

V2.0.6

2024.10

# GCU

## 私有通信协议



©2024 先飞机器人 版权所有

## 阅读提示 - 符号说明



重要注意事项



操作提示



词汇解释及参考信息

# 版本历史

日期	文档版本	协议版本
2023.06.19	V2.0	-

日期	文档版本	协议版本
2023.08.09	V2.0.1	V0.0

1. 串口通信波特率改为自适应。网络通信增加 TCP Server 模式。[P1]
2. 协议内容增加版本号, 修正 GCU 返回数据包协议头的错误。[P2]
3. 上位机发送数据包主帧:
  - 3.1. 滚转 / 俯仰 / 指向控制量 (5~10 字节) 增加期望欧拉角与期望相对角; [P3]
  - 3.2. 状态标志 (11 字节) 增加控制量有效性标识 (B2 位)。[P3]
4. 上位机发送数据包副帧:
  - 4.1. 删去载机距离 home 点距离 (57~60 字节); [P4]
  - 4.2. 增加相对高度 (57~60 字节)。[P4]
5. GCU 返回数据包主帧:
  - 5.1. 吊舱工作模式 (5 字节) 增加 FPV 模式与欧拉角控制模式; [P5]
  - 5.2. 相机状态 (6~7 字节) 删去光圈快门状态 (B11 位)。[P5]
6. GCU 返回数据包副帧:
  - 6.1. 删去 59~61 字节内容; [P6]
  - 6.2. 增加 1 号相机当前倍率(59~60 字节)与 2 号相机当前倍率(61~62 字节)。[P6]
7. 控制命令与命令反馈:
  - 7.1. 增加空命令的说明; [P7]
  - 7.2. 增加 FPV 模式命令、欧拉角控制模式命令、外部图像跟踪模式命令及 OSD 命令; [P7~P9]
  - 7.3. 详细了凝视模式的说明文字; [P7]
  - 7.4. 修改了拍照、录像、聚焦、调色盘及夜视命令的参数。[P8~P9]
8. 更新了示例数据包。[P11~P16]

日期	文档版本	协议版本
2023.10.12	V2.0.2	V0.1

1. 增加协议字节序的说明。[P2]
2. 上位机发送数据包主帧：
  - 2.1 载机绝对滚转、俯仰、偏航角 (12~17 字节) 说明中增加坐标系定义。[P3]
3. GCU 返回数据包主帧：
  - 3.1 相机状态标志 (6~7 字节) 增加补光灯状态 (B10 位)。[P5]
  - 3.2 修正垂直方向脱靶量 (10~11 字节) 坐标轴方向的错误 (“向上为正” → “向下为正”)。[P5]
  - 3.3 水平 / 垂直方向脱靶量 (8~11 字节) 说明中增加数值范围。[P5]
  - 3.4 相机绝对角速度 (24~29 字节) 说明中增加坐标系定义及旋转顺序。[P5]
4. GCU 返回数据包副帧：
  - 4.1 修正了目标纬度 (51~54 字节) 分辨率单位的错误 (“1mm” → “1e-7deg”)。[P6]
5. 控制命令与命令反馈：
  - 5.1 修改了 FPV 模式、锁定模式及跟随模式说明中的控制量描述。[P7]
  - 5.2 修正了凝视模式 (地理坐标引导) 失败命令反馈的错误 (“0x015 0x01” → “0x15 0x01”)。[P7]
  - 5.3 跟踪模式说明中增加目标框左上角及右下角坐标。[P8]
  - 5.4 指点平移模式说明中增加画面左上角及右下角坐标。[P8]
  - 5.5 外部图像跟踪模式说明中增加画面中心、左上角及右下角的脱靶量。[P8]
6. 增加附录 1: 上位机发送数据包转换示例。[P11]
7. 增加附录 2: 载机坐标系定义。[P12]
8. 增加附录 3: 相机坐标系定义及旋转顺序。[P13]
9. 增加附录 5: GPS 时间与 UTC 转换函数。[P20]

日期	文档版本	协议版本
2024.06.14	V2.0.5	V0.2

1. 上位机发送数据包主帧：
  - 1.1 状态标志说明(11 字节)中增加关于控制量有效性的解释(B2 位)。[\[P3\]](#)
2. GCU 返回数据包主帧：
  - 2.1 吊舱工作模式(5 字节)中,将 FPV 模式更名为角度控制模式 1,增加角度控制模式 2。[\[P5\]](#)
  - 2.2 将相机状态标志(6~7 字节)更名为吊舱状态标志。[\[P5\]](#)
3. GCU 返回数据包副帧：
  - 3.1 更新故障代码(41~42 字节)。[\[P6\]](#)
  - 3.2 增加热成像相机状态标志(63 字节)。[\[P6\]](#)
  - 3.3 增加相机状态标志(64~65 字节)。[\[P6\]](#)
  - 3.4 增加时区(66 字节)。[\[P6\]](#)
4. 控制命令与命令反馈：
  - 4.1 增加 OSD 坐标设置命令、图像自动翻转命令与时区设置命令。[\[P7\]](#)
  - 4.2 修改了角度控制模式 1(原 FPV 模式)命令、跟随模式命令及欧拉角控制模式命令的说明。[\[P7\]](#)
  - 4.3 增加角度控制模式 2 命令。[\[P8\]](#)
  - 4.4 修改了调色盘命令的参数范围([0, 100]->[0, 10])。[\[P9\]](#)
  - 4.5 增加区域测温命令、温度报警命令、等温线命令及指点测温命令。[\[P10\]](#)
  - 4.6 画中画命令增加了切换至指定模式的功能。[\[P10\]](#)
  - 4.7 增加了目标识别命令与变焦相机数字变焦命令。[\[P10\]](#)
5. 增加附录 2:GCU 返回数据包转换示例。[\[P13\]](#)
6. 更新附录 5:示例数据包。[\[P17\]](#)
7. 增加附录 7:吊舱型号代码。[\[P27\]](#)

