

## FSS-IMU16460-S 产品手册

### 特性

#### 100%纯国产化

#### 战术级 MEMS 陀螺仪

- $2.5^{\circ}/\text{hr}$  零偏不稳定性
- $0.3^{\circ}/\sqrt{\text{hr}}$  角度随机游走

#### 战术级 MEMS 加速度计

- $30\ \mu\text{g}$  零偏不稳定性
- $0.04\text{m/s}/\sqrt{\text{hr}}$  速度随机游走

#### 独立转台标定

- 独立标定每个模块：灵敏度、零偏、非正交误差
- $-40^{\circ}\text{C}$ 至  $85^{\circ}\text{C}$ 温度补偿

#### 高强度工况耐受

- 超强冲击耐受：2000g (0.5ms, 半正弦, 3 轴)
- 超强振动耐受：10g (10~2KHz, 3 轴)
- 全温环境稳定工作： $-40^{\circ}\text{C}$  ~  $85^{\circ}\text{C}$
- 100%磁屏蔽

#### 实时而灵活的数字接口、体积小巧

- 高达 1000Hz 的可配置输出采样率
- 支持串口
- 24.05\*22.4\*9mm, 重量仅 8g

### 产品概述

FSS-IMU16460-S是原极科技倾力打造的6自由度MEMS惯性传感器模块。标配输出三轴陀螺仪与加速度信息。这款IMU采用全国产化方案。无论是传感器、处理器，还是软件算法，都采用了国产化方案。

高精度、高分辨率，可捕捉细微的震动与倾斜。大量程的输出，让大动态下的动作感知成为可能。所有模块出厂前都配置超宽温域的精细化温补与独立标定，让每个模块都能在各种极限工况下稳定发挥，同时保证所有产品性能高度一致。

### 应用领域

有国产化需求的 IMU 应用场景，例如：

- 航姿和航向参考系统 (AHRS)
- 平台稳定系统
- 工业机器人

在标准性能及输出参数的基础上，原极也为您的特殊需求提供定制化软件及LOGO定制服务，在产品上助您一臂之力！



## 目录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1. 性能参数 .....                 | 3  |
| 1.1 陀螺仪关键指标 .....             | 3  |
| 1.2 加速度计关键指标 .....            | 4  |
| 2. 外形结构 .....                 | 6  |
| 3. 电气特性 .....                 | 7  |
| 3.1 最大耐受值 .....               | 7  |
| 3.2 工作条件 .....                | 7  |
| 3.3 IO 阈值特性 .....             | 7  |
| 4. 引脚定义 .....                 | 8  |
| 5. 通信协议 .....                 | 9  |
| 5.1 串口通信协议 .....              | 9  |
| 5.1.1 串口接口参数 .....            | 9  |
| 5.1.2 数据包格式 .....             | 10 |
| 5.1.3 数据流帧——AHRS 数据 .....     | 10 |
| 5.1.4 命令模式 GET 输出——系统状态 ..... | 12 |
| 5.1.5 命令模式 GET 输出——读取参数 ..... | 13 |
| 5.1.6 命令模式 SET 指令 .....       | 14 |
| 5.1.7 命令模式输出——用户命令响应 .....    | 16 |
| 5.1.8 DRDY .....              | 18 |
| 5.1.9 坐标系设置功能 .....           | 19 |
| 5.1.9 串口连接常见问题 .....          | 22 |
| 6. 坐标系定义 .....                | 23 |
| 7. CRC 查表法计算 .....            | 24 |
| 8. 更新记录 .....                 | 27 |

## 1. 性能参数

### 1.1 陀螺仪关键指标

表 1 陀螺仪关键指标

| 参数                  | 测试条件/备注                   | 最小值 | 典型值           | 最大值  | 单位     |
|---------------------|---------------------------|-----|---------------|------|--------|
| 测量范围                |                           |     | ±500          |      | ° /s   |
| 零偏不稳定性 <sup>1</sup> | @25°C, ALLAN 方差, 1σ       |     | 2.5           |      | ° /hr  |
| 零偏稳定性               | 国军标, 10s 平滑               |     | 10            |      | ° /hr  |
| 零偏重复性               | 国军标                       |     | 50            |      | ° /hr  |
| 分辨率                 |                           |     | 0.0153        |      | ° /s   |
| 轴间非正交               |                           |     | 0.02          |      | deg    |
| 内部低通截止频率            | 软件可调整                     |     | 34            |      | Hz     |
| ODR                 |                           |     | 100           | 1000 | Hz     |
| 全温范围零偏变化            | -40 ~ 85°C, <=1°C/min @1σ |     | 0.1           |      | ° /s   |
| 随机游走                | @25°C, ALLAN 方差, 1σ       |     | 0.3           |      | ° /√hr |
| 刻度系数误差              |                           |     | XZ:2<br>Y:2.5 |      | ‰      |
| 刻度系数非线性             | @25°C                     |     | 100           |      | ppm    |

注 1: IEEE 标准, 在静态 25°C 环境下 Allan 方差曲线给出

## 1.2 加速度计关键指标

表 2 加速度计关键指标

| 参数                  | 测试条件/备注                  | 最小值 | 典型值   | 最大值  | 单位      |
|---------------------|--------------------------|-----|-------|------|---------|
| 测量范围                |                          |     | ±8    |      | g       |
| 零偏不稳定性 <sup>1</sup> | @25, ALLAN 方差, 1σ        |     | 30    |      | μg      |
| 零偏稳定性               | 国军标, 10s 平滑              |     | 150   |      | μg      |
| 零偏重复性               | 国军标                      |     | 2     |      | mg      |
| 分辨率                 |                          |     | 0.244 |      | mg      |
| 轴间非正交               |                          |     | 0.02  |      | deg     |
| 内部低通截止频率            | 软件可调整                    |     | 34    |      | Hz      |
| ODR                 |                          |     | 100   | 1000 | Hz      |
| 全温范围零偏变化            | -40 ~ 85°C, ≤1°C/min @1σ |     | 2     |      | mg      |
| 随机游走                | @25°C, ALLAN 方差, 1σ      |     | 0.04  |      | m/s/√hr |
| 刻度系数误差              |                          |     | 0.5   |      | ‰       |
| 刻度系数非线性             | @25°C                    |     | 200   |      | ppm     |

