



文档编号:01.13.001701

YDLIDAR X4PRO

开发手册

www.ydlidar.cn

目录

1	工作机制	1
2	系统报文	1
3	上电信息	2
4	采样测距	3
5	测距数据协议	3
5.1	起始位解析	4
5.2	干扰过滤	4
5.3	距离解析	4
5.4	角度解析	4
5.5	校验码解析	6
5.6	CT信息解析	6
6	速度控制	9
7	修订	10

1 工作机制

X4PRO 上电后，系统自动启动测距，以下是 X4PRO 系统的工作流程：

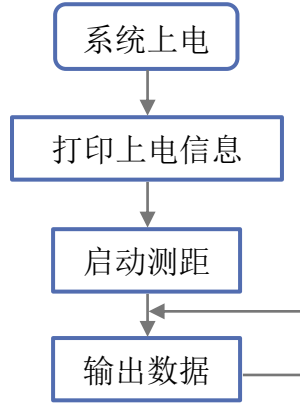


图 1 X4PRO 系统工作流程

2 系统报文

系统报文是雷达串口对外输出的数据协议，雷达测距信息和设备信息等相关协议采用的是同一套报文系统。用户可根据报文内容来判断当前数据协议是扫描内容还是设备信息内容等。系统报文数据结构包含：起始标志、应答长度、应答模式、类型码和应答内容，具体如下：

表 1 YDLIDAR X4PRO 系统报文数据协议

起始标志	应答长度	应答模式	类型码	应答内容
16bits	30bits	2bits	8bits	/

字节偏移：

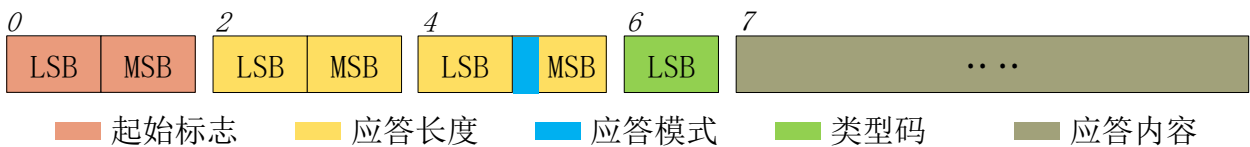


图 2 YDLIDAR X4PRO 系统报文数据协议示意图

- **起始标志：**X4PRO 的报文标志统一为 0xA55A；
- **应答长度：**应答长度表示的是应答内容的长度，但当应答模式为持续应答时，长度应为无限大，因此该值失效；
- **应答模式：**该位只有 2bits，表示本次报文是单次应答或持续应答，其取值和对应的模式如下：

