

GS5 开发手册

ALPHA

目录

1 工作机制	1
1.1 模式	1
1.2 测距原理	1
2 系统通信	2
2.1 通信机制	2
2.2 系统命令	2
2.3 系统报文	3
3 数据协议	4
3.1 获取设备地址命令	4
3.2 获取版本信息命令	4
3.3 获取设备参数命令	5
3.4 开启扫描命令	5
3.5 停止扫描命令	6
3.6 设置波特率命令	7
3.7 系统复位命令	7
4 数据解析	8
5 OTA 升级	10
5.1 升级流程	10
5.2 发送协议	11
5.3 Start_IAP 指令	11
5.4 Running_IAP 指令	12
5.5 Completer_IAP 指令	13
5.6 RESET_SYSTEM 指令	14
5.7 OTA 升级 Q&A	14
6 使用注意	15
7 修订	16

1 工作机制

1.1 模式

YDLIDAR GS5（以下简称 GS5）的系统设置了 2 种工作模式：空闲模式、扫描模式。

- **空闲模式：**GS5 上电时，默认为空闲模式，空闲模式时，GS5 的测距单元不工作，激光器不亮。
- **扫描模式：**当 GS5 进入扫描模式时，测距单元点亮激光器，开始工作，不断对外部环境进行激光采样，并经过后台处理后实时输出。

1.2 测距原理

GS5 是一款近距离固态雷达，测距范围为 70-1000mm。主要由一字线激光器和摄像头构成。一字线激光器发出激光后，被摄像头捕捉到，根据激光器与摄像头的固定结构，结合三角测距原理，我们便可算出物体到 GS5 的距离。再根据摄像头标定后的参数，结合机械参数可以知道被测物体在雷达坐标系中的角度值。由此，我们便获取到了被测物体完整的测量数据。