注 1: IEEE 标准, 在静态 25°C 环境下 Allan 方差曲线给出

图 1 陀螺仪 ALLAN 方差典型曲线

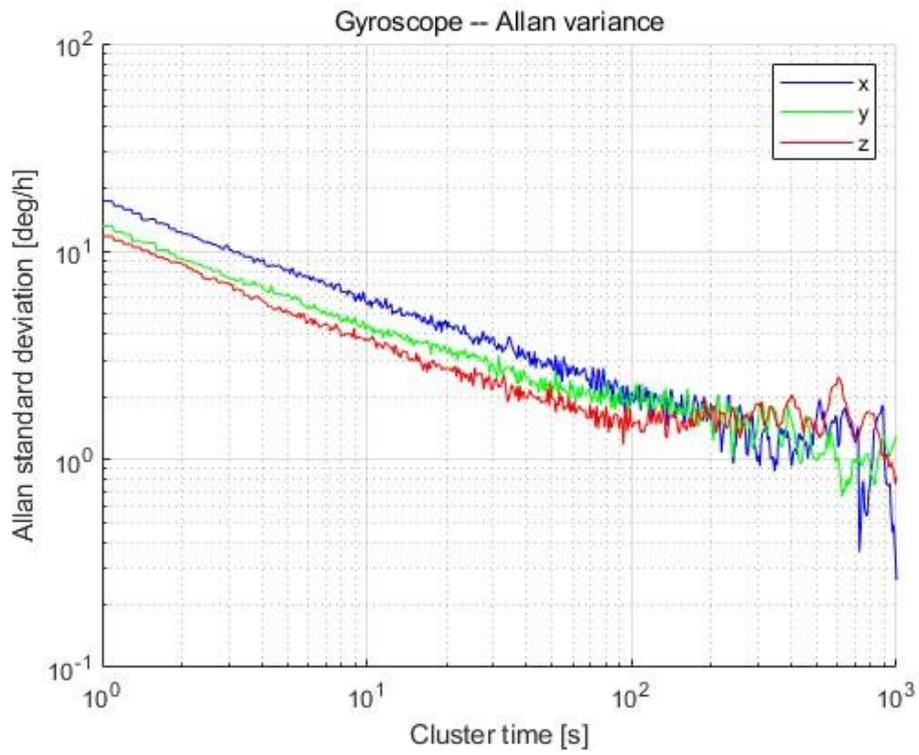
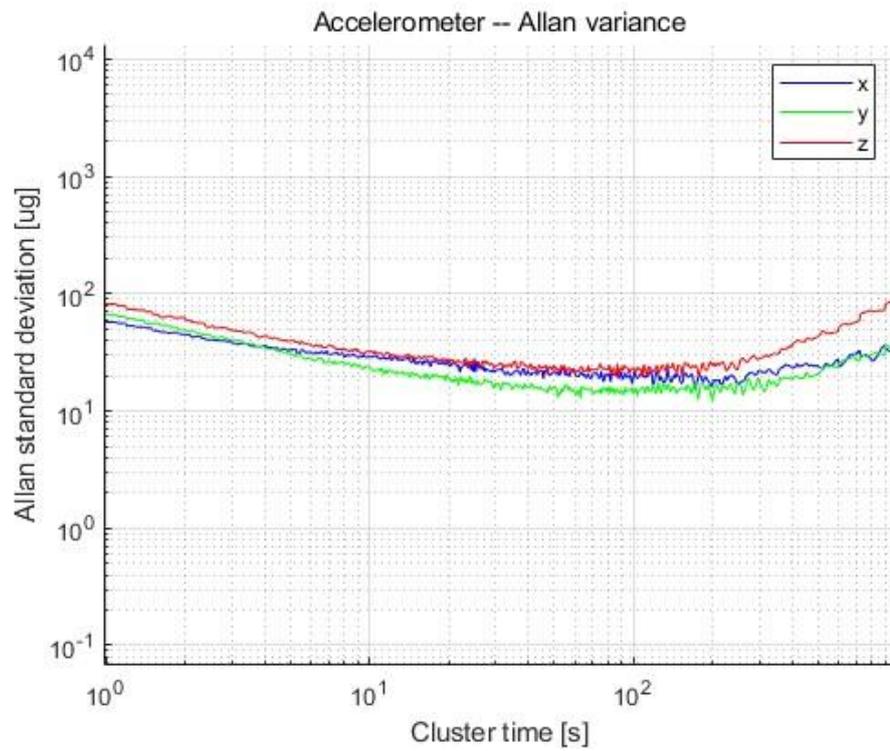


图 2 加速度计 ALLAN 方差典型曲线



## 2. 外形结构

图 3 外形结构及尺寸 (单位: mm)

