

Sensing Reality!

LR-16F

激光雷达传感器
通讯协议
v2.0



请使用产品前阅读本手册，以获得最佳的产品性能。
务必妥善保管本手册，以方便日后查阅。

CPCN-16F-202404

目录

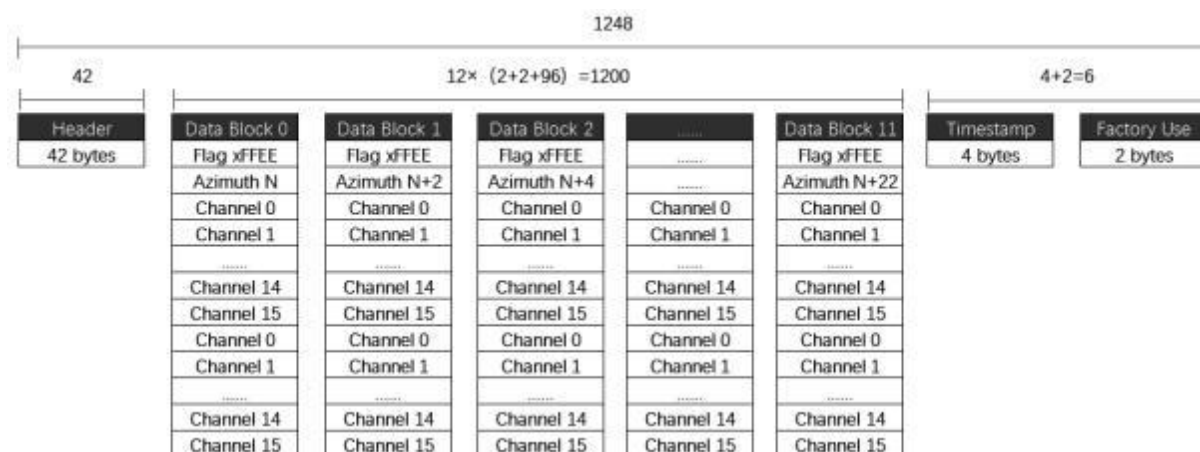
1	接口类型.....	1
2	数据包格式.....	1
2.1	概述	1
2.2	头文件.....	1
2.3	数据块定义.....	2
2.4	时间戳.....	3
2.5	工厂标记	4
2.6	示例	4
3	通信协议-信息包.....	5
3.1	概述	5
3.2	header 定义	5
3.3	Lidar Info 定义	6
3.4	示例	7
4	设置协议.....	8
5	坐标换算.....	8

1 接口类型

- 1.1 物理接口：采用 RJ-45 标准网络接口；
- 1.2 基础协议：采用 UDP/IP 标准网络协议。数据采用 Little-endian 格式，低字节在前，高字节在后。

2 数据包格式

2.1 概述



数据帧总长度 1248 字节，其中：

- 帧头：42 字节。
- 数据块： $12 \times (2 + 2 + 96) = 1200$ 字节。
- 时间戳：4 字节。
- 工厂标记：2 字节。

2.2 头文件

偏移量	长度	说明
0	14	Ethernet II 包括 Destination MAC: (6 Byte) Source MAC: (6 Byte) Type: (2 Byte)
14	20	Internet Protocol 包括 Version & Header Length: (1 Byte) Differentiated Services Field: (1 Byte) Total Length: (2 Byte) Identification: (2 Byte) Flags: (1 Byte) Fragment Offset: (1 Byte) Time to Live: (1 Byte)

偏移量	长度	说明
		Protocol: (1 Byte) Header Checksum: (2 Byte) Destination IP: (4 Byte) Source IP: (4 Byte)
34	8	User Datagram Protocol 包括 Source Port: (2 Byte) Destination Port: (2 Byte) Data Length:(2 Byte) Checksum: (2 Byte)