日期	文档版本	协议版本
2024.10.24	V2.0.6	V0.2

1. GCU 返回数据主帧：
  - 1.1 吊舱工作模式(5 字节)中,将角度控制模式 1 更名为角度控制模式,将锁定模式更名为指向锁定模式,将跟随模式更名为指向跟随模式,将角度控制模式 2 更名为 FPV 模式。[P4]
2. 控制命令与命令反馈：
  - 2.1 将命令反馈拆分为指令 + 执行状态。[P8]
  - 2.2 修改了吊舱功能相关命令的说明。[P8]
3. 更新附录 7:吊舱型号代码。[P28]
4. 增加附录 8:控制命令支持列表。[P29]

# 目录

接口配置	1
串口配置	1
网络配置	1
总述	2
数据帧	4
上位机发送数据主帧格式	4
上位机发送数据副帧格式	5
GCU 返回数据主帧格式	6
GCU 返回数据副帧格式	7
控制命令与命令反馈	8
空命令	8
吊舱功能	8
相机功能	10
CRC 校验函数	12
附录 1 上位机发送数据包转换示例	13
附录 2 GCU 返回数据包转换示例	14
附录 3 载机坐标系定义	16
附录 4 相机坐标系定义及旋转顺序	17
附录 5 示例数据包	18
附录 6 GPS 时间与 UTC 转换函数(未处理闰秒)	27
附录 7 吊舱型号代码	28
附录 8 控制命令支持列表	29





## 接口配置

### 串口配置

- 串口电平：TTL
- 数据位：8
- 停止位：1
- 校验位：无
- 通信模式：全双工
- 波特率：支持 115200、250000、500000 和 1000000。
- 通信频率：建议为 30-50Hz，频率越高，控制效果越好。通信频率不得过低或停发数据。

### 网络配置

- UDP 模式：发送源端口为 2337，目的地址默认为局域网内广播地址，目的端口为 2338。
- TCP Server 模式：对端需设置为 TCP Client 模式，远程 IP 地址与 GCU 一致，远程端口号为 2332。

## 总述

协议通信逻辑为问答模式，上位机首先发送数据包，GCU 接收到正确的数据包后会发送返回数据包。一个完整的数据包由协议头、包长度、数据主帧、数据副帧、控制命令或命令反馈及 CRC 校验数据组成。数据包总长度为 S 字节。其中控制命令或命令反馈部分长度可变。


控制命令或反馈包包含指令和参数 / 执行状态两部分，不同的指令对应的参数不同，详见本文档《数据帧》部分。如连续发送带有相同指令的控制命令（即使参数不同），GCU 只会执行一次操作，如要多次触发相同的功能，需要使用含有空命令的数据包隔开。

