角	360°
水平角分辨率	0.1°/0.2° (10 Hz) 0.2°/0.4° (20 Hz)
垂直视场角	40° (–25° ~ +15°)
垂直角分辨率 ③	0.125°　（通道 24 ~ 89） 0.36°　（通道 8 ~ 24、89 ~ 121） 0.67°　（通道 4 ~ 8、121 ~ 125） 1.2° ~ 1.72°　（通道 1 ~ 4、125 ~ 128）
扫描帧率	10 Hz，20 Hz
回波模式	单回波　最后、最强、第一 双回波　最后及最强、最后及第一、第一及最强

机械/电气/操作

波长	905 nm
激光器等级	Class 1 人眼安全
防护等级	IP6K7 & IP6K9K
尺寸	高度：132.3 mm 顶盖/底座：Φ111.4/116.0 mm 或 Φ111.4/118.0 mm
额定电压范围	DC 9 ~ 32 V
功耗 ④	29 W
工作温度	–40°C ~ 75°C
储存温度	–40°C ~ 95°C
重量	2.2 kg

数据输入/输出

传输方式	车载以太网，1000BASE-T1，默认从模式
测量数据	距离、方位角、反射率
有效点频	单回波 3 456 000 点/秒（最大值） 双回波 6 912 000 点/秒（最大值）
点云数据传输率	单回波 130.61 Mbps (最大值) 双回波 261.22 Mbps (最大值)
绝对时间的外部来源	PTP (802.1AS Automotive, 802.1AS AUTOSAR)
PTP 同步准度 ⑤	≤1 µs
PTP 时钟漂移 ⑥	≤1 µs/s

以上参数如有更改，请见最新版用户手册。

参数说明

① 测距能力（典型值）	• 测试条件：环境照度 100 klux，探测概率超过 70%。 • 各通道的数据见附录 A 通道分布数据。
② 测距准度	• 定义为各通道测距误差的均值。 • 可能受目标物距离、环境温度及目标物反射率影响。 • 典型值：距离 3/7/15/30 m、室温下、目标物多种反射率（10% ~ 90%）时，80%的通道测量满足。
③ 垂直角分辨率	此处分辨率数值仅供参考，详细的垂直角分辨率见附录 A 通道分布数据。
④ 功耗	• 测试条件：室温，雷达输入电压 12 V，转速 600 RPM。 • 仅激光雷达，不含接线盒等配件。 • 供电要求：外部电源可输出功率至少为 35 W。
⑤⑥ PTP 同步准度、时钟漂移（典型值）	测试条件：室温
⑥ PTP 时钟漂移	定义为 PTP 主时钟锁定后失锁，雷达时钟（从时钟）在恒温状态下的漂移。