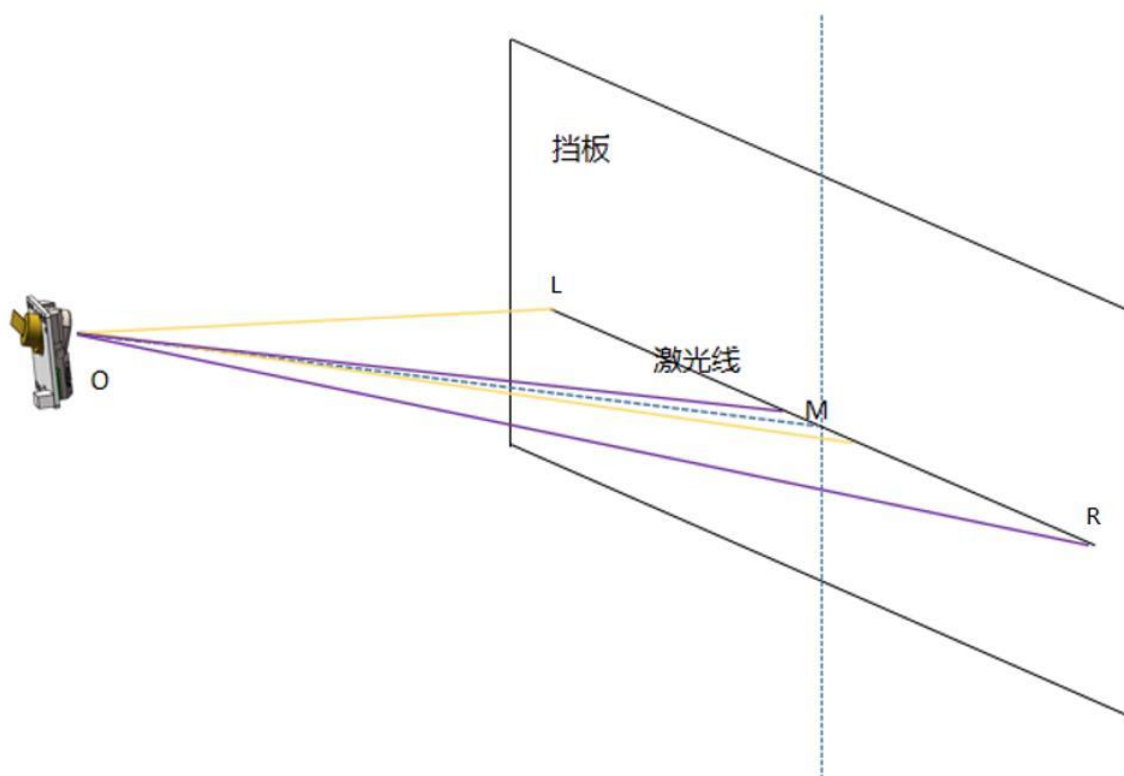


图 1 GS5 测量示意图

O 为坐标原点，橙色区域为左（L）相机的视角，紫色区域为右（R）相机的视角。

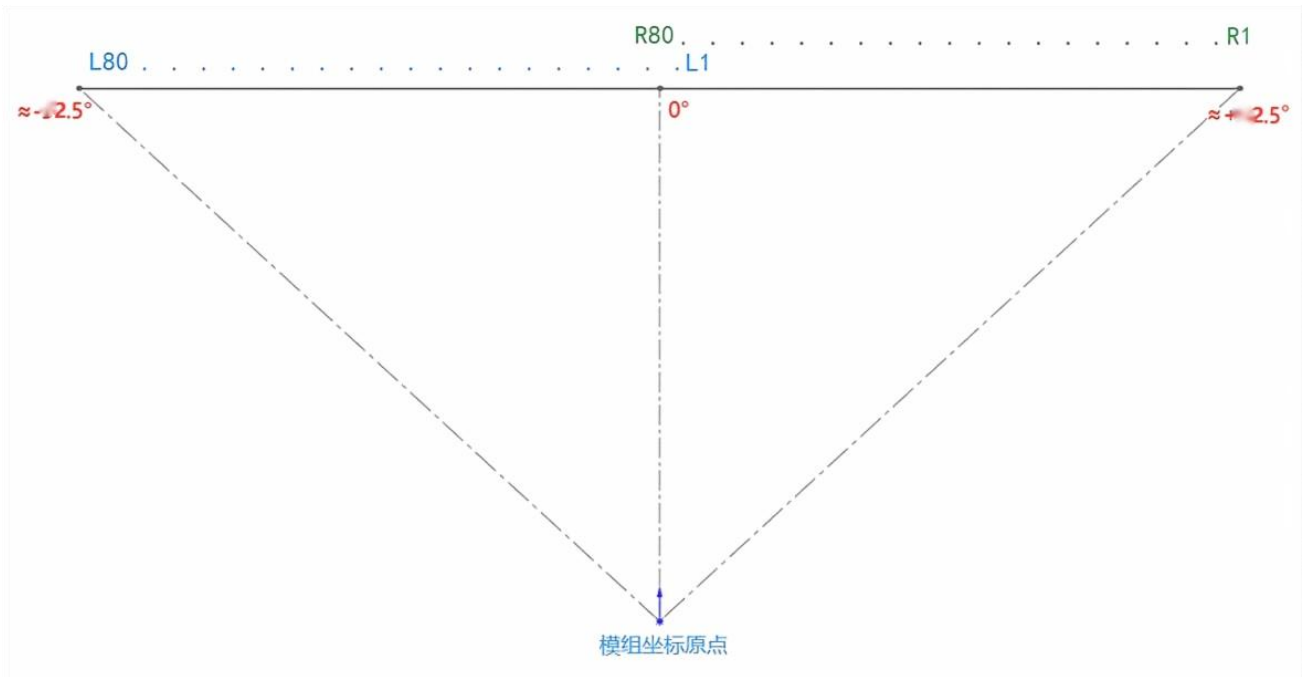


图 2 GS5 输出点云角度示意图

以模组标点为坐标原点，正前方为坐标系 0° 方向，角度顺时针增加，点云输出时数据 (S1~S160) 排列的顺序为 L1~L80, R1~R80，使用 SDK 计算出的角度和距离均表示在该坐标系中。

2 系统通信

2.1 通信机制

GS5 是通过串口来和外部设备进行命令和数据的交互。当外部设备发送一个系统命令至 GS5，GS5 解析系统命令，会返回相应的应答报文，并根据命令内容，来切换相应的工作状态，外部系统根据报文内容，解析报文，便可获取应答数据。