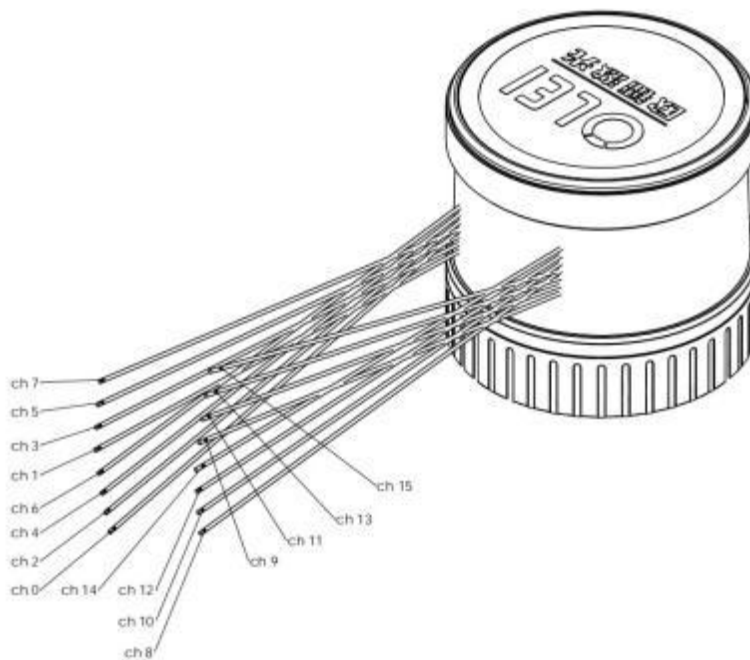
2.3 数据块定义

激光返回数据部分由 12 个数据块组成，每个数据块都由一个 2 字节的标志符 0xFFEE 开始，随后依次是一个 2 字节的方位角和总计 32 个数据点，每个通道的激光返回值包含一个 2 字节的距离值和一个 1 字节的校准反射率值。

偏移量	长度	说明
0	2	标识符，固定为 0xFFEE
2	2	角度数据
4	2	Ch0 距离数据
6	1	Ch0 反射率数据
7	2	Ch1 距离数据
9	1	Ch1 反射率数据
10	2	Ch2 距离数据
12	1	Ch2 反射率数据
...	...	...
49	2	Ch15 距离数据
51	1	Ch15 反射率数据
52	2	Ch0 距离数据
54	1	Ch0 反射率数据
55	2	Ch1 距离数据
57	1	Ch1 反射率数据
58	2	Ch2 距离数据
60	1	Ch2 反射率数据
...	...	...
97	2	Ch15 距离数据
99	1	Ch15 反射率数据

垂直角定义如下：

Laser ID	Vertical Angle
0	-15°
1	1°
2	-13°
3	3°
4	-11°
5	5°
6	-9°
7	7°
8	-7°
9	9°
10	-5°
11	11°
12	-3°
13	13°
14	-1°
15	15°



