



战术级 MEMS 6 自由度惯性传感器

FSS-IMUP8 产品手册

特性

战术级 MEMS 陀螺仪

- $0.5^{\circ}/\text{hr}$ 零偏不稳定性
- $0.1^{\circ}/\sqrt{\text{hr}}$ 角度随机游走
- $30^{\circ}/\text{hr}$ 温漂 ($-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$, $\leq 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ @ 1σ)

战术级 MEMS 加速度计

- $20\mu\text{g}$ 零偏不稳定性
- $0.035\text{m/s}/\sqrt{\text{hr}}$ 速度随机游走
- 1.0mg 温漂 ($-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$, $\leq 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ @ 1σ)

大范围精细化温度补偿

- -40°C 至 85°C 温度补偿
- 精细化温度标定

独立转台标定

- 独立标定每个模块：灵敏度、零偏、非正交误差
- 提供用户标定安装误差接口

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： $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$
- 100%磁屏蔽

实时而灵活的数字接口、体积小巧

- 高达 1KHz 的可配置输出采样率
- 支持串口 422
- $38.6 \times 44.8 \times 21.5\text{mm}$, 重量约 58g

产品概述

IMUP8 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。

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

- 航空测绘

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	1
1.1 陀螺仪关键指标	1
1.2 加速度计关键指标	2
2. 外形结构	4
3. 规格	6
3.1 最大额定绝对值	6
3.2 EMC	6
3.3 ESD 等级	6
4. 电气特性	7
5. 引脚定义	8
6. 推荐连接方式	9
7. 串口通信协议	10
7.1 串口接口参数	10
7.2 数据包格式	11
7.3 数据流帧——AHRS 数据	12
7.4 命令模式 GET 输出——系统状态	14
7.5 命令模式 GET 输出——读取参数	15
7.6 命令模式 SET 指令	17
7.7 命令模式输出——用户命令响应	19
8. 时间同步	20
8.1 接入 PPS 信号+GPRMC 报文	20
8.1.1 硬件连接	20
8.1.2 RTK 配置要求:	21
8.1.3 如何确认时间同步是否成功:	21
8.1.4 如何验证时间同步成功后时间戳是否正确	23
8.2 通过 DRDY 信号信号在主机端做时间同步	26
8.2.1 DRDY 信号作用	26
8.2.2 DRDY 信号	26
9. 常用 AT 指令	27
9.1.1 停止当前数据流输出	27
9.1.2 查询版本号	27
9.1.3 查询用户参数	27
9.1.4 设置和查询 ODR	27
9.1.5 设置和查询坐标系	28
9.1.6 设置和查询波特率	28
9.1.7 设置和查询滤波器	28
9.1.8 保存参数	28
9.2 串口连接常见问题	29
10. 后处理使用注意事项	30
11. 坐标系定义	32
12. CRC 查表法计算	33

13. 使用示例	36
13.1 设备安装	36
14. 选配附件	38
15. 更新记录	39

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			±300		° /s
零偏不稳定性 ²	@25°C, ALLAN 方差, 1σ		0.5		° /hr
零偏稳定性	国军标, 10s 平滑		2		° /hr
零偏重复性	国军标		3		° /hr
分辨率			0.0041		° /s
轴间非正交			0.02		deg
内部低通截止频率	软件可调整	10	75		Hz
采样率			1000		Hz
测量延时			7.2		ms
全温范围零偏变化 ¹	-40°C ~ 85°C, ≤1°C/min @1σ		30		° /hr
随机游走 ²	@25°C, ALLAN 方差, 1σ		0.1		° /√hr
刻度系数误差			1.0		‰
刻度系数非线性			50		ppm

注 1: 1°C/分钟升温情况下全温零偏变化 1σ 值

注 2: 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			± 6	可选配 ± 20	g
零偏不稳定性 ²	@25°C, ALLAN 方差, 1σ		20		μg
零偏稳定性	国军标, 10s 平滑		30		μg
零偏重复性	国军标		20		μg
分辨率			0.0816		mg
轴间非正交			0.02		deg
内部低通截止频率	软件可调整		75		Hz
采样率			1000		Hz
测量延时			7.2		ms
全温范围零偏变化 ¹	-40°C~85°C, $\leq 1^\circ\text{C}/\text{min}$ @ 1σ		1.0		mg
随机游走 ²	@25°C, ALLAN 方差, 1σ		0.035		m/s/√hr

注 1: $1^\circ\text{C}/\text{分钟}$ 升温情况下全温零偏变化 1σ 值

注 2: 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

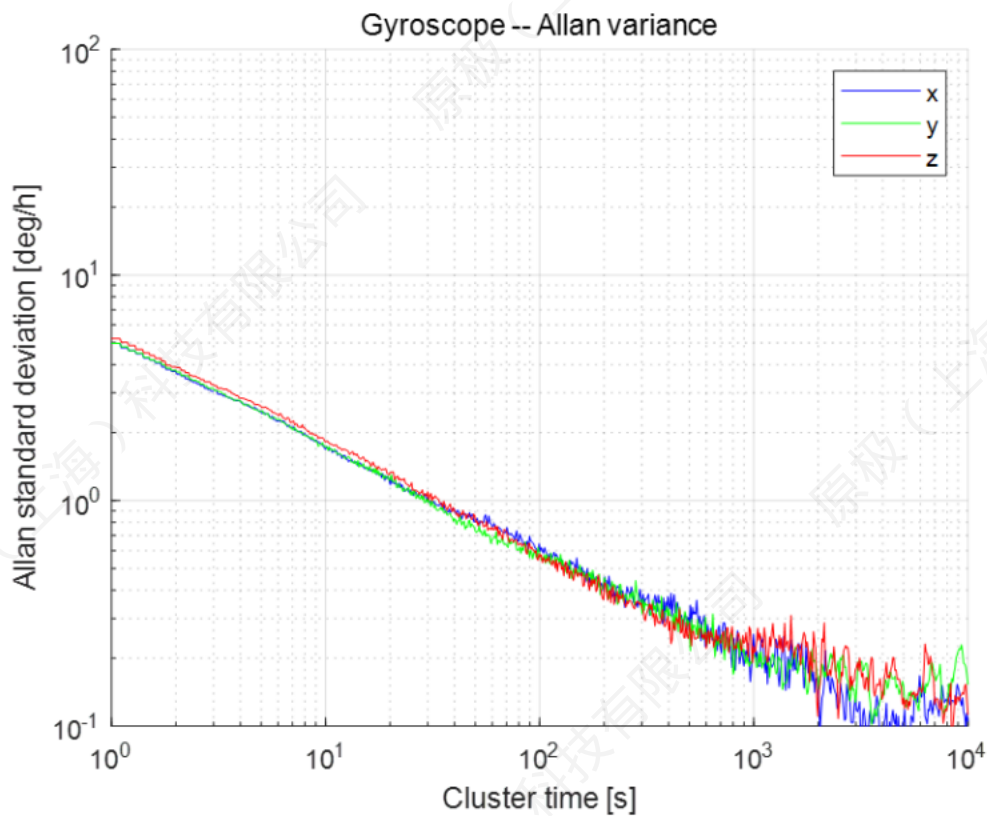
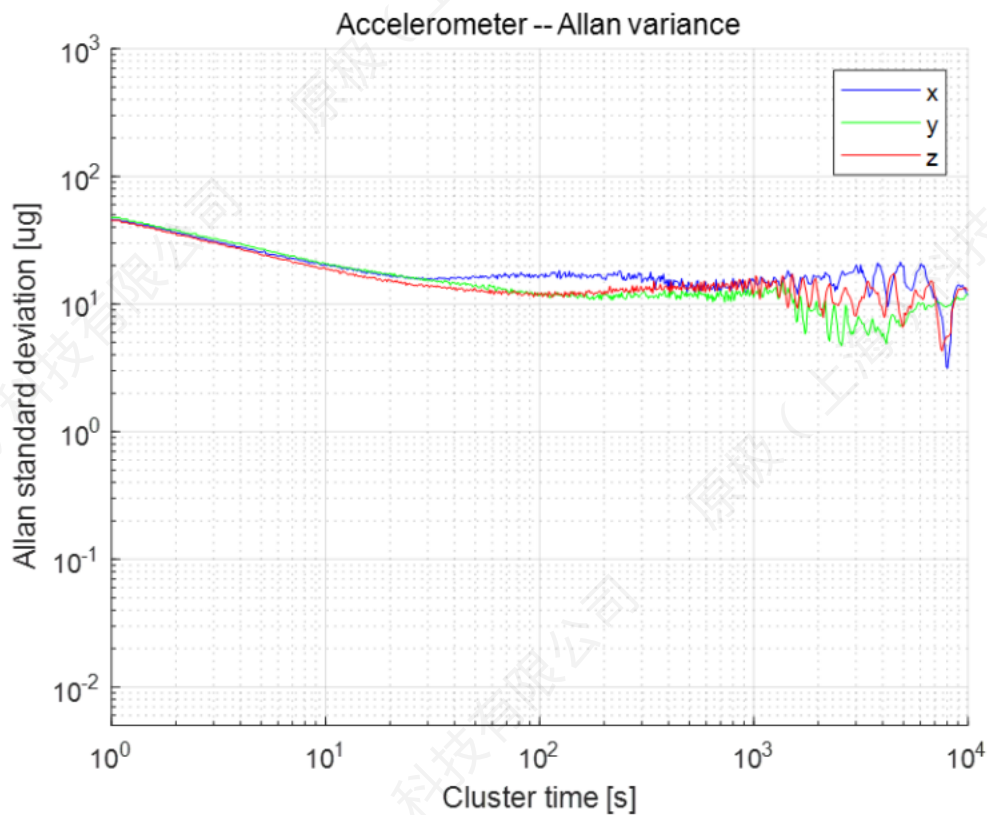
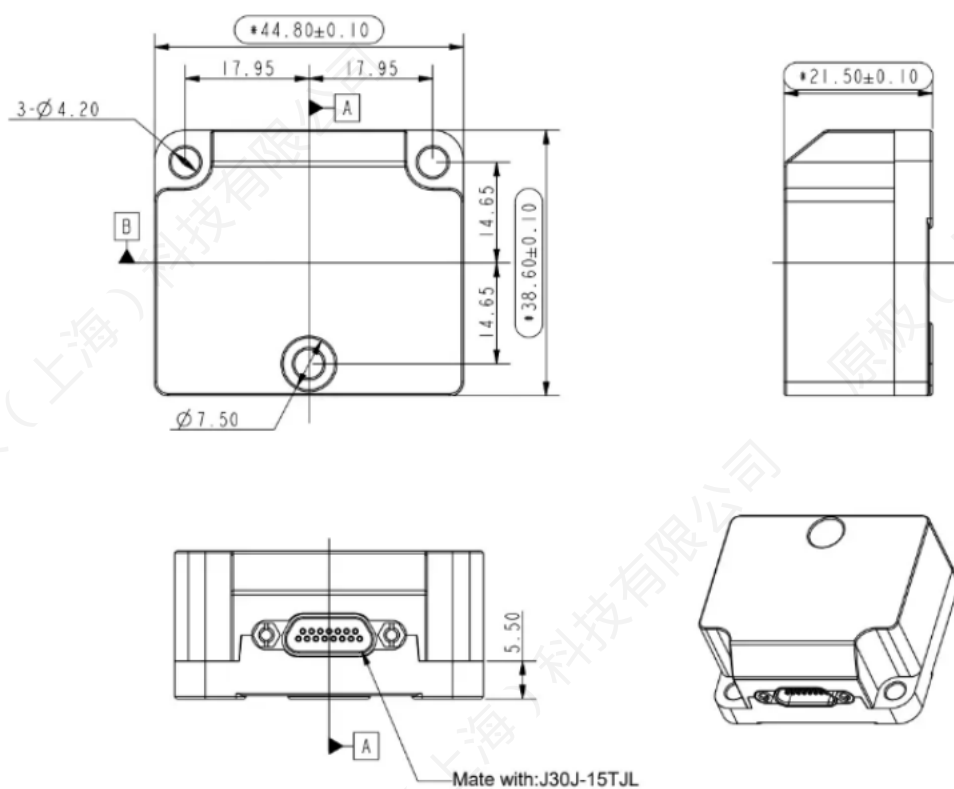