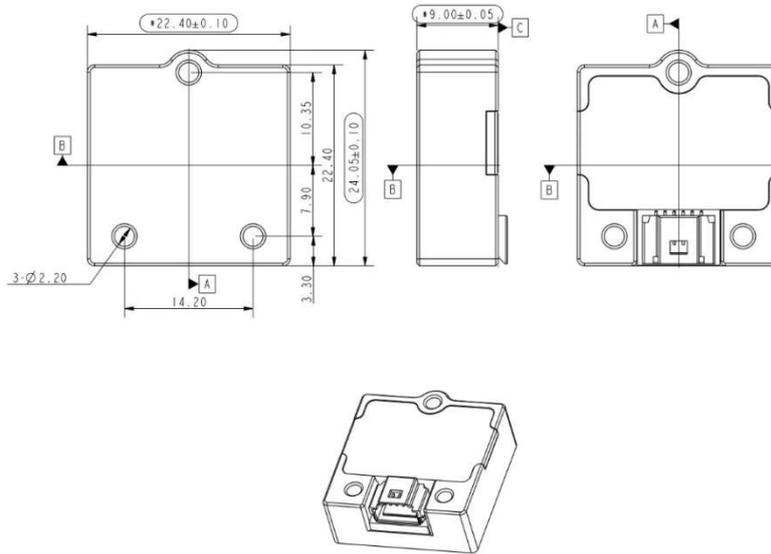
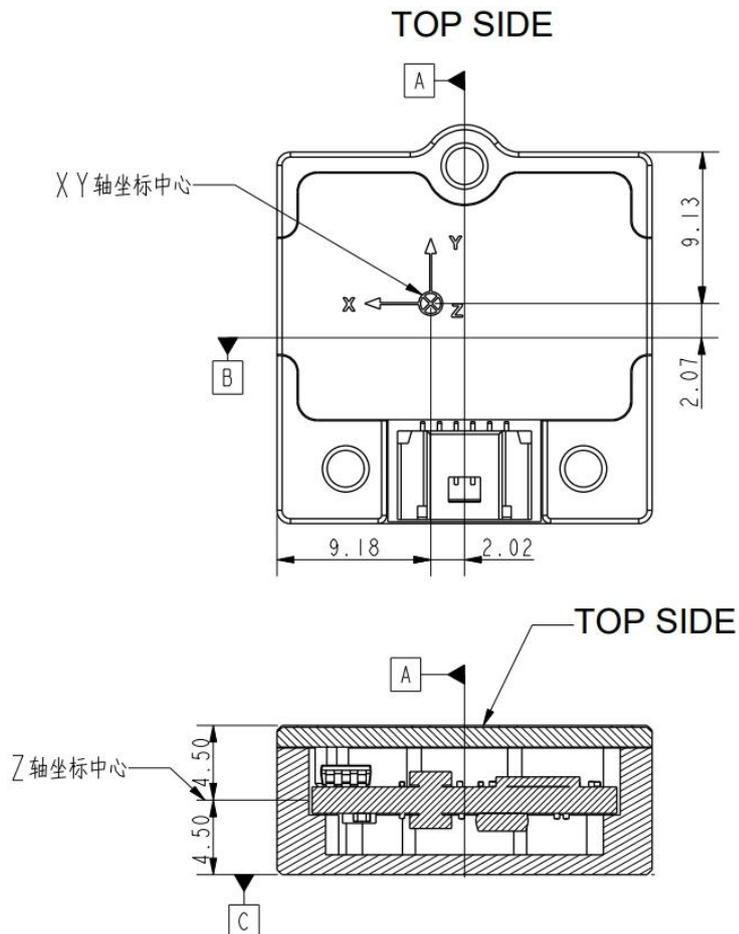


图 4 IMU 坐标中心 (单位: mm)



### 3. 电气特性

#### 3.1 最大耐受值

表 3 最大额定绝对值

| 参数     | 符号   | 范围          | 单位 |
|--------|------|-------------|----|
| 供电电压   | VCC  | -0.3 to 6.5 | V  |
| 电源地    | GND  | -           | -  |
| 输入管脚电压 | Vin  | -0.3 to 5.8 | V  |
| 使用温度   | Tot  | -40 to 85   | °C |
| 存储温度   | Tstg | -40 to 85   | °C |

#### 3.2 工作条件

表 4 工作条件

| 参数       | 符号   | 最小值 | 典型值  | 最大值 | 单位 |
|----------|------|-----|------|-----|----|
| 供电电压     | VIN  | 4.5 | 5    | 5.5 | V  |
| VIN 最大纹波 | Vrpp |     | ±40  |     | mV |
| 功耗       | P    |     | 0.12 |     | W  |
| 使用温度     | Tot  | -40 |      | 85  | °C |
| 存储温度     | Tstg | -40 |      | 85  | °C |

#### 3.3 IO 阈值特性

表 5 IO 阈值特性

| 参数      | 符号        | 最小值      | 典型值 | 最大值     | 单位 |
|---------|-----------|----------|-----|---------|----|
| 输入管脚低电平 | Vin_low   | 0        |     | VCC*0.2 | V  |
| 输入管脚高电平 | Vin_high  | VCC*0.7  |     | VCC+0.2 | V  |
| 输出管脚低电平 | Vout_low  | 0        |     | 0.45    | V  |
| 输出管脚高电平 | Vout_high | VCC-0.45 |     | VCC     | V  |

## 4. 引脚定义

图 5 引脚示意图

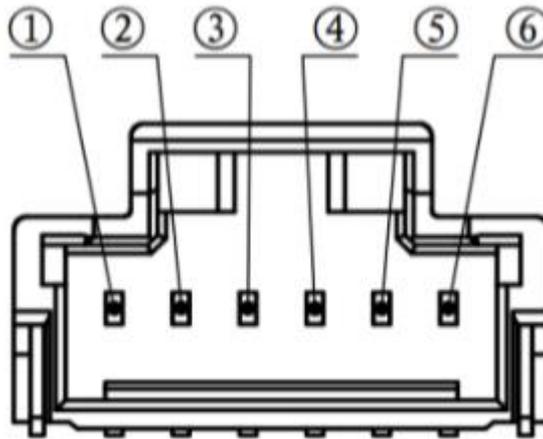


表 6 引脚定义

| 引脚序号 | 引脚名称 | 引脚描述        |
|------|------|-------------|
| 1    | VIN  | +5V 电源输入    |
| 2    | GND  | 电源地         |
| 3    | RX+  | RS-422 接收正极 |
| 4    | RX-  | RS-422 接收负极 |
| 5    | TX-  | RS-422 发送负极 |
| 6    | TX+  | RS-422 发送正极 |