表 2 X4PRO 应答模式取值和对应应答模式

应答模式取值	0x0	0x1	0x2	0x3
应答模式	单次应答	持续	未定义	

- **类型码：**不同的系统命令，对应不同的类型码；
- **应答内容：**不同的系统命令，反馈不同的数据内容，其数据协议也不同。

注 1：X4PRO 的数据通信采用的是小端模式，低位在前。

注 2：应答报文中，第 6 个字节的低 6 位属于应答长度，高 2 位属于应答模式。

3 上电信息

在上电后，系统会输出一次上电信息，会反馈设备的型号、固件版本和硬件版本，以及设备出厂序列号。其应答报文为：

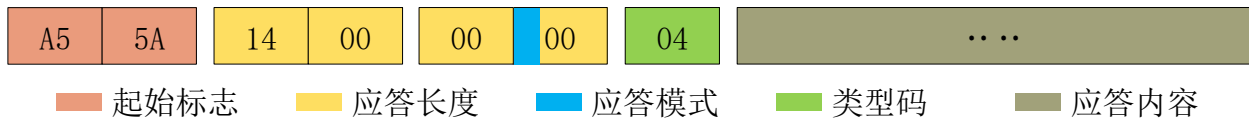


图 3 YDLIDAR X4PRO 设备信息报文示意图

按照协议解析：应答长度 = 0x00000014， 应答模式 = 0x0， 类型码 = 0x04。

即应答内容字节数为 20；本次应答为单次应答，类型码为 04，该类型应答内容满足一下数据结构：

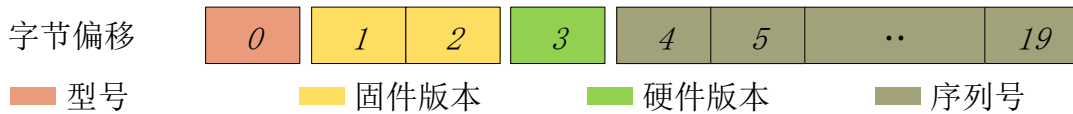


图 4 YDLIDAR X4PRO 设备信息应答内容数据结构示意图

- **型号：**1 个字节设备机型，如 X4PRO 的机型代号是 04；
- **固件版本：**2 个字节，低字节为主版本号，高字节为次版本号；
- **硬件版本：**1 个字节，代表硬件版本；
- **序列号：**16 个字节，唯一的出厂序列号。

4 采样测距

雷达在初始化结束后，便会自动启动测距，当雷达检测到旋转正常，便会对外输出测距信息，测距信息的数据协议不同于设备信息，属于多次应答，其报文内容按照测距数据协议，以 16 进制向串口发送至外部设备。

其系统报文如下：

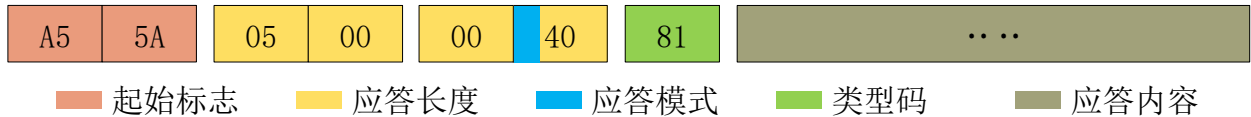


图 5 YDLIDAR X4PRO 扫描报文示意图

其中第 6 个字节的 bit[7:6] 为 01，因此应答模式取值为 0x1，为持续应答，忽略应答长度，类型码为 0x81；

应答内容为系统扫描的点云数据，其按照以下数据结构，以 16 进制向串口发送至外部设备。

5 测距数据协议

应答内容为系统扫描的点云数据，其按照以下数据结构，以 16 进制向串口发送至外部设备。

字节偏移：

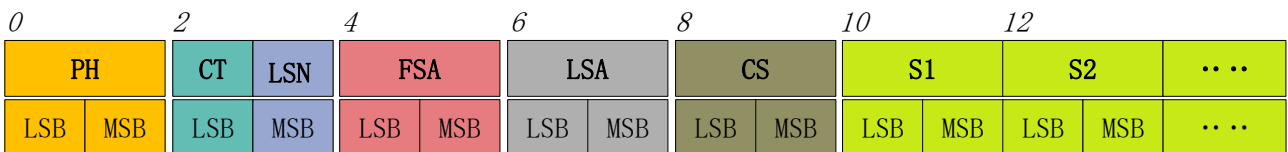


图 6 扫描命令应答内容数据结构示意图

表 3 扫描命令应答内容数据结构描述

内容	名称	描述
PH(2B)	数据包头	长度为 2B，固定为 0x55AA，低位在前，高位在后
CT(1B)	包类型	表示当前数据包的类型，CT[bit(0)]=1 表示为一圈数据起始，CT[bit(0)]=0 表示为点云数据包，CT[bit(7:1)]为预留位
LSN(1B)	采样数量	表示当前数据包中包含的采样点数量；起始数据包中只有 1 个起始点的数据，该值为 1
FSA(2B)	起始角	采样数据中第一个采样点对应的角度数据

LSA (2B)	结束角	采样数据中最后一个采样点对应的角度数据
CS (2B)	校验码	当前数据包的校验码，采用双字节异或对当前数据包进行校验
Si (2B)	采样数据	系统测试的采样数据，为采样点的距离数据，其中 Si 节点的 LSB 中还集成了干扰标志

5.1 起始位解析

当检测到 $CT[bit(0)]=1$ 时，表明该包数据为起始数据包，表示一圈数据的起始，该数据包中 $LSN = 1$ ，即 Si 的数量为 1；其距离、角度的具体值解析参见下文；

