



* 提供 ROS1/2 驱动。

GMU761 惯性测量传感器模块

产品说明书

V1.9-20260826

技术亮点

- ❖ IMU/VRU/AHRS 功能；
- ❖ 高动态姿态解算；
- ❖ TTL 输出；
- ❖ 3.3VDC 供电；
- ❖ 灵活通信与配置。



产品介绍

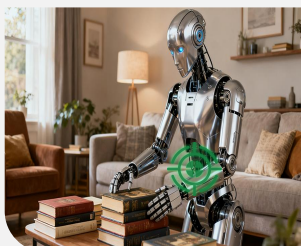
GMU761 是一款基于 MEMS 技术自主研发的惯性测量模块，集成 IMU（惯性测量单元）、VRU（垂直参考单元）和 AHRS（姿态与航向参考系统）功能于一体。模块采用自适应扩展卡尔曼滤波算法，结合 IMU 噪声动态分析与载体运动状态识别技术，能够在高动态环境下实现高精度姿态输出，并有效抑制航向角漂移。

每一模块在出厂前均经过全面的误差补偿，涵盖温度影响、零偏、比例因子及交叉轴误差等多项校准，确保其在各类复杂工况下的稳定性和可靠性。

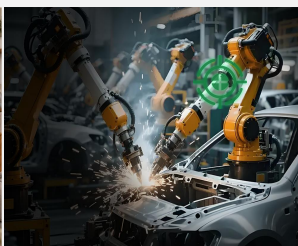
GMU761 支持 UART 和 CAN 接口通信，并提供灵活的用户配置选项。若使用 CAN 接口，用户需在外部集成 CAN 收发器电路。该模块专为对可靠性与环境适应性有较高要求的工业应用场景而设计。

应用范围

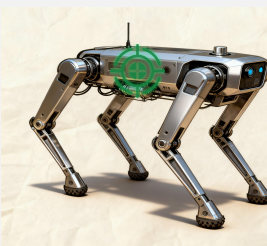
人形机器人平衡稳定



工业机器人精准测控



四足机器人平稳测控



具身机器人稳定监测



 性能参数

GMU761			条件	参数
姿态角	横滚角	精度	1 σ RMS	0.15°
		量程	-	±180°
	俯仰角	精度	1 σ RMS	0.15°
		量程	-	±90°
	无参考航向角	精度	1 σ RMS	0.2°
		量程	-	±180°
	磁参考航向角	精度	1 σ RMS	2.5°
		量程	-	±180°
	角度分辨率		-	0.001°
陀螺仪	量程		-	±2000°/s
	非线性度		-	±0.05%FS
	噪声密度		-	0.015°/s/√Hz
	零偏不稳定性		@25°C, ALLAN 方差, 1 σ	3°/hr
	带宽 (-3dB)		-	50Hz
	零点偏移		1 σ RMS	±0.5°/s
	零点温漂		1 σ RMS, -40~85°C	±1°/s
加速度计	量程		-	±16g
	非线性度		-	±0.1%FS
	噪声密度		-	100 μ g/√Hz
	零偏不稳定性		@25, ALLAN 方差, 1 σ	0.03mg
	带宽 (-3dB)		-	50Hz
	零点偏移		1 σ RMS	±20mg
	零点温漂		1 σ RMS, -40~85°C	±10mg
磁传感器	量程		-	±30Gauss
	非线性度		FS = ±32G	±0.5%FS
	分辨率		LBS	1mG
	噪声		RMS	2mGauss
电气连接	输入电压		-	2.8-5.5VDC
	功耗		-	<160mW
	通信接口		-	UART
	输出频率		最高 1KHz	1-1KHz
环境指标	工作温度		-	-40~85°C
	存储温度		相对湿度 ≤ 65%	-45~85°C
	抗冲击性		-	500g
	尺寸		-	12.1X12.1x3.2mm

	重量	-	≤5g
--	----	---	-----

空间坐标系

载体系使用右-前-上(RFU)坐标系，地理坐系使用东-北-天(ENU)坐标系。加速度和陀螺仪轴向如右图所示:

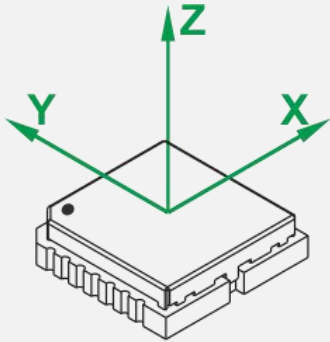
欧拉角旋转顺序为东-北-天-312(先转 Z 轴，再转 X 轴，最后转 Y 轴)旋转顺序。具体定义如下:

绕 Z 轴方向旋转:航向角\Yaw\psi 范围:-180°-180°

绕 X 轴方向旋转:俯仰角\Pitch\theta 范围:-90°-90°

绕 Y 轴方向旋转: 横滚角\Roll\phi 范围:-180°-180°

如果将模块视为飞行器的话。Y 轴正方向应视为机头方向。当传感器系与惯性系重合时，欧拉角的理想输出为:Pitch=0°,Roll=0°,Yaw = 0°

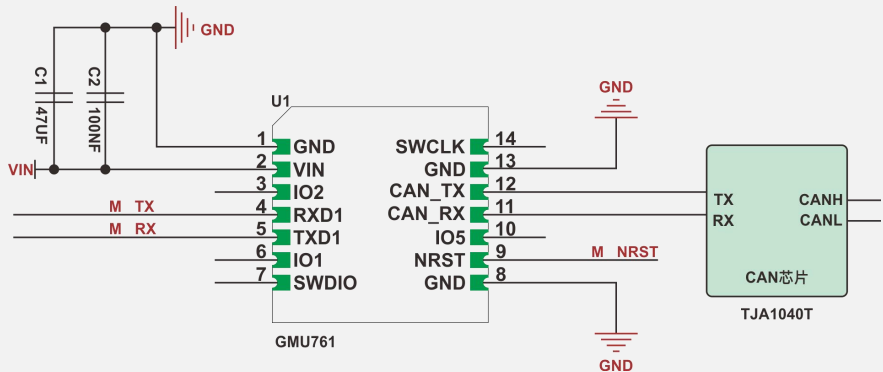


引脚定义

引脚序号	引脚名称	引脚描述	备注
1	GND	电源地	-
2	VIN	电源输入 2.8-5.5V	-
3	IO2	SYNC_OUT 同步输出引脚	-
4	RXD1	模块 UART1 接收	-
5	TXD1	模块 UART1 发送	-
6	IO1	SYNC_IN 同步输入引脚(上升沿)	-
7	SWDIO	SWDIO 功能脚	厂家使用
8	GND	电源地	-
9	NRST	复位引脚，低电平复位模块。无需外接阻容，建议连接主机的 GPIO，也可悬空。	-
10	IO5	LED 驱动脚	-
11	CAN_RX	(保留)	CAN 芯片需兼容 TTL3.3V 电平
12	CAN_TX	(保留)	
13	GND	电源地	-
14	SWCLK	SWCLK 功能脚	厂家使用

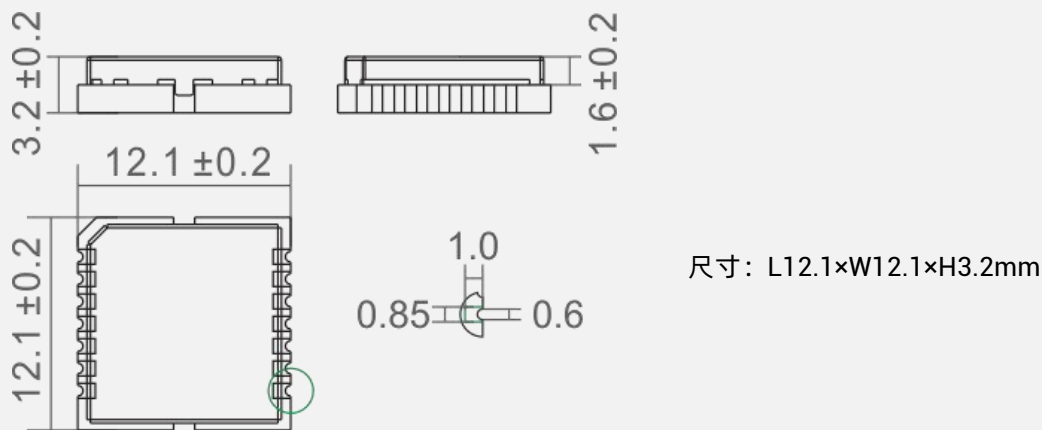
注意 1: 上述 IO 口，TTL3.3V 电平输出，兼容 5V 耐压，驱动电流（输入输出电流）：5mA，负载过大容易损坏 IO 口。

推荐电路



M_TX: 为主机写出，
M_RX: 为主机读入，
M_NRST:为主机 IO 口。

产品尺寸



磁场空间多点校准方法

校准要求： 1) 测试本产品精度达不到要求；
2) 本产品安装环境有磁场干扰，这种干扰是固定的，并且这个干扰磁场与本产品安装之后不会再发生距离变化（例：本产品安装在一个铁材料之上，因为铁会有磁场干扰，这时就需要把铁与本产品一起旋转校准，并且这个铁在使用当中是不会和本产品再分开的，一旦分开是需要再重新校准。如果这个铁大小是不固定的，或与本产品的距离变化也不是固定的，这种干扰是无法校准，只能避而远之安装，安全距离控制在 40CM 以上）。

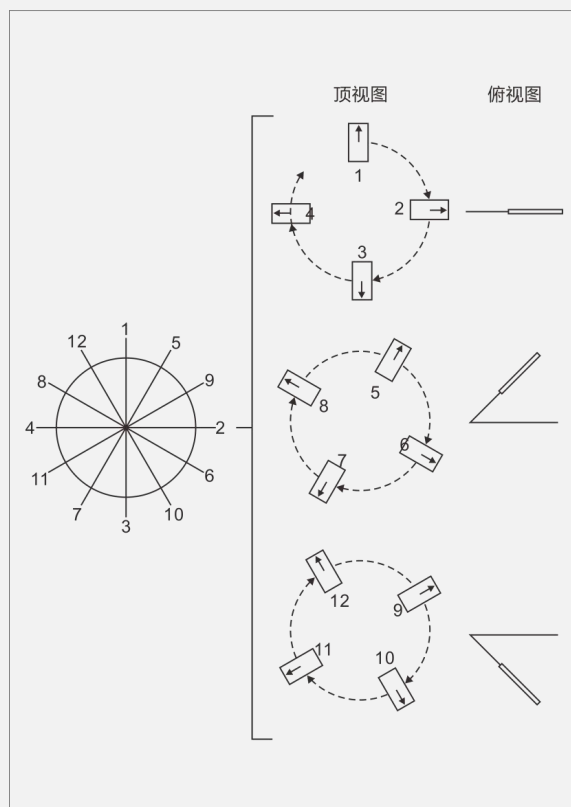
用户使用本产品时，需将本产品安装在设备上校准，而这些设备可能存在的铁磁性物体干扰，影响方位精度，其中包括铁质螺丝钉、电池、扬声器、电机等。因此将本产品安装到用户设备上之后，还需要重新校准，从而消除这些磁干扰对本产品方位角的影响。此外，如果安装本产品的设备上磁场环境发生较大改变时，比如手持式设备更换电池、电池重新安装、船舶或飞机进行大修时更换了一些铁磁性物体的部件，以及在大型设备上安装本产品的位置附近增加或减少了铁磁性的物体等，发生这些磁场环境改变的情况时，均应重新校准。