2.4 时间戳

偏移量	长度	说明
0	4	时间戳 [31:0]: [31:20] 秒计数 [19:0] 微秒计数

2.5 工厂标记

偏移量	长度	说明
0	2	Factory:(2 Byte)0x00,0x10

2.6 示例

▶ Ethernet II, Src: Xilinx_01:fe:c0 (00:0a:35:01:fe:c0), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff) ▶ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.100, Dst: 192.168.1.10 ▶ User Datagram Protocol, Src Port: 2368, Dst Port: 2368 ▶ Data (1206 bytes)		
0000	ff ff ff ff ff ff 00 0a 35 01 fe c0 08 00 45 00	 5....E.
0010	04 d2 77 b7 40 00 80 11 fa a4 c0 a8 01 64 c0 a8	..w.@... ..d..
0020	01 0a 09 40 09 40 04 be 00 00 ff ee 03 00 4f 0e	...@.@... ..0.
0030	3e 49 10 49 f8 0d 38 6c 10 49 a3 0e 33 02 10 47	>I..8l .I..3..G
0040	38 0e 42 e9 0f 44 b1 0f 3f 8c 10 48 c6 0f 41 0f	8.B..D.. ?..H..A.
0050	10 45 88 0f 40 59 10 48 c5 0f 44 34 10 46 51 0e	.E..@Y.H ..D4.FQ.
0060	3e 49 10 49 ed 0d 37 6b 10 49 ab 0e 32 04 10 47	>I..7k .I..2..G
0070	39 0e 41 ec 0f 43 aa 0f 3f 90 10 48 c0 0f 41 0d	9.A..C.. ?..H..A.
0080	10 45 81 0f 40 4f 10 48 c4 0f 44 34 10 46 ff ee	.E..@O.H ..D4.F..
0090	03 00 53 0e 3e 43 10 49 eb 0d 37 6b 10 49 b3 0e	..S.>C.I ..7k.I..
00a0	33 06 10 48 3c 0e 41 ec 0f 43 b1 0f 3f 89 10 48	3..H<.A. .C..?..H
00b0	c3 0f 41 0e 10 46 7c 0f 40 4d 10 48 c3 0f 44 37	..A..F|. @M.H..D7
00c0	10 46 4d 0e 3e 44 10 49 ea 0d 38 66 10 49 a9 0e	.FM.>D.I ..8f.I..
00d0	33 08 10 47 3e 0e 41 ee 0f 43 b2 0f 3f 8c 10 48	3..G>.A. .C..?..H
00e0	bf 0f 41 12 10 45 79 0f 40 4e 10 48 c1 0f 44 34	..A..Ey. @N.H..D4
00f0	10 45 ff ee 03 00 4e 0e 3e 44 10 49 f2 0d 38 6a	.E....N. >D.I..8j
0100	10 4a a8 0e 33 0a 10 48 34 0e 43 f0 0f 44 b6 0f	.J..3..H 4.C..D..
0110	3f 8d 10 48 be 0f 41 10 10 45 76 0f 40 4b 10 47	?..H..A. .Ev.@K.G
0120	c1 0f 44 38 10 46 4a 0e 3e 45 10 49 f0 0d 38 69	..D8.FJ. >E.I..8i
0130	10 49 b1 0e 33 0c 10 48 3a 0e 42 f5 0f 43 b6 0f	.I..3..H :.B..C..
0140	3f 89 10 48 bd 0f 41 0e 10 45 75 0f 40 53 10 47	?..H..A. .Eu.@S.G
0150	bd 0f 44 39 10 45 ff ee 03 00 47 0e 3e 42 10 49	..D9.E.. ..G.>B.I
0160	f0 0d 38 67 10 49 b3 0e 33 0b 10 48 3a 0e 41 f4	..8g.I.. 3..H:.A.
0170	0f 44 b3 0f 3f 92 10 48 bd 0f 41 0b 10 45 75 0f	.D..?.H ..A..Eu.
0180	40 51 10 48 c1 0f 44 3a 10 46 45 0e 3e 43 10 49	@Q.H..D: .FE.>C.I
0190	f2 0d 37 6c 10 49 af 0e 33 09 10 48 38 0e 41 f4	..7l.I.. 3..H8.A.
01a0	0f 44 af 0f 3f 94 10 48 c2 0f 41 0b 10 45 7b 0f	.D..?..H ..A..E{.
01b0	40 4c 10 47 be 0f 44 37 10 46 ff ee 03 00 41 0e	@L.G..D7 .F....A.
01c0	3e 3e 10 49 ee 0d 38 6c 10 49 ba 0e 33 0a 10 47	>>..I..8l .I..3..G
01d0	37 0e 41 f3 0f 44 b3 0f 3f 92 10 48 c1 0f 41 0b	7.A..D.. ?..H..A.
01e0	10 45 7b 0f 40 4d 10 48 bc 0f 44 37 10 46 42 0e	.E{.@M.H ..D7.FB.
01f0	3e 3f 10 49 e4 0d 38 6e 10 49 b9 0e 33 08 10 48	>?.I..8n .I..3..H
0200	40 0e 41 f4 0f 44 b3 0f 3f 8e 10 48 c2 0f 41 0c	@.A..D.. ?..H..A.
0210	10 45 7e 0f 40 53 10 48 be 0f 44 38 10 46 ff ee	.E~.@S.H ..D8.F..
0220	03 00 46 0e 3e 43 10 49 e4 0d 38 68 10 49 a6 0e	..F.>C.I ..8h.I..
0230	33 05 10 48 3c 0e 41 f0 0f 43 b2 0f 3f 8e 10 48	3..H<.A. .C..?..H