## 5. 通信协议

### 5.1 串口通信协议

基于 QT、ROS 和 STM32 的串口协议示例：

<https://data.forsense-imu.com/page/download.html>

串口通信具有两种模式：数据流模式 (Stream Mode) 和命令模式 (Command Mode)，IMU 在上电初始化完成后，根据参数配置的模式值进入对应模式。

数据流模式：以固定频率周期性输出 AHRS 数据；

命令模式：在此模式下，停止周期性输出，用户通过发送命令与 IMU 进行通信，可通过 GET 指令获取传感器数据、状态、参数等，也可配置 IMU 的参数。

#### 5.1.1 串口接口参数

表 7 串口接口参数

|        |                       |
|--------|-----------------------|
| 传输速率范围 | 115200bps ~ 921600bps |
| 默认传输速率 | 115200bps             |
| 开始位    | 1 bit                 |
| 数据位    | 8 bits                |
| 停止位    | 1 bit                 |
| 奇偶校验   | 无                     |

## 5.1.2 数据包格式

IMU 输出和用户输入的数据包结构组成如下：

表 8 IMU 输出和用户输入数据结构

| 偏移量 | 数据类型   | 名称                     | 描述   |
|-----|--------|------------------------|--|
| 0   | uint8  | 帧头 1                   | IMU 输出帧头：0xAA, 0x55<br>用户输入帧头：0x55, 0xAA     |
| 1   | uint8  | 帧头 2                   |  |
| 2   | uint16 | ID 低位                  | 串口通信帧 ID 的低位字节                               |
| 3   |        | ID 高位                  | 串口通信帧 ID 的高位字节                               |
| 4   | uint16 | 数据长度低位                 | 串口通信帧长度的低位字节，<br>length 为 payload 所占字节数，即为 n |
| 5   |        | 数据长度高位                 |  |
| 6   | uint8  | Payload (n 个字节)        | 数据负载   |
| 6+n | Uin32  | CRC_CEHCK (32 位数据低字节)  | CRC 校验                                       |
| 7+n |        | CRC_CEHCK (32 位数据中低字节) |  |
| 8+n |        | CRC_CEHCK (32 位数据中高字节) |  |
| 9+n |        | RC_CEHCK (32 位数据高字节)   |  |

注 1：数据以小端格式传输，低字节在前，高字节在后

注 2：crc32 的初值为 1，CRC 计算不包括本身的本帧所有数据，查表算法见文档末尾

## 5.1.3 数据流帧——AHRS 数据

表 9 串口 AHRS 数据格式

|      | 帧头    | 帧头    | ID     | length | payload | 帧尾     |
|------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 数据类型 | uint8 | uint8 | uint16 | uint16 | A1      | uint32 |
| 编码   | 0xAA  | 0x55  | 0x0002 | 0x002C |         | crc32  |

注 1：最大输出更新率不大于 200Hz@115200bps

表 10 串口 A1 负载数据格式

| offset | 名称    | 数据类型   | 单位   | 描述       |
|--------|-------|--------|------|----------|
| 0      | timer | uint32 | μs   | 时间标      |
| 4      | pitch | float  | °    | 俯仰角      |
| 8      | roll  | float  | °    | 横滚角      |
| 12     | yaw   | float  | °    | 航向角      |
| 16     | ax    | float  | g    | X 轴加速度   |
| 20     | ay    | float  | g    | Y 轴加速度   |
| 24     | az    | float  | g    | Z 轴加速度   |
| 28     | gx    | float  | ° /s | X 轴角速度   |
| 32     | gy    | float  | ° /s | Y 轴角速度   |
| 36     | gz    | float  | ° /s | Z 轴角速度   |
| 40     | temp  | float  | °C   | IMU 芯片温度 |

例：获取到 AHRS 数据流：

```
AA 55 02 00 2C 00 6D 89 16 05 8F C2 65 40 14 AE 07 BF 5C 0F B2 43 25 06 81 3D
BC 74 13 3C 60 E5 80 BF EC 51 38 BD 0A D7 A3 BB CD CC CC BC D7 A3 EE 41 0C BF
84 80
```

解析如下：

表 11 串口 A1 获取到 AHRS 数据流

| 描述     | 原始值      | 解析值      | 描述       | 原始值      | 解析值        |
|--------|----------|----------|----------|----------|------------|
| ID     | 0200     | 02       | Y 轴加速度   | BC74133C | 0.009g     |
| 长度     | 2C00     | 44       | Z 轴加速度   | 60E580BF | -1.007g    |
| 时间标    | 6D891605 | 85363053 | X 轴角速度   | EC5138BD | -0.045° /s |
| 俯仰角    | 8FC26540 | 3.59°    | Y 轴角速度   | 0AD7A3BB | -0.005° /s |
| 横滚角    | 14AE07BF | -0.53°   | Z 轴角速度   | CDCCCCBC | -0.025° /s |
| 航向角    | 5C0FB243 | 356.12°  | IMU 芯片温度 | D7A3EE41 | 29.83°C    |
| X 轴加速度 | 2506813D | 0.063g   | crc32 校验 | 0CBF8480 | 2156183308 |



### 5.1.5 命令模式 GET 输出——读取参数

表 14 串口参数输入数据格式

|      | 帧头    | 帧头    | ID     | length | payload | 帧尾     |
|------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 数据类型 | uint8 | uint8 | uint16 | uint16 | P1      | uint32 |
| 编码   | 0x55  | 0xAA  | 0x0006 | 0x0018 |         | crc32  |