当检测到 $CT[bit(0)]=0$ 时，表明该包数据为点云数据包；

注：CT[bit(7:1)]为预留位，未来版本会用作其他用途，因此在解析 CT 过程中，只需要对 bit(0)位做起始帧的判断。

5.2 干扰过滤

X4PRO 内部集成了干扰识别算法，对信号存在干扰的点会在 Flag 上打上标记，用户可以根据实际使用情况对信号存在干扰的点进行过滤，具体如下：

- 1) Flag=2，信号存在镜面反射的干扰，建议过滤该点的测距值，滤除干扰；
- 2) Flag=3，信号存在环境光的干扰，建议过滤该点的测距值，滤除干扰；

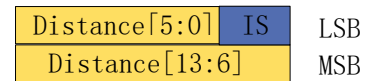


图 7 S 节点数据结构示意图

注：当对干扰标记的点都进行过滤时，X4PRO 的抗噪效果是比较优秀的，同时会损失部分点云图的细节信息，用户可以根据实际使用场景，选择不同的滤噪策略。

5.3 距离解析

距离解算公式： $Distance_i = Di[5:0] + Di[13:6] * 64$ 单位为 mm。

其中， Di 为采样数据 Si 的第 1 第 2 字节数据。设采样数据为 E4 6F，由于本系统是小端模式，所以本采样点 $D = 0x6FE4$ ，带入到距离解算公式，得 $Distance = 7161mm$ 。

同时， $IS = \text{bitand}(0xE4, 3) = 0$ ，所以，该采样点的信号无干扰。其中，bitand 为按位与运算。

5.4 角度解析

角度数据保存在 FSA 和 LSA 中，每一个角度数据有如下的数据结构，C 是校验位，其值固定为 1。角度解析有两个等级：一级解析和二级解析。一级解析初步得到角度初值，二级解析对角度初值进行修正。

➤ 一级解析

起始角解算公式: $Angle_{FSA} = \frac{Rshiftbit(FSA,1)}{64}$

结束角解算公式: $Angle_{LSA} = \frac{Rshiftbit(LSA,1)}{64}$

中间角解算公式: $Angle_i = \frac{diff(Angle)}{LSN-1} * (i - 1) + Angle_{FSA} \quad (i = 2,3, \dots, LSN - 1)$

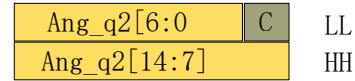


图 8 角度数据结构示意图

$Rshiftbit(data, 1)$ 表示将数据 data 右移一位。 $diff(Angle)$ 表示起始角（未修正值）到结束角（未修正值）的顺时针角度差，LSN 表示本帧数据包采样数量。

➤ 二级解析

角度修正公式: $Angle_i = Angle_i + AngCorrect_i \quad (i = 1,2, \dots, LSN)$

其中，AngCorrect为角度修正值，其计算公式如下， $tand^{-1}$ 为反三角函数，返回角度值：

IF $Distance_i == 0$ $AngCorrect_i = 0$

ELSE $AngCorrect_i = \text{tand}^{-1}(21.8 * \frac{155.3-Distance_i}{155.3*Distance_i})$

设数据包中，第 4~8 字节为 28 E5 6F BD 79，所以 $LSN = 0x28 = 40(\text{dec})$ ， $FSA = 0x6FE5$ ， $LSA = 0x79BD$ ，带入一级解算公式，得：

$Angle_{FSA} = 223.78^\circ$ ， $Angle_{LSA} = 243.47^\circ$ ， $diff(Angle) = 19.69^\circ$

$Angle_i = \frac{19.69^\circ}{39} * (i - 1) + 223.78^\circ \quad (i = 2,3, \dots, 39)$