本产品提供磁场空间多点校准和空间 3 圈旋转方法。校准方法对开展校准的环境要求为：开展校准区域磁场环境均匀、稳定。一般而言，选择野外开阔空间，周围 50 米以内没有大的磁干扰物体，比如电梯、发电机、汽车、钢筋混凝土等，均满足校准所需条件。需要注意的是，校准操作人员不应携带手机、钥匙、腰带等可能引入磁干扰的物体。将本产品摆放不同姿态采集数据时，应保持本产品姿态稳定，尽量避免引入抖动、晃动，从而影响数据采集的精度，导致校准效果不佳。校准时需要将本产品固定安装在最终应用的用户设备上相应校准，这样才能将用户设备上存在的磁干扰进行有效修正，从而提高本产品方位角测角精度，最大限度的发挥出本产品应有的性能。

磁场空间多点校准方法：磁场空间多点校准方法可对用户设备上存在的磁干扰进行有效修正，校准完成后，可保证各种大倾斜状态下本产品方位角精度。
本产品安装在小型设备上使用时，如果开展校准时，有配套的无磁三脚架可以使用，可以采用磁场空间多点校准方法进行校准，一般建议采用磁场空间 12 点校准方法，用户也可以根据实际情况增加采样点数。磁场空间 12 点校准方法姿态摆放示意图如下图所示，各种姿态的摆放要分

别介绍如右图：

姿态 1：使本产品方位角指向 0° ，俯仰角 0° ，横滚角 0° ；
 姿态 2：使本产品方位角指向 90° ，俯仰角 0° ，横滚角 0° ；
 姿态 3：使本产品方位角指向 180° ，俯仰角 0° ，横滚角 0° ；
 姿态 4：使本产品方位角指向 270° ，俯仰角 0° ，横滚角 0° ；
 姿态 5：使本产品方位角指向 30° ，俯仰角 45° ，横滚角 0° ；
 姿态 6：使本产品方位角指向 120° ，俯仰角 45° ，横滚角 0° ；
 姿态 7：使本产品方位角指向 210° ，俯仰角 45° ，横滚角 0° ；
 姿态 8：使本产品方位角指向 300° ，俯仰角 45° ，横滚角 0° ；
 姿态 9：使本产品方位角指向 60° ，俯仰角 -45° ，横滚角 0° ；
 姿态 10：使本产品方位角指向 150° ，俯仰角 -45° ，横滚角 0° ；
 姿态 11：使本产品方位角指向 240° ，俯仰角 -45° ，横滚角 0° ；
 姿态 12：使本产品方位角指向 330° ，俯仰角 -45° ，横滚角 0° 。
 以上介绍中所述的方位角不是指绝对的方位角，而是相对的角度，例如摆放姿态 1 时，本产品方位角可指向任意角度，比如 42° ，但在摆放姿态 2 时，本产品方位角就需要摆放为 132° 左右，以此类推，而俯仰角和横滚角是指绝对的角度，但在摆放姿态时，对方位角、俯仰角、横滚角摆放精度的要求不时是特别严格，各个角度误差在 $\pm 5^\circ$ 以内均可接受。



校准开始发送：CONFIG PCAL START，回复 OK 后按以上 12 点位置分别发“CONFIG PCAL SAMPLE”进行采点。

传感器回复：

RX: STAT=1

RX: P_POINT=1

RX: OK

.....

RX: STAT=1

RX: P_POINT=12

RX: OK

再发送：CONFIG PCAL STOP 停止，再发送：CONFIG PCAL SAVE 保存。

磁场空间 3 圈旋转校准方法：磁场空间 3 圈旋转校准方法可对用户设备上存在的磁干扰进行有效修正，校准完成后，可保证各种大倾斜状态下本产品方位角精度，具体方法如下：先水平旋转一圈，俯仰角保持在 $+30^\circ \sim +60^\circ$ 度旋转一圈，俯仰角保持在 $-30^\circ \sim -60^\circ$ 度旋转一圈，通过自动采点完成校准，本产品旋转的角速度在 $10 \sim 25$ 度/秒为宜，不宜过快，自动采点点数大于 20 个为宜，点数越多越好，最大点数为 24 个。

 磁力计空间 3 圈旋转校准方法

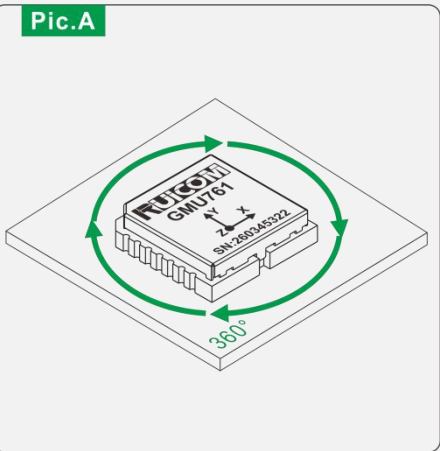
校准前提： 1) 测试本产品精度达不到要求；
2) 本产品安装环境有磁场干扰，这种干扰是固定的，并且这个干扰磁场与本产品安装之后不会再发生距离变化（例：本产品安装在铁材料上，因为铁会有磁场干扰，这时就需要把铁与本产品一起旋转校准，并且在使用当中铁和本产品不能分开，分开需要重新校准。如果这个铁大小是不固定的，或与本产品的距离变化也不是固定的，这种干扰是无法校准，尽量远离安装，安全距离控制在 30cm 以上）。