2. 首次使用

使用前，请取下雷达光罩外侧的保护棉。

定制产品可能不同，请以另行提供的图纸和数据为准。

2.1. 机械安装

2.1.1. 外观尺寸

正在由外观一切换为外观二，请以发货时的通知为准。

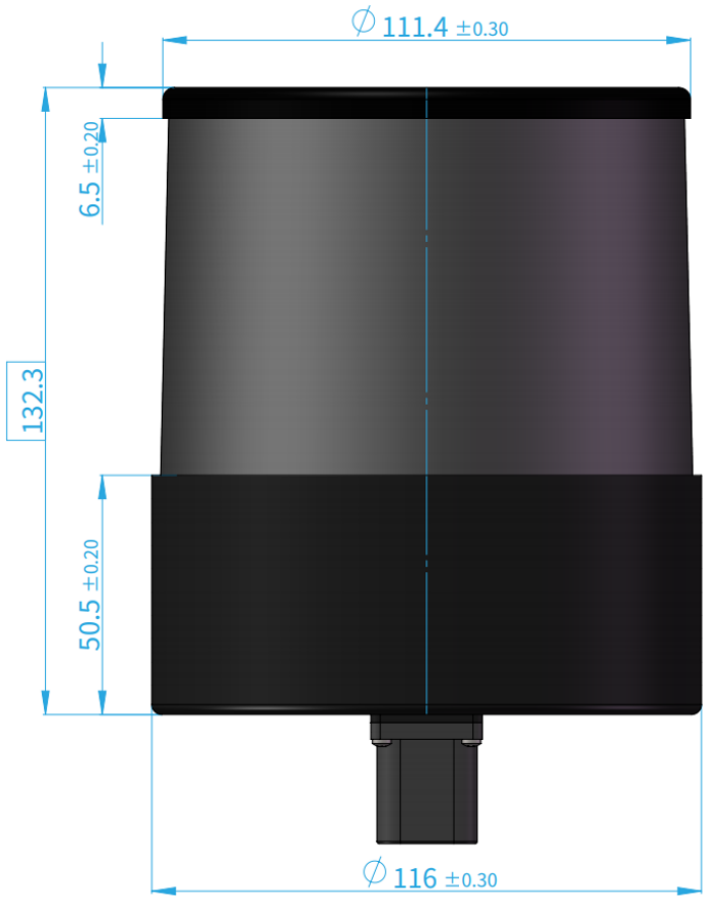


图 7. 前视图（外观一，单位：mm）

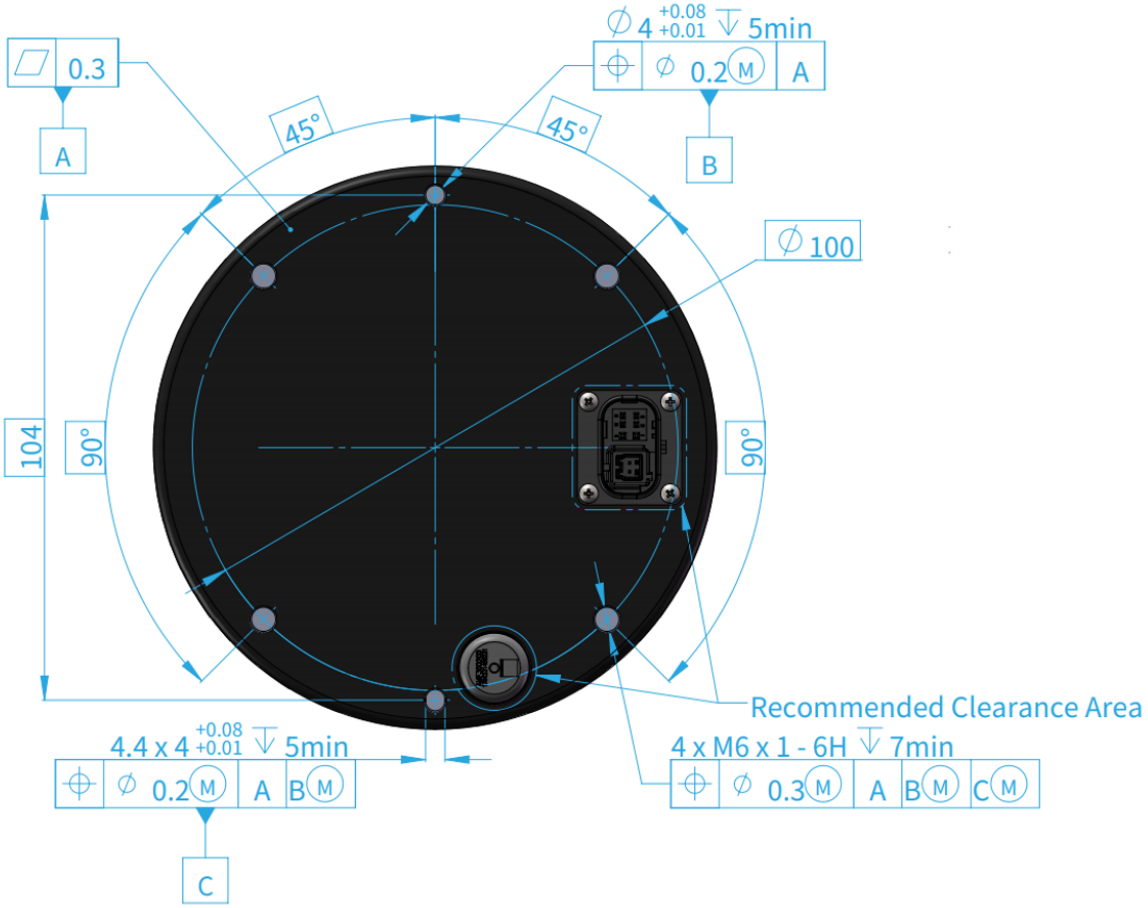


图 8. 仰视图（外观一，单位：mm）

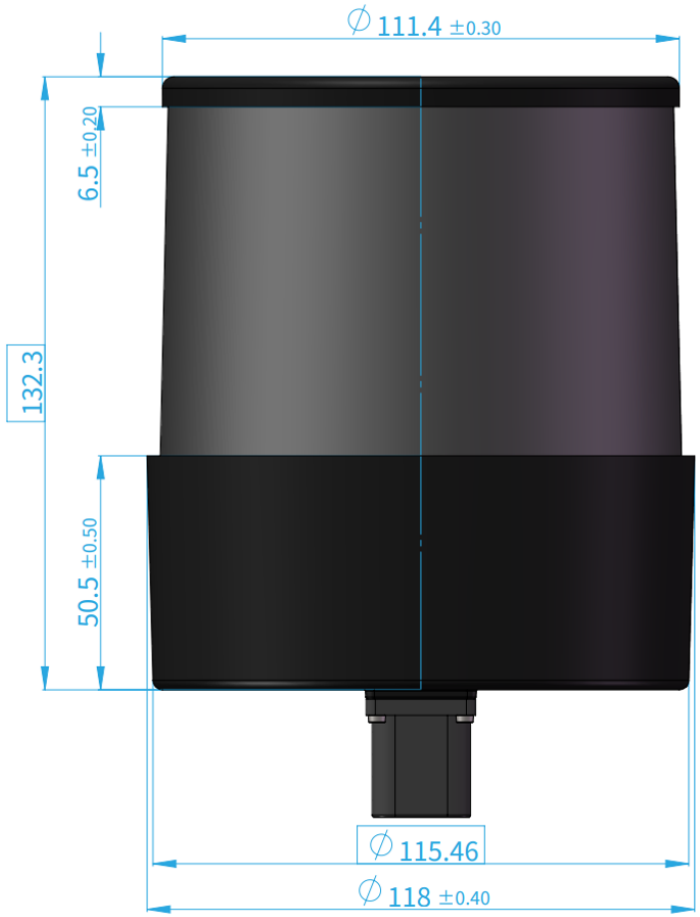


图 9. 前视图（外观二，单位：mm）

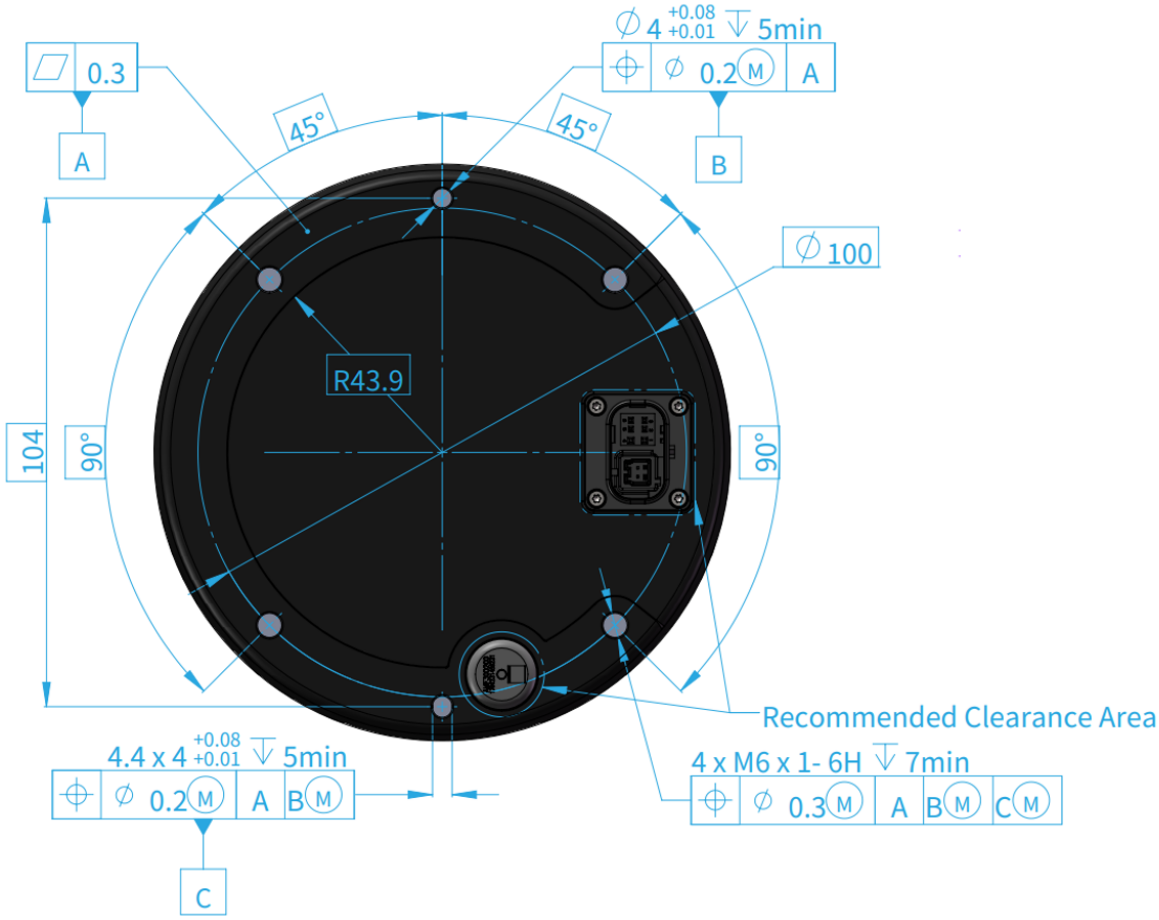


图 10. 仰视图（外观二，单位：mm）

2.1.2. 推荐安装

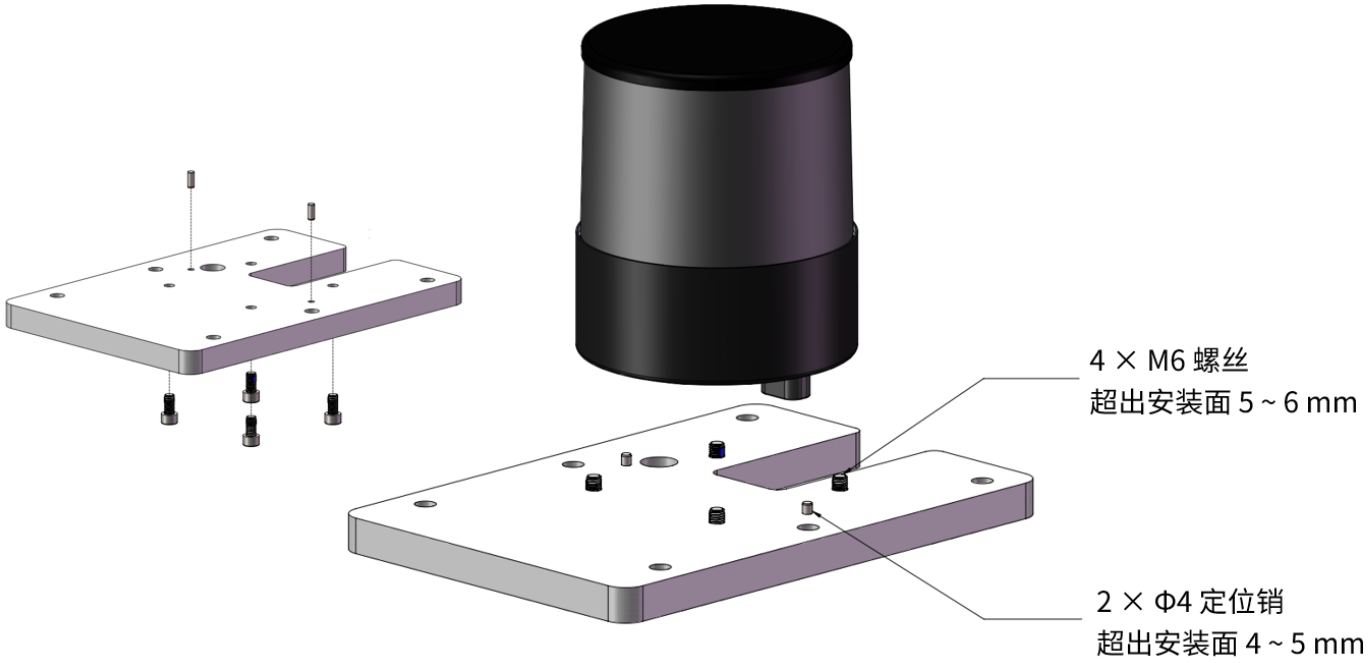


图 11. 推荐安装（外观一）

外观一、二的安装方式一致。以上图示以外观一为例，详见 2 首次使用。

2.1.3. 螺丝安装说明

螺钉类型

建议选取组合螺钉（自带平垫圈和弹簧垫），强度 4.8 级或以上。

螺纹涂胶

螺丝锁紧之前，在螺纹配合区域点涂 1 ~ 2 滴螺纹胶，推荐采用乐泰 263（LOCTITE® 263 螺纹锁固剂）。
点涂之后等待 12 h，待胶水固化完成，才可运行雷达。

螺纹扭矩

螺纹孔基材为铝合金，扭矩与钢制螺纹不同，请参考下表选取合适的扭矩值：

螺纹规格	推荐扭矩
M2	0.2 ~ 0.3 Nm
M3	0.5 ~ 0.6 Nm
M4	1 ~ 1.5 Nm
M5	2 ~ 2.5 Nm
M6	3 ~ 3.5 Nm

螺纹使用寿命

25 次（拧入、拧出各计为 1 次）

2.2. 电气接口

默认采用 TE Connectivity 接口。
TE 零件编号：2387351-1（公头插座，用于雷达上）

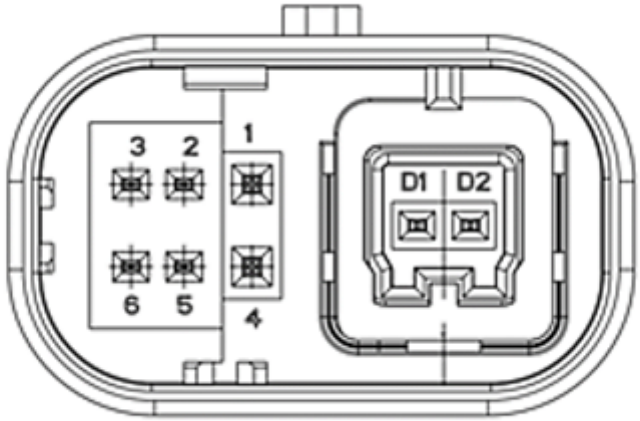


图 12. TE 接口（公头插座）

2.2.1. 引脚定义

引脚编号	信号	电平
1	VCC	9 ~ 32 V
2	预留	-
3	Index	0 ~ 3.3 V
4	GND	0 V
5	预留	-

引脚编号	信号	电平
6	Encoder	0 ~ 3.3 V
D2	MDI-P	-
D1	MDI-N	-

2.2.2. 连接器插拔

连接	1. 断电后，使红色保险销与卡扣在同一侧，插入连接器，直至听到咔嗒声。 2. 推入红色保险销，直至听到咔嗒声。
分离	1. 断电后，向外拉红色保险销，直至听到咔嗒声。 2. 按下黑色卡勾，拔出连接器。

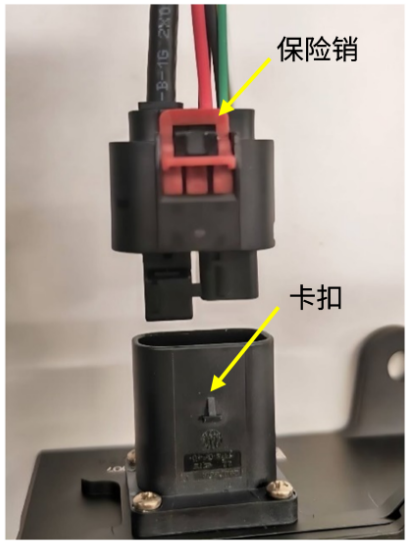


图 13. 连接器连接

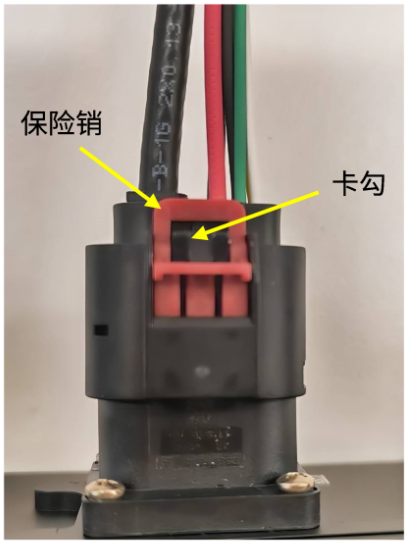


图 14. 连接器分离

- 连接之前，请检查接头上的插针（或插孔）。如果发现插针弯曲（或插孔损坏），请立即停止使用连接器，并联系技术支持。
- 插拔连接器之前，请先断开电源。热插拔可能导致击穿。
- 不可猛力拔线缆或连接器外壳，不可扭转连接器，以免外壳松脱或连接器引脚受损。
- 如果连接器外壳意外松脱，请停止使用连接器，联系禾赛技术支持。
- 禁止自行尝试组装连接器的外壳和电缆夹头，且禁止连接不含外壳的连接器，以免损坏激光雷达内部电路。

- 使用中如果出现其他问题，请联系禾赛技术支持，或从连接器厂商处获取作业指导书。
- 该连接器设计可承受至少 20 次插拔，超过此次数可能增加连接器损坏风险。

2.2.3. 线缆折弯（网线）

外径 OD = 4.10 ± 0.20 mm

最小折弯半径：

- 单线：5 × OD
- 多线：15 × OD

2.3. 接线盒（选配）

用户可直接连接激光雷达，或通过接线盒连接。

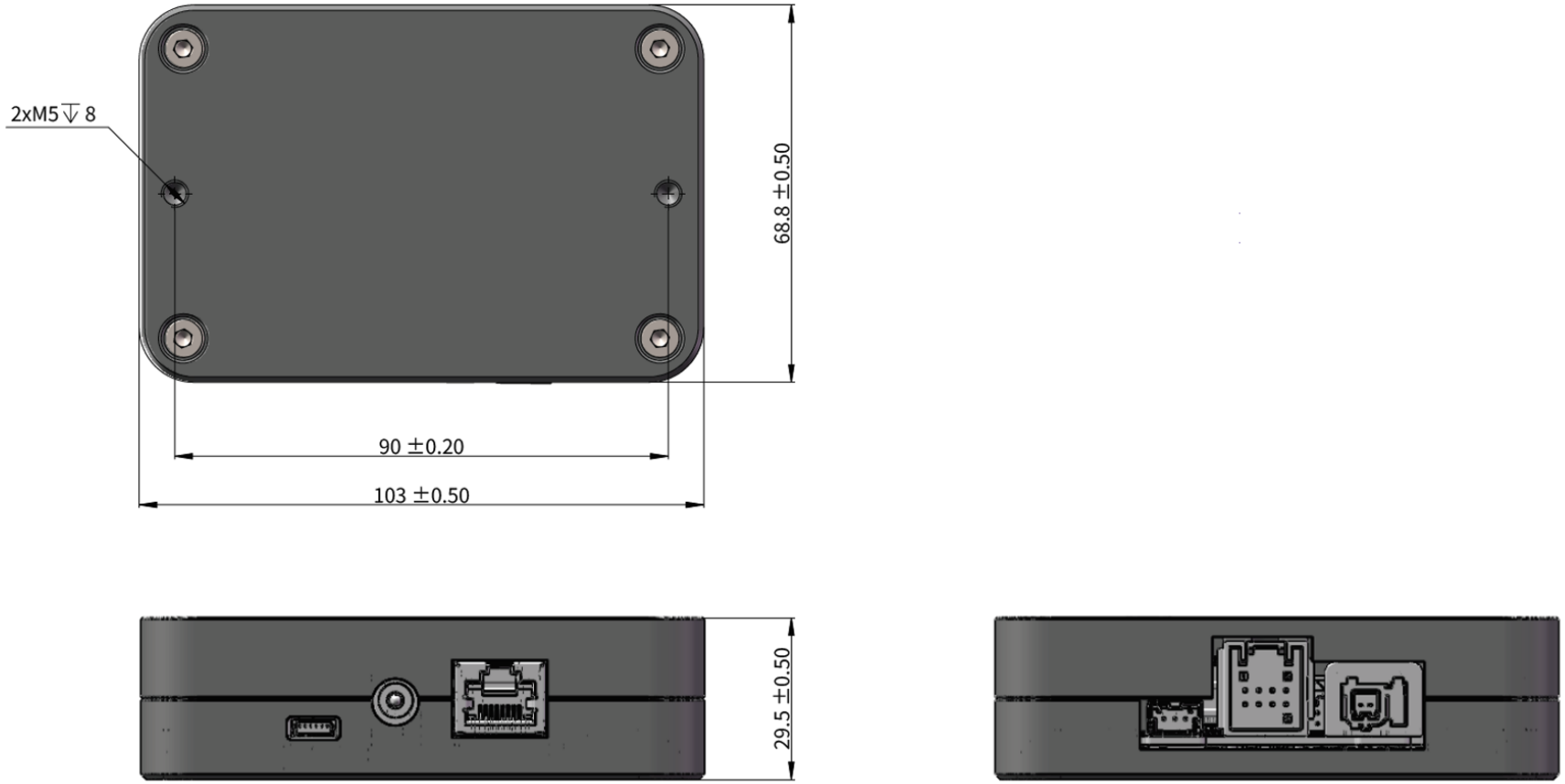


图 15. 接线盒（单位：mm）

激光雷达与接线盒之间的以太网混合线束：左侧为雷达端，右侧为接线盒端。

多根线缆无法首尾相连，仅可使用一根的足够长度的线缆。

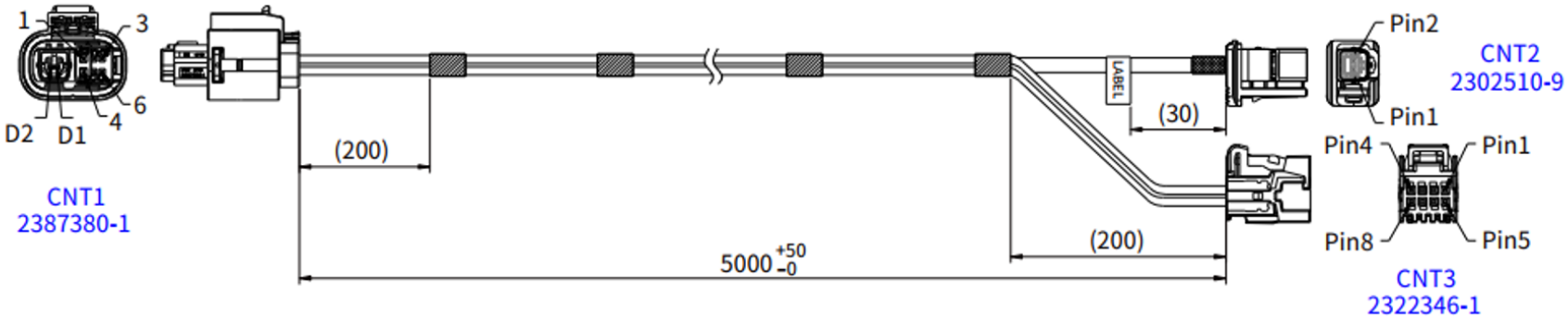


图 16. 接线盒线缆（单位：mm）

如需自行接线（不采用接线盒），引线颜色见下表：

CNT1 接头引脚编号	CNT3 接头引脚编号	信号	引线颜色	线径
Pin 1	Pin 4	VCC	红色	0.75 mm^2
Pin 4	Pin 8	GND	黑色	0.75 mm^2

CNT1 接头引脚编号	CNT2 接头引脚编号	信号	引线颜色
D2	Pin 1	MDI-P	白色
D1	Pin 2	MDI-N	绿色

2.3.1. 端口

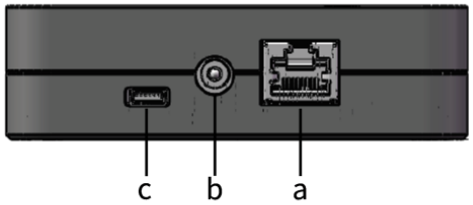


图 17. 端口（正面）

序号	端口名称	说明
a	标准以太网端口	RJ45，标准 1000BASE-T 以太网
b	外部电源端口	请使用 DC-005 电源插座。
c	预留端口	请勿接触，且不可连接外部信号。