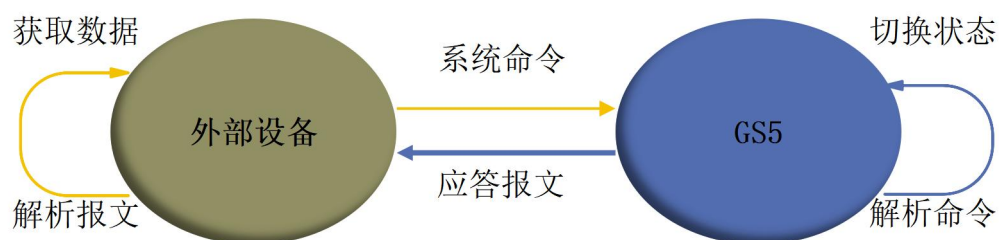


图 3 GS5 系统通信机制

2.2 系统命令

外部系统通过发送相关的系统命令，便可设置 GS5 相应的工作状态，获取相应的数据。GS5 对外发布的系统命令如下：

表 1 GS5 系统命令

命令	描述	模式切换	应答模式
0x60	获取设备地址	停机模式	单词应答
0x61	获取计算参数	停机模式	单次应答
0x62	获取版本信息	停机模式	单次应答
0x63	开始扫描，输出点云数据	扫描模式	持续应答
0x64	停机，停止扫描	停机模式	单次应答
0x67	设备软重启	/	单次应答
0x68	设置串口波特率	停机模式	单词应答

2.3 系统报文

系统报文是系统根据接收的系统命令反馈的应答报文，不同的系统命令，系统报文的应答模式和应答内容也不一样，其中应答模式有四种：无应答、单次应答、多次应答和持续应答。

无应答表示系统不反馈任何报文；单次应答表示系统的报文长度是有限的，应答一次即结束；当系统级联了多个 GS5 时，某些命令的发送会连续收到 GS5 设备的应答；持续应答表示系统的报文长度是无限长的，需要持续发送数据，如进入扫描模式时。

单次应答、多次应答和持续应答的报文采用同一个数据协议，其协议内容为：包头、设备地址、包类型、数据长度、数据段和校验码，通过串口 16 进制输出。

表 2 GS5 系统报文数据协议

包头	设备地址	包类型	数据长度	数据段	校验码
4 Bytes	1 Byte	1 Byte	2 Bytes	N Bytes	1 Byte

字节偏移：

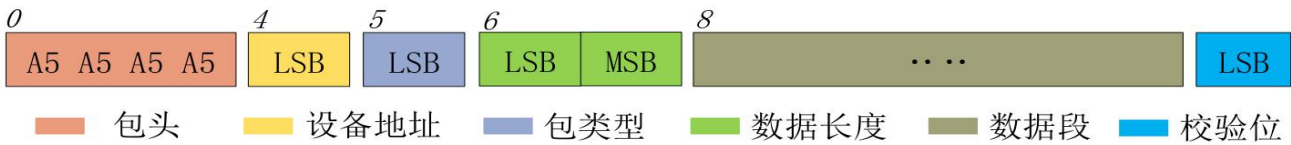


图 4 GS5 系统报文数据协议示意图

- **包头：**GS5 的报文包头标志为 0xA5A5A5A5；
- **设备地址：**GS5 的设备地址，按照级联数量，分别为 0x01，0x02，0x02， 0x04；
- **包类型：**系统命令的类型，见表（1）；
- **数据长度：**表示的是应答数据的长度；
- **数据段：**不同系统命令下的应答内容，反馈不同的数据内容，其数据格式也不同；
- **校验码：**校验码；

注：GS5 的数据通信采用的是小端模式，低位在前。

3 数据协议

3.1 获取设备地址命令

当外部设备向 GS2 发送该命令时，GS2 会返回其设备地址。报文为：

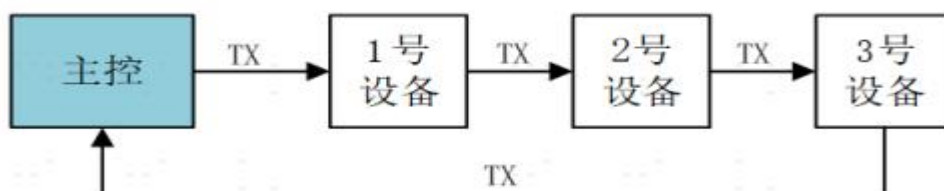
命令发送：

包头				地址	命令类型	数据长度		校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x00	0x60	0x00	0x00	0x60

命令接收：

包头				地址	命令类型	数据长度		校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x0*	0x60	0x00	0x00	LSB

在级联的情况下，如果串接了 N 个（最大支持 3 个）设备，该命令只返回单次应答，应答中不同的地址代表不同的设备个数。地址：0x01，0x02，0x04，分别对应 1-3 个模组。



级联地址分配：一号模块地址为 0x01，二号模块地址 0x02，三号模块地址 0x04。

3.2 获取版本信息命令

当外部设备向 GS5 发送该命令时，GS5 会返回其版本信息。报文为：

命令发送：

包头				地址	命令类型	数据长度		校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x00	0x62	0x00	0x00	0x62