表 15 串口参数输出数据格式

|      | 帧头    | 帧头    | ID     | length | payload | 帧尾     |
|------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 数据类型 | uint8 | uint8 | uint16 | uint16 | P1      | uint32 |
| 编码   | 0xAA  | 0x55  | 0x7530 | 0x0018 |         | crc32  |

注 1: 读取参数时, IMU 会将数据流关闭, 设置完毕后需要重新开启数据流。

表 16 串口 P1 负载数据格式

| offset | 名称     | 数据类型   | 描述              |
|--------|--------|--------|-----------------|
| 0      | Param1 | float  | 获取的参数 (输入数据可无视) |
| 4      | Param2 | float  | 保留, 默认为 0       |
| 8      | Param3 | uint32 | 设置的参数索引         |
| 12     | Param4 | uint32 | 保留, 默认为 0       |
| 16     | Param5 | Int32  | 保留, 默认为 0       |
| 20     | Param6 | Int32  | 保留, 默认为 0       |

表 17 串口 P1 负载参数索引表

| Param3 | Param1  | 单位   |
|--------|---|------|
| 3      | 串口输出波特率, 支持以下波特率<br>115200、230400、460800、921600、1500000 | bps  |
| 4      | 坐标系朝向 (见表 24 坐标系朝向对应表)                                  |      |
| 8      | X 轴陀螺零偏标定结果, GYRO_X_OFF                                 | ° /s |
| 9      | Y 轴陀螺零偏标定结果, GYRO_Y_OFF                                 | ° /s |
| 10     | Z 轴陀螺零偏标定结果, GYRO_Z_OFF                                 | ° /s |
| 21     | AHRS 输出频率, 默认 100Hz                                     | Hz   |
| 31     | 内部滤波器配置, 定义同 SPI 的 FILTER_CTRL 对照表                      |      |

例: 获取 AHRS 输出频率

输入数据: 55 AA 06 00 18 00 00 00 00 00 00 00 00 00 15 00 00 00 00 00 00 00  
 00 00 00 00 00 00 00 00 66 CB 46 AC

响应数据: AA 55 30 75 18 00 00 00 48 42 00 00 00 00 15 00 00 00 00 00 00 00  
 00 00 00 00 00 00 00 00 31 2F A2 0A

根据响应数据, 解析得到输出频率为 50Hz (00 00 48 42)。

### 5.1.6 命令模式 SET 指令

表 18 串口输入命令格式

|      | 帧头    | 帧头    | ID     | length | payload | 帧尾     |
|------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 数据类型 | uint8 | uint8 | uint16 | uint16 | R1      | uint32 |
| 编码   | 0x55  | 0xAA  | CMD    | 0x0018 |         | crc32  |

注 1: CMD 与 R1 关系, 详见 R1 负载参数索引表

表 19 串口 R1 负载数据格式

| offset | 名称     | 数据类型   | 描述        |
|--------|--------|--------|-----------|
| 0      | Param1 | float  | 设置的参数     |
| 4      | Param2 | float  | 保留, 默认为 0 |
| 8      | Param3 | uint32 | 设置的参数索引   |
| 12     | Param4 | uint32 | 保留, 默认为 0 |
| 16     | Param5 | Int32  | 保留, 默认为 0 |
| 20     | Param6 | Int32  | 保留, 默认为 0 |

表 20 串口 R1 负载参数索引表

| CMD | Param1  | Param3  | 描述   |
|-----|---------|---------|--|
| 1   | 0       | 0       | 触发获取一次系统状态数据   |
| 2   | 0       | 0       | 触发获取一次 AHRS 数据   |
| 3   | <mode>  | 0       | 设置输出模式：<br>Mode=1， 数据流输出 AHRS<br>Mode=100，禁止数据流模式，进入 COMMAD 模式   |
| 5   | 0       | 0       | 保存当前参数到 FLASH  |
| 6   | 0       | <value> | 读取参数，value 为要读取的参数索引，即 P1.index，详见串口应答性输出-参数读取<br>例如需读取 AHRS 输出频率（ODR），则设置 value=21<br>例如需读取串口波特率，则设置 value=3<br>例如需读取内部滤波器，则设置 value=31<br>例如需读取坐标系方向，则设置 value=4                               |
| 9   | 0       | 0       | 执行软件重启   |
| 14  | <value> | 3       | 设置串口输出波特率，单位 bps value 的有效值为：<br>115200, 230400, 460800, 921600, 1500000<br>value 为其他值时，默认采用 115200bps<br>设置波特率参数后，需要重启才能生效。<br>不断电的设置流程：设置波特率，保存参数到 flash，执行软件复位                                |
| 14  | <value> | 21      | 设置周期性 AHRS 数据输出频率，单位 Hz value 的常用值为：<br>1, 10, 50, 100, 200, 500, 1000<br>输出频率与串口波特率的推荐对应关系<br>1000Hz: 921600bps<br>500Hz: 460800bps<br>250Hz: 460800bps<br>200Hz: 460800bps<br>100Hz: 115200bps |
| 14  | <value> | 31      | 内部滤波器配置,定义同 SPI 加速度计和陀螺仪滤波器配置,默认 0xBB, 即 47Hz  |
| 14  | <value> | 4       | 设置 IMU 坐标系朝向, value 的取值范围为 101~124, 具体坐标系朝向对应关系见表 24   |