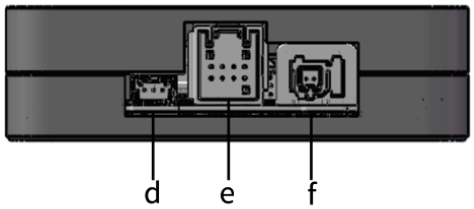


图 18. 端口（背面）

序号	端口名称	说明
d	角度触发端口	输出触发信号，用于多传感器与雷达精确同步。 连接器型号（公头插头）：Molex, LLC 公司 5023520300 推荐连接器型号（母头插座）：Molex, LLC 公司 5023510300 电平：0 ~ 3.3 V 信号类型：脉冲 最大电流输出：3 mA
e	电源输出端口	对应图 16. 接线盒线缆（单位：mm）中的 CNT3 接头。
f	车载以太网端口	对应图 16. 接线盒线缆（单位：mm）中的 CNT2 接头。

端口 d 的引脚说明

引脚号	方向	信号	说明
1	输入	GND	接地。
2	输出	Index	触发信号：在码盘零度时输出一个脉冲。 脉冲宽度：2.78 µs @ 600 RPM, 1.39 µs @ 1200 RPM

引脚号	方向	信号	说明
3	输出	Encoder	触发信号（编码器）：雷达每转 0.05°，输出一个脉冲。 脉冲宽度：8.34 µs @ 600 RPM, 4.17 µs @ 1200 RPM

2.3.2. 连接

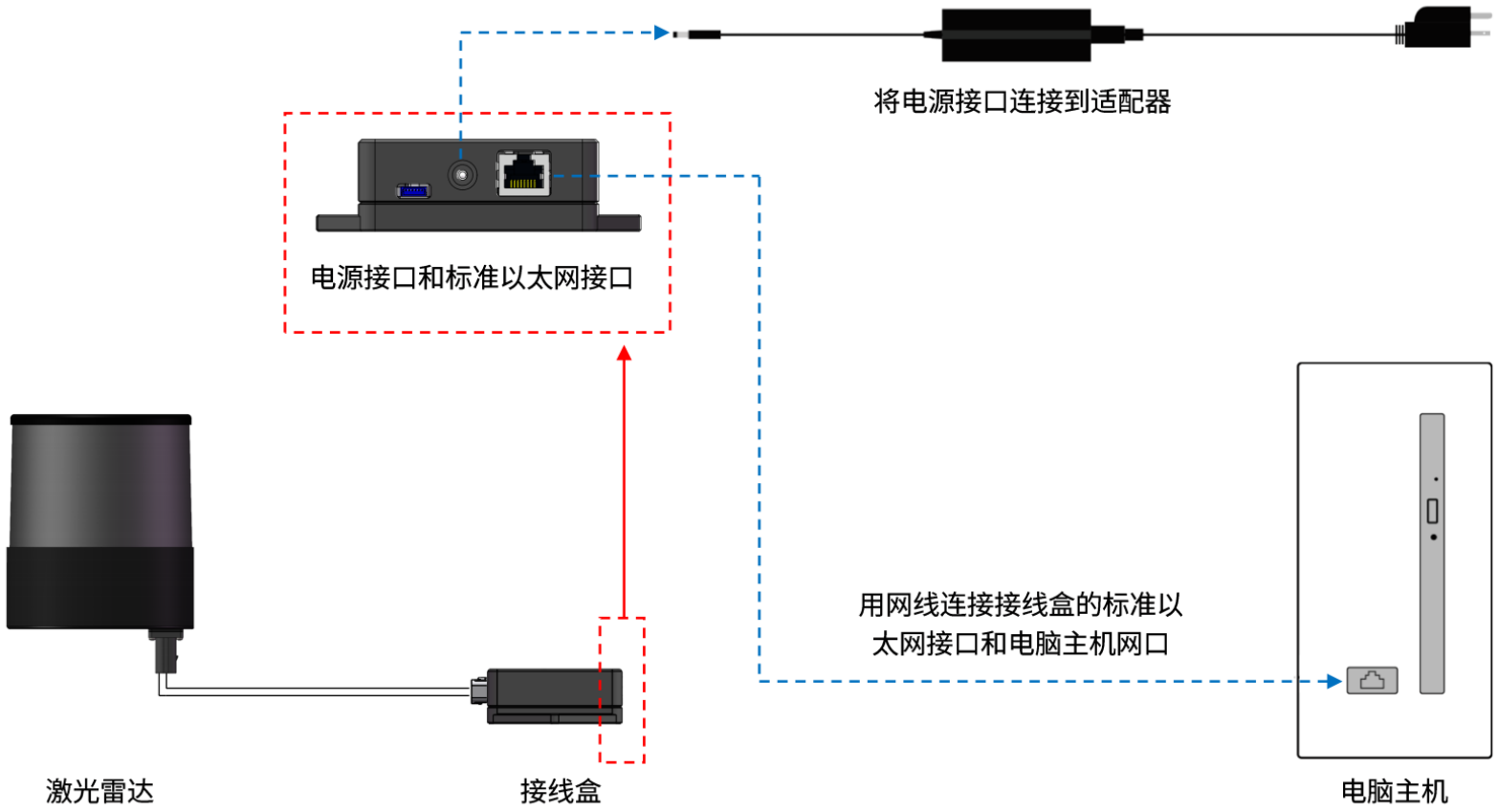


图 19. 接线盒连接（PTP，软件模拟）

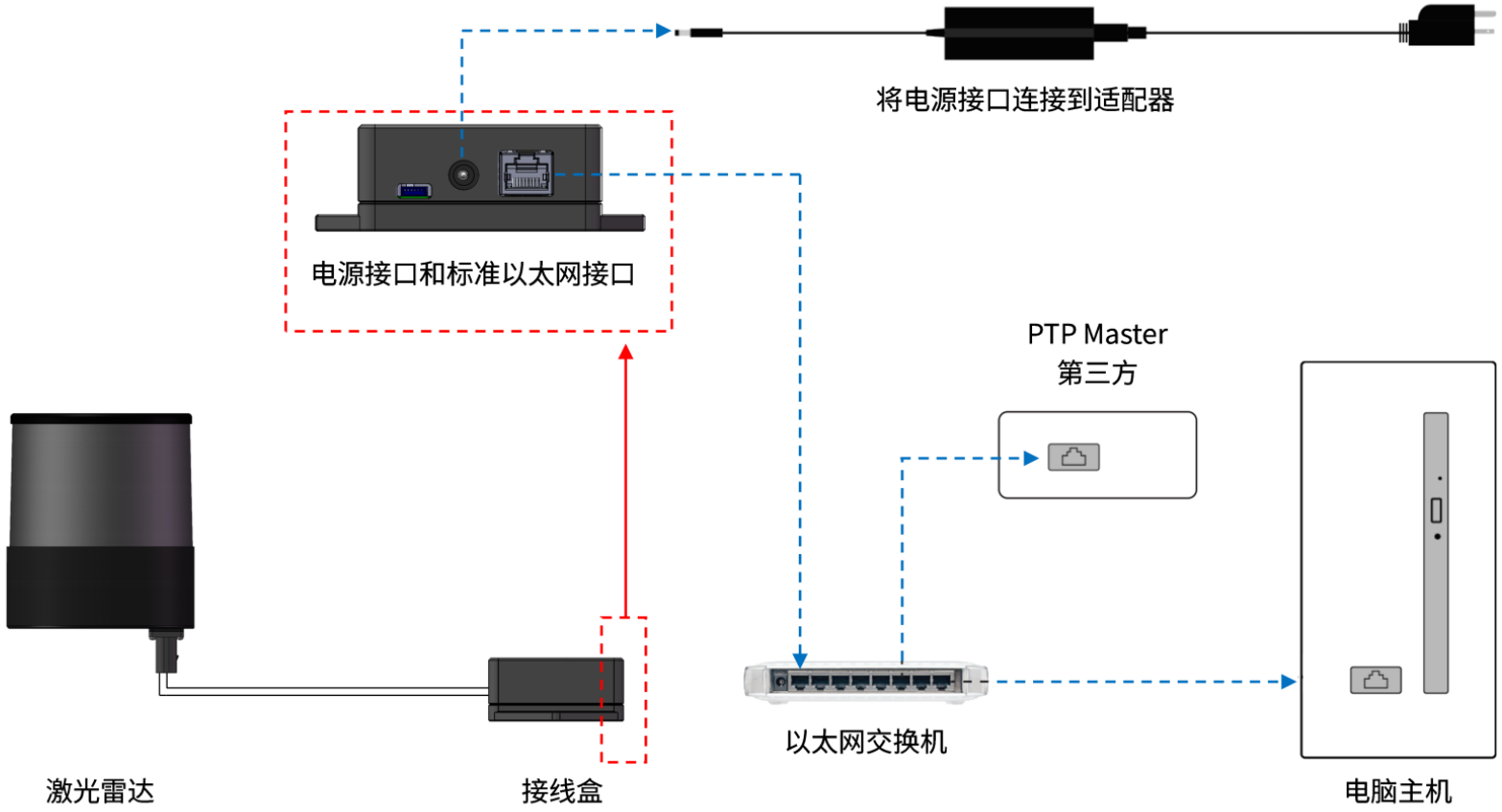


图 20. 接线盒连接（PTP，硬件设备）

以上图示以外观一为例，详见 2 首次使用。

2.4. 接收主机的网络设置

本产品没有电源开关。同时满足以下条件时，将自动传输数据：

- 产品已接通电源
- 产品已通过网线与计算机连接
- 已正确配置接收主机的网络参数

请配置接收主机的以下参数

网络参数	取值	说明
IP 地址	192.168.1.**X**	由雷达 IP 地址（192.168.1.201）和子网掩码（255.255.255.0）可知： • 网络地址：192.168.1.0 • 网关地址：192.168.1.1 • 广播地址：192.168.1.255 因此，**X** 可以取 2 ~ 200、202 ~ 254。
子网掩码	255.255.255.0	-
VLAN ID	范围：1 ~ 4094	仅启用 VLAN 时需要配置。 请确保接收主机和雷达的 VLAN ID 相同。

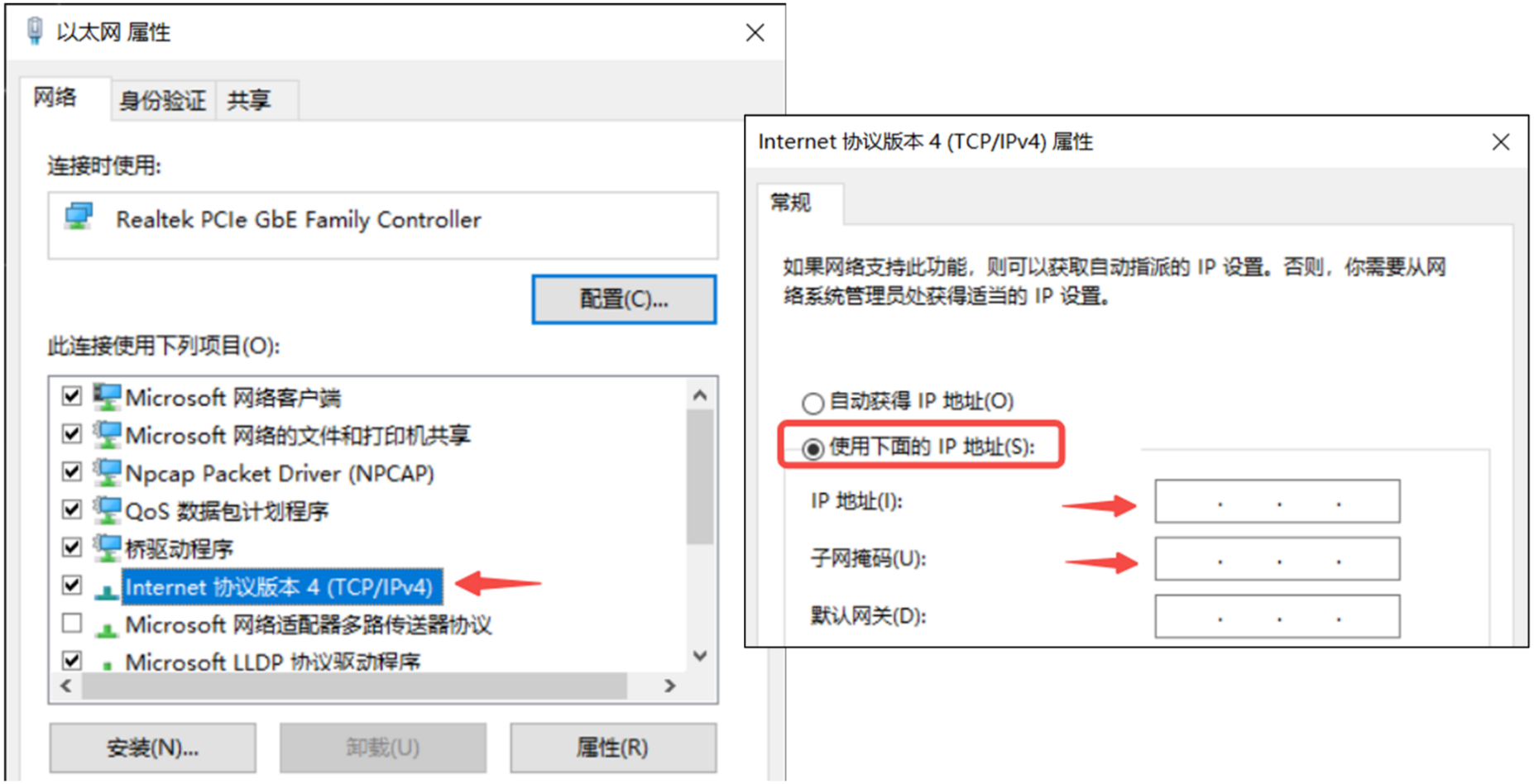
2.4.1. Windows 系统

1. 控制面板——网络和 Internet——网络和共享中心——更改适配器设置
2. 右键点击已处于连接状态（图标左下角没有红色叉号）的“以太网”或“以太网 X”——属性