- 1) 将本产品正确连接到信号输出接口，打开电源。
- 2) 用ASCII格式发送校准开始命令：“CONFIG MCAL START”（点击**开始**按钮），在此期间不响应指令。
- 3) 上位机校准取完24个校准点同时本产品旋转三圈完成，**水平、PITCH+45°、PITCH-45°**各一圈，（可多转，不能少转，需确保旋转三圈完成的同时，上位机自动取点显示点数达到24点）共三圈旋转完毕，发送停止校准命令：“CONFIG MCAL STOP”（点击**停止**按钮），此时本产品停顿约1秒，内部CPU自动计算所取样的数据并返回一组数据。
- 4) 保存校准命令：发送指令“CONFIG MCAL SAVE”（点击**保存**按钮），本产品有返回应答命令，保存成功“OK”则可正常工作，如果返回不成功信息，用户重新校准步骤。

*当校正时，如果磁场干扰源的距离与本产品本身发生变化，精度会改变。

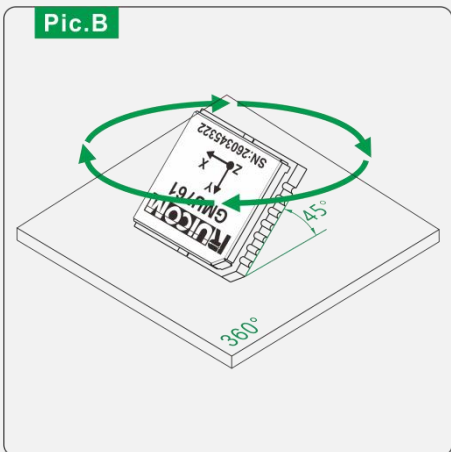
磁力计空间 3 圈旋转校准模式：

将产品正确连接通讯口，打开电源。

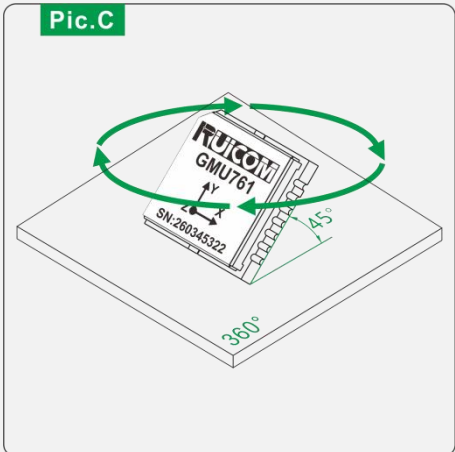


- 1) 水平匀速旋转一圈：如图 A
发送开始校准命令
TX: CONFIG MCAL START
传感器回复
RX: OK
则开始旋转
水平匀速旋转 1 圈以上

- 2) PITCH+45°匀速旋转一圈：如图 B



- 3) PITCH-45°匀速旋转一圈：如图 C



在旋转采集过程中，本产品会回复旋转采集和 24 点，采集点数，

24 点采点回复指令：

```
RX: STAT=1
RX: M_POINT=1
RX: OK
RX: STAT=1
RX: M_POINT=2
RX: OK
RX: STAT=1
RX: M_POINT=3
RX: OK
RX: STAT=1
RX: M_POINT=4
RX: OK
```

```
.....
RX: STAT=1
RX: M_POINT=24
RX:OK
```