注 1: 请注意本表中数值均为十进制

注 2: 可使用上位机命令生成器功能生成对应命令发送, 使用方法见本手册上位机使用部分

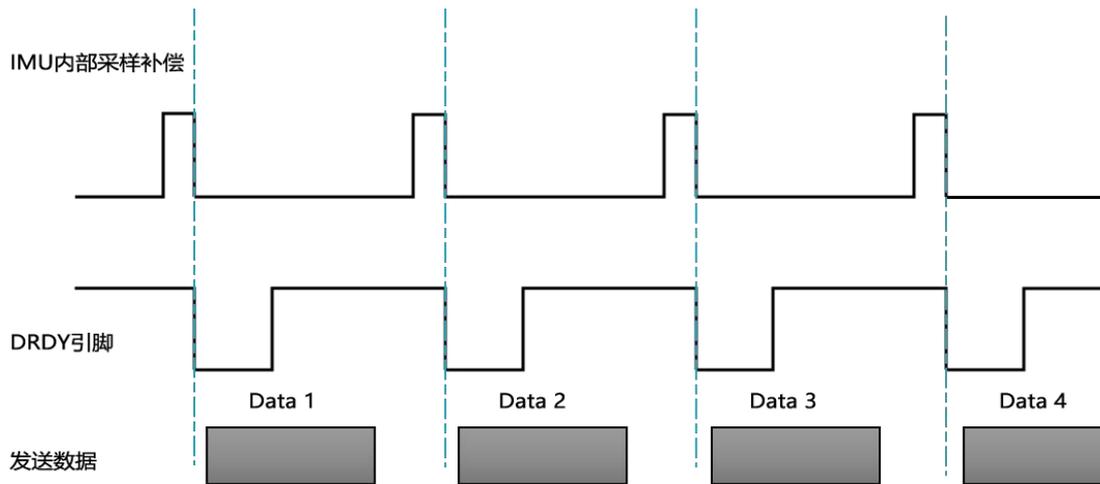




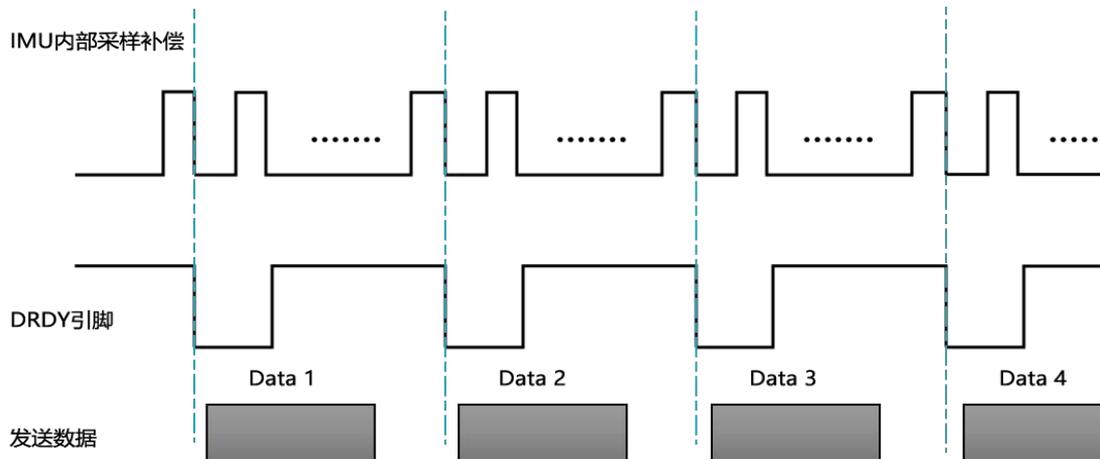
### 5.1.8 DRDY

DRDY 引脚输出有两个目的：

1. 提供来自 IMU 内部的时钟同步信号；
2. 提供信号表示开始传送数据帧。



当 IMU 内部采样频率（最大 ODR）与串口输出频率（当前 ODR）一致时，每当 IMU 数据采样补偿完成后，DRDY 引脚将被立即拉低，此时数据帧将从串口发送，在下一周期 DRDY 引脚将被重新拉高。

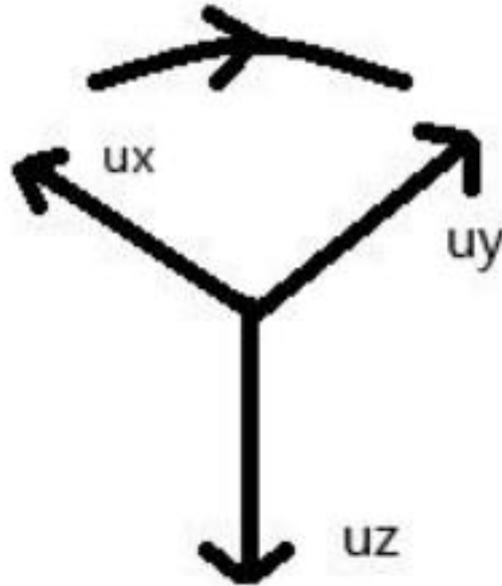


当串口输出频率小于 IMU 内部采样频率时，每当 IMU 数据采样补偿完成后，根据分频计数值（最大 ODR/当前 ODR）决定 DRDY 引脚是否被立即拉低。DRDY 拉低后数据帧将从串口发送，在下一 IMU 采样周期 DRDY 引脚将被重新拉高。

### 5.1.9 坐标系设置功能

设置固件坐标系，在上位机当中显示对应固件设计坐标系

图 6 固件原始坐标系



按照上图规则，当 x 和 y 轴确定之后，z 轴确定。Z 轴垂直于 X 轴到 Y 轴的面。

X/Y/Z 三轴的朝向总共有二十四种，如下表所示：

表 24 坐标系朝向对应表

| 朝向 (value) | XAxis | YAxis | ZAxis | 说明   |
|------------|-------|-------|-------|------|
| 101        | +Ux   | +Uy   | +Uz   | 默认朝向 |
| 102        | -Ux   | -Uy   | +Uz   |      |
| 103        | -Uy   | +Ux   | +Uz   |      |
| 104        | +Uy   | -Ux   | +Uz   |      |
| 105        | -Ux   | +Uy   | -Uz   |      |
| 106        | +Ux   | -Uy   | -Uz   |      |
| 107        | +Uy   | +Ux   | -Uz   |      |
| 108        | -Uy   | -Ux   | -Uz   |      |
| 109        | -Uz   | +Uy   | +Ux   |      |
| 110        | +Uz   | -Uy   | +Ux   |      |
| 111        | +Uy   | +Uz   | +Ux   |      |