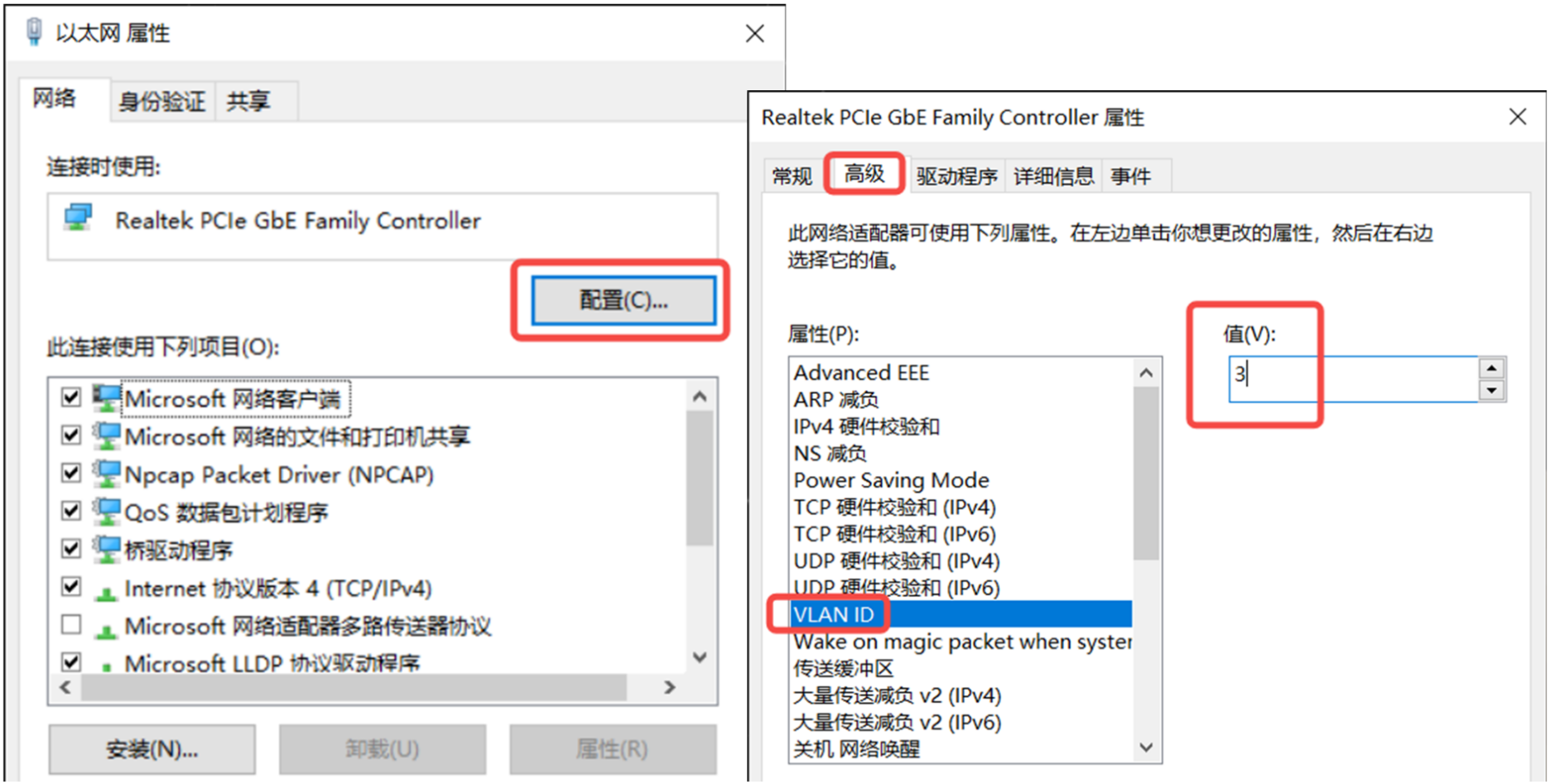


3. 双击“Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)”
4. 选择“使用下面的 IP 地址”——输入接收主机的 IP 地址和子网掩码



5. 如果使用 VLAN：
   点击网卡型号下方的“配置”按钮——在“高级”选项卡的“属性”列表中选择“VLAN ID”，并输入 VLAN ID。

   如果“属性”列表中没有“VLAN ID”，通常需要更新网卡驱动。



2.4.2. Ubuntu 系统

2.4.2.1. 不使用 VLAN 时

在终端运行命令：

```
sudo ifconfig ${interface_name} ${ip_addr}
```

其中：

- `${interface_name}` 需替换为本地的网络接口名。
- `${ip_addr}` 需替换为接收主机的 IP 地址。

2.4.2.2. 使用 VLAN 时

在终端运行命令：

```
sudo ip link add link ${interface_name} name ${interface_name}.${vlan_id} type vlan id ${vlan_id}
sudo ip link set up ${interface_name}.${vlan_id}
sudo ip addr add ${ip_addr}/24 dev ${interface_name}.${vlan_id}
ip addr show ${interface_name}.${vlan_id}
```

其中：

- `${interface_name}` 需替换为本地的网络接口名。
- `${vlan_id}` 需替换为接收主机的 VLAN ID。
- `${ip_addr}` 需替换为接收主机的 IP 地址。

如需查看本地的网络接口名：

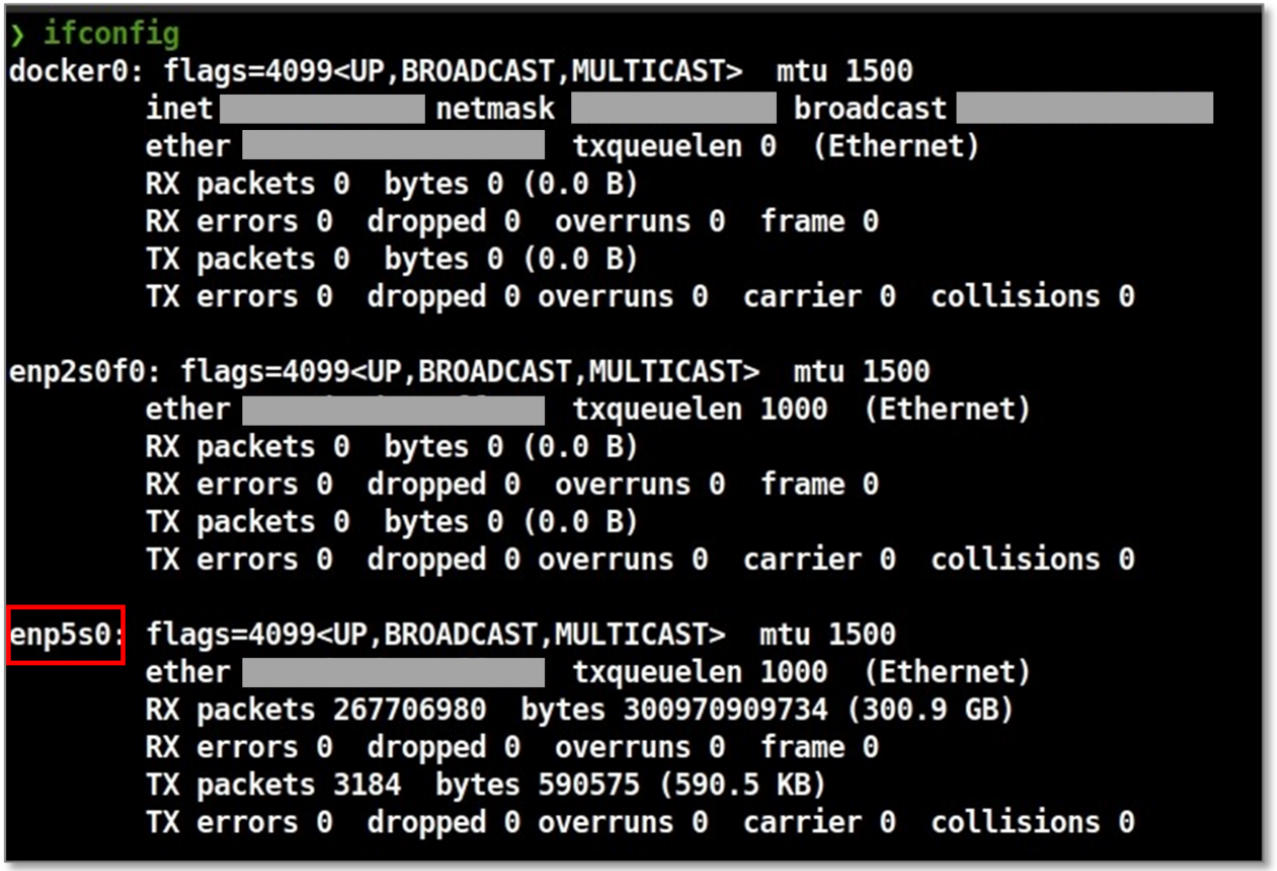
法一

Settings——Network 界面中，Ethernet 标题后的括号内容即为接口名。



法二

运行命令：`ifconfig`



2.5. 辅助工具

工具	用途	获取方式
PandarView 2 点云可视化软件	录制和播放点云数据。	请见 禾赛官网“下载”页面，或联系技术支持。
lu、API	设置参数、查看雷达信息或升级固件/软件。 网络参数： • 默认的源 IPv4 地址：192.168.1.201 • 默认的 PTC 端口号：9347	请联系禾赛技术支持。
软件开发工具包（SDK）、ROS 驱动程序	辅助开发。	请访问禾赛科技官方 GitHub 页面：https://github.com/HesaiTechnology

3. 数据格式

所有多字节值均默认为无符号整型，按小端字节序；另行备注除外。

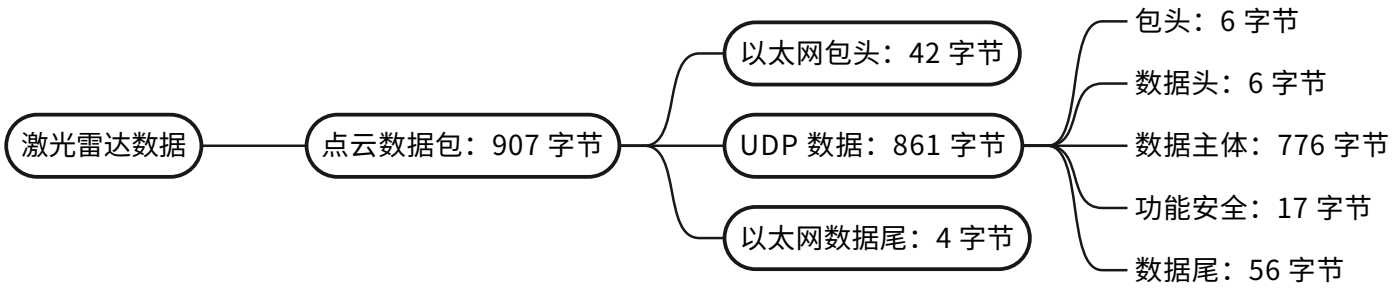


图 21. 数据结构

3.1. 点云数据包

3.1.1. 以太网包头

默认 IP 地址如下：

源 IP	192.168.1.201
目的 IP	255.255.255.255

点云数据包：以太网包头

字段	字节数	说明
Ethernet II MAC	12	目的：xx:xx:xx:xx:xx:xx（广播为 FF:FF:FF:FF:FF:FF） 源：xx:xx:xx:xx:xx:xx
Ethernet Data Packet Type	2	0x08，0x00
Internet Protocol	20	互联网协议参数
UDP Port Number	4	源端口（默认为 10000） 目的端口（默认为 2368）
UDP Length	2	比点云包 UDP 数据多 8 字节，参见图 21. 数据结构。
UDP Checksum	2	以太网包头的校验码

3.1.2. 点云 UDP 数据

3.1.2.1. 包头

字段	字节数	说明
0xEE	1	包起始标志
0xFF	1	包起始标志
Protocol Version Major	1	通信协议的主版本号，指示点云数据结构的大类。 当前值：0x01
Protocol Version Minor	1	通信协议的次版本号，指示点云数据结构的子类。 当前值：0x04
Reserved	2	预留

3.1.2.2. 数据头

字段	字节数	说明
Channel Num	1	激光通道数 固定为：0x80（128）
Block Num	1	每个数据包中的数据块数量 固定为：0x02（2）
First Block Return	1	预留
Dis Unit	1	距离单位 固定为：0x04（4 mm）
Return Num	1	每个激光器最多可产生的回波数 固定为：0x02（2）
Flags	1	高 4 位 [7:4] 为预留。 低 4 位 [3:0] 指示所在数据包是否包含以下信息，固定为 0b0111：

比特位	取值	
[3] 数字签名	1 — 包含	0 — 不包含
[2] 功能安全信息	1 — 包含	0 — 不包含
[1] IMU 信息	1 — 包含	0 — 不包含
[0] UDP 序列号	1 — 包含	0 — 不包含

3.1.2.3. 数据主体

字段	字节数	说明
Azimuth 1	2	数据块 1 对应的方位角基准值 单位：0.01°
Block 1	384	数据块 1：各通道的测量数据，详见数据主体中的每个数据块。
Azimuth 2	2	数据块 2 对应的方位角基准值
Block 2	384	数据块 2：包含各通道测量数据。
CRC 1	4	数据主体的 CRC-32/MPEG-2 校验码

回波模式

雷达支持的回波模式见 3.1.2.5 数据尾的 **`Return Mode`** 字段。

单回波模式下，全部通道一轮发光返回的测量数据位于一个数据块中。

双回波模式下，全部通道一轮发光返回的测量数据位于相邻两个数据块中，且这两个相邻数据块的 **`Azimuth`** 字段相同。

回波模式	数据块 1	数据块 2	说明
最后及最强	最后回波	最强回波	如果最后、最强为同一回波，则数据块 2 保存次强回波
最后及第一	最后回波	第一回波	如果最后、第一为同一回波，则数据块 1、2 的数据相同
第一及最强	第一回波	最强回波	如果第一、最强为同一回波，则数据块 2 保存次强回波

数据主体中的每个数据块：3 × 128 = 384 字节

<table>
<tr><th>字段</th><th>字节数</th><th>说明</th></tr>
<tr><td>Channel 1</td><td>3</td><td>通道 1 的测量数据
<table>
<tr><th>字段</th><th>字节数</th><th>说明</th></tr>
<tr><td>Distance</td><td>2</td><td>详见 Distance 字段的定义。</td></tr>
<tr><td>Reflectivity</td><td>1</td><td>范围：0 ~ 255
默认：线性映射（实际反射率 = Reflectivity × 1%）

实际反射率与本字段的映射关系，可通过 lu或 PTC 指令选择。</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Channel 2</td><td>3</td><td>通道 2 的测量数据</td></tr>
<tr><td>…</td><td>…</td><td>…</td></tr>
<tr><td>Channel 128</td><td>3</td><td>通道 128 的测量数据</td></tr>
</table>

Distance 字段的定义

近距离盲区检测关闭时	说明
Distance≥ 75	距离 = **Distance** × **Dis Unit** ≥ 0.3 m **Dis Unit** 字段定义见 3.1.2.2 数据头。
Distance = 0	未输出有效点云。
近距离盲区检测开启时	说明
Distance≥ 75	距离 = **Distance** × **Dis Unit** ≥ 0.3 m **Dis Unit** 字段定义见 3.1.2.2 数据头。
Distance = 0	没有发光。
Distance = 1	收到这台雷达的回波信号，但脉冲在近距离盲区（< 0.3 m）内，因此未输出有效点云。
Distance = 2	收到这台雷达的回波信号，但脉冲在近距测量范围（0.3 ~ 1.4 m）内，而该通道不是兼顾近距通道（详见附录 A 通道分布数据），因此未输出有效点云。
Distance = 3	没有收到回波信号，或收到的回波信号不符合要求，因此未输出有效点云。 回波信号不符合要求的常见原因包括： • 回波信号来自其他雷达。 • 测量距离超过该通道的测距上限。 • 脉冲强度低于阈值。 • 脉冲被滤除。