命令接收：

包头				地址	命令类型	数据长度		数据段		校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x0*	0x62	0x13	0x00	版本号	SN 号	LSB

在级联的情况下，如果串接了 N 个（最大支持 3 个）设备，该命令返回 N 个应答，分别回应每个设备的版本信息。

版本号共 3 个字节长度，SN 号共 16 字节长度。

3.3 获取设备参数命令

当外部设备向 GS5 发送该命令时，GS5 会返回其设备参数，报文为：

命令发送：

包头				地址	命令类型	数据长度		校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x00	0x61	0x00	0x00	0x61

命令接收：

包头				地址	命令类型	数据长度		数据段	校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x0*	0x61	0x09	0x00	设备参数	LSB

数据段包括对应设备的参数，分布如下：

K0		B0		K1		B1		Bias
LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

在级联的情况下，如果串接了 N 个（最大支持 3 个）设备，该命令将返回 N 个应答，分别对应每个设备的参数。

协议接收到的 K、B 为 uint16 型，在代入计算函数前需要转换成 float 型再除以 10000。

$d_compensateK0 = (float)K0/10000.0f;$

$d_compensateB0 = (float)B0/10000.0f;$

$d_compensateK1 = (float)K1/10000.0f;$

$d_compensateB1 = (float)B1/10000.0f;$

Bias 为 int8 型，代入计算函数前需要转换成 float 型再除以 10。

$bias = (float)Bias /10;$

3.4 开启扫描命令

当外部设备向 GS5 发送扫描命令时，GS5 会进入扫描模式，并持续反馈点云数据。报文为：

命令发送：（发送地址 0x00，无论是否级联，将启动所有设备）

包头				地址	命令类型	数据长度		校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x00	0x63	0x00	0x00	0x63

命令接收：（级联的情况下，该命令仅返回一个应答，地址为最大地址，例如：级联了 3 个设备，地址为 0x04。）

包头				地址	命令类型	数据长度		校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x0*	0x63	0x00	0x00	LSB

接下来，GS5 会持续输出点云数据序列，帧结构如下：

包头				地址	命令类型	数据长度		数据段	校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x0*	0x63	0xB2	0x01	点云数据	LSB

数据段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。整包数据长度为 322 Bytes，包含 2 Bytes 的环境数据和 160 个测距点（S1-S160），其中每个测距点为 2 Bytes，高 7 位为强度数据，低 9 位为距离数据，单位 mm。

ENV		S1		S2				S160	
LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB			LSB	MSB

图 5 扫描命令应答内容数据结构示意图

3.5 停止扫描命令

当系统处于扫描状态时，GS5 一直在对外发送点云数据，若此时需要关闭扫描，可以发送此命令，令系统停止扫描。发送停止命令后，模组会回复应答指令，系统随即进入待机休眠状态。此时，设备的测距单元处于低功耗模式，激光器关闭。

命令发送：（发送地址 0x00，无论是否级联，将关闭所有设备）

包头				地址	命令类型	数据长度		校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x00	0x64	0x00	0x00	0x64

命令接收：

包头				地址	命令类型	数据长度		校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x0*	0x64	0x00	0x00	LSB

在级联的情况下，如果串接了 N 个（最大支持 3 个）设备，该命令仅返回一个应答，地址为最大地址，例如：级联了 3 个设备，地址为 0x04。

3.6 设置波特率命令

当外部设备向 GS5 发送该命令时，可设置 GS2 的输出波特率。

命令发送：（发送地址 0x00，仅支持将所有级联设备的波特率设置成一样），报文为：

包头				地址	命令类型	数据长度		数据段	校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x00	0x68	0x01	0x00	波特率（1 Bytes）	LSB

命令接收：

包头				地址	命令类型	数据长度		数据段	校验码
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	0x0*	0x68	0x01	0x00	波特率（1 Bytes）	LSB

其中，数据段为波特率参数，包含四种波特率（bps），分别为：230400、512000、921600、1500000 分别对应代号 0-3（注意：三模块串联波特率需 $\geq$ 921600，默认为921600）。