图 2 加速度计 ALLAN 方差典型曲线



2. 外形结构

图 3 外形结构及尺寸 (单位: mm)



TOP SIDE



3. 规格

3.1 最大额定绝对值

表 3 绝对最大额定值

参数	级别	备注
储存温度	-55°C~90°C	
VSUP to GND	-0.5~6.5V	
使用温度	-40~+85°C	
RXD+/RXD- to GND	-7.5V~12.5V	匹配电阻 120Ω
RXD+ to RXD-	±6V	
TXD+/TXD- to GND	-7.5V~12.5V	
ExtTrig to GND	-0.3V~7V	
NRST to GND	-0.3V~7V	
DATA READY to GND	-0.3V~7V	

3.2 EMC

表 4 EMC

测试项目	测试标准
CE	符合 EN55032 CISPR 16-2-1
CS	符合 EN55035 EN(IEC) 61000-4-6
EFT	符合 EN55035 EN(IEC) 61000-4-4
RE	符合 EN55032 CISPR 16-2-3
RS	符合 EN55035 EN(IEC) 61000-4-3
ESD	符合 EN55035 EN(IEC) 61000-4-2

3.3 ESD 等级

表 5 ESD 等级

V (ESD) 静电放电	测试模式	测试标准	测试等级
	接触放电	符合 EN(IEC) 61000-4-2	±8 KV
	空气放电		±15 KV

4. 电气特性

表 6 电气特性

参数	条件	最小	典型	最大	单位
电源输入		4.5	5	5.5	V
功率			0.7		W
储存温度		-55		90	°C
使用温度		-40		85	°C
RS422 输入电阻			120		Ω
RESET (NRST PIN)	High	2.3			V
	Low			0.6	V
NRST 内部上拉电阻			4.7		KΩ
Data Ready			3.3		V
ExtTrig	High	2.3			V
	Low			0.6	V

注：当电源电压高于 6V 时，内部电压保护电路将切断电源和设备进入复位状态，直到电压回到工作条件，恢复工作。

5. 引脚定义

图 5 引脚示意图

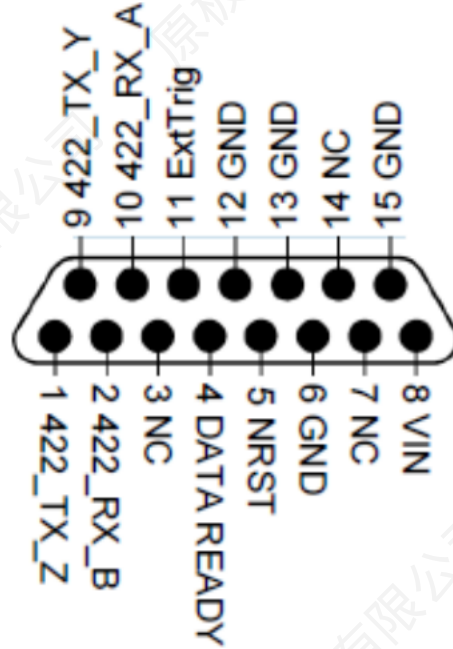


表 7 引脚定义

引脚序号	引脚名称	引脚描述
1	422_TX_Z	RS-422, TXD-
2	422_RX_B	RS-422, RXD-
3	NC	不接
4	DATA READY	Data Ready
5	NRST	外部硬件复位输入, 内部上拉
6	GND	信号地
7	NC	不接
8	VIN	电源输入, +5V 输入
9	422_TX_Y	RS-422, TXD+
10	422_RX_A	RS-422, RXD+
11	ExtTrig	外部触发器 pps
12	GND	电源地
13	GND	电源地
14	nc	不接
15	GND	电源地

6. 推荐连接方式

图 6 正常采集模式框图

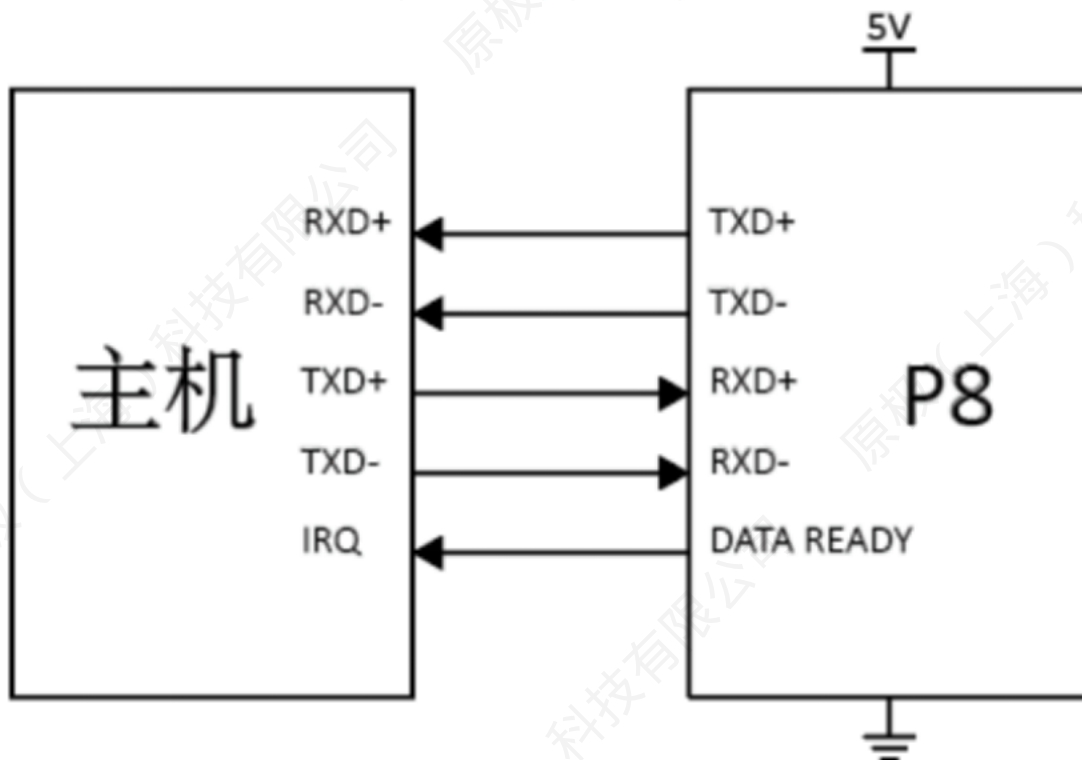
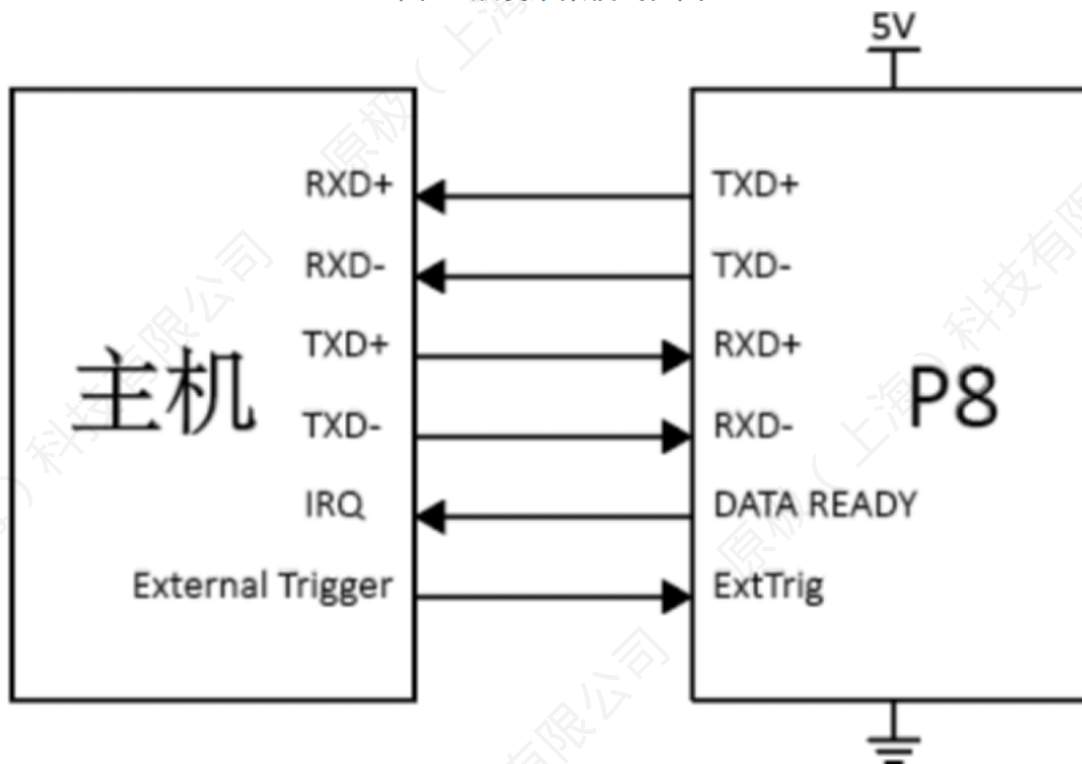