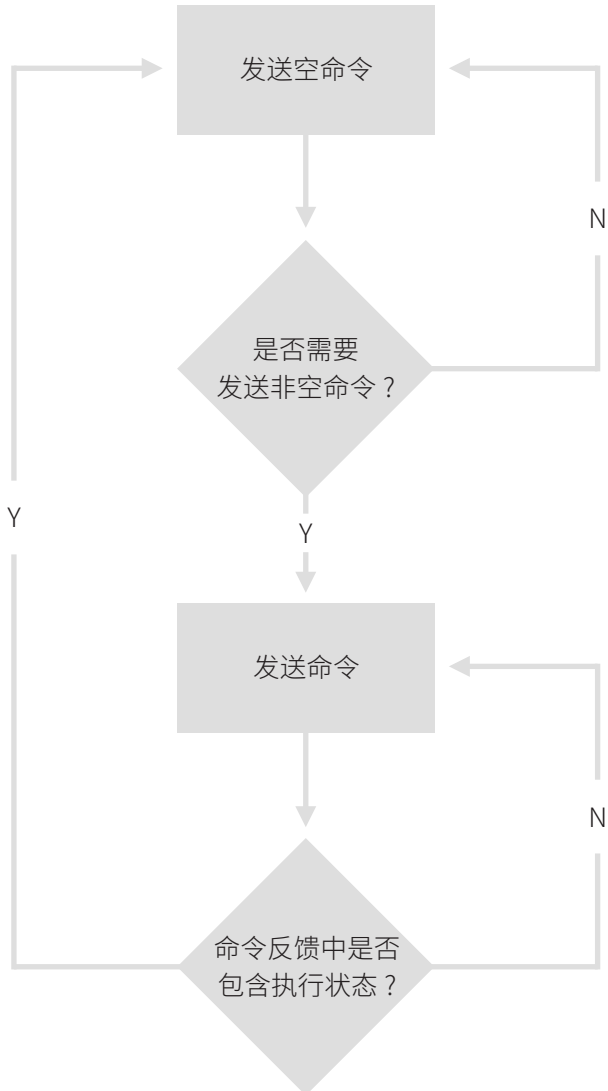
数据包结构如下表所示。

上位机发送数据包结构									
0	1	2~3	4	5~36	37~68	69	70~S-3	S-2	S-1
0xA8	0xE5	包长度	版本号	数据主帧	数据副帧	指令	参数	CRC 高	CRC 低
		U16	U8	32 字节	32 字节	U8	长度可变	U16	
GCU 返回数据包结构									
0	1	2~3	4	5~36	37~68	69	70~S-3	S-2	S-1
0x8A	0x5E	包长度	版本号	数据主帧	数据副帧	指令	执行状态	CRC 高	CRC 低
		U16	U8	32 字节	32 字节	U8	长度可变	U16	

 CRC 校验内容为 0~S-3 字节数据。

 本协议采用小端序（CRC 除外）。

 无参数时上位机发送数据包中无 70~S-3 字节；无执行状态时 GCU 返回数据包中无 70~S-3 字节。



## 数据帧

### 上位机发送数据主帧格式

字节	内容	说明
5~6	滚转控制量，仅在角度控制模式及欧拉角控制模式生效，其他模式下此值无效	S16。 控制量为期望角速率时，数据范围 [-1500,1500]，分辨率为 0.1/ 当前主画面倍数 (°/s)； 控制量为期望欧拉角时，数据范围 [-18000,18000]，分辨率 0.01°；
7~8	俯仰控制量	控制量为吊舱与载机的期望相对角度时，数据范围 [-18000,18000]，分辨率 0.01°
9~10	偏航控制量	
11	状态标志	B7~B3: 预留，此位为 0 B2: 0- 控制量无效，此时期望角速率为 0，期望欧拉角与期望相对角度维持当前值；1- 控制量有效 B1: 预留，此位为 0 B0: 0- 载机惯导数据无效；1- 载机惯导数据有效
12~13	载机绝对滚转角	S16, [-18000,18000)，分辨率 0.01deg
14~15	载机绝对俯仰角	S16, [-9000,9000]，分辨率 0.01deg
16~17	载机绝对偏航角	U16, [0,36000)，分辨率 0.01deg
18~19	载机北向加速度	S16，分辨率 0.01m/s <sup>2</sup> ，北向为正
20~21	载机东向加速度	S16，分辨率 0.01m/s <sup>2</sup> ，东向为正
22~23	载机天向加速度	S16，分辨率 0.01m/s <sup>2</sup> ，天向为正
24~25	载机北向速度	S16，分辨率 0.01m/s，北向为正
26~27	载机东向速度	S16，分辨率 0.01m/s，东向为正
28~29	载机天向速度	S16，分辨率 0.01m/s，天向为正
30	GCU 返回数据副帧请求码	填写需要返回的副帧帧头，如不需要请求副帧，此处为 0x00
31~36	预留	0x00

载机坐标系定义详见附录 2

载机静止或匀速直线飞行时，三个加速度均为零



12~29 位数据非常重要，不正确的数据会导致吊舱姿态计算错误。

## 上位机发送数据副帧格式

字节	内容	说明
37	0x01	副帧帧头
38~41	载机经度	S32, 分辨率 1e-7deg
42~45	载机纬度	S32, 分辨率 1e-7deg
46~49	载机海拔高度	S32, 分辨率 1mm
50	载机卫星数	U8
51~54	载机 GNSS 毫秒数	U32
55~56	载机 GNSS 周数	S16
57~60	相对高度	S32, 分辨率 1mm, 如不需要可为 0
61~68	预留	0x00

 如无副帧数据，则 37~68 字节均为 0x00。

## GCU 返回数据主帧格式

字节	内容	说明	
5	吊舱工作模式	0x10- 角度控制模式； 0x11- 指向锁定模式； 0x12- 指向跟随模式； 0x13- 俯拍模式； 0x14- 欧拉角控制模式； 0x16- 凝视模式； 0x17- 跟踪模式； 0x1C- FPV 模式	
6~7	吊舱状态标志	B15~B13: 预留 B12: 0- 正置上电； 1- 倒置上电 B11: 预留 B10: 0- 补光关； 1- 补光开 B9: 0- 夜视关； 1- 夜视开 B8: 0- 测距关； 1- 测距开 B7: 0- 测距值与目标坐标无效； 1- 测距值与目标坐标有效 B6~B1: 预留 B0: 0- 跟踪目标失败，脱靶量数据无效； 1- 跟踪目标成功，脱靶量数据有效	
8~9	水平方向脱靶量	S16, [-1000,1000], 原点为图像中心，向右为正	
10~11	垂直方向脱靶量	S16, [-1000,1000], 原点为图像中心，向下为正	
12~13	相机 X 轴相对角度	S16, [-18000,18000), 相机相对于载机的角度值，分辨率 0.01deg。此数据由电机编码器角度解算得出，不依赖载机惯导数据。相机坐标系定义及旋转顺序详见附录 3	
14~15	相机 Y 轴相对角度		
16~17	相机 Z 轴相对角度		
18~19	相机绝对滚转角	S16, [-9000,9000]	欧拉角，分辨率 0.01deg。 此数据依赖载机惯导数据
20~21	相机绝对俯仰角	S16, [-18000,18000)	
22~23	相机绝对偏航角	U16, [0,36000)	
24~25	相机 X 轴绝对角速度	S16, 分辨率 0.1deg/s, 相机坐标系定义及旋转顺序详见附录 3	
26~27	相机 Y 轴绝对角速度		
28~29	相机 Z 轴绝对角速度		
30~36	预留	-	