3.1.2.4. 功能安全

字段	字节数	说明
FS Version	1	功能安全模块的版本，当前为 0x00。
Lidar State	1	[7:5] 是当前的雷达状态。 d-0 (b-000) 初始化 d-1 (b-001) 正常运行 d-2 (b-010) 预警 d-3 (b-011) 性能预降级 d-4 (b-100) 性能降级 d-5 (b-101) 预关机 d-6 (b-110) 关机或输出不可信 d-7 (b-111) 待机
Fault Code Type		[4:3] 是该数据包中故障码的类型。 b-01 当前故障 b-10 历史故障（当前版本不支持）
Rolling Counter		[2:0] 是故障消息的滚动计数器，指示故障报告系统是否卡滞。 计数从 0 开始，每 5 ms 递增 1。 范围：d-0 (b-000) 至 d-5 (b-101)
Total Fault Code Num	1	[7:4] 是缓存故障队列中的故障码总数。
Fault Code ID		[3:0] 是该故障码在队列中的编号，从 1 开始。
Fault Code	2	本次发送的故障码。
Channel Health	8	指示各激光通道（发射端及接收端）的状态；参见下页表格。
CRC 2	4	功能安全部分（从 **`Lidar State`** 字段到 **`Channel Health`** 字段）的 CRC-32/MPEG-2 校验码。

雷达状态及故障码的定义详见《功能安全手册》（Safety Manual）。如需获取，请联系禾赛科技技术支持。

3.1.2.5. 数据尾

字段	字节数	说明
Reserved	9	预留
Azimuth State	2	[15:14] 为数据块 1 的方位角标识，[13:12] 为数据块 2 的方位角标识。 • 用于查表计算各通道的发光时刻偏移，见 B.4 各通道的发光时刻偏移。 • 范围：0 ~ 1（标准模式），0 ~ 3（高性能模式） [11:0] 为预留。
Operational State	1	当前运行状态 0 — 高性能（水平高分辨率） 1 — 关机 2 — 标准（水平标准分辨率）
Return Mode	1	回波模式 0x33 — 第一 0x37 — 最强 0x38 — 最后 0x39 — 最后及最强 0x3B — 最后及第一 0x3C — 第一及最强
Motor Speed	2	电机转速 单位：RPM 电机转速（RPM）= 扫描帧率（Hz）× 60

<table>
<tr><th>字段</th><th>字节数</th><th>说明</th></tr>
<tr><td>Date & Time</td><td>6</td><td>该数据包 UTC 时间的整秒部分。
<table>
<tr><th>每个字节</th><th>范围（十进制）</th></tr>
<tr><td>年（当前年份减去 1900）</td><td>⩾ 70</td></tr>
<tr><td>月</td><td>1 ~ 12</td></tr>
<tr><td>日</td><td>1 ~ 31</td></tr>
<tr><td>时</td><td>0 ~ 23</td></tr>
<tr><td>分</td><td>0 ~ 59</td></tr>
<tr><td>秒</td><td>0 ~ 59</td></tr>
</table>
点云包绝对时间的定义，参见 B.2 点云数据包的绝对时间。</td></tr>
<tr><td>Timestamp</td><td>4</td><td>该数据包 UTC 时间的微秒部分。
单位：µs
范围：0 ~ 999 999 µs (1 s)
点云包绝对时间的定义，参见 B.2 点云数据包的绝对时间。</td></tr>
<tr><td>Factory Information</td><td>1</td><td>Fixed: 0x42</td></tr>
<tr><td>UDP Sequence</td><td>4</td><td>该数据包的序列号
范围：0 ~ 0xFF FF FF FF</td></tr>
<tr><td>IMU Temperature</td><td>2</td><td>IMU（惯性测量单元）提供的温度
数据类型：有符号整型
单位：0.01℃</td></tr>
</table>

字段	字节数	说明
IMU Acceleration Unit	2	加速度的单位换算系数 数据类型：无符号整型 当前值：244 (0x00F4) 加速度的单位：0.001mg × 244 = 0.244mg（g：标准重力）
IMU Angular Velocity Unit	2	角速度的单位换算系数 当前值：1750 (0x06D6) 角速度的单位：0.01 mdps × 1750 = 17.5 mdps（mdps：毫角度每秒）。
IMU Timestamp	4	IMU 数据的时间戳 上电后从 0 开始计数，溢出后重新从 0 开始计数，可持续计时约 29.83 小时。 单位：25 µs
IMU X Axis Acceleration	2	X 轴加速度 数据类型：有符号整型 测量范围：±8g 加速度的单位：参见 **`IMU Acceleration Unit`** 字段，当前值为 0.244mg。 示例：本字段数值为 5 时，X 轴加速度 = 5 × 0.244mg = 1.22mg。
IMU Y Axis Acceleration	2	Y 轴加速度，同上。
IMU Z Axis Acceleration	2	Z 轴加速度，同上。

字段	字节数	说明
IMU X Axis Angular Velocity	2	X 轴角速度 数据类型：有符号整型 测量范围：±500 dps 角速度的单位：参见 **`IMU Angular Velocity Unit`** 字段，当前值为 17.5 mdps。 示例：本字段数值为 5 时，X 轴角速度 = 5 × 17.5 mdps = 87.5 mdps。
IMU Y Axis Angular Velocity	2	Y 轴角速度，同上。
IMU Z Axis Angular Velocity	2	Z 轴角速度，同上。
CRC 3	4	数据尾的 CRC-32/MPEG-2 校验码

3.1.3. 以太网数据尾

字段	字节数	说明
FCS	4	帧校验序列

3.1.4. 点云数据解析方法

以点云数据包中 **数据块 2** 的 **5 号通道** 为例，解析步骤如下。

3.1.4.1. 解析数据点的垂直角度

由附录 A 通道分布数据可知，**5 号通道** 的垂直角度设计值为 9.836°。

- 准确的垂直角度：在该台雷达的角度修正文件中，参见 1.4 通道分布。
- 水平方向定义为垂直 0°，向上为正、向下为负（参见图 4. 通道垂直分布示意图）。

3.1.4.2. 解析数据点的水平角度

雷达坐标系的 Y 轴方向定义为水平 0°，以图 3. 雷达角度位置（仰视图）中逆时针方向为正。

水平角度 = ① + ②

① 当前数据块的开始时间（定义见 B.3 数据块的开始时间）所对应的角度位置

② 当前通道的发光时刻补偿角

① = ③ + ④

③ 该数据块当前的方位角基准值

从 **数据块 2** 中的 `Azimuth` 字段读取。

④ 当前发光通道的水平角度偏移

由附录 A 通道分布数据可知，**5 号通道** 的水平角度偏移为 0.148°。

准确的水平角度偏移：在该台雷达的角度修正文件中，参见 1.4 通道分布。

② = ⑤ × ⑥

⑤ 通道的发光时刻偏移

在 B.4 各通道的发光时刻偏移查表可知。

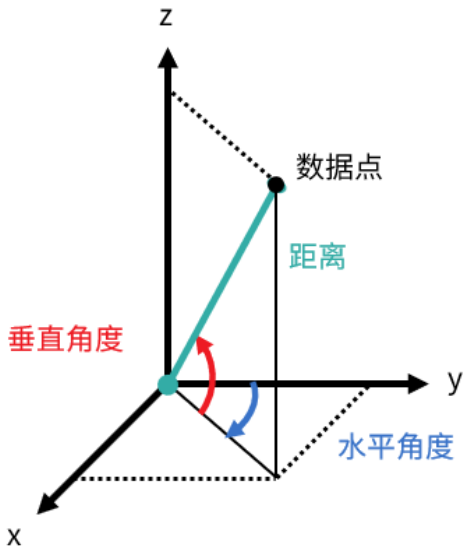
⑥ 电机的旋转速率

见点云数据包数据尾的 `Motor Speed` 字段，单位应转换为 °/s。

3.1.4.3. 解析数据点的距离值

参见 3.1.2.3 数据主体中 **Block 2: Channel 5** 的 `Distance` 字段。

3.1.4.4. 在球坐标系或直角坐标系中画出该数据点



3.1.4.5. 解析并画出该帧点云数据中的每个数据点，从而得到实时点云

4. 参数接口

本节全部参数均提供 API，部分参数也显示在 lu 上。

4.1. 网络连接

4.1.1. 源端

Source IPv4 Address

选项	说明
默认：192.168.1.201	源端的 IPv4 地址 UDP、PTC 端口均适用。

Source IPv4 Subnet Mask

选项	说明
默认：255.255.255.0	子网掩码 UDP、PTC 端口均适用。

Source IPv4 Gateway

选项	说明
默认：192.168.1.1	网关 IP 地址 UDP、PTC 端口均适用。

Ethernet Communication Mode

选项	说明
从模式 Slave（默认） 主模式 Master	车载以太网通信中雷达的主从模式 默认为 **雷达从模式**，此时接收主机必须为主模式。 ⚠ • 如果雷达与接收主机均为主模式或均为从模式，则无法连接。为避免该风险，请谨慎修改此项配置。 • 2.3 接线盒（选配）中的接线盒仅在 **雷达从模式** 下可用。 如需切换为 **雷达主模式**： 1. 用主模式的接收主机连接雷达。 2. 将雷达由从模式改为主模式。此时网络将自动断开。 3. 用从模式的接收主机连接雷达，网络将恢复。

VLAN

选项	说明
默认关闭 VLAN ID: 1 ~ 4094	VLAN（虚拟局域网）标签 如需为传输的数据增加 VLAN 标签，请在雷达和接收主机上设置相同的 VLAN ID。 ⚠ • 如果雷达与接收主机的 VLAN ID 不同，则无法连接。 • 为避免上述风险，lu 中的 VLAN ID 默认为非法值 0。开启 VLAN 时，请勾选复选框，此时将提示输入有效的 VLAN ID；取消勾选后，VLAN ID 回到非法值 0。 ℹ • 固件升级后，已配置的 VLAN ID 不变。 • 启用 VLAN 时，PTP 连接将断开；关闭 VLAN 后，PTP 连接将自动恢复。

4.1.2. 目的端

Destination IPv4 Address

选项	说明
除 0.0.0.0、127.0.0.1 和雷达自身 IP 之外均可。	目的端的 IPv4 地址 通信模式：目的 IP 广播（默认）：255.255.255.255 组播：可按实际网络设备配置组播地址。 单播：与接收主机的 IP 地址相同。

Destination Point Cloud UDP Port

选项	说明
默认：2368	点云 UDP 端口号，用于传输点云数据包

4.2. 功能设置

网络安全相关的功能请见《网络安全手册》（Security Manual）。如需获取，请联系禾赛科技技术支持。

Azimuth FOV

<table>
<tr><th>选项</th><th>说明</th></tr>
<tr><td>默认：全部通道 360° 输出点云</td><td>点云的水平角度范围
雷达仅在设置的角度范围内输出有效数据。
<table>
<tr><th>设置模式</th><th>说明</th></tr>
<tr><td>全部通道：单角度范围
For all channels（默认）</td><td>定义一个连续角度范围 [起始角, 终止角]，应用于全部激光通道。</td></tr>
<tr><td>全部通道：多角度范围
Multi-section FOV</td><td>定义 1 ~ 5 个连续角度范围，应用于全部激光通道。</td></tr>
</table>

角度值可精确到一位小数。
如果连续角度范围的起始角大于终止角，则实际输出点云的范围是 [起始角，360°) 与 [0°, 终止角）的并集。
例如：设置角度范围为 [270°, 90°) ，则实际输出点云的范围是 [270°, 360°)∪[0°, 90°)。
</td></tr>
</table>

Blooming Filtering

<table>
<tr><th>选项</th><th>说明</th></tr>
<tr><td>ON（默认）
OFF</td><td>点云膨胀过滤：减少高反物体边缘的点云膨胀噪点（即高反展宽噪点）
点云膨胀噪点的回波强度低于高反物体上的真实点云。
选择 ON 时，滤除疑似为点云膨胀的数据点。
选择 OFF 时，处理策略如下：
<table>
<tr><th>数据点类型</th><th>是否保留</th><th>点云包 Reflectivity 字段</th></tr>
<tr><td>疑似为点云膨胀的数据点</td><td>是</td><td>置零</td></tr>
<tr><td>其他数据点</td><td>是</td><td>数值增加 1（从而避免为 0）</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

Horizontal Resolution Mode

<table>
<tr><th>选项</th><th>说明</th></tr>
<tr><td>标准模式 Standard
高分辨率模式 High Resolution（默认）</td><td>水平分辨率模式
也可从点云数据包中读取，参见 3.1.2.5 数据尾的 Operational State 字段。
<table>
<tr><th>模式</th><th>扫描帧率</th><th>水平角分辨率</th></tr>
<tr><td>标准 Standard</td><td>10 Hz</td><td>全部通道 0.2°</td></tr>
<tr><td></td><td>20 Hz</td><td>全部通道 0.4°</td></tr>
<tr><td>高分辨率 High Resolution</td><td>10 Hz</td><td>高分辨率通道（通道 25 ~ 88）：0.1°
其他通道：0.2°</td></tr>
<tr><td></td><td>20 Hz</td><td>高分辨率通道（通道 25 ~ 88）：0.2°
其他通道：0.4°</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

Reflectivity Mapping

选项	说明
线性映射 Linear Mapping（默认） 两种非线性映射 Nonlinear Mapping #1/#2	反射率映射模式 线性映射：点云数据包的 **Reflectivity** 字段线性地对应目标物反射率（0 ~ 255%）。 非线性映射：在低反射率区域提升对比度，映射关系详见附录 C 反射率非线性映射。

Return Mode

选项	说明
单回波：最后、最强、第一 双回波 • 最后及最强（默认） • 最后及第一 • 第一及最强	回波模式 也可从点云数据包中读取，参见 3.1.2.5 数据尾的 **Return Mode** 字段。

Rotation Direction

选项	说明
顺时针 Clockwise（默认） 逆时针 Counterclockwise	电机旋转方向，以俯视图为准。

Spin Rate

选项	说明
600 RPM（默认） 1200 RPM	电机转速 可从点云数据包中读取准确转速，参见 3.1.2.5 数据尾的 **Motor Speed** 字段。

Sync Angle

选项	说明
0° ~ 359°	同步角度 勾选并填入一个水平方位角，每当整秒时刻，雷达将转动到该角度位置。 雷达角度位置定义：参见 1.3 基本结构。 整秒时刻的定义： • PTP 处于跟踪或锁定状态时，整秒时刻来自 PTP 信号。（雷达不使用 PPS 信号。） • PTP 处于冻结或自由运行状态时，整秒时刻定义为雷达内部 1 Hz 信号的上升沿。 • 详见 B.1 绝对时间的来源。 应用：可同步多台雷达的角度位置，即相位锁定。 采用同一时钟源连接多台雷达，并设置相同的同步角度，则同一时刻下，多台雷达转动的角度位置相同。