图 7 触发采集模式框图



7. 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。

7.1 串口接口参数

表 8 串口接口参数

传输速率范围	115200bps ~ 1.5Mbps
默认传输速率	460800bps
开始位	1 bit
数据位	8 bits
停止位	1 bit
奇偶校验	无

7.2 数据包格式

IMU 输出和用户输入的数据包结构组成如下：

表 9 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 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， length 为 payload 所占字节数，即为 n
5		数据长度高位	串口通信帧长度的高位字节， length 为 payload 所占字节数，即为 n
6	uint8	Payload (n 个字节)	数据负载
6+n	Uint32	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

7.3 数据流帧——AHRS 数据

表 10 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

表 11 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	/	/	/	/
8	/	/	/	/
12	/	/	/	/
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	$^{\circ}/s$	X 轴角速度
32	gy	float	$^{\circ}/s$	Y 轴角速度
36	gz	float	$^{\circ}/s$	Z 轴角速度
40	temp	float	$^{\circ}C$	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 12 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

7.4 命令模式 GET 输出——系统状态

表 13 串口系统状态数据格式

	帧头	帧头	ID	length	payload	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	S1	uint32
编码	0xAA	0x55	0x00FF	N		crc32

注 1：不同 IMU 型号，此帧的长度会有差别，都代表 S1 的长度，需要根据 imu 型号确认。

表 14 串口 S1 负载数据格式

offset	名称	数据类型	描述
0	Software_ver	uint32	软件版本号
4	Hardware_ver	uint32	硬件版本号
8	rev	uint16	保留字节
10	sn0	uint32	第一 SN 号
14	sn1	uint32	第二 SN 号
18	sn2	uint32	第三 SN 号
22	Board_version	uint32	底板版本号
26	Rev[16]	Uint8	后续都是保留字节

注 1：不同 IMU 型号，后续保留字节也不同，需要根据 imu 型号进行确认，IMU614E 为 16 字节。

例：获取系统状态

输入数据：55 AA 01 00 18 00 BD DB 31 34

响应数据：AA 55 FF 00 2A 00 1F 39 03 00 65 6F 01 00 50 83 30 33 35 55 34 50 15 FF 8F 5F FF FF 50 83 FF 1F 29 00 00 00 00 E0 00 07 10 17 08 50 D0 37 10 3B 7A C3 00 02

根据响应数据，解析得到软件版本号 211231 (1F 39 03 00)，硬件版本号 94053 (65 6F 01 00)。

7.5 命令模式 GET 输出——读取参数

表 15 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 16 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，设置完后需要重新开启数据流。

表 17 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 18 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 115200、230400、460800、921600、1500000	bps
4	坐标系朝向（见表 25 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 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 31 2F A2 0A

根据响应数据，解析得到输出频率为 50hz (00 00 48 42)。

7.6 命令模式 SET 指令

表 19 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 20 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 21 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: Mode=1, 数据流输出 AHRS 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 例如需读取 AHRS 输出频率 (ODR), 则设置 value=21 例如需读取串口波特率, 则设置 value=3 例如需读取内部滤波器, 则设置 value=31 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: 115200, 230400, 460800, 921600, 1500000 value 为其他值时, 默认采用 115200bps



FSS-1MUP8 产品手册

			<p>设置波特率参数后，需要重启才能生效。</p> <p>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</p>
14	<value>	21	<p>设置周期性 AHRS 数据输出频率，单位 Hz value 的常用值为：</p> <p>1, 10, 50, 100, 200, 500, 1000</p> <p>输出频率与串口波特率的推荐对应关系</p> <p>1000Hz: 921600bps</p> <p>500Hz: 460800bps</p> <p>200Hz: 460800bps</p> <p>250Hz: 460800bps</p> <p>100Hz: 115200bps</p>
14	<value>	31	<p>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</p>
14	<value>	4	<p>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 25</p>

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

如执行开启 AHRS 输出:

CMD ID 填入 3，参数 1 填入 1，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。

命令生成器

[illegible]

CMD ID:

3

参数:

1

1

2

Q

3

1

4

5

6

0

生成命令

发送命令

7.7 命令模式输出——用户命令响应

表 22 设置参数串口响应数据格式

	帧头	帧头	ID	length	ACK	Param3	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	uint16	uint16	uint32
编码	0xAA	0x55	0x753D	0x0004	0x7534	参数索引	crc32

表 23 保留参数串口响应数据格式

	帧头	帧头	ID	length	ACK	result	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	uint16	uint16	uint32
编码	0xAA	0x55	0x753D	0x0004	0x0005	0x01	crc32

表 24 串口用户命令响应数据格式

	帧头	帧头	ID	length	command	result	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	uint16	uint16	uint32
编码	0xAA	0x55	0x0064	0x0004	命令 ID	0x01	crc32

例：设置串口输出波特率 115200

输入数据：

55, AA, 0E, 00, 18, 00, 00, 00, E1, 47, 00, 00, 00, 00, 03, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 56, 2B, 4D, 93

响应数据：AA 55 3D 75 04 00 34 75 03 00 A7 98 2A 54

设置周期性 AHRS 数据输出频率 100hz

输入数据：55 AA 0E 00 18 00 00 00 C8 42 00 00 00 00 15 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0A 2B 2C 8D

响应数据：AA 55 3D 75 04 00 34 75 15 00 70 2D B2 48

保存当前参数到 FLASH

输入数据：55 AA 05 00 18 00 C9 2F E6 32

响应数据：AA 55 3D 75 04 00 05 00 01 00 5A CF B1 7C

设置输出模式为 AHRS 数据流

输入数据：55 AA 03 00 18 00 00 00 80 3F 00 52 D8 8E E8

响应数据：AA 55 64 00 04 00 03 00 01 00 E7 87 E3 AD

8. 时间同步

通过时间同步，可以确保设备的内部时钟与外部时间基准保持一致，这样可以消除由于时钟漂移导致的时间偏差；

在多设备协同工作的系统中，所有设备的时间戳都会基于同一个时间基准，这有助于保证数据的一致性和准确性。

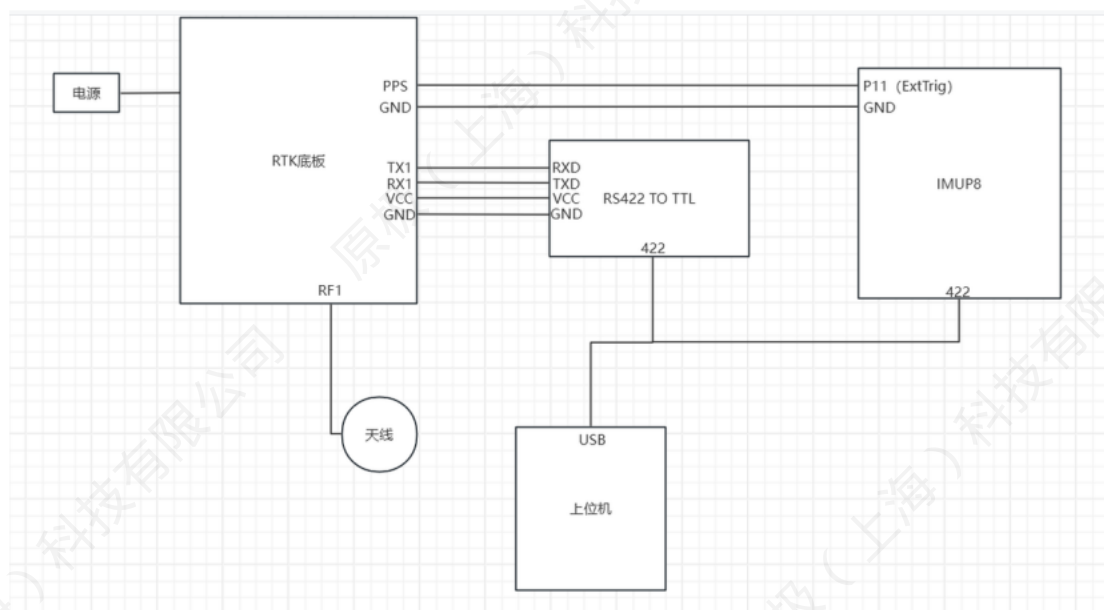
目前本模块提供两种时间同步方法：

1. 接入 pps 信号+rmc 报文，
2. 通过 DRDY 信号信号在主机端做时间同步

8.1 接入 PPS 信号+GPRMC 报文

8.1.1 硬件连接

(1) 按照连接示意图将 IMU 与 RTK 底板连接。



P8 连接示意图

8.1.2 RTK 配置要求:

GPRMC 10HZ

PPS 秒脉冲: 1s 一次, 上升沿触发, 脉宽 5ms, 对齐至 UTC 时间。高电平不得高于 5v。

注意保证 RTK 串口波特率与 IMU 波特率一致。

8.1.3 如何确认时间同步是否成功:

确认步骤如下

同步前为 IMU 本身计数值, 格式为: ms

同步后会变成单位为 ms 的 UTC 转化后的真值, 以真值 43767630ms 为例

将给定的 ms 值转换为 s:

$43,767,630\text{ms} = 43,767.63\text{s}$

将 s 转换为 h、min 和 s:

首先, 将秒数除以 3600 (1h=3600s), 得到小时数及剩余秒数。

$43,767\text{s} \div 3600 = 12\text{h} \dots 567\text{s}$ (取整)

接下来, 将剩余的秒数除以 60 (1min=60s), 得到分钟数及剩余秒数。

$567\text{s} \div 60 = 9\text{min} \dots 27\text{s}$ (取整)

整理结果:

将上述步骤中的 h、min、s 以及最初的小数部分组合起来, 形成最终的 UTC 时间表示形式 (hhmmss.sss)。

最终 UTC 时间表示为: 120927.63

2. 根据设置的不同 IMU 更新率，时间戳间隔也会相应变化。

例如：

当 IMU 更新率为 10Hz 时，对应的时间戳间隔为 100 ms；

在这种情况下，时间戳将以每 10 ms 为一帧的周期进行发送，以确保与 IMU 数据的同步。以下为示例

```
%time-us,accx,accy,accz,gyrox,gyroy,gyroz,temperature,roll,pitch,yaw,mx,my,mz
43767630,0.000911493,-0.00593111,-0.999837,-0.112592,0.0775201,-0.239427,37.375,0.37371,0.0374005,359.763
43767640,0.00104886,-0.00639931,-1.00023,-0.11155,0.0945329,-0.198418,37.375,0.372709,0.0378392,359.763
43767650,0.0010143,-0.00654209,-1.00144,-0.143203,0.0859424,-0.187509,37.375,0.372681,0.038661,359.763
43767660,0.000973708,-0.00638983,-1.00176,-0.166009,0.092228,-0.200648,37.375,0.372481,0.0390947,359.763
43767670,0.00147395,-0.00683136,-1.001,-0.192246,-0.00178328,-0.157266,37.375,0.372781,0.0399402,359.763
43767680,0.00223095,-0.00695176,-1.00109,-0.0757273,-0.000226222,-0.138093,37.375,0.372781,0.0399402,359.763
43767690,0.00127585,-0.00571409,-1.00053,-0.173622,0.0492768,-0.163678,37.375,0.373524,0.0425388,359.763
43767700,0.00074174,-0.00655202,-1.00021,-0.115697,0.000131873,-0.160155,37.375,0.372256,0.0430011,359.763
43767710,0.00167231,-0.00625615,-1.00077,-0.196135,-0.000426489,-0.177769,37.375,0.372131,0.0433163,359.763
43767720,0.00185977,-0.0061884,-1.00042,-0.224989,-0.0107625,-0.0937578,37.375,0.371704,0.0457214,359.763
43767730,0.00024303,-0.00667565,-1.00119,-0.252968,0.0338021,-0.143835,37.375,0.371704,0.0457214,359.763
43767740,0.000261399,-0.00675453,-1.00142,-0.221033,0.0709242,-0.198763,37.375,0.37201,0.0447791,359.763
43767750,0.000898074,-0.00627877,-1.00137,-0.146918,0.0208479,-0.177816,37.375,0.372149,0.0439286,359.763
43767760,0.00114561,-0.00632768,-1.00142,-0.116412,0.0106449,-0.195621,37.375,0.371879,0.0448294,359.763
43767770,0.00031602,-0.0065025,-1.00118,-0.151384,0.107034,-0.151737,37.375,0.371925,0.0443909,359.763
43767780,0.000111739,-0.00596614,-1.00127,-0.191872,0.0392804,-0.190575,37.375,0.371925,0.0443909,359.763
43767790,0.000446753,-0.00575444,-1.00054,-0.144282,0.0438216,-0.206097,37.375,0.371021,0.0432654,359.763
43767800,0.000744278,-0.00620892,-1.00097,-0.0806283,0.0402478,-0.2018,37.375,0.370079,0.0418417,359.763
43767810,0.000249961,-0.00627208,-1.00092,-0.205578,0.0244218,-0.173429,37.375,0.369413,0.0418069,359.763
43767820,3.2315e-05,-0.00632706,-1.00116,-0.190721,0.0747152,-0.227714,37.375,0.3691,0.0408873,359.763
43767830,0.00024524,-0.00670832,-1.00086,-0.117692,0.111822,-0.193005,37.375,0.3691,0.0408873,359.763
43767840,0.000537576,-0.00604259,-1.00108,-0.146042,0.043116,-0.178889,37.375,0.369541,0.0392609,359.763
43767850,0.00102963,-0.00625389,-1.00084,-0.165271,0.000858686,-0.146898,37.375,0.369012,0.0390227,359.763
43767860,0.00121603,-0.0058367,-1.00105,-0.207972,0.0699086,-0.172457,37.375,0.368091,0.0399286,359.763
43767870,0.00114882,-0.00628435,-1.00111,-0.192793,0.0395967,-0.177017,37.375,0.36763,0.0405705,359.763
```


8.1.4 如何验证时间同步成功后时间戳是否正确

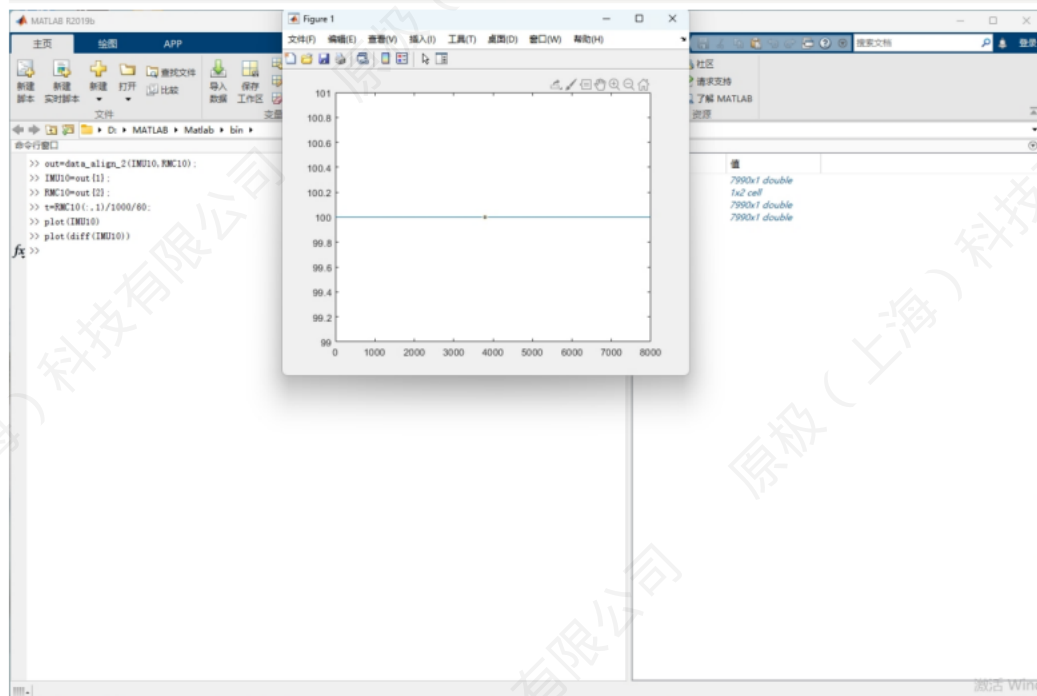
1. 同时采集 RMC 数据和时间同步后 AHRS 数据，并进行解码。
2. 将两者时间戳转换为相同格式，利用 matlab 等工具统计以下两组对应时间戳数据以下指标