在级联的情况下，如果串接了 N 个（最大支持 3 个）设备，该命令仅返回一个应答，地址为最大地址，例如：级联了 3 个设备，地址为 0x04。

设置波特率后，需要软重启设备。

3.7 系统复位命令

当外部设备向 GS5 发送该命令时，GS5 会进入软重启，系统复位并重新启动。

命令发送：（发送地址 Address，只能是确切的级联地址：0x01/0x02/0x04）

命令接收：

Address 为级联链路中需要配置的模組的地址，

复位 1 号模組： Address =0x01

复位 2 号模組： Address =0x02

复位 3 号模組： Address =0x04

4 数据解析

表 3 数据结构描述

内容	名称	描述
K0(2B)	设备参数	(uint16) 相机角度参数 k0 系数（见 3.3 小节）
B0(2B)	设备参数	(uint16) 相机角度参数 b0 系数（见 3.3 小节）
K1(2B)	设备参数	(uint16) 相机角度参数 k1 系数（见 3.3 小节）
B1(2B)	设备参数	(uint16) 相机角度参数 b0 系数（见 3.3 小节）
BIAS	设备参数	(unit8) 当前相机角度参数 bias 系数（见 3.3 小节）
ENV (2B)	环境数据	环境光强度
Si (2B)	测距数据	低 9 位为距离，高 7 位为强度值

➤ 距离解析

距离解算公式： $Distance_i = (Si_MSB \ll 8 | Si_LSB) \& 0x01ff$ ，单位为 mm。

强度计算： $Quality_i = Si_MSB \gg 1$

➤ 角度解析

将激光的出射方向作为传感器的前方，将激光圆心在 PCB 平面的投影作为坐标原点，以 PCB 平面法线为 0 度方向建立极坐标系。顺时针方向，角度逐渐增大。

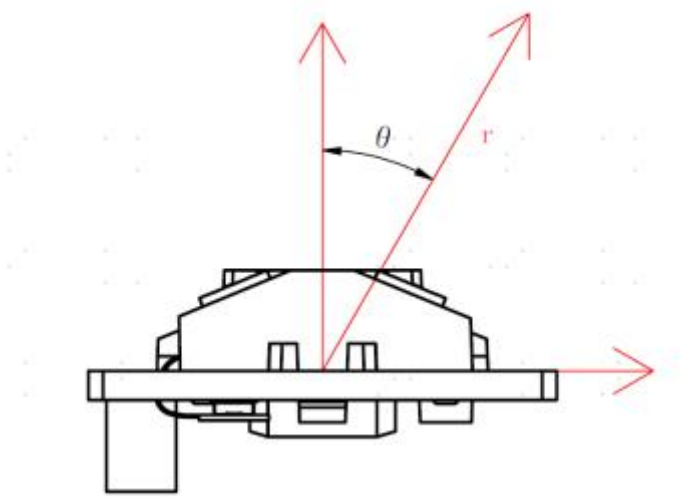


图 6 GS5 坐标系示意图（GS5 俯视图）

雷达传输的原始数据转换到上图坐标系中，需要进行一系列的转换，转换函数如下（详细请参考 SDK）：

```

double pixelU = n, Dist, theta, tempTheta, tempDist, tempX, tempY;
if (n < 80)//区分左右相机数据
{
    pixelU = 80 - pixelU;
    if (d_compensateB0 > 1) {
        tempTheta = d_compensateK0 * pixelU - d_compensateB0;
    }
    else
    {
        tempTheta = atan(d_compensateK0 * pixelU - d_compensateB0) * 180 / M_PI;
    }
    tempDist = (dist - angle_p_x) / cos((angle_p_angle + bias - (tempTheta)) * M_PI / 180);
    tempTheta = tempTheta * M_PI / 180;
    tempX = cos((angle_p_angle + bias) * M_PI / 180) * tempDist * cos(tempTheta) +
        sin((angle_p_angle + bias) * M_PI / 180) * (tempDist * sin(tempTheta));
    tempY = -sin((angle_p_angle + bias) * M_PI / 180) * tempDist * cos(tempTheta) +
        cos((angle_p_angle + bias) * M_PI / 180) * (tempDist * sin(tempTheta));
    tempX = tempX + angle_p_x;
    tempY = tempY - angle_p_y;
    Dist = sqrt(tempX * tempX + tempY * tempY);
    theta = atan(tempY / tempX) * 180 / M_PI;
}
else
{
    pixelU = 160 - pixelU;
    if (d_compensateB1 > 1)
    {
        tempTheta = d_compensateK1 * pixelU - d_compensateB1;
    }
    else
    {
        tempTheta = atan(d_compensateK1 * pixelU - d_compensateB1) * 180 / M_PI;
    }
    tempDist = (dist - angle_p_x) / cos((angle_p_angle + bias + (tempTheta)) * M_PI / 180);
    tempTheta = tempTheta * M_PI / 180;
    tempX = cos(-(angle_p_angle + bias) * M_PI / 180) * tempDist * cos(tempTheta) + sin(-
        (angle_p_angle + bias) * M_PI / 180) * (tempDist * sin(tempTheta));
    tempY = -sin(-(angle_p_angle + bias) * M_PI / 180) * tempDist * cos(tempTheta) + cos(-
        (angle_p_angle + bias) * M_PI / 180) * (tempDist * sin(tempTheta));
    tempX = tempX + angle_p_x;
    tempY = tempY + angle_p_y;
    Dist = sqrt(tempX * tempX + tempY * tempY);
    theta = atan(tempY / tempX) * 180 / M_PI;
}
if (theta < 0)
{
    theta += 360;
}
*dstTheta = theta;
*dstDist = Dist;