0240	c3 0f 41 0c 10 46 7b 0f 40 4f 10 47 bf 0f 44 3d	..A..F{. @O.G..D=
0250	10 46 4b 0e 3e 42 10 49 de 0d 38 67 10 49 a0 0e	.FK.>B.I ..8g.I..
0260	33 06 10 47 40 0e 41 ed 0f 44 b3 0f 3f 8d 10 48	3..G@.A. .D..?..H

```

0270 c6 0f 41 0b 10 45 7c 0f 40 51 10 48 bd 0f 44 3c ..A..E|. @Q.H..D<
0280 10 46 ff ee 03 00 4a 0e 3e 48 10 49 e2 0d 37 67 .F....J. >H.I..7g
0290 10 49 a8 0e 33 06 10 48 40 0e 41 f1 0f 44 b3 0f .I..3..H @A..D..
02a0 3f 91 10 48 cc 0f 41 0b 10 45 7c 0f 40 53 10 47 ?..H..A. .E|. @S.G
02b0 be 0f 44 37 10 46 49 0e 3e 47 10 49 ee 0d 38 67 ..D7.FI. >G.I..8g
02c0 10 49 c2 0e 33 06 10 48 3f 0e 42 f2 0f 44 b9 0f .I..3..H ?B..D..
02d0 3f 91 10 48 c3 0f 41 0f 10 45 78 0f 40 51 10 47 ?..H..A. .Ex.@Q.G
02e0 bb 0f 44 3b 10 46 ff ee 03 00 48 0e 3e 44 10 49 ..D;.F.. ..H.>D.I
02f0 ef 0d 38 69 10 49 b9 0e 33 04 10 48 3b 0e 42 f3 ..81.I.. 3..H;.B.
0300 0f 44 b9 0f 3e 94 10 48 c6 0f 41 0c 10 45 7a 0f .D..>..H ..A..Ez.
0310 40 4e 10 47 bf 0f 44 38 10 46 4d 0e 3e 3f 10 49 @N.G..D8 .FM.>?.I
0320 e9 0d 37 71 10 49 b7 0e 33 0a 10 48 38 0e 41 f1 ..7q.I.. 3..H8.A.
0330 0f 44 b4 0f 3f 8e 10 48 c2 0f 41 0b 10 46 74 0f .D..?..H ..A..Ft.
0340 40 50 10 47 c7 0f 44 3b 10 46 ff ee 03 00 50 0e @P.G..D; .F...P.
0350 3e 41 10 49 e9 0d 37 6b 10 49 a9 0e 33 04 10 48 >A.I..7k .I..3..H
0360 39 0e 41 ee 0f 43 b3 0f 3f 92 10 48 bd 0f 41 09 9.A..C.. ?..H..A.
0370 10 46 6e 0f 40 4e 10 47 c4 0f 44 37 10 46 50 0e .Fn.@N.G ..D7.FP.
0380 3e 40 10 49 ec 0d 38 68 10 49 ae 0e 33 09 10 47 >@.I..8h .I..3..G
0390 42 0e 41 ef 0f 43 b5 0f 3f 96 10 48 bc 0f 41 0c 8.A..C.. ?..H..A.
03a0 10 45 75 0f 40 48 10 47 c0 0f 44 39 10 46 ff ee .Eu.@H.G ..D9.F..
03b0 03 00 49 0e 3e 3e 10 49 f0 0d 37 6a 10 49 af 0e ..I.>>.I ..7j.I..
03c0 33 09 10 47 3c 0e 41 f2 0f 43 b5 0f 3f 93 10 48 3..G<.A. .C..?..H
03d0 bc 0f 41 09 10 46 75 0f 40 4f 10 48 c0 0f 44 36 ..A..Fu. @O.H..D6
03e0 10 46 4f 0e 3e 42 10 49 e9 0d 38 69 10 49 b8 0e .FO.>B.I ..81.I..
03f0 33 05 10 47 3f 0e 42 f2 0f 44 b4 0f 3f 96 10 48 3..G?B. .D..?..H
0400 b9 0f 41 10 10 45 76 0f 40 4e 10 48 c0 0f 44 37 ..A..Ev. @N.H..D7
0410 10 46 ff ee 03 00 49 0e 3e 43 10 49 ed 0d 38 6a .F....I. >C.I..8j
0420 10 49 aa 0e 32 06 10 48 3d 0e 42 f3 0f 43 b5 0f .I..2..H =B..C..
0430 3f 90 10 48 c0 0f 41 11 10 45 79 0f 40 4f 10 47 ?..H..A. .Ey.@O.G
0440 c2 0f 44 3a 10 46 4b 0e 3e 43 10 49 e7 0d 38 69 ..D;.FK. >C.I..8i
0450 10 49 a5 0e 32 08 10 48 40 0e 41 f3 0f 44 b0 0f .I..2..H @A..D..
0460 3f 8a 10 48 c2 0f 41 0d 10 46 76 0f 40 57 10 48 ?..H..A. .Fv.@W.H
0470 c1 0f 44 3b 10 46 ff ee 03 00 4f 0e 3e 46 10 49 ..D;.F.. ..O.>F.I
0480 e6 0d 38 69 10 49 a4 0e 33 09 10 47 3f 0e 42 f1 ..81.I.. 3..G?B.
0490 0f 44 b0 0f 3e 86 10 48 c0 0f 41 0a 10 45 7b 0f .D..>..H ..A..E{.
04a0 40 58 10 48 c0 0f 44 3b 10 45 49 0e 3e 43 10 49 @X.H..D; .EI.>C.I
04b0 e7 0d 37 6d 10 49 b8 0e 32 06 10 48 3d 0e 43 f1 ..7m.I.. 2..H=C.
04c0 0f 44 ac 0f 3f 86 10 48 c2 0f 41 0b 10 45 75 0f .D..?..H ..A..Eu.
04d0 40 53 10 48 c2 0f 44 3c 10 46 98 6a 62 55 37 22 @S.H..D< .F..jbU7"