Trigger Method

选项	说明
角度触发 Angle-Based（默认） 时间触发 Time-Based	激光器发光的触发方式 角度触发：每 0.1°（10 Hz）或 0.2°（20 Hz）发光一次。 时间触发：每 27.778 µs 发光一次。

Up-Close Blockage Detection

选项	说明
OFF（默认） ON	近距离盲区检测：参见 Distance 字段的定义。

4.3. 状态设置

Reset All Settings and Restart

选项	说明
重置全部参数并重启	将 4.2 功能设置中的全部参数重置为默认值，并重启。 软重启后，雷达启动次数（Start-Up Times）自动加 1，参见 4.6 运行状态数据。

Restart

选项	说明
重启	重启后，雷达启动次数（Start-Up Times）自动加 1，参见 4.6 运行状态数据。

Standby Mode

选项	说明
运行 In Operation（默认） 待机 Standby	运行/待机模式 待机模式下，电机停转且激光器不发光。

4.4. 时间同步

只读参数	说明
PTP Status	PTP 状态 自由运行 Free Run：未选中 PTP 主时钟。 跟踪 Tracking：已选中 PTP 主时钟，从时钟尝试和主时钟同步，然而偏移量的绝对值大于用户设定的上限（参见本节 PTP Lock Time Offset）。 锁定 Locked：主从时钟偏移量的绝对值小于用户设定的上限。 冻结 Frozen：PTP 主时钟锁定后失锁，正在尝试恢复。雷达从前一锁定状态下的时刻开始漂移，漂移量超过设定值时，将进入自由运行状态。

PTP Profile

选项	说明
802.1AS Automotive 802.1AS AUTOSAR（默认）	PTP 配置类型（即 IEEE 时间同步标准）

PTP Lock Time Offset

选项	说明
1 ~ 100 µs（整数） 默认：1	PTP 锁定状态的上限 PTP 锁定状态下（参见本节 PTP Status），最大允许的主从时钟偏移量的绝对值。

PTP Domain Number

选项	说明
0 ~ 127（整数） 默认：0	PTP 本地时钟的域序列号

PTP Network Transport

选项	说明
L2	网络传输协议

Switch Type

选项	说明	
TSN（默认） Non-TSN	交换机类型	
	TSN	交换机采用 Peer-to-Peer 延迟机制。
	Non-TSN	交换机采用 End-to-End 延迟机制。

4.5. 雷达信息

只读参数	说明
SN (Serial Number)	雷达序列号
PN (Part Number)	雷达硬件版本号 格式：雷达型号-配置编号
MAC address	媒体访问控制（MAC）地址 格式：XX:XX:XX:XX:XX:XX（十六进制）
Lidar Model	雷达型号，即 OT128

Angle correction file

选项	说明
获取文件	角度修正文件 用于修正各通道的水平方位角和垂直高度角。

4.6. 运行状态数据

气候

只读参数	说明
Internal Temperature	内部温度
Humidity	内部湿度

电气

只读参数	说明
Lidar Input Current	输入电流（在雷达的外部连接器处测量）
Lidar Input Voltage	输入电压（在雷达的外部连接器处测量）
Lidar Input Power	输入功耗（在雷达的外部连接器处测量）

可用性

只读参数	说明
Start-Up Times	雷达启动次数
System Uptime	本次上电运行时间
Total Operation Time	总运行时间

4.7. 升级

Upgrade

选项	说明
升级 Upgrade	升级雷达软固件

4.8. 日志

日志类型	说明
Operation Log	运行日志
Upgrade Log	升级日志
Fault Log	功能安全故障日志
Command History	指令历史记录（本次上电后执行的各类指令数量）

5. 通信协议

可使用禾赛专用的 **Pandar TCP Commands (PTC) API** 与雷达通信。

如需获取 API 参考手册，请联系禾赛技术支持。

启用网络安全功能后，也可使用加密的 **PTCS (PTC over TLS) API**：

- 指令格式：与明文的 PTC API 相同。
- 启用条件：TLS 版本为 1.3 或以上，对应 OpenSSL 版本为 1.1.1 或以上。

如需获取 PTCS 及点云签名的示例代码，请访问：
https://github.com/HesaiTechnology/Cyber_Security

6. 仪器维护

激光雷达光罩为塑料材质（聚碳酸酯，即 PC），与车灯材质类似。

- 请勿在干燥状态下擦拭光罩，也不可使用研磨性清洁剂，以免损伤光罩的光学涂层。
- 禁止使用有机清洁剂，以免损伤光罩，甚至造成开裂。
  - 有机清洁剂包括但不限于：柏油清洁剂、自洁素、粘胶去除剂、镀膜去除剂、泡沫清洁剂、漆面铁粉清洁剂、玻璃清洁剂、稀释剂、除冰剂、漆面处理剂、酒精和食醋。
  - 请勿使用自动洗车装置清洁激光雷达。进行车辆清洗或相关作业前，请针对光罩采取防护措施，避免其接触有机清洁剂。
- 请勿向雷达施加强外力，以免光罩受损。
- 如果使用高压清洗机清洗光罩，喷头与光罩的间距应保持在 60 cm 以上。
- 光罩经历长时间高温暴晒后，请勿立即清洗。
- 光罩表面有积雪或积冰时，请勿使用高压清洗机或除冰铲。
  - 建议使用小扫帚清除积雪。
  - 建议使用不含有机溶剂的除冰喷剂清除积冰，或等待积冰自行融化。
- 请勿在光罩表面打蜡。

建议结合用车频率、驻车场所环境及气候条件，定期观察光罩洁净度。

- 光罩上附着异物（例如尘土、指印或油污）时，应清洁光罩。
- 光罩上附着侵蚀性异物（例如昆虫尸体、鸟粪、天然树脂、道路灰尘、工业粉尘、沥青、煤烟粒、融雪盐）时，应立即清洁光罩。

清洁步骤

1. 清洁前，请确认激光雷达已断电。
2. 基于脏污程度，选择清洁剂：
   - 污渍轻微时，建议使用常温水。
   - 污渍较多时，建议使用常温的温和肥皂液（一公升水中不超过两汤匙肥皂液）。
   - 对于顽固污渍，建议使用常温且不含有机溶剂的中性清洁剂，例如洗车香波。
3. 取干净的软海绵或抗静电微纤维软布，用上述清洁剂浸湿，来回轻轻擦拭脏污位置。

4. 如遇到顽固污渍，建议先将浸湿的软海绵或纤维软布覆盖在光罩脏污位置，待污渍软化后再轻轻擦拭。
5. 擦掉污渍后，立即用清水冲洗光罩，再用干净的软海绵或纤维软布轻轻擦去剩余液体，避免清洗剂或污染物残留。

7. 故障排查

以下步骤如果无法实施，或实施后未解决问题，请联系禾赛技术支持。

接线盒灯不亮

确认以下条件是否满足：

- 电源线接触良好，电源适配器正常工作。
- 接线盒完好。
- 输入电压和电流符合电气要求，见 2.3 接线盒（选配）。

之后重新上电，查看故障是否消失。

电机不转动

确认以下条件是否满足：

- 电源线接触良好，电源适配器正常工作。
- 输入电压和电流符合电气要求，见 1.6 技术参数。
- 可正常连接 lu（参见上位机软件 lu 无法连接雷达的排查方法）。
- 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：雷达未处于待机模式。
- 如果使用了接线盒：接线盒完好。

之后重新上电，查看故障是否消失。

电机转动但没有数据输出（Wireshark 和 PandarView 2 均无数据）

确认以下条件是否满足：

- 网线连接正常（可重新插拔）。
- 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：Destination IP 配置正确。

- 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：固件版本显示正常。
- 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：Azimuth FOV 设置正确。
- 雷达正在发出激光（可用红外相机或红外激光观察卡检测，也可采用未镀红外减透膜的手机镜头观察）。
- 如果使用接线盒，尝试换用另一根 Cat 6 或更高等级的网线连接（推荐 Cat 7 或以上）。

之后重新上电，查看故障是否消失。

Wireshark 有数据而 PandarView 2 无数据

确认以下条件是否满足：

- 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：Lidar Destination Port 设置正确。
- 如果开启了 VLAN，使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：雷达与计算机的 VLAN ID 相同。
- 计算机防火墙已关闭，或将 PandarView 2 加入到防火墙的例外中。
- 使用最新版本 PandarView 2（见 禾赛官网“下载”页面，或联系技术支持）。

之后重新上电，查看故障是否消失。

上位机软件 lu 无法连接雷达

确认以下条件是否满足：

- 网线连接正常（可重新插拔）。
- IP 配置正确：可用 Wireshark 查看发送广播包的雷达 IP，确保计算机 IP 与雷达 IP 属于同一子网。
- 如果开启了 VLAN，使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：雷达与计算机的 VLAN ID 相同。

然后执行以下操作：

1. 重启计算机，或将雷达连接至另一台计算机。
2. 重新上电，查看故障是否消失。

点云异常（排列明显不规则、点云闪烁、视场角残缺等）

确认以下条件是否满足：

- 雷达光罩是否洁净（如果有污迹，可按 6 仪器维护中的方法清洁）。
- 角度修正文件已导入，参见《PandarView 2 用户手册》。
- 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：Azimuth FOV 设置正确。
- 通过点云数据包 **`Motor Speed`** 字段或使用 PTC 指令、LidarUtilities 或 PandarView 2 确认：电机转速平稳。

然后检查是否丢包。

如果未丢包而点云数据闪烁，请执行以下操作：

1. 更新至最新版本 PandarView 2（见 禾赛官网“下载”页面，或联系技术支持）。
2. 重启计算机。

如果问题持续存在，则尝试以下操作：

1. 将雷达连接至另一台计算机和另一个网络。
2. 将雷达重新上电，查看故障是否消失。

数据包数量异常（即丢包）

确认以下条件是否满足：

- 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：Azimuth FOV 设置正确。
- 以太网无过载。
- 网络中没有接入交换机（其它设备传输的数据可能造成网络堵塞，导致丢包）。

然后执行以下操作：

1. 使计算机仅连接一台雷达、不连接其他设备，检查故障是否消失。
2. 将雷达重新上电，查看故障是否消失。

附录 A: 通道分布数据

下方表格说明

通道序号	从上到下，从 1 开始编号。
角度位置	水平角度（方位角）偏移和垂直角度（高度角），均为设计值。 • 准确角度数据在该台雷达的角度修正文件中。 • 参见 3.1.4 点云数据解析方法。
仪器测距下限、上限	实际测距范围，由分配给各通道的飞行时间（ToF）限定。
兼顾近距通道	仪器测距下限为 0.3 m 的通道。
最远测距 @10% 反射率	• 探测概率 = 70% • 通道 113 ~ 128：在远距通常打向地面，因此仅探测近距和中距。
远距增强通道	通道 34 ~ 64 可探测 200 m @10%（数据见 **最远测距 @10% 反射率**）。
仪器测距上限处可测的最低反射率	探测概率 = 70%
高分辨率通道	通道 25 ~ 88： • 垂直角分辨率 0.125° • 高分辨率模式下，水平分辨率提升为标准模式下的两倍。 • **仪器测距上限** = 230 m

通道序号	角度位置		仪器测距		兼顾近距通道	最远测距 @ 10% 反射率	远距增强通道	仪器测距上限处可测的最低反射率	高分辨率通道
	水平偏移	垂直	下限	上限					
1	0.186°	14.985°	0.3 m	130 m	YES	60 m	-	100%	-
2	0.185°	13.283°	0.3 m	130 m	YES	80 m	-	50%	-
3	1.335°	11.758°	0.3 m	130 m	YES	80 m	-	50%	-
4	1.343°	10.483°	0.3 m	130 m	YES	80 m	-	50%	-
5	0.148°	9.836°	1.4 m	130 m	-	80 m	-	50%	-
6	0.147°	9.171°	0.3 m	130 m	YES	80 m	-	50%	-
7	0.146°	8.496°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
8	0.146°	7.812°	0.3 m	130 m	YES	100 m	-	35%	-
9	1.335°	7.462°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
10	1.336°	7.115°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
11	1.337°	6.767°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
12	1.338°	6.416°	0.3 m	130 m	YES	100 m	-	35%	-
13	1.339°	6.064°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
14	1.340°	5.710°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
15	1.341°	5.355°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
16	1.342°	4.998°	0.3 m	130 m	YES	100 m	-	35%	-
17	0.128°	4.643°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
18	0.128°	4.282°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
19	0.127°	3.921°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-

通道序号	角度位置		仪器测距		兼顾近距通道	最远测距 @ 10% 反射率	远距增强通道	仪器测距上限处可测的最低反射率	高分辨率通道
	水平偏移	垂直	下限	上限					
20	0.127°	3.558°	0.3 m	130 m	YES	100 m	-	35%	-
21	0.107°	3.194°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
22	0.106°	2.829°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
23	0.105°	2.463°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
24	0.105°	2.095°	0.3 m	130 m	YES	100 m	-	35%	-
25	–3.118°	1.974°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	30%	YES
26	1.315°	1.854°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
27	4.529°	1.729°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
28	–3.121°	1.609°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
29	1.316°	1.487°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
30	4.532°	1.362°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
31	–3.124°	1.242°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
32	1.317°	1.120°	0.3 m	230 m	YES	140 m	-	40%	YES
33	4.536°	0.995°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
34	–3.127°	0.875°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
35	1.317°	0.750°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
36	4.539°	0.625°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
37	–3.13°	0.500°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
38	1.318°	0.375°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES

通道序号	角度位置		仪器测距		兼顾近距通道	最远测距 @ 10% 反射率	远距增强通道	仪器测距上限处可测的最低反射率	高分辨率通道
	水平偏移	垂直	下限	上限					
39	4.542°	0.250°	0.3 m	230 m	YES	200 m	YES	20%	YES
40	–3.133°	0.125°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
41	0.103°	0°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
42	2.935°	–0.125°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
43	–1.517°	–0.250°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
44	0.103°	–0.375°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
45	2.937°	–0.500°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
46	–1.519°	–0.626°	0.3 m	230 m	YES	200 m	YES	20%	YES
47	0.103°	–0.751°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
48	2.939°	–0.876°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
49	–1.520°	–1.001°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
50	0.103°	–1.126°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
51	2.941°	–1.251°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
52	–1.521°	–1.377°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
53	0.102°	–1.502°	0.3 m	230 m	YES	200 m	YES	20%	YES
54	2.943°	–1.627°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
55	–1.523°	–1.751°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
56	0.102°	–1.876°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
57	2.945°	–2.001°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES

通道序号	角度位置		仪器测距		兼顾近距通道	最远测距 @ 10% 反射率	远距增强通道	仪器测距上限处可测的最低反射率	高分辨率通道
	水平偏移	垂直	下限	上限					
58	–1.524°	–2.126°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
59	0.102°	–2.251°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
60	2.946°	–2.376°	0.3 m	230 m	YES	200 m	YES	20%	YES
61	–1.526°	–2.501°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
62	0.102°	–2.626°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
63	2.948°	–2.751°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
64	–1.526°	–2.876°	1.4 m	230 m	-	200 m	YES	20%	YES
65	1.324°	–3.001°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
66	4.570°	–3.126°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
67	–3.155°	–3.251°	0.3 m	230 m	YES	140 m	-	40%	YES
68	1.325°	–3.376°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
69	4.573°	–3.501°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
70	–3.157°	–3.626°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
71	1.326°	–3.751°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
72	4.575°	–3.876°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
73	–3.159°	–4.001°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
74	1.326°	–4.126°	0.3 m	230 m	YES	140 m	-	40%	YES
75	4.578°	–4.25°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
76	–3.161°	–4.375°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES

通道序号	角度位置		仪器测距		兼顾近距通道	最远测距 @ 10% 反射率	远距增强通道	仪器测距上限处可测的最低反射率	高分辨率通道
	水平偏移	垂直	下限	上限					
77	1.327°	–4.501°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
78	4.581°	–4.626°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
79	–3.163°	–4.751°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
80	1.328°	–4.876°	0.3 m	230 m	YES	140 m	-	40%	YES
81	4.583°	–5.001°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
82	–3.165°	–5.126°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
83	1.329°	–5.252°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
84	4.586°	–5.377°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
85	–3.167°	–5.502°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
86	1.329°	–5.626°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
87	4.588°	–5.752°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
88	–3.168°	–5.877°	1.4 m	230 m	-	140 m	-	40%	YES
89	0.102°	–6.002°	0.3 m	130 m	YES	100 m	-	35%	-
90	0.103°	–6.378°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
91	0.103°	–6.754°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
92	0.103°	–7.13°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
93	0.104°	–7.507°	0.3 m	130 m	YES	100 m	-	35%	-
94	0.104°	–7.882°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
95	0.104°	–8.257°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-

通道序号	角度位置		仪器测距		兼顾近距通道	最远测距 @ 10% 反射率	远距增强通道	仪器测距上限处可测的最低反射率	高分辨率通道
	水平偏移	垂直	下限	上限					
96	0.104°	–8.632°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
97	1.337°	–9.003°	0.3 m	130 m	YES	100 m	-	35%	-
98	1.337°	–9.376°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
99	1.338°	–9.749°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
100	1.339°	–10.121°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
101	1.340°	–10.493°	0.3 m	130 m	YES	100 m	-	35%	-
102	1.341°	–10.864°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
103	1.341°	–11.234°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
104	1.342°	–11.603°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
105	0.108°	–11.975°	0.3 m	130 m	YES	100 m	-	35%	-
106	0.108°	–12.343°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
107	0.109°	–12.709°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
108	0.109°	–13.075°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
109	0.130°	–13.439°	0.3 m	130 m	YES	100 m	-	35%	-
110	0.131°	–13.803°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
111	0.131°	–14.164°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
112	0.132°	–14.525°	1.4 m	130 m	-	100 m	-	35%	-
113	1.384°	–14.879°	0.3 m	130 m	YES	80 m	-	50%	-
114	1.384°	–15.237°	1.4 m	130 m	-	80 m	-	50%	-

通道序号	角度位置		仪器测距		兼顾近距通道	最远测距 @ 10% 反射率	远距增强通道	仪器测距上限处可测的最低反射率	高分辨率通道
	水平偏移	垂直	下限	上限					
115	1.385°	–15.593°	1.4 m	130 m	-	80 m	-	50%	-
116	1.385°	–15.948°	1.4 m	130 m	-	80 m	-	50%	-
117	1.386°	–16.299°	0.3 m	130 m	YES	80 m	-	50%	-
118	1.386°	–16.651°	1.4 m	130 m	-	80 m	-	50%	-
119	1.387°	–17.000°	1.4 m	130 m	-	80 m	-	50%	-
120	1.387°	–17.347°	1.4 m	130 m	-	80 m	-	50%	-
121	0.151°	–17.701°	0.3 m	130 m	YES	80 m	-	50%	-
122	0.153°	–18.386°	1.4 m	130 m	-	80 m	-	50%	-
123	0.154°	–19.063°	0.3 m	130 m	YES	80 m	-	50%	-
124	0.156°	–19.730°	1.4 m	130 m	-	80 m	-	50%	-
125	1.388°	–20.376°	0.3 m	130 m	YES	80 m	-	50%	-
126	1.408°	–21.653°	0.3 m	130 m	YES	50 m	-	180%	-
127	0.196°	–23.044°	0.3 m	130 m	YES	40 m	-	260%	-
128	0.286°	–24.765°	0.3 m	130 m	YES	30 m	-	600%	-

附录 B: 点云数据的绝对时间

B.1. 绝对时间的来源

雷达依靠外部时钟源获取绝对时间。

B.1.1. PTP 作为时钟源

雷达连接第三方 PTP master 设备，以获取 PTP 信号。

- 雷达不使用 PPS 信号。
- 可通过 PTC 指令或 LidarUtilities 配置 PTP 相关参数。
- 可通过 PTC 指令或 LidarUtilities 查看 PTP 信号的当前状态。

绝对时间的更新规则如下：

PTP 状态	日期和时间（精确到微秒）	说明
自由运行	虚拟值	从一个 **虚拟的 UTC 时间**（例如 2000–01–01 00:00:00）开始，由雷达内部 1 Hz 信号计数递增。
跟踪、锁定	同步为真实值	从 PTP Master 的对时报文中提取日期和时间。
冻结	内部计时	从 **失锁前的同步时刻** 开始，由雷达内部 1 Hz 信号计数递增，相比真实的 PTP 时间将产生漂移。

- PTP 协议即插即用；雷达为 PTP slave 设备，不需要额外设置。
- 雷达严格按照 PTP master 设备提供的 PTP 时间同步。某些 PTP master 设备输出的时间可能与雷达时间存在固定偏移，请确认 PTP master 设备已设置正确并且已校准。

B.2. 点云数据包的绝对时间

点云数据包的绝对时间 $t_0 = t_s + t_{ms}$ ，其中：

- t_s 为整秒部分，位于点云数据包的 **`Date & Time`** 字段。
- t_{ms} 为微秒部分，位于点云数据包的 **`Timestamp`** 字段。

以上字段定义见 3.1.2.5 数据尾。

B.3. 数据块的开始时间

已知点云数据包的绝对时间为 t_0，可计算每个数据块的开始时间，即开始发光的时刻。

单回波模式下

数据块	水平高分辨率模式下的开始时间（μs）	标准模式下的开始时间（μs）
Block 1	$t_0 - 27.778$	$t_0 - 27.778 \times 2$
Block 2	t_0	t_0

双回波模式下

数据块	开始时间（μs）
Block 1 & Block 2	t_0

高分辨率模式与标准模式

模式	扫描帧率	远距测量的水平角分辨率
标准 Standard	10 Hz	全部通道：0.2°
高分辨率 High Resolution	10 Hz	高分辨率通道（通道 25 ~ 88）：0.1° 其他通道：0.2°
	20 Hz	（通道 25 ~ 88）：0.2° 其他通道：0.4°

B.4. 各通道的发光时刻偏移

假设数据块 m 的开始时间为 T(m)，其中 m ∈ {1, 2}，则数据块 m 中，通道 n 的激光器发光时刻为

$$t(m, n) = T(m) + \Delta t(n)，其中\ n \in \{1, 2, \cdots, 128\}。$$

发光时刻偏移量 Δt(n) 的查表步骤

1. 由点云数据包中 数据尾 的 **`Operational State`** 字段，可知雷达当前的运行状态（高性能、标准、待机）。
2. 由点云数据包中 数据尾 的 **`Azimuth State`** 字段，可知数据块 m 的方位角标识。
   范围：0 ~ 1（标准模式）、0 ~ 3（高性能模式）
3. 从以下表格中查找 Δt(n)
   单位：μs

按通道序号排列：标准模式

通道序号	方位角标识		通道序号	方位角标识	
	0	1		0	1
1	46.645	46.645	65	14.231	16.375
2	34.067	34.067	66	16.549	18.693
3	18.867	21.011	67	20.52	22.664
4	6.289	6.289	68	7.942	7.942
5	40.356	40.356	69	10.26	10.26
6	27.778	27.778	70	16.549	18.693
7	12.578	14.722	71	1.653	1.653
8	0	0	72	3.971	3.971
9	46.645	46.645	73	10.26	10.26
10	34.067	34.067	74	22.838	24.982
11	18.867	21.011	75	14.231	16.375
12	6.289	6.289	76	3.971	3.971
13	40.356	40.356	77	20.52	22.664
14	27.778	27.778	78	7.942	7.942
15	12.578	14.722	79	14.231	16.375
16	0	0	80	16.549	18.693
17	46.645	46.645	81	1.653	1.653
18	34.067	34.067	82	7.942	7.942
19	18.867	21.011	83	10.26	10.26

通道序号	方位角标识		通道序号	方位角标识	
	0	1		0	1
20	6.289	6.289	84	22.838	24.982
21	40.356	40.356	85	1.653	1.653
22	27.778	27.778	86	3.971	3.971
23	12.578	14.722	87	20.52	22.664
24	0	0	88	22.838	24.982
25	20.52	22.664	89	46.645	46.645
26	16.549	18.693	90	34.067	34.067
27	10.26	10.26	91	18.867	21.011
28	16.549	18.693	92	6.289	6.289
29	20.52	22.664	93	40.356	40.356
30	3.971	3.971	94	27.778	27.778
31	14.231	16.375	95	12.578	14.722
32	7.942	7.942	96	0	0
33	14.231	16.375	97	46.645	46.645
34	7.942	7.942	98	34.067	34.067
35	10.26	10.26	99	18.867	21.011
36	1.653	1.653	100	6.289	6.289
37	1.653	1.653	101	40.356	40.356
38	3.971	3.971	102	27.778	27.778
39	22.838	24.982	103	12.578	14.722

通道序号	方位角标识		通道序号	方位角标识	
	0	1		0	1
40	22.838	24.982	104	0	0
41	14.231	16.375	105	46.645	46.645
42	16.549	18.693	106	34.067	34.067
43	20.52	22.664	107	18.867	21.011
44	7.942	7.942	108	6.289	6.289
45	10.26	10.26	109	40.356	40.356
46	16.549	18.693	110	27.778	27.778
47	1.653	1.653	111	12.578	14.722
48	3.971	3.971	112	0	0
49	10.26	10.26	113	46.645	46.645
50	22.838	24.982	114	34.067	34.067
51	14.231	16.375	115	18.867	21.011
52	3.971	3.971	116	6.289	6.289
53	20.52	22.664	117	40.356	40.356
54	7.942	7.942	118	27.778	27.778
55	14.231	16.375	119	12.578	14.722
56	16.549	18.693	120	0	0
57	1.653	1.653	121	46.645	46.645
58	7.942	7.942	122	34.067	34.067
59	10.26	10.26	123	18.867	21.011

通道序号	方位角标识		通道序号	方位角标识	
	0	1		0	1
60	22.838	24.982	124	6.289	6.289
61	1.653	1.653	125	40.356	40.356
62	3.971	3.971	126	27.778	27.778
63	20.52	22.664	127	12.578	14.722
64	22.838	24.982	128	0	0

按通道序号排列：高性能模式

通道序号	方位角标识				通道序号	方位角标识			
	0	1	2	3		0	1	2	3
1	-	18.867	-	18.867	65	14.231	14.231	16.375	14.231
2	-	6.289	-	6.289	66	16.549	16.549	18.693	16.549
3	18.867	-	21.011	-	67	20.52	20.52	22.664	20.52
4	6.289	-	6.289	-	68	7.942	7.942	7.942	7.942
5	-	12.578	-	12.578	69	10.26	10.26	10.26	10.26
6	-	0	-	0	70	16.549	16.549	18.693	16.549
7	12.578	-	14.722	-	71	1.653	1.653	1.653	1.653
8	0	-	0	-	72	3.971	3.971	3.971	3.971
9	-	18.867	-	18.867	73	10.26	10.26	10.26	10.26
10	-	6.289	-	6.289	74	22.838	22.838	24.982	22.838
11	18.867	-	21.011	-	75	14.231	14.231	16.375	14.231
12	6.289	-	6.289	-	76	3.971	3.971	3.971	3.971
13	-	12.578	-	12.578	77	20.52	20.52	22.664	20.52
14	-	0	-	0	78	7.942	7.942	7.942	7.942
15	12.578	-	14.722	-	79	14.231	14.231	16.375	14.231
16	0	-	0	-	80	16.549	16.549	18.693	16.549
17	-	18.867	-	18.867	81	1.653	1.653	1.653	1.653
18	-	6.289	-	6.289	82	7.942	7.942	7.942	7.942
19	18.867	-	21.011	-	83	10.26	10.26	10.26	10.26

通道序号	方位角标识				通道序号	方位角标识			
	0	1	2	3		0	1	2	3
20	6.289	-	6.289	-	84	22.838	22.838	24.982	22.838
21	-	12.578	-	12.578	85	1.653	1.653	1.653	1.653
22	-	0	-	0	86	3.971	3.971	3.971	3.971
23	12.578	-	14.722	-	87	20.52	20.52	22.664	20.52
24	0	-	0	-	88	22.838	22.838	24.982	22.838
25	20.52	20.52	22.664	20.52	89	-	18.867	-	18.867
26	16.549	16.549	18.693	16.549	90	-	6.289	-	6.289
27	10.26	10.26	10.26	10.26	91	18.867	-	21.011	-
28	16.549	16.549	18.693	16.549	92	6.289	-	6.289	-
29	20.52	20.52	22.664	20.52	93	-	12.578	-	12.578
30	3.971	3.971	3.971	3.971	94	-	0	-	0
31	14.231	14.231	16.375	14.231	95	12.578	-	14.722	-
32	7.942	7.942	7.942	7.942	96	0	-	0	-
33	14.231	14.231	16.375	14.231	97	-	18.867	-	18.867
34	7.942	7.942	7.942	7.942	98	-	6.289	-	6.289
35	10.26	10.26	10.26	10.26	99	18.867	-	21.011	-
36	1.653	1.653	1.653	1.653	100	6.289	-	6.289	-
37	1.653	1.653	1.653	1.653	101	-	12.578	-	12.578
38	3.971	3.971	3.971	3.971	102	-	0	-	0
39	22.838	22.838	24.982	22.838	103	12.578	-	14.722	-