```

➤ 校验码解析

校验码采用单字节累加对当前数据包进行校验，四个字节包头和校验码本身不参与校验运算，校验码解算公式为：

$$\text{Checksum} = \text{ADD}_1^{\text{end}}(C_i) \qquad i = 1, 2, \dots, \text{end}$$

$\text{ADD}_1^{\text{end}}$ 为累加公式，表示将元素中从下标 1 到 end 的数进行累加。

设备地址	C_1
命令类型	C_2
数据长度 LSB	C_3
数据长度 MSB	C_4
数据段 LSB 0	C_5
数据段 LSB 1	C_6
...	...
数据段 MSB N	C_end

图 7 校验累加示意图

5 OTA 升级

5.1 升级流程

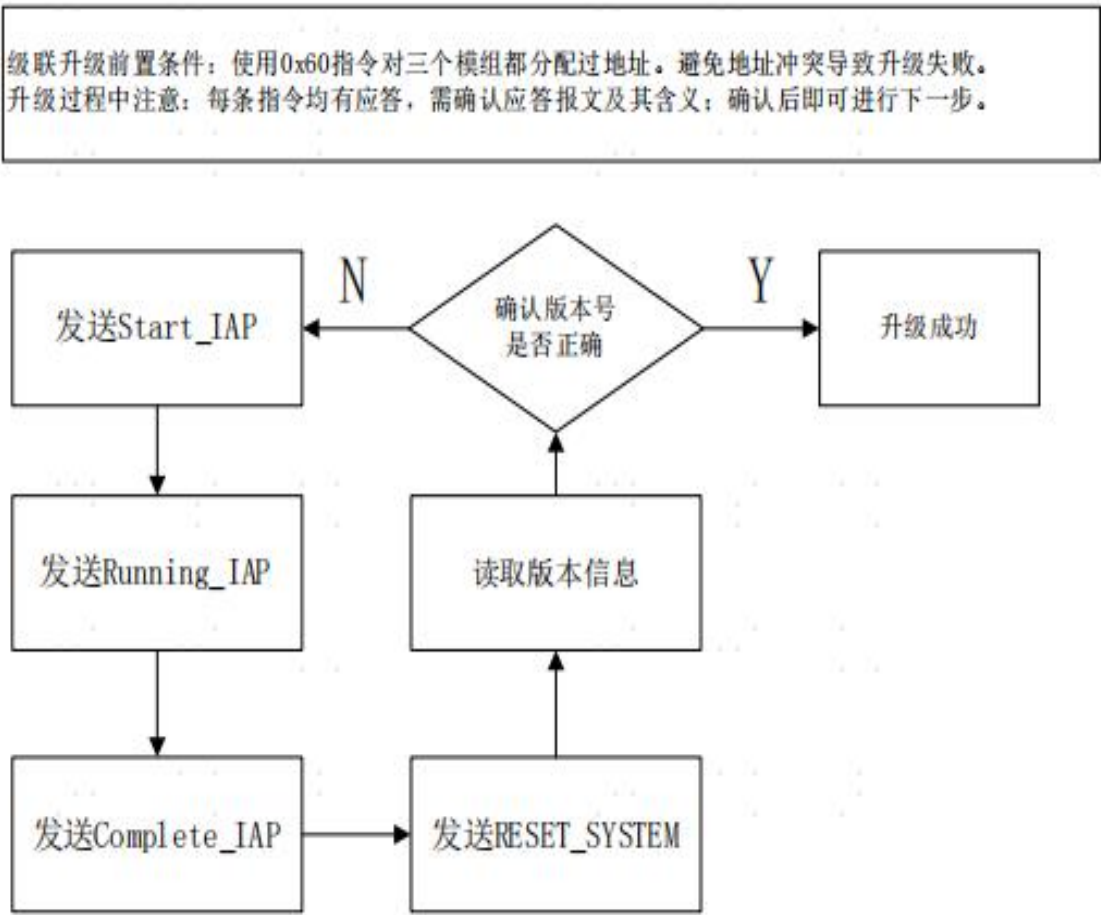


图 8 升级流程图

5.2 发送协议

表 4 OTA 数据协议格式（小端）

参数		长度 (BYTE)	描述
Packet_Header		4	数据包头, 固定为 A5A5A5A5
Device_Address		1	指定设备的地址
Pack_ID		1	数据包 ID (数据类型)
Data_Len		2	Data 数据段的长度, 0-82
Data		n	数据, n = Data_Len
Check_Sum		1	校验和, 除去包头后的其余字节校验和

Packet_Header				Address	Pack_ID	Data_Len		Data	Check_Sum
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	LSB	LSB	LSB	MSB	n Bytes	LSB

表 5 OTA 升级指令

指令类型	Pack_ID	描述
Start_IAP	0x0A	上电后发送该指令以启动 IAP
Running_IAP	0x0B	运行 IAP, 传输数据包
Complete_IAP	0x0C	IAP 结束
ACK_IAP	0x20	IAP 应答
RESET_SYSTEM	0x67	复位重启指定地址的模组

5.3 Start_IAP 指令

命令发送:

Packet_Header				Address	Pack_ID	Data_Len		Data	Check_Sum
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	LSB	0x0A	0x12	0x00	18 Bytes	LSB

数据段 Data 格式:

Data[0~1]: 默认为 0x00;

DATA[2~17]: 为固定的字符验证码:

0x73 0x74 0x61 0x72 0x74 0x20 0x64 0x6F 0x77 0x6E 0x6C 0x6F 0x61 0x64 0x00
0x00

参考发送报文:

A5 A5 A5 A5 01 0A 12 00 00 00 73 74 61 72 74 20 64 6F 77 6E 6C 6F 61 64 00 00