假设该帧数据中， $Distance_1 = 1000$ ， $Distance_{LSN} = 8000$ ，带入二级解算公式，得：

$AngCorrect_1 = -6.7622^\circ$ ， $AngCorrect_{LSN} = -7.8374^\circ$ ，

所以：

$Angle_{FSA} = Angle_1 + AngCorrect_1 = 217.0178^\circ$

$Angle_{LSA} = Angle_{LSA} + AngCorrect_{LSA} = 235.6326^\circ$

同理， $Angle_i (i = 2,3, \dots, LSN - 1)$ ，可以依次求出。

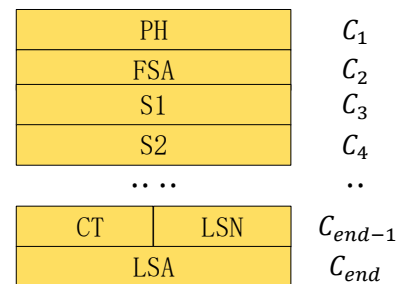


图 9 CS 异或顺序示意图

5.5 校验码解析

校验码采用双字节异或，对当前数据包进行校验，其本身不参与异或运算，且异或顺序不是严格按照字节顺序，其异或顺序如图所示，需要注意的是，由于采样数据 S_i 有 3 个字节，需要将 S_i 第一个字节的高 8 位补零再异或，如左图 C_3 和 C_5 。因此，校验码解算公式为：

$$CS = XOR_1^{end}(C_i) \quad i = 1, 2, \dots, end$$

XOR_1^{end} 为异或公式，表示将元素中从下标 1 到 end 的数进行异或。但异或满足交换律，实际解算中可以无需按照本文异或顺序。

5.6 CT 信息解析

由于一圈点云由一个起始数据包和多个点云数据包组成，X4PRO 的数据协议中，每一圈中，这些数据包的 CT[bit(7:1)] 携带的信息都不相同。

➤ CT 信息分解

规定起始数据包的索引为 0，后续的数据包的索引以此叠加，则各个索引的 CT[bit(7:1)] 对应的信息如下：

表 4 CT 携带信息解析

索引	X4PRO
0 (零位包)	$CT = (Freq * 10) \ll 1$
1	$CT = (CusVerMajor \ll 6) + (CusVerMinor \ll 1)$
2	CT = 生产调试信息
3	$CT = Health \ll 1$
4	$CT = (HardwareVer \ll 5) + (FirewareMajor \ll 1)$
5	$CT = FirewareMinor \ll 1$
6-8	CT = 生产调试信息
9	$CT = ((SN_Year - 2020) \ll 3) + (SN_Number[bit(20:19)] \ll 1)$
10	$CT = (SN_Month \ll 4) + (SN_Number[bit(18:16)] \ll 1)$
11	$CT = (SN_Day \ll 3) + (SN_Number[bit(15:14)] \ll 1)$
12	$CT = SN_Number[bit(13:7)] \ll 1$
13	$CT = SN_Number[bit(6:0)] \ll 1$
后续索引	CT = 生产调试信息

➤ CT 信息描述

其中，各个携带信息的描述和使用如下表：

表 5 CT 携带信息描述

项目	注释	备注
Freq	扫描频率	用户可获取扫描频率
CusVerMajor	用户大版本	用户可根据用户版本做协议的兼容 X4PRO 当前的用户版本为: V2.4
CusVerMinor	用户小版本	
Health	健康信息	用户可解析该信息, 实时获取雷达的状态
HardwareVer	硬件版本	用户可解析该信息, 获取雷达的硬件版本
FirewareMajor	固件大版本	用户可解析该信息, 获取雷达的固件版本
FirewareMinor	固件小版本	
SN_Year	生产序列号年份	用户可解析 SN 信息, 用于追踪雷达信息 $SN = SN_Year * 10^{12} + SN_Month * 10^{10} + SN_Day * 10^8 + SN_Number$
SN_Month	生产序列号月份	
SN_Day	生产序列号日期	
生产调试信息	未开放	该信息存放生产相关信息, 暂未开放

➤ **Health 解析**

为了便于实时监控雷达的健康信息, X4PRO 内部集成了健康信息, Health 集成在索引为 4 的数据包的 CT[bit(7:1)]中, 其中 Health 的每一个 bit 位代表不同模块的健康状态, 如下:

表 6 健康信息描述

bit 位	注释	备注
0	Sensor 状态: 0 正常, 1 异常	出现该位异常时, 雷达采样 sensor 出现异常, 已无法进行正常测距, 一般导致该异常情况有: (1) 雷达 Sensor 损坏
1	Encode 状态: 0 正常, 1 异常	出现该位异常时, 雷达角度测量系统可能出现异常, 一般导致该异常情况有: (1) 雷达堵转 (2) 雷达光耦异常 (3) 雷达码盘异常
2	WiPwr 状态: 0 正常, 1 异常	出现该位异常时, 雷达无线供电系统可能出现异常, 一般导致该异常情况有: (1) 无线模块损坏
3	PD 状态: 0 正常, 1 异常	出现该位异常时, 雷达激光发射系统可能出现异常, 一般导致该异常情况有: (1) 激光管损坏 (2) 激光管端子、焊盘脱落
4	LD 状态: 0 正常, 1 异常	出现该位异常时, 雷达激光发射系统可能出现异常, 一般导致该异常情况有: (1) 激光管损坏 (2) 激光管端子、焊盘脱落
5	Data 状态: 0 正常, 1 异常	出现该位异常时, 雷达扫描一圈完全无有效数据, 一般导致该异常情况有: (1) 雷达测距 (发射或接收) 被遮挡 (2) 雷达光路完全偏离, 接收不到激光信号

注 1: Health 存在 bit 为 1 时, 其对应的模块存在异常, 为 0 时, 对应的模块正常。

注 2：由于 AD 资源，PwrHealth、PDHealth、LDHealth，该 3 项只上电检测一次，后续的状态不会更新。

注 3：SensorHealth、EncodeHealth、DataHealth，该 3 项检测项为实时检测项目。

➤ CT 信息校验

由于数据包未给出每个包的索引，用户只能在起始数据包做一次索引的同步；当用户串口存在丢包现象时，会导致相关信息（Health、用户版本）的解包错误。因此，X4PRO 引入了一个 CRC8 的校验字节，详细如下：

- 1) 采用 CRC8 的校验方式，从零位包开始，对每个 CT 进行 CRC8 校验，直到收到下一个零位包。
- 2) CRC8 的校验结果存放在每个零位包开头，所以，零位包的数据结构可以调整为如下：

表 7 带校验结果的起始数据包数据结构描述

内容	名称	字节偏移
LastCRC (1B)	上一圈 CT 校验结果	0
PH (2B)	数据包头	1
CT (1B)	零位包: $\text{Freq} \ll 1 + 1$	3
LSN (1B)	采样数量	4
FSA (2B)	起始角	5
LSA (2B)	结束角	7
CS (2B)	校验码	9
Si (2B)	采样数据	$11+2*i$

CRC 校验代码，可参考：

```

1 u8 GetCrc8(u8 *ptr, u8 default_crc, u8 poly = 0x8C) {
2     u8 crc = default_crc;
3     u8 i;
4     crc ^= *ptr;
5     for (i = 0; i < 8; i++) { //0x8c
6         if (crc & 0x01) {
7             crc = (crc >> 1) ^ poly;
8         }
9         else {
10            crc >>= 1;
11        }
12    }
13    return crc;
14 }
15 /*****
16 if(*PkgInIndex == 0) { //零位包, 索引 = 0
17     val_crc8 = 0; //清除校验结果, 设为0, 开始进行下一圈的CT校验
18 }
19 val_crc8 = GetCrc8(&PtrPKG->CT, val_crc8, 0x8C); //校验结果存放在val_crc8
20 *****/

```

图 10 CT 信息校验参考代码

按照此方法的校验结果和起始数据包中 LastCRC 相等，则认为串口数据无丢包现象，相关信息可信，否则不可信。

注：CRC 校验结果放在下一圈数据的开头，即起始包前，因此，只有起始包带 CRC 校验，数据包不携带。

6 速度控制

X4PRO 自带电机调速功能的电机驱动器，M_CTR 为电机速度控制信号，可电压调速，也可以 PWM 波调试，电压越低/PWM 占空比越小，电机转速越高，0V/占空比为 0% 时速度最大。

具体详见数据手册。

7 修订

日期	版本	修订内容
2022-05-30	1.0	初撰