一，统计时间戳间隔是否稳定，确认是否有丢包，

判断条件：

10HZ 输出：间隔稳定为 100ms

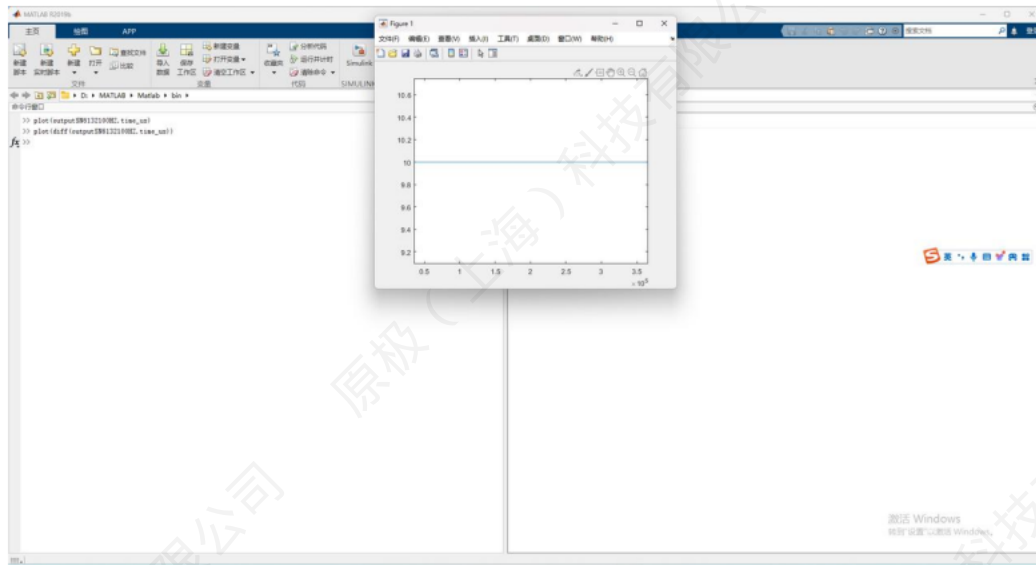
```
%time_us,accx,accy,accz,gyrox,gyroy,gyroz,temperature,roll,pitch,yaw,mx,my,mz
10138100,-0.00785668,0.000511979,-1.00068,0.00577856,0.0224228,-0.170839,43.6992,-0.185733,-0.373024,2.66486
10138200,-0.00548826,-8.32841e-06,-1.00069,0.120156,-0.0394001,0.0182559,43.6992,-0.177175,-0.373694,2.66124
10138300,-0.0177959,-0.0481571,-1.00444,-0.452245,-0.0625247,-6.75837,43.6992,-0.166894,-0.370253,2.60756
10138400,-0.00540888,-0.000368123,-0.999689,0.0587807,0.157406,-0.743163,43.7031,-0.179521,-0.368657,2.35367
10138500,-0.00681769,0.00110348,-1.00052,-0.0118609,-0.0201513,-0.0745728,43.6992,-0.174604,-0.366914,2.32512
10138600,-0.00541474,-2.34533e-05,-1.00088,0.0289074,-0.0428571,0.0164407,43.6992,-0.168918,-0.367043,2.32495
10138700,-0.00661371,0.000592246,-1.00062,0.00993176,-0.000438364,-0.0288885,43.6953,-0.163664,-0.364568,2.3255
10138800,-0.0048226,6.92813e-05,-1.00043,-0.00735649,0.0273419,-0.0158955,43.6992,-0.155855,-0.371403,2.33634
10138900,-0.00664255,0.000866315,-1.00145,0.0919172,-0.0107388,-0.0110982,43.7031,-0.151304,-0.366063,2.33678
10139000,-0.00515508,-0.000483297,-0.999668,-0.00652478,0.114841,-0.00554243,43.6992,-0.147101,-0.370124,2.3664
10139100,-0.00679933,8.07165e-05,-1.00015,0.0193778,-0.00205665,0.000614035,43.6953,-0.141752,-0.363385,2.3672
10139200,-0.00633591,0.000995697,-1.00043,0.0350645,-0.0332949,0.0570056,43.6875,-0.136313,-0.36819,2.37055
10139300,-0.00676747,0.000319971,-1.00062,0.0243442,0.0444976,0.00981862,43.6875,-0.133467,-0.362919,2.37656
10139400,-0.00663674,0.000352815,-1.00029,0.00787024,0.0201864,-0.00876646,43.6953,-0.129017,-0.368695,2.37739
10139500,-0.00679523,0.00118807,-1.00101,-0.00626396,-0.0206355,-0.00567084,43.6953,-0.12762,-0.359295,2.37722
10139600,-0.00583052,8.28852e-05,-0.99977,0.0120336,0.0297521,-0.00074564,43.6992,-0.122915,-0.366905,2.37741
10139700,-0.00690794,0.000215317,-1.00052,0.000730211,-0.0126271,-0.0145498,43.6992,-0.116187,-0.361241,2.37884
10139800,-0.00553715,0.000524005,-1.00127,0.0570455,-0.014946,0.0273024,43.6992,-0.109288,-0.369261,2.37931
10139900,-0.0059149,5.67176e-05,-1.00066,0.00898911,0.0247195,0.0501371,43.7031,-0.100622,-0.362934,2.39978
10140000,-0.00614014,-5.688e-06,-1.0002,-0.121098,0.0651305,-0.00916049,43.707,-0.100607,-0.366901,2.41725
10140100,-0.00616532,-0.000320024,-1.00114,0.0116914,0.00976389,-0.00659498,43.707,-0.0948647,-0.361206,2.41734
10140200,-0.00566859,-0.0003737,-1.00026,-0.00623558,0.013495,0.00671942,43.707,-0.0888662,-0.36321,2.41761
10140300,-0.00680167,-8.83485e-05,-1.00077,-0.100855,0.0120432,-0.00189858,43.707,-0.0788807,-0.362496,2.41875
```



IMU10HZ

100HZ 输出：间隔稳定为 10ms

```
%time_us,accx,accy,accz,gyrox,gyroy,gyroz,temperature,roll,pitch,yaw,mx,my,mz
12168590,-0.000783923,0.00227535,-0.999381,0.0285426,0.143975,0.0399726,45.8711,-0.261506,-0.0423138,0.597821
12168600,-0.00109725,0.00241267,-1.0014,0.00518191,-0.0503187,-0.0185507,45.8711,-0.260736,-0.0420368,0.598055
12168610,-0.000684899,0.00193684,-1.00129,0.0177225,-0.0174652,-0.00366374,45.875,-0.260757,-0.0421491,0.597998
12168620,-0.00110074,0.00186692,-0.999633,-0.0096959,-0.0503915,-0.0200717,45.8789,-0.259998,-0.0419311,0.597955
12168630,-0.00106939,0.00180071,-0.999801,-0.0493901,0.0672579,0.0065974,45.8789,-0.259534,-0.0427631,0.59775
12168640,-0.0012183,0.00200934,-1.00052,-0.0110379,0.0375103,-0.0019704,45.8789,-0.259273,-0.0431737,0.59775
12168650,-0.0014417,0.00172895,-0.999741,0.00149567,-0.0142063,0.00627559,45.8789,-0.259389,-0.0429253,0.597709
12168660,-0.00050238,0.00208577,-1.00103,-0.0168498,-0.0534377,-0.0177292,45.8789,-0.258919,-0.0438387,0.597691
12168670,-0.000328396,0.0019613,-1.00188,-0.00600252,0.0650926,0.0114503,45.8789,-0.258381,-0.0436349,0.597619
12168680,-0.000636144,0.00222931,-0.99907,-0.0270124,0.0734599,-0.000431323,45.8789,-0.258442,-0.0435879,0.597725
12168690,0.000112191,0.00221846,-1.00066,0.0151018,-0.056569,0.0147384,45.8789,-0.258043,-0.04342,0.597736
12168700,-0.000231573,0.00266871,-1.00237,0.00901595,-0.0218375,0.00337262,45.8789,-0.257449,-0.0417969,0.597825
12168710,8.72014e-05,0.00254247,-0.999538,0.0329301,-0.00658109,0.0136745,45.8789,-0.257216,-0.0417704,0.598
12168720,0.00029099,0.00226171,-1.0001,0.0078541,0.0694334,0.000107848,45.8789,-0.256338,-0.0408185,0.597988
12168730,0.000775636,0.00183092,-1.00108,-0.00733744,-0.0481737,-0.00525246,45.8789,-0.255627,-0.038995,0.597951
12168740,0.000808696,0.00174323,-1.00027,0.0295915,0.00286059,-0.0054113,45.8789,-0.25467,-0.0370789,0.598049
12168750,6.85134e-05,0.00170626,-0.999359,-0.0195651,0.0255302,0.0089159,45.8789,-0.254544,-0.0368456,0.597978
12168760,0.000233264,0.00187571,-1.00239,-0.011067,0.0395717,-0.0164223,45.8789,-0.2539,-0.0362479,0.597931
12168770,0.000169324,0.00123586,-0.998619,-0.0318644,-0.0207638,0.0203835,45.8789,-0.253344,-0.0350068,0.59792
12168780,0.00034488,0.000749115,-0.999338,-0.0227521,0.00308496,-0.0240282,45.8789,-0.253686,-0.0353146,0.597991
12168790,0.000321285,0.0015652,-1.00105,-0.00523137,0.00901491,-0.0121445,45.8789,-0.253063,-0.0340612,0.597738
12168800,-0.000715598,0.0026208,-1.00151,0.0337185,0.0201632,0.00606421,45.8789,-0.252559,-0.0335472,0.597631
12168810,-0.000791669,0.00262174,-0.999473,0.0266765,0.0124253,-0.00269134,45.8789,-0.25235,-0.0333288,0.597486
```



IMU100HZ

二，统计两组对应时间戳数据相同输出频率，相同起点下时间差是否为 0（需在卫星情况良好的情况下）

以下为统计示例：

4	10147500	10147500	0								
5	10147600	10147600	0								
6	10147700	10147700	0								
7	10147800	10147800	0								
8	10147900	10147900	0								
9	10148000	10148000	0								
10	10148100	10148100	0								
11	10148200	10148200	0								
12	10148300	10148300	0								
13	10148400	10148400	0								
14	10148500	10148500	0								
15	10148600	10148600	0								
16	10148700	10148700	0								
17	10148800	10148800	0								
18	10148900	10148900	0								
19	10149000	10149000	0								
20	10149100	10149100	0								
21	10149200	10149200	0								
22	10149300	10149300	0								
23	10149400	10149400	0								
24	10149500	10149500	0								
25	10149600	10149600	0								
26	10149700	10149700	0								

IMU10HZ

	12174500	12174500	0								
	12174600	12174600	0								
	12174700	12174700	0								
	12174800	12174800	0								
	12174900	12174900	0								
	12175000	12175000	0								
	12175100	12175100	0								
	12175200	12175200	0								
	12175300	12175300	0								
0	12175400	12175400	0								
1	12175500	12175500	0								
2	12175600	12175600	0								
3	12175700	12175700	0								
4	12175800	12175800	0								
5	12175900	12175900	0								
5	12176000	12176000	0								
7	12176100	12176100	0								
3	12176200	12176200	0								
2	12176300	12176300	0								
0	12176400	12176400	0								
1	12176500	12176500	0								
2	12176600	12176600	0								
3	12176700	12176700	0								