```

3 通信协议-信息包

3.1 概述

Header	Lidar Info	GPS Info
42 Bytes	768 Bytes	74 Bytes

数据包长度 884 Bytes

注：信息包端口号不可更改，本地和目标端口均为 9866

3.2 header 定义

偏移量	长度	说明
0	14	Ethernet II 包括 Destination MAC: (6 Byte) Source MAC: (6 Byte) Type: (2 Byte)
14	20	Internet Protocol 包括 Version & Header Length :(1 Byte) Differentiated Services Field: (1 Byte) Total Length:(2 Byte) Identification: (2 Byte)

偏移量	长度	说明
		Flags: (1 Byte) Fragment Offse: (1 Byte) Time to Live: (1 Byte) Protocol: (1 Byte) Header Checksum: (2 Byte) Destination IP: (4 Byte) Source IP: (4 Byte)
34	8	User Datagram Protocol 包括 Source Port: (2 Byte) Destination Port: (2 Byte) Data Length:(2 Byte) Checksum: (2 Byte)

3.3 Lidar Info 定义

偏移量	长度	说明
0	6	工厂代码
6	12	机器型号
18	12	序列号
30	4	Source IP
34	2	Source data Port
36	4	Destination IP
40	2	Destination data Port
42	6	Source MAC
48	2	电机转速
50	1	[7]GPS 连接标志, 0: 已连接, 1: 未连接 [6]上层电路错误标志 0: 正常, 1: 错误 [5:0]预留
51	1	GPS 使能&波特率, 0x00:GPS 电源关闭 0x01:GPS 电源开启, 波特率 4800 0x02:GPS 电源开启, 波特率 9600 0x03:GPS 电源开启, 波特率 115200
52	1	预留
53	1	预留
54	2	上层电路板温度, 数据需乘 0.0625℃
56	2	下层电路板温度, 数据需乘 0.0625℃
58	2	预留
60	32	CH0-CH15 通道静态偏移量
92	4	预留
96	672	预留
768	74	GPS 信息

3.4 示例

0000	ff ff ff ff ff ff 00 0a	35 01 fe c0 08 00 45 00	 5.....E.
0010	03 66 bc 78 40 00 80 11	b7 4f c0 a8 01 64 c0 a8	.f.x@... .O...d..
0020	01 0a 26 8a 26 8a 03 52	00 00 4f 4c 45 56 30 32	..&...R ..OLEV02
0030	31 32 33 34 35 36 37 38	39 30 31 32 41 53 44 46	12345678 9012ASDF
0040	47 48 4a 4b 4c 5a 58 43	c0 a8 01 64 09 40 c0 a8	GHJKLZXC ...d.@..
0050	01 0a 09 40 00 0a 35 01	fe c0 02 5b 88 00 00 00	...@..5. ...[....
0060	02 18 ff ff ff ff 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0070	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0080	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0090	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
00a0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
00b0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
00c0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
00d0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
00e0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
00f0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0100	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0110	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0120	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0130	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0140	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0150	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0160	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0170	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0180	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0190	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
01a0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
01b0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
01c0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
01d0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
01e0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
01f0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0200	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0210	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0220	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0230	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0240	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0250	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0260	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0270	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0280	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0290	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
02a0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
02b0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
02c0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
02d0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
02e0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
02f0	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0300	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0310	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0320	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0330	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0340	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0350	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0360	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	.....
0370	00 00 00 00		....