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 112 | -Uy | -Uz | +Ux |
| 113 | +Uz | +Uy | -Ux |
| 114 | -Uz | -Uy | -Ux |
| 115 | -Uy | +Uz | -Ux |
| 116 | +Uy | -Uz | -Ux |
| 117 | -Ux | +Uz | +Uy |
| 118 | +Ux | -Uz | +Uy |
| 119 | +Uz | +Ux | +Uy |
| 120 | -Uz | -Ux | +Uy |
| 121 | +Ux | +Uz | -Uy |
| 122 | -Ux | -Uz | -Uy |
| 123 | -Uz | +Ux | -Uy |
| 124 | +Uz | -Ux | -Uy |

如何更改坐标系为 102 朝向:

CMD ID 填入 14, 参数 1 填入 102, 参数 3 填入 4, 生成的十六进制数组可以填入串口助手或程序数组中发送给 IMU。



如何读取坐标系朝向:

CMD ID 填入 06, 参数 3 填入 4, 生成的十六进制数组可以填入串口助手或程序数组中发送给 IMU。



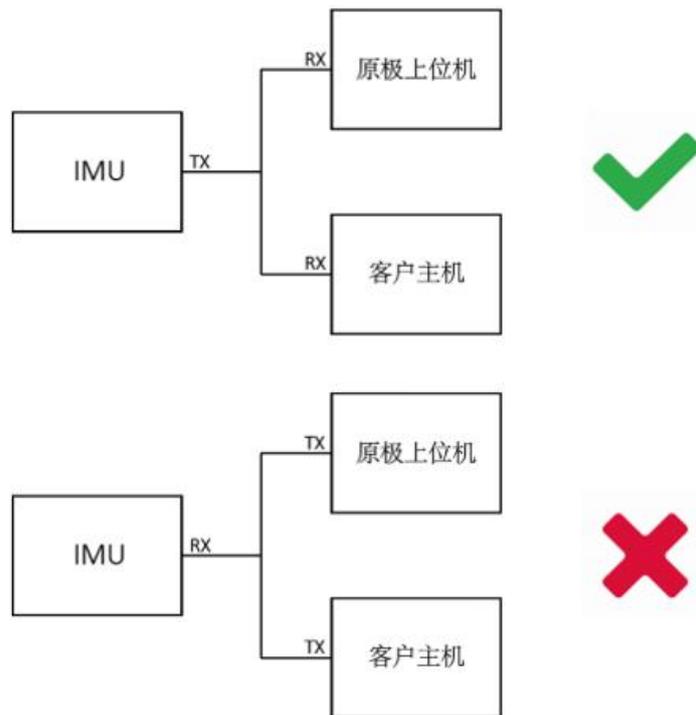
### 5.1.9 串口连接常见问题

#### 1) IMU 的 RX 不能接 2 个主机 TX

串口的 RX 不能同时接 2 个 TX，所以如果需要连接原极上位机时，需要断开其与用户主机的串口通信，否则上位机只能接收到数据，不能发送命令给 IMU。

如下图所示：

图 7 串口连接方式示意图



注：IMU TX 可接多路 RX，RX 不可接多路 TX；  
 IMU 串口不可同时连接客户主机和原极上位机；  
 IMU 可以预留另外一路串口专门连接原极上位机。

#### 2) 获取不到版本号

检查串口线是否丢包，建议串口线直连，不建议串联，如 RS422 的接口接电脑，直接使用 RS422 转 USB 线，不要用 RS422 转 RS232+RS232Z 转 USB 线串联。

#### 3) 上位机曲线显示卡顿

用系统管理员打开上位机，自动配置串口延时

手动在设备管理器中配置串口延时。

## 6. 坐标系定义

图 8 坐标系示意图



本产品坐标系使用 前-右-下 (FRD) 坐标系，欧拉角范围如下：

绕 Z 轴方向旋转：航向角 Yaw 范围： $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$  ；

绕 X 轴方向旋转：横滚角 Roll 范围： $-180^{\circ} \sim 180^{\circ}$  ；

绕 Y 轴方向旋转：俯仰角 Pitch 范围： $-90^{\circ} \sim 90^{\circ}$  。

## 7. CRC 查表法计算

建议直接参考示例代码。

注 1：数据以小端格式传输，低字节在前，高字节在后

注 2：crc32 的初值为 1，CRC 计算不包括本身的本帧所有数据

```
static const uint32_t crc32_tab [ ] = {  
  
0x00000000, 0x77073096, 0xee0e612c, 0x990951ba, 0x076dc419, 0x706af48f,  
0xe963a535, 0x9e6495a3, 0x0edb8832, 0x79dcb8a4, 0xe0d5e91e, 0x97d2d988,  
0x09b64c2b, 0x7eb17cbd, 0xe7b82d07, 0x90bf1d91, 0x1db71064,  
0x6ab020f2,  
  
0xf3b97148, 0x84be41de, 0x1adad47d, 0x6ddde4eb, 0xf4d4b551,  
0x83d385c7,  
  
0x136c9856, 0x646ba8c0, 0xfd62f97a, 0x8a65c9ec, 0x14015c4f,  
0x63066cd9,  
  
0xfa0f3d63, 0x8d080df5, 0x3b6e20c8, 0x4c69105e, 0xd56041e4,  
0xa2677172,  
  
0x3c03e4d1, 0x4b04d447, 0xd20d85fd, 0xa50ab56b, 0x35b5a8fa,  
0x42b2986c,  
  
0xdbbbc9d6, 0xacbcf940, 0x32d86ce3, 0x45df5c75, 0xdcd60dcf,  
0xabd13d59,  
  
0x26d930ac, 0x51de003a, 0xc8d75180, 0xbf06116, 0x21b4f4b5,  
0x56b3c423,  
  
0xcfb9a599, 0xb8bda50f, 0x2802b89e, 0x5f058808, 0xc60cd9b2,  
0xb10be924,  
  
0x2f6f7c87, 0x58684c11, 0xc1611dab, 0xb6662d3d, 0x76dc4190,  
0x01db7106,  
  
0x98d220bc, 0xefd5102a, 0x71b18589, 0x06b6b51f, 0x9fbfe4a5,  
0xe8b8d433,  
  
0x7807c9a2, 0x0f00f934, 0x9609a88e, 0xe10e9818, 0x7f6a0dbb,  
0x086d3d2d,  
  
0x91646c97, 0xe6635c01, 0x6b6b51f4, 0x1c6c6162, 0x856530d8,
```