校准必须采集满 20 点，并同时旋转完成。水平一圈，PITCH+45°一圈，PITCH-45°一圈，后点击停止。

发送停止指令“CONFIG MCAL STOP”，此时本产品顿约 1 秒，内部 CPU 自动计算所取样的数据并返回“OK”，

保存校准命令：发送指令“CONFIG MCAL SAVE”（点击保存按钮）。

输出协议

出厂默认参数：

波特率：115200bps

输出频率：100Hz

安装方向：水平安装

应用类型：VRU 模式（机器人或农用机械）

1. 模块配置简述

在使用产品前，请仔细阅读本章节，结合实际使用需求，判断是否需要进行用户配置。

1.1 工作模式配置 - AHRS/9 轴模式

***警告：**在机器人应用及室内环境中，AHRS（9 轴）模式容易受到环境磁场或电机产生磁场干扰，导致航向角产生误差。

在空旷且无磁场干扰的环境下（如无人机户外飞行场景），可使用地磁辅助模式。使用前需要：

- ① 将模块配置为地磁辅助模式；
- ② 进行地磁校准（详见“地磁校准”章节）。

1.2 同步输入 - SYNC_IN

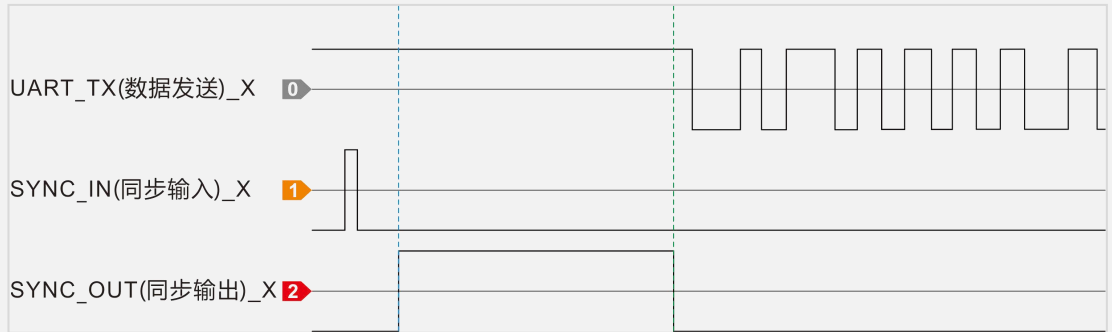
模块的数据同步同步依赖于 SYNC_IN 引脚，主要的数据同步分：

● SYNC_IN 同步数据触发

1.2.1 SYNC_IN 同步数据触发

产品配备同步输入引脚（SYNC_IN），用于 IMU 数据同步，不使用时建议悬空或接地。工作原理：当输出协议配置为 ONMARK 触发模式时（详见 LOG 指令），模块将在 SYNC_IN 引脚检测到上升沿后输出一帧数据。

应用场景：主要用于接收主控产生的高精度方波脉冲，以触发高频同步 IMU 数据。

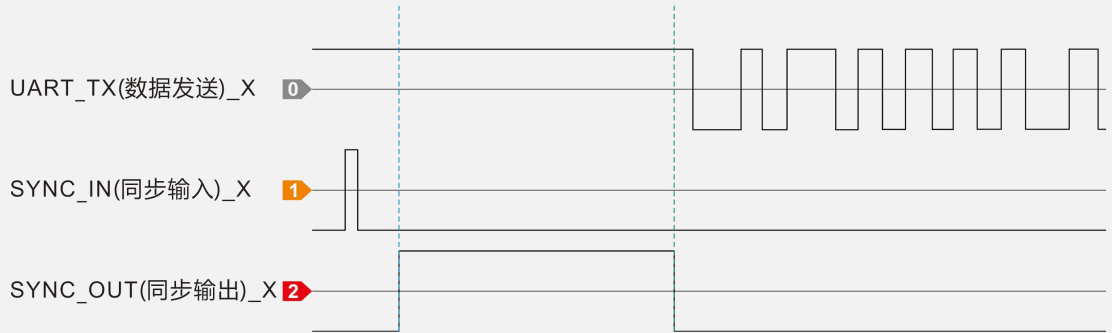


1.2.2 SYNC_IN 引脚输入信号要求:

- 周期：1mS~1S;
- 触发方式：上升沿;
- 脉宽：20uS~100 ms;
- 电平：高电平≤5V（TTL/CMOS 兼容）。

1.3 同步输出 - SOUT

这是模块的一个输出引脚，无数据输出时为低电平（空闲），当一帧数据开始发送前会发送一个高脉冲，高脉冲结束（下降沿）后紧接数据输出，脉冲宽度为 10-25uS。



2. 模块配置命令（ASCII）

模块配置采用串口 ASCII 字符串命令格式，**每条命令必须以回车换行 \r\n 结束**。所有配置指令需要在复位或重新上电后才能生效。

2.1 配置命令总览

指令	功能	备注
REBOOT	复位模块	对模块进行软件复位
SAVECONFIG	保存所有配置参数	立即生效
SERIALCONFIG	串口波特率设置	立即生效
CONFIG	配置模块各种参数及模式	保存后，复位生效
LOG	查询模块信息或配置输出数据	立即生效
FRESET	恢复出厂设置	立即生效

2.2 指令详解

2.2.1 REBOOT

复位模块。

示例： REBOOT

2.2.2 SAVECONFIG

保存所有用户配置到 Flash。

示例： SAVECONFIG

2.2.3 SERIALCONFIG

设置当前串口波特率，格式: SERIALCONFIG <BAUD>。

参数说明: 支持波特率: 9600, 115200, 230400, 256000, 460800, 921600。

示例: SERIALCONFIG 115200 - 设置当前串口为 115200 波特率

***重要提示**

该指令立即生效，当执行该指令后，需要切换到新波特率才能和模块继续通讯。

2.2.4 CONFIG

用于配置模块各种参数及工作模式，所有配置需执行 SAVECONFIG 保存并复位后生效。

2.2.4.1 工作模式配置

工作模式配置: 6 轴或 9 轴（地磁辅助）模式，格式： CONFIG ATT MODE <VAL> 。

VAL 值	工作模式	备注
0	VRU	航向角上电为 0，陀螺融合航向角。
1	AHRS	航向角为磁航向角。
VAL 值	应用类型	备注
2	工程机械挖机应用	用于测试挖机臂角度
3	工程机械塔吊应用	
4	工程机械碎石打桩应用	
5	车载及 AGV 应用	
6	矿车应用	
7	船载应用	
8	风机应用	
9	机器人或农用机械	
10	小型快艇应用	
11	穿戴应用	

注：0, 1 为工作模式；2-10 为应用类型；工作模式与应用类型是独立的。

示例:

- CONFIG ATT MODE 0 - 配置模块为 VRU（6 轴）模式。
- CONFIG ATT MODE 1 - 配置模块为 AHRS（9 轴）模式。
- CONFIG ATT MODE 9 - 机器人或农用机械工作模式。

2.2.4.2 姿态用户校准

用于设置相对姿态角度，格式： CONFIG ATT RST <VAL> 。执行该命令时，模块必须保持静止，否则可能造成较大校准误差。

示例:

- CONFIG ATT RST 1 - 航向复位：重置航向角为 0（对于 VRU 模式航向角清零）。
- CONFIG ATT RST 2 - 设置相对零点: 将当前 Pitch、Roll 角度设置为零。
- CONFIG ATT RST 5 - 取消相对零点: 将当前 Pitch、Roll 角度设置为绝对零点。

2.2.4.3 坐标系旋转（垂直安装）

用于修改模块的安装方式，如设置垂直安装等，设置后请保存配置，复位后生效。不需要每次上电都发送该指令。

格式: CONFIG IMU URFR <C00, C01, C02, C10, C11, C12, C20, C21, C22>

常用旋转配置示例:

序号	安装方式	配置命令	说明
0	水平，Z 轴朝上安装（默认值）	CONFIG IMU URFR	出厂默认
		1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1	
1	绕 X 轴旋转 -90° (Y 轴正方向朝下的垂直安装)	CONFIG IMU URFR	常用于 IMU 垂直安装
		1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, -1, 0	
2	绕 X 轴旋转 90° (Y 轴正方向朝上的垂直安装)	CONFIG IMU URFR	常用于 IMU 垂直安装
		1, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 1, 0	
3	绕 Y 轴旋转 90° (X 轴正方向朝上的垂直安装)	CONFIG IMU URFR	常用于 IMU 垂直安装
		0, 0, -1, 0, 1, 0, 1, 0, 0	
4	绕 Y 轴旋转 -90° (X 轴正方向朝下垂直安装)	CONFIG IMU URFR	常用于 IMU 垂直安装
		0, 0, 1, 0, 1, 0, -1, 0, 0	
5	绕 X 轴旋转 180°	CONFIG IMU URFR	常用于 IMU 倒装
		1, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, -1	
6	绕 Y 轴旋转 180°	CONFIG IMU URFR	常用于 IMU 倒装
		-1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, -1	
7	绕 Z 轴旋转 90° (组合导航, -X 朝前安装)	CONFIG IMU URFR	常用于组合导航
		0, -1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1	
8	绕 Z 轴旋转 -90° (组合导航, +X 朝前安装)	CONFIG IMU URFR	常用于组合导航
		0, 1, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 1	
9	绕 Z 轴旋转 180° (组合导航, -Y 朝前安装)	CONFIG IMU URFR	常用于组合导航
		-1, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 1	

其中变换矩阵:

变换矩阵: $\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_B = \begin{bmatrix} C00 & C01 & C02 \\ C10 & C11 & C12 \\ C20 & C21 & C22 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_U$

其中:

$$\begin{aligned} & \bullet \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_U \text{ 为旋转后的传感器坐标系下传感器数据} \\ & \bullet \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_B \text{ 为旋转前传感器坐标系下传感器数据} \end{aligned}$$

2.2.4.4 上电等待时间设置

- 1) CONFIG PWRUP MODE 0 - 用于设置上电等待时间为 0，上电即输出数据；
- 2) CONFIG PWRUP MODE 1 - 用于设置上电等待时间为 5 秒，上电静置 5 秒后输出数据，主要用于 AGV 等航向角控制要求高的应用，上电静止 5 秒以便陀螺能清除零偏。

2.2.4.5 陀螺零偏静态修正策略使能设置

- 1) CONFIG GBIAS AUTO ENABLE - 用于使能陀螺零偏静态修正策略，当 IMU 静置时将自动修正陀螺零偏。

- 2) CONFIG GBIAS AUTO DISABLE - 用于去能陀螺零偏静态修正策略。

即时有效，无掉电保存功能，如要掉电复位保存须执行保存设置指令。

注意：有时，如 AGV 应用在角速度很小的微调情况下，可进行陀螺零偏静态修正策略的使能与去能交替进行，以减少航向角的误差，如在微调或运行之前先去能，再进行微调或运行；在 AGV 停止时可使能陀螺零偏静态修正，此时可不执行保存设置指令 SAVECONFIG，以免频繁擦写 FLASH，损坏 IMU。

2.2.5 LOG

2.2.5.1 开/关闭数据输出

- LOG ENABLE - 全局使能数据帧输出
- LOG DISABLE - 全局禁止数据帧输出

2.2.5.2 模块版本信息

- LOG VERSION - 查询并打印固件版本信息

2.2.5.3 显示串口配置信息

- LOG COMCONFIG - 打印串口及输出协议配置信息

2.2.5.4 显示用户配置信息

- LOG USRCONFIG - 打印用户配置信息

RX: MODBUS_ID=0x50

RX: PROFILE=0

RX: URFR=1,0,0,0,1,0,0,0,1

RX: QOFS=1.00,0.00,0.00,0.00

RX: OK

2.2.5.5 设置数据帧输出类型及频率

格式: LOG <MSG> <TYPE> <VALUE>

参数说明:

- MSG: 数据帧种类，HI91，见“RS232/TTL/USB 数据协议”章节
- TYPE: ONTIME: 定时触发，ONMARK: SYNC_IN 引脚脉冲触发

- VALUE: 定时输出周期，单位为 s，可选值：0.001 (1 kHz) - 1 (1 Hz)

示例:

- LOG HI91 ONTIME 0.01 - 将当前串口的 HI91 数据包输出周期设置为 0.01s(100 Hz)
- LOG HI91 ONTIME 0.05 - 将当前串口的 HI91 数据包输出周期设置为 0.05s(20 Hz)
- LOG HI91 ONMARK 1 - 将当前串口的 HI91 数据包配置为 SYNC_IN 引脚脉冲触发模式
- LOG HI91 ONMARK ONCE - 指令手动触发一次数据输出，和 SYNC_IN 脉冲触发效果相同