4 设置协议

遵循 UDP 协议，用户设置协议，上位机发送 8 字节

名称	地址	数据
字节数	2 字节	6 字节

地址	名称	字节含义[31:0]
F000	本地 IP	[47:16]=local_ip, [15:0] =local_port
F001	远端 IP	[31:0]=remote_ip, [15:0]= remote_port
F002	转速, GPS 使能, 波特率	[47:32] =rom_speed_ctrl [31:24]=GPS_en 0x00 = 关闭 0x01 = 开启且波特率 4800 0x02= 开启且波特率 9600 0x03 = 开启且波特率 115200 [23:0]预留

示例:

本地 ip 和端口	F0 00 C0 A8 01 64 09 40	192.168.1.100 2368
目标 ip 和端口	F0 01 C0 A8 01 0A 09 40	192.168.1.10 2368
转速	F0 02 02 58 00 00 00 00	转速 600

每次修改完成，重启 3D 雷达。

转速 300、600 可选。波特率 4800/9600/115200 可选。

5 坐标换算

LR-16F 数据包中的信息是建立在极坐标系下的方位角值和距离值，将极坐标值转换为笛卡尔坐标系中的数据，能够更方便的通过点云数据构建三维场景。

每个通道对应上述的值如下表所示:

通道号	垂直角 ω	水平角 α	水平偏移 A	垂直偏移 B
CH0	-15°	α	21mm	5.06mm
CH1	1°	$\alpha+1*0.00108^{\circ}H$	21mm	-9.15mm
CH2	-13°	$\alpha+2*0.00108^{\circ}H$	21mm	5.06mm
CH3	3°	$\alpha+3*0.00108^{\circ}H$	21mm	-9.15mm
CH4	-11°	$\alpha+4*0.00108^{\circ}H$	21mm	5.06mm
CH5	5°	$\alpha+5*0.00108^{\circ}H$	21mm	-9.15mm
CH6	-9°	$\alpha+6*0.00108^{\circ}H$	21mm	5.06mm
CH7	7°	$\alpha+7*0.00108^{\circ}H$	21mm	-9.15mm
CH8	-7°	$\alpha+8*0.00108^{\circ}H$	-21mm	9.15mm
CH9	9°	$\alpha+9*0.00108^{\circ}H$	-21mm	-5.06mm
CH10	-5°	$\alpha+10*0.00108^{\circ}H$	-21mm	9.15mm
CH11	11°	$\alpha+11*0.00108^{\circ}H$	-21mm	-5.06mm
CH12	-3°	$\alpha+12*0.00108^{\circ}H$	-21mm	9.15mm

通道号	垂直角 ω	水平角 α	水平偏移 A	垂直偏移 B
CH13	13°	$\alpha + 13 \times 0.00108 \times H$	-21mm	-5.06mm
CH14	-1°	$\alpha + 14 \times 0.00108 \times H$	-21mm	9.15mm
CH15	15°	$\alpha + 15 \times 0.00108 \times H$	-21mm	-5.06mm

注：在一般精度下水平角 α 只需要不需要增加上面表格的参数
空间坐标计算公式为：

$$X = R \cdot \cos(\text{①}) \cdot \sin(\alpha) + A \cdot \cos(\alpha)$$

$$Y = R \cdot \cos(\text{①}) \cdot \cos(\alpha) - A \cdot \sin(\alpha)$$

$$Z = R \cdot \sin(\text{①}) + B$$

名词解释：

- 雷达各个通道输出的测量距离，设为 R（注意雷达输入的单位为 2mm，请先换算为 1mm）
- 雷达转速，设为 H（一般为 10Hz）
- 雷达各个通道的垂直角，设为 ω
- 雷达输出的水平角度，设为 α
- 雷达各个通道的水平偏移量 设为 A
- 雷达各个通道的垂直偏移量 设为 B
- 雷达各个通道的空间坐标系 设为 X, Y, Z