C3

命令接收：（由于存在 FLASH 扇区操作，此返回延时较大且存在波动，约在 80ms~700ms 之间）

Packet_Header				Address	ACK	Data_Len		Data	Check_Sum
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	LSB	0x20	0x04	0x00	4 Bytes	LSB

接收数据格式：

Address：为模组地址；

ACK：默认为 0x20，表示该数据包为应答包；

Data[0~1]：默认为 0x00；

Data[2]：0x0A 表示响应的命令为 0x0A；

Data[3]：0x01 表示接收正常，0 表示接收异常；

参考接收：

A5 A5 A5 A5 01 20 04 00 00 00 0A 01 30

5.4 Running_IAP 指令

命令发送：

Packet_Header				Address	Pack_ID	Data_Len		Data	Check_Sum
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	LSB	0x0B	0x52	0x00	82 Bytes	LSB

升级时会对固件进行拆分，数据段（Data）开头两字节表示该段数据相对于固件首字节的偏移量。

数据段格式：

Package_Shift		字符串验证码	固件数据
Data[0]	Data[1]	Data[2]~Data[17]	Data[18]~Data[81]

Data[0~1]：Package_Shift = Data[0]+ Data[1]*256；

Data[2]~Data[17]：为固定的字符串验证码：

0x64 0x6F 0x77 0x6E 0x6C 0x6F 0x61 0x64 0x69 0x6E 0x67 0x00 0x00 0x00 0x00
0x00

Data[18]~Data[81]：固件数据；

参考发送报文：

A5 A5 A5 A5 01 0B 52 00 00 00 64 6F 77 6E 6C 6F 61 64 69 6E 67 00 00 00 00 00
+ (Data[18]~Data[81]) + Check_Sum

命令接收：

Packet_Header				Address	ACK	Data_Len		Data	Check_Sum
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	LSB	0x20	0x04	0x00	4 Bytes	LSB

接收数据格式：

Address：为模组地址；

ACK：默认为 0x20，表示该数据包为应答包；

Data[0~1]：Package_Shift = Data[0]+ Data[1]*256 表示响应的固件数据偏移量，建议在升级过程中检测应答时判断该偏移量作为一个保护机制。