*波特率注意事项

当输出帧率设置较高时（如 500 Hz），默认的 115200 波特率无法满足输出带宽要求，此时需要将模块波特率设高（比如 921600）后，模块才能正确的输出数据。

2.2.6 FRESET

恢复所有可配置参数至出厂默认状态，包括波特率等参数，立即生效，慎用。

示例 FRESET

2.2.7 地磁校准

地磁校准分另空间三圈多点校准（转三圈）和空间 12 点校准。

1) 空间三圈多点校准（转三圈）

A: 开始地磁校准: 命令格式 CONFIG MCAL START，发送该指令后，按以下方法转三圈。

示例:

TX: CONFIG MCAL START

RX: OK

B: 空间采点回复: 传感器会发送采点信息，发送如下:

RX: STAT=1

RX: M_POINT=1

RX: OK

.....

RX: STAT=1

RX: M_POINT=24

RX: OK

均匀的缓慢的旋转 3 圈可得到 20-24 个点，点数越多越好。

C: 停止地磁校准：命令格式 CONFIG MCAL STOP，发送该指令后，传感器计算校准参数。

示例:

TX: CONFIG MCAL STOP

RX: OK

D: 保存地磁校准: 命令格式 CONFIG MCAL SAVE，发送该指令后，传感器保存校准参数。

示例:

TX: CONFIG MCAL SAVE

RX: OK

E: 中止地磁校准: 命令格式 CONFIG MCAL ABANDON，如开始后觉得旋转过程中问题，发送该指令后，传感器中止校准。

示例:

TX: CONFIG MCAL ABANDON

RX: OK

2) 空间多点校准（默认 12 点）

A: 开始地磁校准: 命令格式 CONFIG PCAL START，发送该指令后，按以下方法采 12 个。

示例:

TX: CONFIG PCAL START

RX: OK

B: 地磁采样命令: 命令格式 CONFIG PCAL SAMPLE , 当位置就绪后保持静止, 发送该指令, 传感器回复采点数。

示例:

TX: CONFIG PCAL SAMPLE

RX: OK

传感器立即发送采点信息, 发送如下:

RX: STAT=1

RX: P_POINT=1

RX: OK

.....

TX: CONFIG PCAL SAMPLE

RX: OK

传感器立即发送采点信息, 发送如下:

RX: STAT=1

RX: P_POINT=12

RX: OK

C: 停止地磁校准: 命令格式 CONFIG PCAL STOP , 采满 12 个点时发送该指令后, 传感器计算校准参数。

示例:

TX: CONFIG PCAL STOP

RX: OK

D: 保存地磁校准: 命令格式 CONFIG PCAL SAVE , 发送该指令后, 传感器保存校准参数。

示例:

TX: CONFIG PCAL SAVE

RX: OK

E: 中止地磁校准: 命令格式 CONFIG PCAL ABANDON , 如开始后觉得校准过程中有问题, 发送该指令后, 传感器中止校准。

示例:

TX: CONFIG PCAL ABANDON

RX: OK

2.2.8 用户级陀螺零偏校准

该命令用于手动校准陀螺仪零偏, 校准期间陀螺仪保持静置, 时间 5 秒。可防止航向角漂移及提升航向角精度。

开始校准命令格式: CONFIG GBIASCAL START

示例:

TX: CONFIG GBIASCAL START

RX: OK

查询校准结果

TX: CONFIG GBIASCAL STAT

RX: GBIAS STAT=1; 1 表示进行中, 0 表示结束或未开始。

RX: OK

中止校准命令格式

在一些振动较大的工作环境下校准长时间无法完成, 可发此命令中止校准。

TX: CONFIG GBIASCAL ABANDON
RX: OK
保存校准结果格式
TX: CONFIG GBIASCAL SAVE
RX: OK

3. RS-232/TTL/USB 数据协议（二进制）

RS232/串口 TTL 以及 USB 接口（虚拟串口）都属于流式串行数据接口，这些接口都支持超核自定义二进制协议。

3.1 数据帧格式

域名称	值	长度（字节）	说明
SOF	5A A5	2	帧头同步标志
LEN	1-4096	2	帧中数据域的长度，LSB（低字节在前）长度表示数据域的长度（不包含帧头、帧类型、长度及 CRC）
CRC 校验	-	2	对帧头、长度和数据域进行 16 位 CRC 校验(不包含 CRC 字段本身)
数据域	-	1-4096	一帧携带的数据，由若干个子数据包组成。数据包包含数据包标签和数据两部分，标签决定了数据的类型及长度

3.2 出厂默认输出：浮点型 IMU 数据帧（HI91）数据包

3.3 数据域内容

3.3.1 浮点型 IMU 数据帧（HI91）

数据域共 76 字节，包含模块 ID、温度、IMU 的原始数据、地磁、气压、融合后的姿态数据等。

字节偏移	名称	数据类型	大小（Byte）	单位	比例因子	说明
0	tag	uint8_t	1	-	-	数据包标签：0x91
1	main_status	uint16_t	2	-	-	状态字，见 main_status 状态字说明
3	temperature	int8_t	1	°C	1	模块平均温度
4	air_pressure	float	4	Pa	1	气压
8	system_time	uint32_t	4	ms	1	该数据为本地时间戳：即从系统开机开始累加，每毫秒增加 1
12	acc_b	float	4×3	G	1	经过出厂校准后的加速度，顺序为：XYZ 轴 1G=1 倍标准重力加速度（约 9.8 m/s²）
24	gyr_b	float	4×3	deg/s	1	经过出厂校准后的角速度，顺序为：XYZ 轴
36	mag_b	float	4×3	μT	1	磁强度，顺序为：XYZ 轴
48	roll	float	4	deg	1	横滚角
52	pitch	float	4	deg	1	俯仰角
56	yaw	float	4	deg	1	航向角
60	quat	float	4×4	-	-	节点四元数集合，顺序为 WXYZ