② 脱靶量: 目标于画面中所处的位置与画面中心的偏移量。

## GCU 返回数据副帧格式

字节	内容	说明
37	0x01	副帧帧头
38	硬件版本	U8
39	固件版本	U8
40	吊舱代码	吊舱型号代码详见附录 7
41~42	故障代码	B15: GCU 硬件故障; B14: GNSS 未定位; B13: Mavlink 通信频率异常; B12~B8: 预留; B7: 吊舱硬件故障; B6~B0: 预留
43~46	目标距离	S32, 测距仪测得的目标距离, 分辨率 0.1m 输出 -1m 或 0 时表示距离无效
47~50	目标经度	S32, 分辨率 1e-7deg
51~54	目标纬度	S32, 分辨率 1e-7deg
55~58	目标海拔高度	S32, 分辨率 1mm
59~60	1 号相机 (默认为可见光 变焦相机) 当前倍率	U16, 分辨率 0.1x
61~62	2 号相机 (默认为热成像 相机) 当前倍率	U16, 分辨率 0.1x
63	热成像相机状态标志	B7: 0- 测温不可用, 1- 测温可用; B6: 0- 区域测温关, 1- 区域测温开; B5: 0- 温度报警关, 1- 温度报警开; B4: 0- 等温线关, 1- 等温线开; B3: 0- 指点测温关, 1- 指点测温开; B2: 预留; B1: 高温报警; B0: 低温报警
64~65	相机状态标志	B15: 0- 目标检测关, 1- 目标检测开; B14: 0- 数字变倍关, 1- 数字变倍开; B13: 0-OSD 显示关, 1-OSD 显示开; B12: 0-OSD 载体坐标, 1-OSD 目标点坐标; B11: 0- 图像自动翻转开, 1- 图像自动翻转关; B10~B5: 预留; B4: 0- 未录像, 1- 录像中; B3: 预留; B2~B0: uint_t, 画中画模式
66	时区	S8
67~68	预留	-

此数据依赖载机惯导数据



当请求的副帧头非法时, 37~68 字节均为 0x00。

## 控制命令与命令反馈

### 空命令

功能	指令	参数	执行状态	说明
空命令	0x00	-	-	用于隔开带有相同指令的控制命令

### 吊舱功能

功能	指令	参数	执行状态	说明
吊舱校准	0x01	-	成功: 0x00 失败: 0x01 执行中: 0x02	校准时需保持吊舱静止, 校准过程将持续数秒钟
回中	0x03	-	成功: 0x00 失败: 0x01	锁定与跟随模式下, 吊舱俯仰及指向回中, 工作模式不变; 俯拍模式下, 吊舱指向回中, 工作模式不变; 角度控制、欧拉角控制、凝视模式、跟踪模式及 FPV 模式下, 吊舱不响应回中命令; 执行过程中, 控制量需置为无效
角度控制	0x10	-	成功: 0x00 失败: 0x01	控制量: 滚转 - 期望欧拉角; 俯仰 - 期望欧拉角; 偏航 - 期望相对角度
指向锁定	0x11	-	成功: 0x00 失败: 0x01	控制量: 滚转 - 无效; 俯仰 - 期望角速度; 偏航 - 期望角速度
指向跟随	0x12	-	成功: 0x00 失败: 0x01	控制量: 滚转 - 无效; 俯仰 - 期望角速度; 偏航 - 期望角速度 (为 0 或无效时跟随载机)
俯拍	0x13	-	成功: 0x00 失败: 0x01	控制量: 滚转 - 无效; 俯仰 - 无效 (欧拉角 -90°); 偏航 - 期望角速度 (由指向跟随模式切换到俯拍模式后, 控制量为 0 或无效时跟随载机)
欧拉角控制	0x14	-	成功: 0x00 失败: 0x01	控制量: 滚转 - 期望欧拉角; 俯仰 - 期望欧拉角; 偏航 - 期望欧拉角