IMU100HZ

8.2 通过 DRDY 信号信号在主机端做时间同步

8.2.1 DRDY 信号作用

在 IMU 中，DRDY (Data Ready) 信号是一个重要的状态标志或中断信号，用于指示 IMU 的数据已经准备好，并可以被读取。当 IMU 完成一轮数据采集和处理后，DRDY 信号会变为有效状态（通常为低电平），这表示新的加速度、角速度等数据已经准备好，可以被读取。

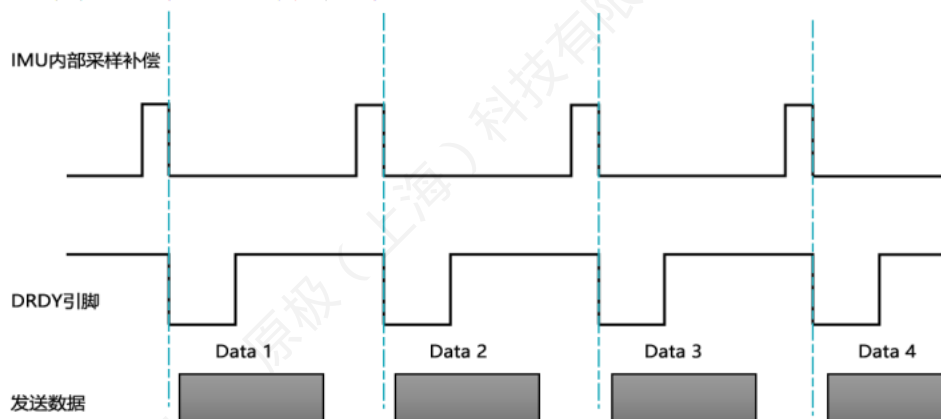
主机与 IMU 连接后，可以通过检测 DRDY 提供的来自 IMU 内部的时钟同步信号来确定数据准备就绪的确切时刻，并在此时刻添加时间戳并解析数据。这意味着每当 DRDY 信号变化时，主机就知道数据已经准备好，并可以记录此时的时间作为该数据的时间戳。

8.2.2 DRDY 信号

DRDY 引脚输出有两个目的：

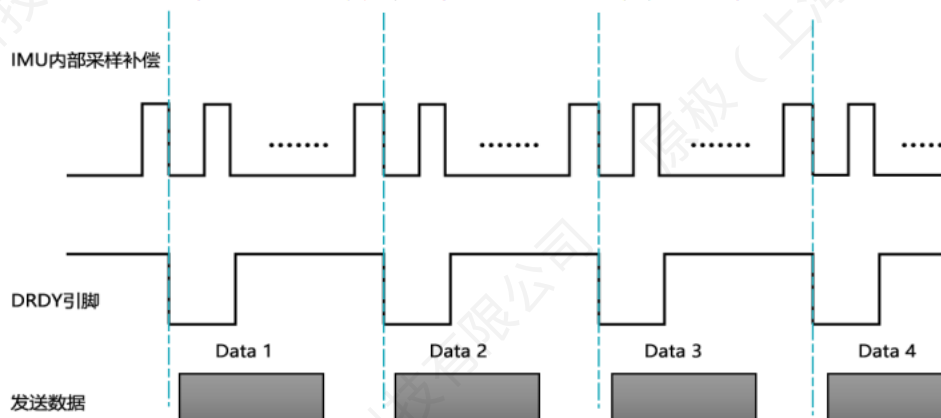
1. 提供来自 IMU 内部的时钟同步信号；
2. 提供信号表示开始传送数据帧。

图 21 内部采样频率与串口输出频率一致



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。

图 22 串口输出频率小于 IMU 内部采样频率



9. 常用 AT 指令

9.1.1 停止当前数据流输出

指令：AT+SETNO\r\n

应答：OK\r\n

可以停掉当前数据流（不改数据流参数），应答 OK 后表示可以进行下一步操作。

如果未响应，可以继续发送 AT+SETNO\r\n 命令直到应答 OK。

9.1.2 查询版本号

指令：AT+VERSION\r\n

应答：SW_VERSION	固件版本
HW_VERSION	硬件版本
BOARD_VERSION	底板版本

9.1.3 查询用户参数

指令：AT+CONFIG\r\n

应答：BAUD_RATE	当前串口波特率
ORIENT	当前坐标系
IMU_ODR	当前 IMU 的输出频率
STREAM_MODE1	当前串口 1 的数据流模式
STREAM_MODE2	当前串口 2 的数据流模式
STREAM_MODE3	当前串口 3 的数据流模式
LP_CONFIG_REG	当前 IMU 的滤波

9.1.4 设置和查询 ODR

例：设置输出频率 ODR 为 50hz

指令：AT+SET_ODR=50

应答：IMU_ODR:50

查询 IMU 的 ODR

指令：AT+GET_ODR

应答：IMU_ODR:

9.1.5 设置和查询坐标系

例：设置 IMU 坐标系为右前上

指令：AT+SET_ORIENT=101\r\n

应答：orientation:101

查询 IMU 当前坐标系

指令：AT+GET_ORIENT\r\n

应答：orientation:

9.1.6 设置和查询波特率

例：设置 IMU 的波特率为 115200

指令：AT+SET_BAUD=115200\r\n

应答：OK

查询 IMU 当前波特率

指令：AT+GET_BAUD\r\n

应答：BAUD_RATE:

9.1.7 设置和查询滤波器

例：设置 IMU 的滤波为 20hz

指令：AT+SET_LPF=20\r\n

应答：LP_CONFIG_REG:20

查询 IMU 当前滤波

指令：AT+GET_LPF\r\n

应答：LP_CONFIG_REG:

9.1.8 保存参数

指令：AT+SAVE\r\n

应答：OK

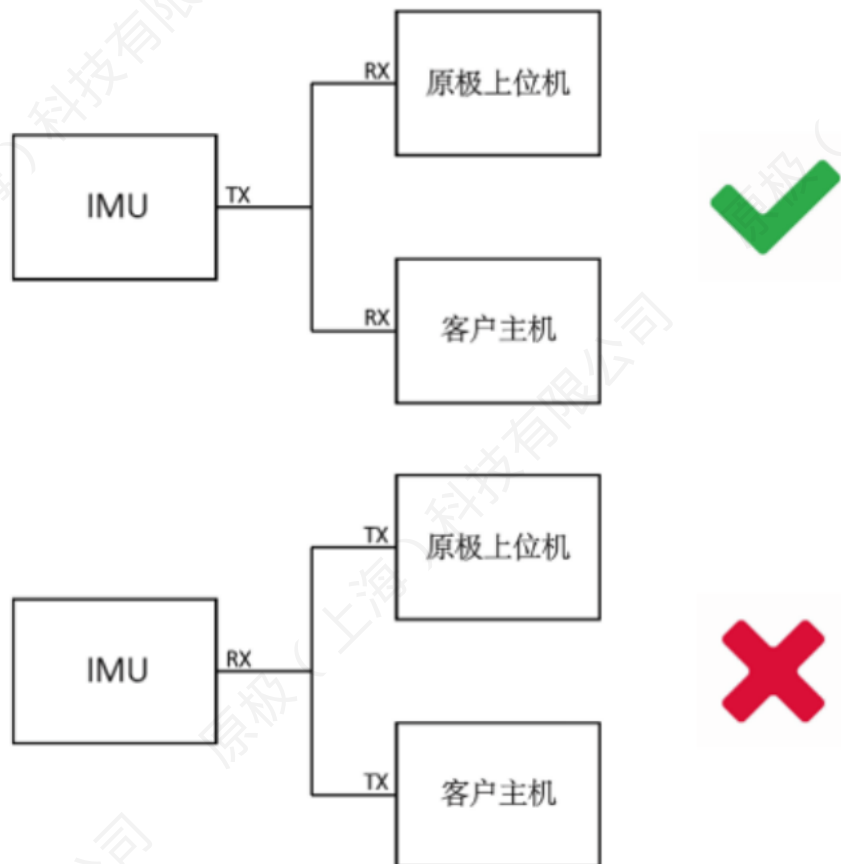
9.2 串口连接常见问题

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 9 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，推荐使用 FT232 芯片的串口线，CH340、PL2303 数据线在高波特率时 (>115200bps) 会丢包

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

如果是 FT232 数据线，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。

10. 后处理使用注意事项

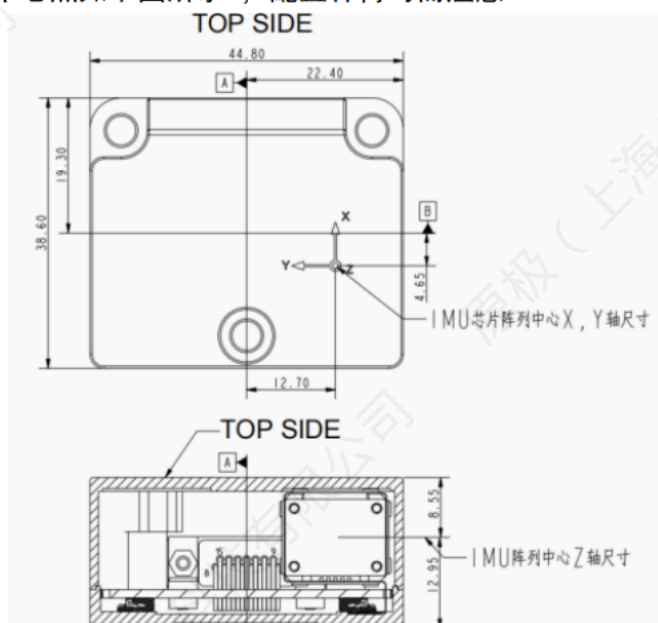
1、确认滤波器是否都为 no filter（截图留存），更新率一般设置为 500hz，可通过上位机确认，也可通过命令查询，具体命令参考 7.6 命令模式 SET 指令或 7.10 章节常用 AT 指令