通道序号	方位角标识				通道序号	方位角标识			
	0	1	2	3		0	1	2	3
40	22.838	22.838	24.982	22.838	104	0	-	0	-
41	14.231	14.231	16.375	14.231	105	-	18.867	-	18.867
42	16.549	16.549	18.693	16.549	106	-	6.289	-	6.289
43	20.52	20.52	22.664	20.52	107	18.867	-	21.011	-
44	7.942	7.942	7.942	7.942	108	6.289	-	6.289	-
45	10.26	10.26	10.26	10.26	109	-	12.578	-	12.578
46	16.549	16.549	18.693	16.549	110	-	0	-	0
47	1.653	1.653	1.653	1.653	111	12.578	-	14.722	-
48	3.971	3.971	3.971	3.971	112	0	-	0	-
49	10.26	10.26	10.26	10.26	113	-	18.867	-	18.867
50	22.838	22.838	24.982	22.838	114	-	6.289	-	6.289
51	14.231	14.231	16.375	14.231	115	18.867	-	21.011	-
52	3.971	3.971	3.971	3.971	116	6.289	-	6.289	-
53	20.52	20.52	22.664	20.52	117	-	12.578	-	12.578
54	7.942	7.942	7.942	7.942	118	-	0	-	0
55	14.231	14.231	16.375	14.231	119	12.578	-	14.722	-
56	16.549	16.549	18.693	16.549	120	0	-	0	-
57	1.653	1.653	1.653	1.653	121	-	18.867	-	18.867
58	7.942	7.942	7.942	7.942	122	-	6.289	-	6.289
59	10.26	10.26	10.26	10.26	123	18.867	-	21.011	-

通道序号	方位角标识				通道序号	方位角标识			
	0	1	2	3		0	1	2	3
60	22.838	22.838	24.982	22.838	124	6.289	-	6.289	-
61	1.653	1.653	1.653	1.653	125	-	12.578	-	12.578
62	3.971	3.971	3.971	3.971	126	-	0	-	0
63	20.52	20.52	22.664	20.52	127	12.578	-	14.722	-
64	22.838	22.838	24.982	22.838	128	0	-	0	-

附录 C: 反射率非线性映射

点云数据包的 **Reflectivity** 字段（见 3.1.2.3 数据主体）与目标物反射率默认为线性关系。

- **Reflectivity** 字段取值范围：0 ~ 255
- 反射率范围：0 ~ 255%

用户可以通过 PTC 指令或 LidarUtilities 选择非线性映射。

C.1. 非线性映射 1#

可在低反射率区域提升对比度，映射关系如下图。

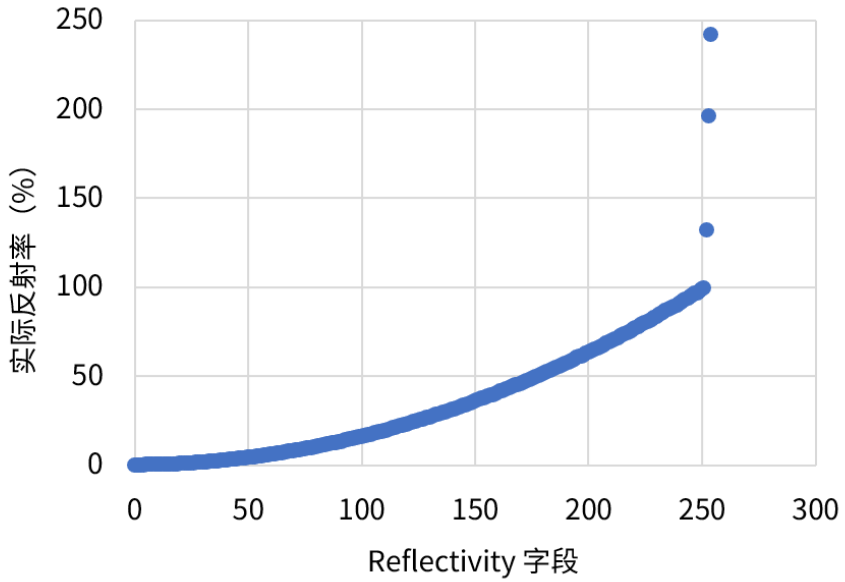


图 22. 反射率非线性映射 1#

反射率非线性映射 1#

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
0	0	1	0.01	2	0.02	3	0.03
4	0.04	5	0.05	6	0.08	7	0.11
8	0.13	9	0.15	10	0.19	11	0.23
12	0.26	13	0.29	14	0.34	15	0.39
16	0.44	17	0.5	18	0.56	19	0.61
20	0.67	21	0.75	22	0.81	23	0.87
24	0.95	25	1.05	26	1.15	27	1.25
28	1.35	29	1.45	30	1.55	31	1.65
32	1.75	33	1.85	34	1.95	35	2.06
36	2.19	37	2.31	38	2.44	39	2.56
40	2.69	41	2.81	42	2.94	43	3.07
44	3.21	45	3.36	46	3.5	47	3.64
48	3.79	49	3.93	50	4.08	51	4.25
52	4.42	53	4.58	54	4.75	55	4.92
56	5.1	57	5.3	58	5.5	59	5.7
60	5.9	61	6.1	62	6.3	63	6.5
64	6.7	65	6.9	66	7.1	67	7.3
68	7.5	69	7.7	70	7.9	71	8.12
72	8.37	73	8.62	74	8.87	75	9.1
76	9.3	77	9.5	78	9.7	79	9.9
80	10.17	81	10.5	82	10.83	83	11.12

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
84	11.37	85	11.62	86	11.87	87	12.12
88	12.37	89	12.62	90	12.87	91	13.17
92	13.5	93	13.83	94	14.17	95	14.5
96	14.83	97	15.12	98	15.37	99	15.62
100	15.87	101	16.17	102	16.5	103	16.83
104	17.17	105	17.5	106	17.83	107	18.17
108	18.5	109	18.83	110	19.17	111	19.5
112	19.83	113	20.25	114	20.75	115	21.17
116	21.5	117	21.83	118	22.17	119	22.5
120	22.83	121	23.25	122	23.75	123	24.17
124	24.5	125	24.83	126	25.25	127	25.75
128	26.17	129	26.5	130	26.83	131	27.25
132	27.75	133	28.17	134	28.5	135	28.83
136	29.25	137	29.75	138	30.25	139	30.75
140	31.17	141	31.5	142	31.83	143	32.25
144	32.75	145	33.25	146	33.75	147	34.25
148	34.75	149	35.25	150	35.75	151	36.25
152	36.75	153	37.25	154	37.75	155	38.25
156	38.75	157	39.17	158	39.5	159	39.83
160	40.5	161	41.25	162	41.75	163	42.25
164	42.75	165	43.25	166	43.75	167	44.25

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
168	44.75	169	45.25	170	45.75	171	46.25
172	46.75	173	47.25	174	47.75	175	48.25
176	48.75	177	49.5	178	50.25	179	50.75
180	51.25	181	51.75	182	52.25	183	52.75
184	53.5	185	54.25	186	54.75	187	55.25
188	55.75	189	56.5	190	57.25	191	57.75
192	58.25	193	58.75	194	59.5	195	60.25
196	60.75	197	61.25	198	61.75	199	62.5
200	63.25	201	63.75	202	64.5	203	65.25
204	65.75	205	66.25	206	66.75	207	67.5
208	68.25	209	68.75	210	69.5	211	70.25
212	70.75	213	71.5	214	72.25	215	72.75
216	73.5	217	74.25	218	74.75	219	75.5
220	76.5	221	77.25	222	77.75	223	78.5
224	79.25	225	79.75	226	80.5	227	81.25
228	81.75	229	82.5	230	83.5	231	84.25
232	84.75	233	85.5	234	86.5	235	87.25
236	87.75	237	88.5	238	89.25	239	89.75
240	90.5	241	91.5	242	92.5	243	93.25
244	93.75	245	94.5	246	95.5	247	96.25
248	96.75	249	97.5	250	98.5	251	99.5

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
252	132	253	196	254	242	-	-

C.2. 非线性映射 2#

可提升路面车道线的分辨率，映射关系如下图。

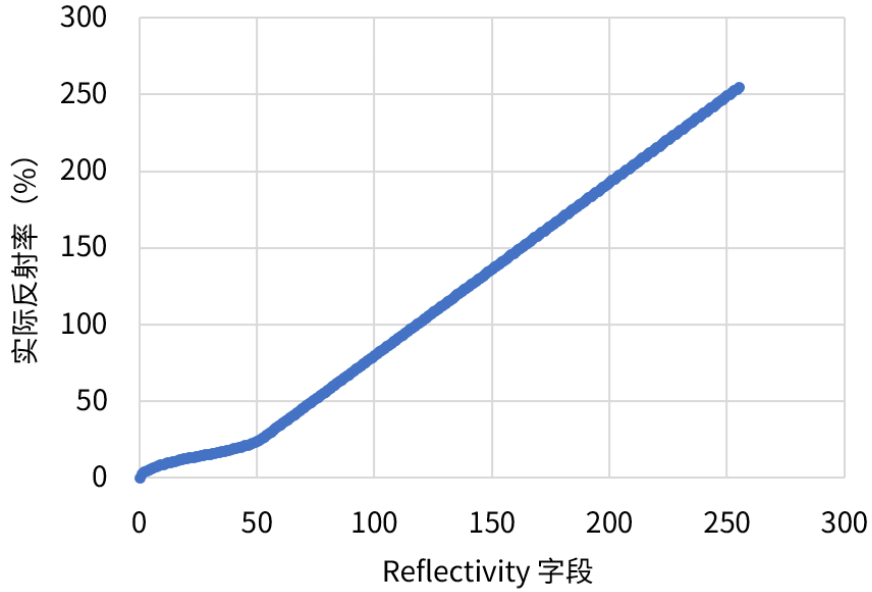


图 23. 反射率非线性映射 2#

反射率非线性映射 2#

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
0	0	1	2.89	2	4.08	3	5
4	5.77	5	6.45	6	7.07	7	7.64
8	8.16	9	8.66	10	9.13	11	9.57
12	10	13	10.41	14	10.8	15	11.18
16	11.55	17	11.9	18	12.25	19	12.58

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
20	12.91	21	13.23	22	13.54	23	13.84
24	14.14	25	14.43	26	14.72	27	15
28	15.28	29	15.57	30	15.86	31	16.16
32	16.46	33	16.77	34	17.09	35	17.42
36	17.75	37	18.1	38	18.45	39	18.82
40	19.2	41	19.59	42	20	43	20.43
44	20.87	45	21.34	46	21.84	47	22.36
48	22.93	49	23.55	50	24.23	51	25
52	25.92	53	27.09	54	28.22	55	29.35
56	30.47	57	31.6	58	32.73	59	33.86
60	34.99	61	36.12	62	37.25	63	38.37
64	39.5	65	40.63	66	41.76	67	42.89
68	44.02	69	45.15	70	46.28	71	47.4
72	48.53	73	49.66	74	50.79	75	51.92
76	53.05	77	54.18	78	55.3	79	56.43
80	57.56	81	58.69	82	59.82	83	60.95
84	62.08	85	63.21	86	64.33	87	65.46
88	66.59	89	67.72	90	68.85	91	69.98
92	71.11	93	72.23	94	73.36	95	74.49
96	75.62	97	76.75	98	77.88	99	79.01
100	80.14	101	81.26	102	82.39	103	83.52

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
104	84.65	105	85.78	106	86.91	107	88.04
108	89.16	109	90.29	110	91.42	111	92.55
112	93.68	113	94.81	114	95.94	115	97.07
116	98.19	117	99.32	118	100.45	119	101.58
120	102.71	121	103.84	122	104.97	123	106.09
124	107.22	125	108.35	126	109.48	127	110.61
128	111.74	129	112.87	130	114	131	115.12
132	116.25	133	117.38	134	118.51	135	119.64
136	120.77	137	121.9	138	123.02	139	124.15
140	125.28	141	126.41	142	127.54	143	128.67
144	129.8	145	130.93	146	132.05	147	133.18
148	134.31	149	135.44	150	136.57	151	137.7
152	138.83	153	139.95	154	141.08	155	142.21
156	143.34	157	144.47	158	145.6	159	146.73
160	147.86	161	148.98	162	150.11	163	151.24
164	152.37	165	153.5	166	154.63	167	155.76
168	156.88	169	158.01	170	159.14	171	160.27
172	161.4	173	162.53	174	163.66	175	164.79
176	165.91	177	167.04	178	168.17	179	169.3
180	170.43	181	171.56	182	172.69	183	173.81
184	174.94	185	176.07	186	177.2	187	178.33

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
188	179.46	189	180.59	190	181.72	191	182.84
192	183.97	193	185.1	194	186.23	195	187.36
196	188.49	197	189.62	198	190.74	199	191.87
200	193	201	194.13	202	195.26	203	196.39
204	197.52	205	198.65	206	199.77	207	200.9
208	202.03	209	203.16	210	204.29	211	205.42
212	206.55	213	207.67	214	208.8	215	209.93
216	211.06	217	212.19	218	213.32	219	214.45
220	215.58	221	216.7	222	217.83	223	218.96
224	220.09	225	221.22	226	222.35	227	223.48
228	224.6	229	225.73	230	226.86	231	227.99
232	229.12	233	230.25	234	231.38	235	232.51
236	233.63	237	234.76	238	235.89	239	237.02
240	238.15	241	239.28	242	240.41	243	241.53
244	242.66	245	243.79	246	244.92	247	246.05
248	247.18	249	248.31	250	249.44	251	250.56
252	251.69	253	252.82	254	253.95	255	255.08

附录 D: 法律申明

禾赛科技版权所有。未经禾赛授权，禁止使用或复制本手册的部分或全部内容。

禾赛科技未对本手册内容作出任何明示或暗示的陈述或保证，尤其对适销性或针对特定用途的适用性不提供任何保证。此外，禾赛科技保留修订本手册以及随时修改手册内容而无需通知任何人的权利。

HESAI 及其标识为禾赛科技的注册商标。本手册或禾赛官网上的所有其他商标、服务标识和公司名称均为各自所有者的财产。

本手册描述的产品包含禾赛科技享有版权的软件。除非获得权利人的许可，否则，任何人不能以任何形式对前述软件进行反编译、反向工程、反汇编、修改、出租、租赁、出借、分发、再许可、创建衍生作品，但是适用法禁止此类限制的除外。

如需产品质保服务手册，请访问禾赛科技官网的“质保条款”页面： https://www.hesaitech.com/cn/warranty

上海禾赛科技有限公司

联系电话：400-805-1233
公司网址：www.hesaitech.com
办公地址：上海市长宁区昭化路 658 号 A 栋

公司邮箱：info@hesaitech.com
售后邮箱：service@hesaitech.com