功能	指令	参数	执行状态	说明
凝视 (地理坐标引导)	0x15	PP PP PP PP QQ QQ QQ QQ RR RR RR RR	成功: 0x00	控制量为 0 或无效时, 吊舱锁定目标地理坐标点; PP PP PP PP / QQ QQ QQ QQ / RR RR RR RR 分别为目标点经度、纬度与海拔高度; PP PP PP PP: S32, 分辨率 1e-7deg; QQ QQ QQ QQ: S32, 分辨率 1e-7 deg; RR RR RR RR: S32, 分辨率 1mm; 实现本功能时, 需保证 GCU 收到有效载机惯导数据; 控制量不为 0 且有效时, 吊舱将切换至凝视 (地理目标锁定)
			失败: 0x01	
凝视 (地理目标锁定)	0x16	-	成功: 0x00	控制量为 0 或无效时, 吊舱锁定画面中心地理目标; 控制量: 滚转 - 无效; 俯仰 - 期望角速度; 偏航 - 期望角速度; 实现本功能时, 需保证 GCU 收到有效载机惯导数据
			失败: 0x01	
跟踪	0x17	0x01 TT X0 X0 Y0 Y0 X1 X1 Y1 Y1	成功: 0x00	TT: U8, 0x01- 进入跟踪; 0x00- 退出跟踪 X0 X0 / Y0 Y0 / X1 X1 / Y1 Y1: U16, [0,10000], 分别为目标框左上角与右下角的水平与垂直坐标, 原点为图像左上角, X 坐标向右为正, Y 坐标向下为正, 左上角坐标为 [0,0], 右下角坐标为 [10000,10000] 此功能通过吊舱内置图像处理实现; 控制量无效
			失败: 0x01	
指点平移	0x1A	0x01 X0 X0 Y0 Y0	成功: 0x00	X0 X0 / Y0 Y0: U16, [0,10000], 分别为目标点水平与垂直坐标, 原点为图像左上角, X 轴向右为正, Y 轴向下为正, 左上角坐标为 [0,0], 右下角坐标为 [10000,10000]; 执行过程中, 控制量需置为无效。此命令执行后, 吊舱将切换为指向锁定模式
			失败: 0x01	
FPV	0x1C	-	成功: 0x00	控制量: 滚转 - 期望相对角度; 俯仰 - 期望相对角度; 偏航 - 期望相对角度
			失败: 0x01	

## 相机功能

功能	指令	参数	执行状态	说明
OSD 坐标	0x06	TT	成功: 0x00 失败: 0x01	TT: U8, 0x00- 载机坐标; 0x01- 目标坐标
图像自动 翻转	0x07	TT	成功: 0x00 失败: 0x01	TT: U8, 0x00- 自动翻转开; 0x01- 自动翻转关
时区	0x08	TT	成功: 0x00 失败: 0x01	TT: S8
拍照	0x20	0x01	成功: 0x00 失败: 0x01	-
录像开始 / 停止	0x21	0x01	成功: 0x00 失败: 0x01	-
连续放大	0x22	KK	成功: 0x00 失败: NN	-
连续缩小	0x23	KK	成功: 0x00 失败: NN	-
停止变倍	0x24	KK	成功: 0x00 失败: NN	-
指定倍率	0x25	KK ZZ ZZ	成功: 0x00  失败: NN	ZZ ZZ: S16, [-32768, -10], [1, 10000], 负值区为期望倍率, 分辨率为 0.1x; 正 值区为期望倍率比例, 1 对应最小倍率, 10000 对应最大倍率。本命令对应的最大 倍率以吊舱所能实现为准 以最大倍率为 30 倍的相机为例, -10 与 1 均对应 1 倍, -150 与 5000 均对应 15 倍, -300 与 10000 均对应 30 倍
聚焦	0x26	0x01	成功: 0x00 失败: 0x01	-
调色盘	0x2A	0x02 TT	成功: 0x00 失败: 0x02	TT: U8, [0,10], 要切换的热成像调色盘 模式。此值为 0 时, 调色盘循环切换
夜视	0x2B	0x01 TT	成功: 0x00 失败: 0x01	TT: U8, 0x00- 夜视关; 0x01- 夜视开; 0x02- 自动

② KK 表示触发执行的相机序号, NN 表示执行失败的相机序号。KK 与 NN 数据类型均为 U8, B7~B0 对应 8 号相机 ~1 号相机, 某位为 1 表示该位对应的相机被标记。例如 0x03 (00000011) 表示 1 号相机与 2 号相机。1 号相机默认为可见光变焦相机, 2 号相机默认为热成像相机。

功能	指令	参数	执行状态	说明
区域测温	0x30	0x02 TT X0 X0 Y0 Y0 X1 X1 Y1 Y1	成功: 0x00	TT: U8, 0x00- 关闭区域测温; 0x01- 开启区域测温 X0 X0 / Y0 Y0 / X1 X1 / Y1 Y1: U16, [0,10000], 分别为测温区域框左上角与右下角的水平与垂直坐标, 原点为图像左上角, X坐标向右为正, Y坐标向下为正, 左上角坐标为 [0,0], 右下角坐标为 [10000,10000]
			失败: 0x02	
温度报警	0x31	0x02 TT HH HH LL LL	成功: 0x00	TT: U8, 0x00- 关闭温度报警; 0x01- 开启温度报警 HH HH / LL LL: S16, 高低温警告温度, 分辨率 0.1°C
			失败: 0x02	
等温线	0x32	0x02 TT HH HH LL LL	成功: 0x00	TT: U8, 0x00- 关闭等温线; 0x01- 区间内模式 HH HH / LL LL: S16, 高低温阈值, 分辨率 0.1°C
			失败: 0x02	
指点测温	0x33	0x02 TT X0 X0 Y0 Y0	成功: 0x00	TT: U8, 0x00- 关闭指点测温; 0x01- 开启指点测温 X0 X0 / Y0 Y0: U16, [0,10000], 分别为光标测温目标点的水平与垂直坐标, 原点为图像左上角, X坐标向右为正, Y坐标向下为正, 左上角坐标为 [0,0], 右下角坐标为 [10000,10000]
			失败: 0x02	
OSD	0x73	TT	成功: 0x00	TT: U8, 0x00-OSD 关; 0x01-OSD 开
			失败: 0x01	
画中画	0x74	TT	成功: 0x00	TT: U8, [0,4], 要切换的画中画模式。此值为 0 时, 画中画模式循环切换
			失败: 0x01	
目标识别	0x75	TT	成功: 0x00	TT: U8, 0x00- 目标识别关; 0x01- 目标识别开
			失败: 0x01	
变焦相机 数字变焦	0x76	TT	成功: 0x00	TT: U8, 0x00- 数字变焦关; 0x01- 数字变焦开
			失败: 0x01	
补光	0x80	TT	成功: 0x00	TT: U8, [0,255], 补光照明亮度
			失败: 0x01	
连续测距	0x81	TT	成功: 0x00	TT: U8, 0x00- 测距关闭; 0x02- 测距开启
			失败: 0x01	