2、P8 数据输出有 7.2ms 延时，使用 DRDY 信号打时间戳时需要减去，

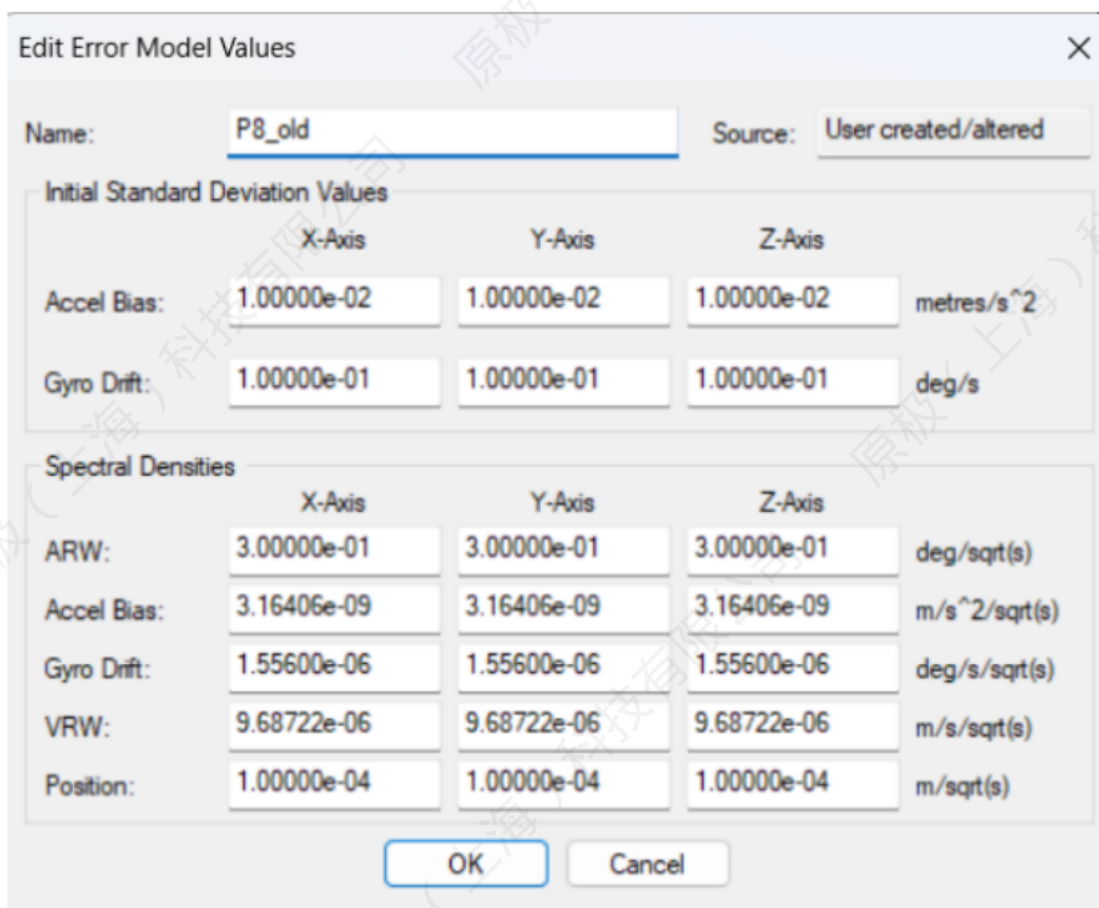
3、杆臂配置

注意 P8 IMU 的物理中心点如下图所示，配置杆臂时需注意



4、数据处理方面

① 使用如下的 P8 参数



Edit Error Model Values

Name: P8_old Source: User created/alterd

Initial Standard Deviation Values

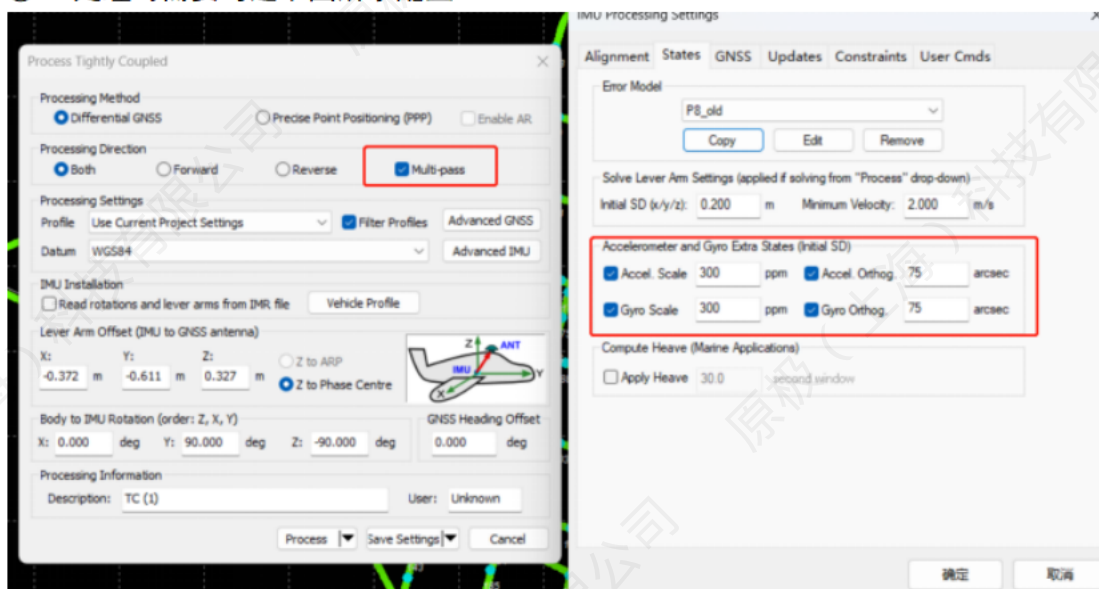
	X-Axis	Y-Axis	Z-Axis	
Accel Bias:	1.00000e-02	1.00000e-02	1.00000e-02	metres/s ²
Gyro Drift:	1.00000e-01	1.00000e-01	1.00000e-01	deg/s

Spectral Densities

	X-Axis	Y-Axis	Z-Axis	
ARW:	3.00000e-01	3.00000e-01	3.00000e-01	deg/sqrt(s)
Accel Bias:	3.16406e-09	3.16406e-09	3.16406e-09	m/s ² /sqrt(s)
Gyro Drift:	1.55600e-06	1.55600e-06	1.55600e-06	deg/s/sqrt(s)
VRW:	9.68722e-06	9.68722e-06	9.68722e-06	m/s/sqrt(s)
Position:	1.00000e-04	1.00000e-04	1.00000e-04	m/sqrt(s)

OK Cancel

② IE 处理时需要勾选下图所示配置



Process Tightly Coupled

Processing Method: ☒ Differential GNSS ☐ Precise Point Positioning (PPP) ☐ Enable AR

Processing Direction: ☒ Both ☐ Forward ☐ Reverse ☒ Multi-pass

Processing Settings: ☐ Use Current Project Settings ☒ Filter Profiles ☐ Advanced GNSS

Datum: WGS84 ☐ Advanced IMU

IMU Installation: ☐ Read rotations and lever arms from IMR file ☐ Vehicle Profile

Lever Arm Offset (IMU to GNSS antenna):
 X: -0.372 m Y: -0.611 m Z: 0.327 m ☐ Z to ARP ☒ Z to Phase Centre

Body to IMU Rotation (order: Z, X, Y):
 X: 0.000 deg Y: 90.000 deg Z: -90.000 deg GNSS Heading Offset: 0.000 deg

Processing Information:
 Description: TC (1) User: Unknown

Process Save Settings Cancel

IMU processing settings

Alignment States GNSS Updates Constraints User Cmds

Error Model: P8_old Copy Edit Remove

Solve Lever Arm Settings (applied if solving from "Process" drop-down):
 Initial SD (x/y/z): 0.200 m Minimum Velocity: 2.000 m/s

Accelerometer and Gyro Extra States (Initial SD):
☒ Accel. Scale 300 ppm ☒ Accel. Orthog. 75 arcsec
☒ Gyro Scale 300 ppm ☒ Gyro Orthog. 75 arcsec

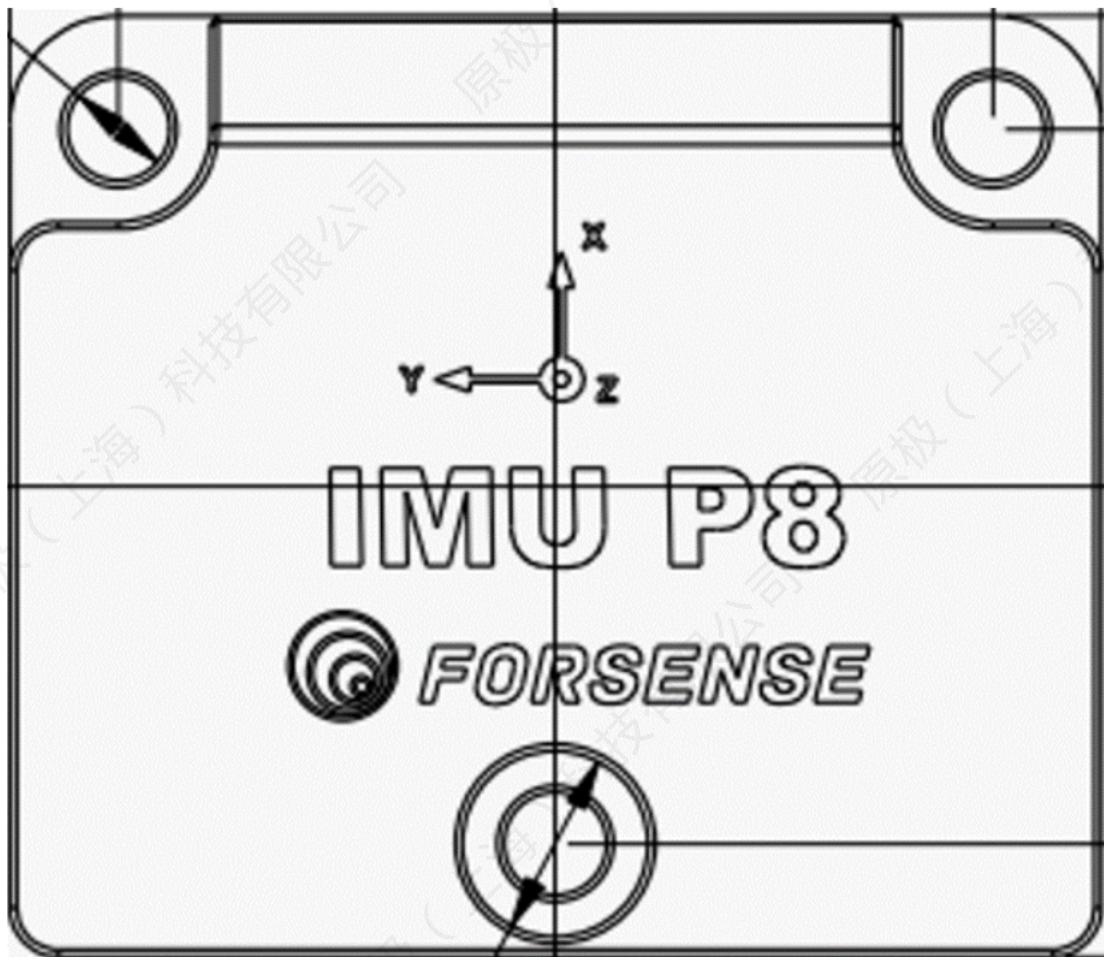
Compute Heave (Marine Applications):
☐ Apply Heave 30.0 second window