Data[2]=0x0B 表示响应的命令为 0x0B；

Data[3]=0x01 表示接收正常，0 表示接收异常；

参考接收：

A5 A5 A5 A5 01 20 04 00 00 00 0B 01 31

5.5 Completer_IAP 指令

命令发送：

Packet_Header				Address	Pack_ID	Data_Len		Data	Check_Sum
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	LSB	0x0C	0x16	0x00	22 Bytes	LSB

数据段 Data 格式：

默认	字符串验证码	加密标志位
Data[0]~Data[1]	Data[2]~Data[17]	Data[18]~Data[21]

Data[0~1]：默认为 0x00；

Data[2]~Data[17]: 为固定的字符串验证码:

0x63 0x6F 0x6D 0x70 0x6C 0x65 0x74 0x65 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00
0x00

Data[18]~Data[21]: 加密标志位, uint32_t 型, 加密固件为 1, 非加密固件为 0;

参考发送报文:

A5 A5 A5 A5 01 0C 16 00 00 00 63 6F 6D 70 6C 65 74 65 00 00 00 00 00 00
00 00 + (uint32_t 加密标志) + Check_Sum

命令接收:

Packet_Header				Address	ACK	Data_Len		Data	Check_Sum
0xA5	0xA5	0xA5	0xA5	LSB	0x20	0x04	0x00	4 Bytes	LSB

接收数据格式:

Address: 为模组地址;

ACK: 默认为 0x20, 表示该数据包为应答包;

Data[0~1]: 默认为 0x00;

Data[2]: 0x0C 表示响应的命令为 0x0C;

Data[3]: 0x01 表示接收正常, 0 表示接收异常;

参考接收报文:

A5 A5 A5 A5 01 20 04 00 00 00 0C 01 32

5.6 RESET_SYSTEM 指令

具体参见 3.7 章节系统复位命令。

5.7 OTA 升级 Q&A

1) Q: 发送复位指令后如何判断复位成功? 是否需要延时?

A: 可根据复位指令的应答包来判断执行成功; 建议收到应答后添加 500ms 延时再进行后续操作。

2) Q: 级联状态下升级功能异常可能是什么原因?

A: ①确认物理链路是否正确, 如确认是否能收到三个模组的点云数据; ②确认三个模组地址没有冲突, 可尝试重新分配地址; ③复位待升级的模组后重试;

3) Q: 升级过程被断电重启等情况打断后应该如何处理?

A: 重新发送 Start_IAP 指令即可重新升级。

4) Q: 级联升级后为什么读取到的版本号为 0?

A: 说明模组升级不成功, 需要复位该模组后重新升级。

6 使用注意

- 1) 在和 GS5 进行命令交互时, 除了停止扫描命令, 其他命令不能在扫描模式下进行交互, 这样容易导致报文解析错误。
- 2) GS5 上电不会自动开启测距, 需要发送启动扫描命令让其进入扫描模式, 需要停止测距时发送停止扫描命令让其停止扫描并进入休眠。
- 3) 正常启动 GS5, 我们建议的流程为:

第一步, 发送获取设备地址命令, 获取当前级联个数, 并配置地址;

第二步, 发送获取版本命令, 获取版本号;

第三步, 发送获取设备参数命令, 获取设备的角度参数用于数据解析;

第四步, 发送启动扫描命令, 获取点云数据。

- 4) 关于 GS5 透视窗透光材料的设计建议:

如果为 GS5 设计前面罩透视窗, 其透光材料建议选用透红外光的 PC, 要求透光区域为平面 (平面度 $\leq 0.05\text{mm}$), 并且该平面内的所有区域, 在 780nm 至 1000nm 波段的透光率均大于 90%。

- 5) 关于导航板对 GS5 进行反复开关的推荐操作流程:

为了降低导航板的功耗, 如果需要对 GS5 进行反复上下电的操作, 建议在关电之前, 先发送停止扫描命令 (见 3.5 章节), 然后将导航板的 TX 和 RX 配置为高阻态, 再将 VCC 拉低进行关闭。下一次上电时, 先拉高 VCC, 再将 TX 和 RX 配置为正常的输出输入态, 然后延时 300ms 后, 再对线激光进行命令交互。

- 6) 关于 GS5 各指令发送后的最大等待时间:

获取地址: 延时 800ms, 获取版本: 延时 100ms;

获取参数: 延时 100ms, 开启扫描: 延时 400ms;

停止扫描: 延时 100ms, 设置波特率: 延时 800ms;

设置沿边模式: 延时 800ms, 启动 OTA: 延时 800ms;

7 修订

日期	版本	修订内容
2023-07-24	0.1.0	初撰
2024-4-24	0.2.0	方案更新