开启补光会同步开启夜视模式, 关闭补光不会关闭夜视模式。

## CRC 校验函数

```
uint16_t CalculateCrc16(uint8_t *ptr,uint8_t len)
{
    uint16_t crc;
    uint8_t da;
    uint16_t crc_ta[16]={
        0x0000,0x1021,0x2042,0x3063,0x4084,0x50a5,0x60c6,0x70e7,
        0x8108,0x9129,0xa14a,0xb16b,0xc18c,0xd1ad,0xe1ce,0xf1ef,
    };
    crc=0;
    while(len--!=0)
    {
        da=crc>>12;
        crc<<=4;
        crc^=crc_ta[da^(*ptr>>4)];
        da=crc>>12;
        crc<<=4;
        crc^=crc_ta[da^(*ptr&0x0F)];
        ptr++;
    }
    return(crc);
}
```

## 附录 1 上位机发送数据包转换示例

字节	内容	原始数据	转换精度 或转为二进制	转为 16 进制 (小端序)
0	协议头	0xA8	-	A8
1		0xE5	-	E5
2-3	包长度	72	72	48 00
4	协议版本	V0.2	-	02
5-6	滚转控制量	0	0	00 00
7-8	俯仰控制量	100	100	64 00
9-10	偏航控制量	-100	-100	9C FF
11	状态标志	控制量有效 载机惯导数据有效	0000 0101	05
12-13	载机绝对滚转角	-11.3213°	-1132	94 FB
14-15	载机绝对俯仰角	1.01°	101	65 00
16-17	载机绝对偏航角	240°	24000	C0 5D
18-19	载机北向加速度	1.123m/s <sup>2</sup>	112	70 00
20-21	载机东向加速度	-1.123m/s <sup>2</sup>	-112	90 FF
22-23	载机天向加速度	1.123m/s <sup>2</sup>	112	70 00
24-25	载机北向速度	21.123m/s	2112	40 08
26-27	载机东向速度	-21.123m/s	-2112	C0 F7
28-29	载机天向速度	21.123m/s	2112	40 08
30	GCU 返回数据副 帧请求码	0x01	-	01
31-36	预留	-	-	00 00 00 00 00 00
37	副帧帧头	0x01	-	01
38-41	载机经度	170.917533212	1709175332	24 F2 DF 65
42-45	载机纬度	38.030082231	380300822	16 EE AA 16
46-49	载机海拔	41.1231m	41123	A3 A0 00 00
50	载机卫星数	19	19	13
51-54	载机 GNSS 毫秒 数	352718000	352718000	B0 0C 06 15

字节	内容	原始数据	转换精度或转为二进制	转为 16 进制 (小端序)
55-56	载机 GNSS 周数	2278	2278	E6 08
57-60	相对高度	12.12m	12120	58 2F 00 00
61-68	预留	-	-	00 00 00 00 00 00 00 00
69	空命令	0x00	-	00
70-71	CRC	-	-	5D 1B

上位机发送的完整数据包为：

```
A8 E5 48 00 02 00 00 64 00 9C FF 05 94 FB 65 00 C0 5D 70 00 90 FF 70 00 40 08
C0 F7 40 08 01 00 00 00 00 00 00 01 24 F2 DF 65 16 EE AA 16 A3 A0 00 00 13 B0
0C 06 15 E6 08 58 2F 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 5D 1B
```