确定 取消

5、推荐飞行方式

起飞前静止、前后绕八、降落到地面后有静止

11. 坐标系定义



本产品坐标系使用 右-前-上 (FRD) 坐标系。

12. 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

```
C
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, 0xc8d77180, 0xbfd06116, 0x21b4f4b5,
0x56b3c423,
0xcfba9599, 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,
```


0xfb44c65,
 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,
0x616bffd3, 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,
}

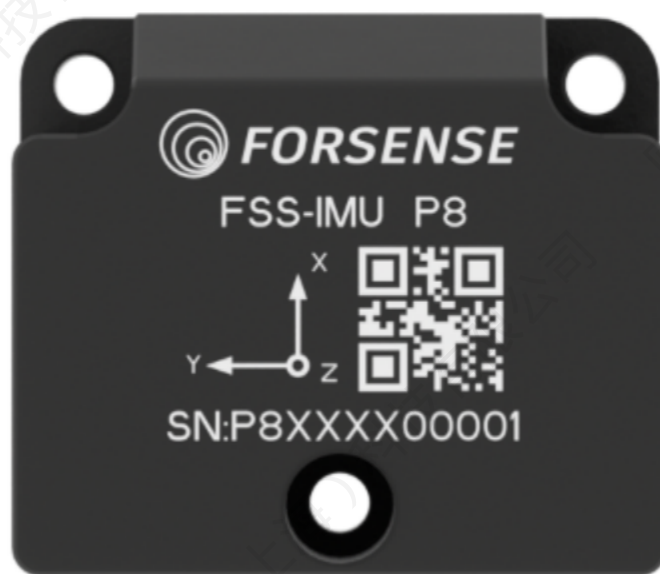
uint32_t crc_crc32 (uint32_t crc, const uint8_t *buf, uint32_t
size) {
for (uint32_t i=0; i<size; i++) {
crc = crc32_tab [ (crc ^ buf [i] ) & 0xff] ^ (crc >> 8 );
}
return crc;
}
    
```

13. 使用示例

13.1 设备安装

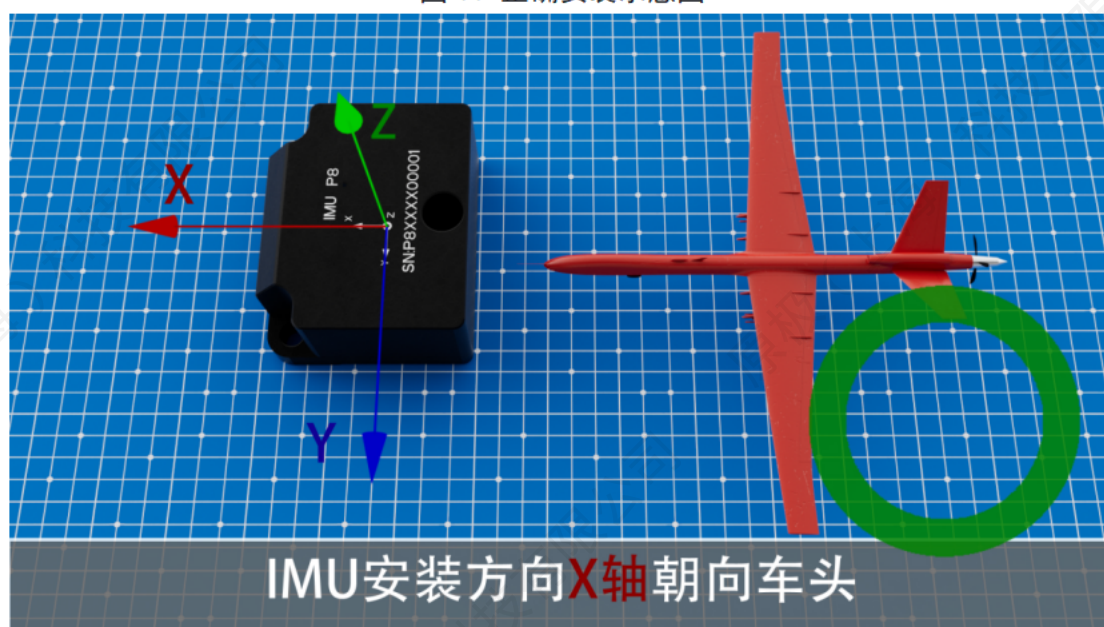
1. 模块应牢靠固定在刚性平面上，避免安装在震动大的位置。
2. 模块安装朝向应与车头方向保持一致。

图 10 模块安装示意图

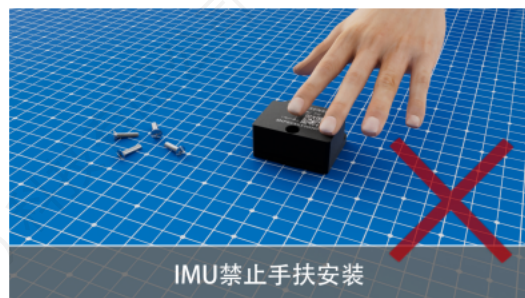
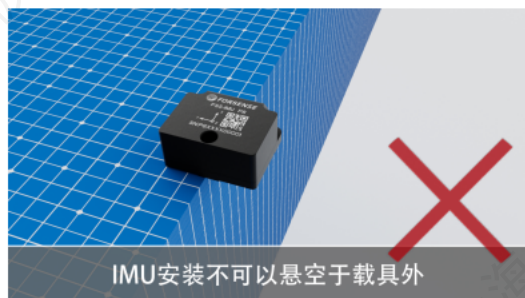
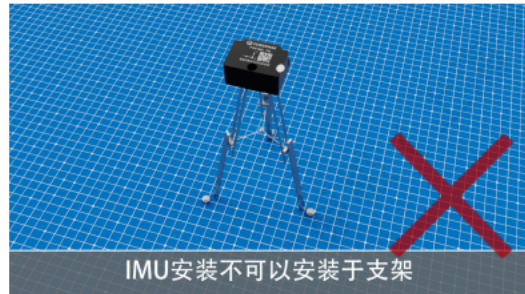
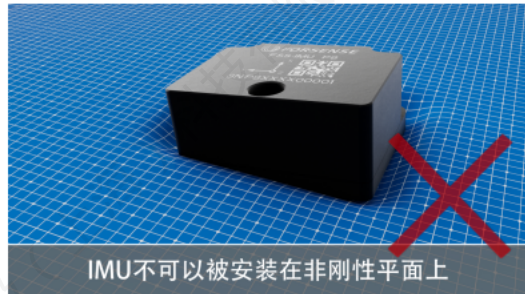
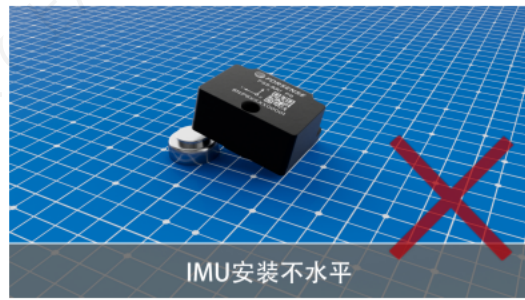
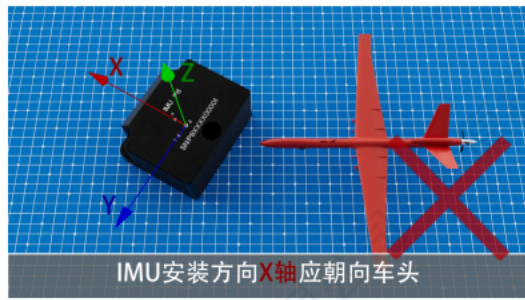


正确安装示意图如下
X 轴朝向车头

图 11 正确安装示意图



以下安装方式均是错误安装



14. 选配附件



422 与 P8 信号转接线

422 串口线（发货配送线束带 5V 供电）

15. 更新记录

版本	日期	状态/注释
版本 1.0	2023.08.30	首次发行
版本 1.1	2023.10.07	更新坐标系定义
版本 1.2	2023.12.14	增加附件
版本 1.3	2024.03.26	增加常用 AT 指令
版本 1.4	2024.05.14	增加后处理使用注意事项
版本 1.5	2024.06.26	增加时间同步功能章节
版本 1.6	2024.08.01	调整内容结构
版本 1.7	2024.09.19	增加时间同步步骤