0xf262004e,  
0x6c0695ed, 0x1b01a57b, 0x8208f4c1, 0xf50fc457, 0x65b0d9c6,  
0x12b7e950,  
0x8bbbeb8ea, 0xfcb9887c, 0x62dd1ddf, 0x15da2d49, 0x8cd37cf3,  
0xfbd44c65,  
0x4db26158, 0x3ab551ce, 0xa3bc0074, 0xd4bb30e2, 0x4adfa541,  
0x3dd895d7,  
0xa4d1c46d, 0xd3d6f4fb, 0x4369e96a, 0x346ed9fc, 0xad678846,  
0xda60b8d0,  
0x44042d73, 0x33031de5, 0xaa0a4c5f, 0xdd0d7cc9, 0x5005713c,  
0x270241aa,  
0xbe0b1010, 0xc90c2086, 0x5768b525, 0x206f85b3, 0xb966d409,  
0xce61e49f,  
0x5edef90e, 0x29d9c998, 0xb0d09822, 0xc7d7a8b4, 0x59b33d17,  
0x2eb40d81,  
0xb7bd5c3b, 0xc0ba6cad, 0xedb88320, 0x9abfb3b6, 0x03b6e20c,  
0x74b1d29a,  
0xead54739, 0x9dd277af, 0x04db2615, 0x73dc1683, 0xe3630b12,  
0x94643b84,  
0x0d6d6a3e, 0x7a6a5aa8, 0xe40ecf0b, 0x9309ff9d, 0x0a00ae27,  
0x7d079eb1,  
0xf00f9344, 0x8708a3d2, 0x1e01f268, 0x6906c2fe, 0xf762575d,  
0x806567cb,  
0x196c3671, 0x6e6b06e7, 0xfed41b76, 0x89d32be0, 0x10da7a5a,  
0x67dd4acc,  
0xf9b9df6f, 0x8ebeeff9, 0x17b7be43, 0x60b08ed5, 0xd6d6a3e8,  
0xa1d1937e,  
0x38d8c2c4, 0x4fdff252, 0xd1bb67f1, 0xa6bc5767, 0x3fb506dd,  
0x48b2364b,  
0xd80d2bda, 0xaf0a1b4c, 0x36034af6, 0x41047a60, 0xdf60efc3,  
0xa867df55,

```
0x316e8eef, 0x4669be79, 0xcb61b38c, 0xbc66831a, 0x256fd2a0,  
0x5268e236,  
0xcc0c7795, 0xbb0b4703, 0x220216b9, 0x5505262f, 0xc5ba3bbe,  
0xb2bd0b28,  
0x2bb45a92, 0x5cb36a04, 0xc2d7ffa7, 0xb5d0cf31, 0x2cd99e8b,  
0x5bdeae1d,  
0x9b64c2b0, 0xec63f226, 0x756aa39c, 0x026d930a, 0x9c0906a9,  
0xeb0e363f,  
0x72076785, 0x05005713, 0x95bf4a82, 0xe2b87a14, 0x7bb12bae,  
0x0cb61b38,  
0x92d28e9b, 0xe5d5be0d, 0x7cdcefb7, 0x0bdbdf21, 0x86d3d2d4,  
0xf1d4e242,  
0x68ddb3f8, 0x1fda836e, 0x81be16cd, 0xf6b9265b, 0x6fb077e1,  
0x18b74777,  
0x88085ae6, 0xff0f6a70, 0x66063bca, 0x11010b5c, 0x8f659eff,  
0xf862ae69,  
0x616bffdb, 0x166ccf45, 0xa00ae278, 0xd70dd2ee, 0x4e048354,  
0x3903b3c2,  
0xa7672661, 0xd06016f7, 0x4969474d, 0x3e6e77db, 0xaed16a4a,  
0xd9d65adc,  
0x40df0b66, 0x37d83bf0, 0xa9bcae53, 0xdebb9ec5, 0x47b2cf7f,  
0x30b5ffe9,  
0xbdbdf21c, 0xcabac28a, 0x53b39330, 0x24b4a3a6, 0xbad03605,  
0xcdd70693,  
0x54de5729, 0x23d967bf, 0xb3667a2e, 0xc4614ab8, 0x5d681b02,  
0x2a6f2b94,  
0xb40bbe37, 0xc30c8ea1, 0x5a05df1b, 0x2d02ef8d,  
}  
  
uint32_t crc_crc32 (uint32_t crc, const uint8_t *buf, uint32_t size) {  
for (uint32_t i=0; i<size ; i++) {
```

```
crc = crc32_tab [ (crc ^ buf [ i ] ) & 0xff] ^ (crc >> 8 ) ;  
}  
  
return crc;  
}
```

## 8. 更新记录

| 版本     | 日期         | 状态/注释 |
|--------|------------|-------|
| 版本 1.0 | 2024.08.28 | 首版    |