## 附录 2 GCU 返回数据包转换示例

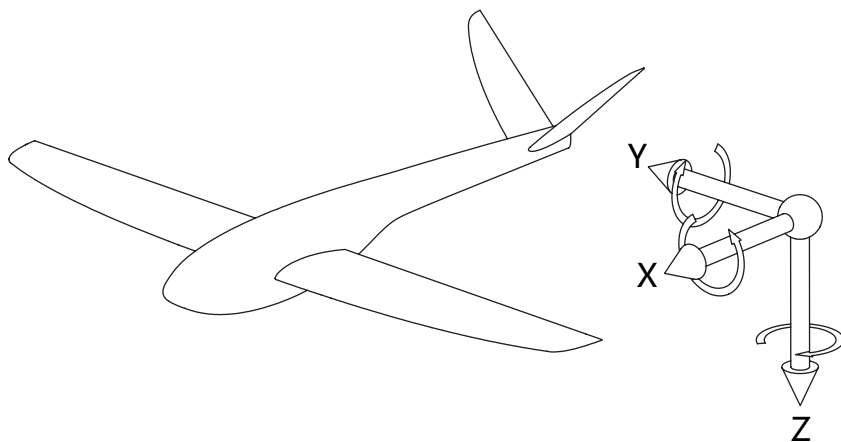
GCU 返回的完整数据包为：

```
8A 5E 49 00 02 12 01 80 0C FE F4 01 DD FC 20 00 4A 18 FF FF A5 03 47 18 FF FF
01 00 FE FF 00 00 00 00 00 00 00 00 01 1F 32 29 00 00 06 17 00 00 24 F2 DF 65 16 EE
AA 16 A3 A0 00 00 2B 01 14 00 00 00 00 08 00 00 20 00 EC 85
```

字节	内容	原始数据 (16 进制)	解析数据
0	协议头	A8	0xA8
1		5E	0x5E
2~3	包长度	49 00	73
4	版本号	02	V0.2
5	吊舱工作模式	12	指向跟随
6~7	吊舱状态标志	01 80	0000 0001 1000 0000 测距开 测距值与目标点坐标有效
8~9	水平方向脱靶量	0C FE	-500
10~11	垂直方向脱靶量	F4 01	500
12~13	相机 X 轴相对角度	DD FC	-8.03°
14~15	相机 Y 轴相对角度	20 00	0.32°
16~17	相机 Z 轴相对角度	4A 18	62.18°
18~19	相机绝对滚转角	FF FF	-0.01°
20~21	相机绝对俯仰角	A5 03	9.33°
22~23	相机绝对偏航角	47 18	62.15°
24~25	相机 X 轴绝对角速度	FF FF	-0.1deg/s
26~27	相机 Y 轴绝对角速度	01 00	0.1deg/s
28~29	相机 Z 轴绝对角速度	FE FF	-0.2deg/s
30~36	预留	00 00 00 00 00 00 00	-
37	副帧帧头	01	-
38	硬件版本	1F	3.1
39	固件版本	32	5.0
40	吊舱代码	29	D-90AI
41~42	故障代码	00 00	-
43~46	目标距离	06 17 00 00	589.4m
47~50	目标经度	24 F2 DF 65	170.9175332
51~55	目标纬度	16 EE AA 16	38.0300822
55~58	目标海拔高度	A3 A0 00 00	41.123m
59~60	1 号相机当前倍率	2B 01	29.9x

字节	内容	原始数据 (16 进制)	解析数据
61~62	2 号相机当前倍率	14 00	2x
63	热成像相机状态标志	00	-
64~65	相机状态标志	00 00	-
66	时区	08	utc+8
67~68	预留	00 00	-
69~70	命令反馈	20 00	命令反馈：拍照执行成功
71~72	CRC	EC 85	-

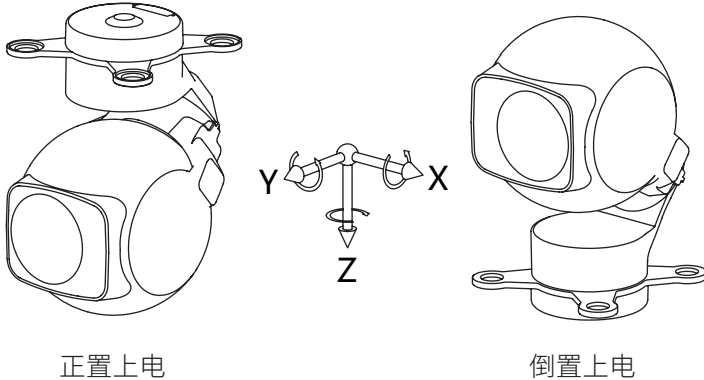
### 附录 3 载机坐标系定义






## 附录 4 相机坐标系定义及旋转顺序

### 1. 坐标系定义：



正置上电

倒置上电

 吊舱控制接口需指向载机 X 轴负方向，减震平台需与载机 XOY 平面平行，吊舱安装时请尽量靠近载机质心

2. 旋转顺序： $Z \rightarrow Y \rightarrow X$ 。

3. 角度转换：

定义：

CamPhi: 相机绝对滚转角 (GCU 返回数据主帧 18~19 字节)

CamThe: 相机绝对俯仰角 (GCU 返回数据主帧 20~21 字节)

CamPsi: 相机绝对指向角 (GCU 返回数据主帧 22~23 字节)

AngleX: 相机 X 轴绝对角度

AngleY: 相机 Y 轴绝对角度

AngleZ: 相机 Z 轴绝对角度

以上参数经过如下变换：

AngleZ += 90;

WARP (AngleZ, 360);

CamPhi = +AngleY;

CamThe = -AngleX;

CamPsi = +AngleZ;





















## 附录 6 GPS 时间与 UTC 转换函数 (未处理闰秒)

```

static const uint16_t gpst0[] = {1980, 1, 6, 0, 0, 0};
uint64_t epoch2time(const uint16_t *ep)
{
    const uint16_t _day[] = {1, 32, 60, 91, 121, 152, 182, 213, 244, 274, 305,
        335};
    uint64_t seconds = 0;
    uint16_t days, year = ep[0], mon = ep[1], day = ep[2];
    if (year < 1970 || 2099 < year || mon < 1 || 12 < mon) return seconds;
    /* leap year if year%4==0 in 1901-2099 */
    days=(year-1970)*365+(year-1969)/4+_day[mon-1]+day-2+(year%4==0
    && mon>=3?1:0);
    seconds = floor(ep[5]);
    seconds = (uint64_t)days * 86400 + ep[3] * 3600 + ep[4] * 60 + seconds;
    return seconds;
}
uint64_t gpst2time(int16_t week, uint32_t sec)
{
    uint64_t t = epoch2time(gpst0);
    if (sec < -1E9 || 1E9 < sec) sec = 0.0;
    t += 86400 * 7 * week + sec;
    return t;
}
uint8_t time2gps(uint64_t time, int16_t *week, uint32_t *msec)
{
    uint64_t t = epoch2time(gpst0);
    t = time - t;
    *week = t / 604800; // 604800=7*86400
    *msec = (t % 604800) * 1000;
    return 1;
}

```

## 附录 7 吊舱型号代码

吊舱代码	吊舱型号
0	Z-6A
2	Z-6C
25	Z-8RB
26	Z-8RC
31	Z-9B_V3
40	D-80AI
41	D-90AI
44	D-80Pro
45	D-90Pro(TA)
49	Z-1Pro
50	Z-1Mini
52	Z-2Mini
53	D-125AI(T)
55	D-90DE
57	D-125AI(V)
58	Z-9B_V4(T)
59	Z-9B_V4(V)
60	D-90Pro(VA)
61	D-90Pro(T)
62	D-90Pro(V)



(T): 测温型

(V): 观瞄型

(TA): 测温型 + AI Core

(VA): 观瞄型 + AI Core

## 附录 8 控制命令支持列表

 表中未列控制命令为全系列机型支持。

命令	Z-6A	Z-6C	Z-8RB	Z-8RC	Z-9B_V3	D-80AI
跟踪	●	○	●	○	●	●
OSD 坐标	○	○	○	○	○	○
图像自动翻转	○	○	○	○	○	○
时区	○	○	○	○	○	○
指定倍率	○	○	○	○	○	●
聚焦	●	●	●	●	●	●
调色盘	○	○	○	○	●	○
夜视	●	●	●	●	●	●
区域测温	○	○	○	○	○	○
温度报警	○	○	○	○	○	○
等温线	○	○	○	○	○	○
指点测温	○	○	○	○	○	○
OSD	○	○	○	○	○	●
画中画	○	○	○	○	●	●
目标识别	○	○	○	○	○	○
数字变焦	○	○	○	○	○	○
补光	○	○	○	○	●	●
连续测距	○	○	●	●	●	○

命令	D-90AI	D-80Pro	D-90Pro(TA)	Z-1Pro	Z-1Mini	Z-2Mini
跟踪	●	●	●	●	●	●
OSD 坐标	○	○	●	●	●	●
图像自动翻转	○	○	●	●	●	●
时区	○	○	●	●	●	●
指定倍率	●	●	●	●	●	●
聚焦	●	●	●	○	○	○
调色盘	●	○	●	○	○	●
夜视	●	●	●	○	○	○
区域测温	○	○	●	○	○	○
温度报警	○	○	●	○	○	○
等温线	○	○	●	○	○	○
指点测温	○	○	●	○	○	○
OSD	●	○	●	●	●	●
画中画	●	○	●	○	○	●
目标识别	○	○	●	●	●	●
数字变焦	○	○	●	○	○	○
补光	○	●	○	○	○	○
连续测距	●	○	●	○	○	○

命令	D-125AI(T)	D-90DE	D-125AI(V)	Z-9B_V4(T)	Z-9B_V4(V)
跟踪	●	●	●	●	●
OSD 坐标	●	○	●	●	●
图像自动翻转	●	○	●	●	●
时区	●	○	●	●	●
指定倍率	●	●	●	●	●
聚焦	●	●	●	●	●
调色盘	●	○	●	●	●
夜视	●	●	●	●	●
区域测温	●	○	○	●	○
温度报警	●	○	○	●	○
等温线	●	○	○	●	○
指点测温	●	○	○	●	○
OSD	●	●	●	●	●
画中画	●	●	●	●	●
目标识别	●	○	●	●	●
数字变焦	●	○	●	●	●
补光	○	○	○	●	●
连续测距	●	●	●	●	●

命令	D-90Pro(VA)	D-90Pro(T)	D-90Pro(V)
跟踪	●	○	○
OSD 坐标	●	●	●
图像自动翻转	●	●	●
时区	●	●	●
指定倍率	●	●	●
聚焦	●	●	●
调色盘	●	●	●
夜视	●	●	●
区域测温	○	●	○
温度报警	○	●	○
等温线	○	●	○
指点测温	○	●	○
OSD	●	●	●
画中画	●	●	●
目标识别	●	○	○
数字变焦	●	●	●
补光	○	○	○
连续测距	●	●	●