3.3.2 MAIN_STATUS 状态字说明

位	名称	描述
0-2	保留	-
3	陀螺零偏静态修正	1: 陀螺零偏静态修正策略使能; 0: 陀螺零偏静态修正策略去能;
4	MAG_DIST	磁场异常检测报警: 1: 检测到当前环境磁场有干扰, 或磁传感器未进行校准, 或硬磁环境已经变化, 9 轴模式下航向角误差可能大 0: 当前地磁环境良好, 磁航向精度收敛, 或系统处于 6 轴模式
5-9	保留	-
10	MAG_AIDING	磁参与姿态解算标志: 1: 磁传感器正在参与航向计算(9 轴模式) 0: 磁传感器不参与航向计算(6 轴模式)
11	UTC_TIME	时间同步标志: 1: 未进行时间同步, 系统时间为本地时间 0: UTC 时间同步成功, system_time 域已对齐到 UTC 时间 (以一天内 ms 表示, 从午夜 0 时刻开始计时) 备注: 此位恒为 1.
12	SOUT_PULSE	SOUT 脉冲输出标志, 用于和低速传感器时间同步 : SOUT 脉冲输出 1: 当前数据帧为 SOUT 脉冲输出帧; 0: 当前数据帧没有 SOUT 脉冲输出; 备注: 目前此位恒为 1.
13-15	保留	-

3.3 CRC 校验

CRC 校验采用 CRC-16/CCITT 格式 , C 语言实现示例如下:

```
1  /*
2      currentCrc: previous crc value,   set 0 if it's first section
3      src: source stream data
4      lengthInBytes: length
5  */
6      static void crc16_update(uint16_t *currentCrc ,   const uint8_t *src ,   uint32_t
lengthInBytes)
7  {
8      uint32_t crc = *currentCrc;
9      uint32_t j;
10     for (j=0; j < lengthInBytes; ++j)
11     {
12         uint32_t i;
13         uint32_t byte = src[j];
14         crc ^= byte << 8;
15         for (i = 0; i < 8; ++i)
16         {
17             uint32_t temp = crc << 1;
18             if (crc & 0x8000)
19             {
20                 temp ^= 0x1021;
21             }
```

```

22         crc = temp;
23     }
24 }
25 *currentCrc = crc;
26 }

```

3.4 数据帧结构示例（以 HI91 为例）

使用串口助手采样一帧数据(HI91 数据帧), 共 82 字节, 前 6 字节为帧头、长度和 CRC 校验值, 剩余 76 字节为数据域。假设数据接收到 C 语言数组 buf 中, 如下所示:

```

1 5A A5 4C 00 14 BB 91 08 15 23 09 A2 C4 47 08 15 1C 00 CC E8 61 BE 9A 35 56 3E 65 EA
72 3F 31 D0 7C BD 75 DD C5 BB 6B D7 24 BC 89 88 FC 40 01 00 6A 41 AB 2A 70 C2 96 D4
50 41 ED 03 43 41 41 F4 F4 C2 CC CA F8 BE 73 6A 19 BE F0 00 1C 3D 8D 37 5C 3F

```

数据解析表:

字段名称	类型	原始值	解析值	描述
帧头	-	5A A5	-	帧头
数据域长度	-	4C 00	0x004C = 76	数据域长度=76 字节
CRC	-	14 BB	0xBB14	CRC 校验值
tag	-	91	0x91	0x91 数据包 (从此字段开始为 payload 数据域)
main_status	uint16_t	10 1C	0x1C10	状态字
temperature	int8_t	23	0x23=35	温度: °C
air_pressure	float	09 A2 C4 47	100676	气压, Pa
system_time	uint32_t	08 15 1C 00	0x001C1508=1840392	时间戳, ms
acc_b_x	float	CC E8 61 BE	-0.220615	加速度 X 轴, G
acc_b_y	float	9A 35 56 3E	0.209189	加速度 Y 轴, G
acc_b_z	float	65 EA 72 3F	0.948889	加速度 Z 轴, G
gyr_b_x	float	31 D0 7C BD	-0.061722	角速度 X 轴, deg/s
gyr_b_y	float	75 DD C5 BB	-0.00603836	角速度 Y 轴, deg/s
gyr_b_z	float	6B D7 24 BC	-0.0100611	角速度 Z 轴, deg/s
mag_b_x	float	89 88 FC 40	7.89167	磁场 X 轴, μT
mag_b_y	float	01 00 6A 41	14.625	磁场 Y 轴, μT
mag_b_z	float	AB 2A 70 C2	-60.0417	磁场 Z 轴, μT
roll	float	96 D4 50 41	13.0519	横滚角, deg
pitch	float	ED 03 43 41	12.1885	俯仰角, deg
yaw	float	41 F4 F4 C2	-122.477	航向角, deg
q_w	float	CC CA F8 BE	-0.485922	四元数 W
q_x	float	73 6A 19 BE	-0.14982	四元数 X
q_y	float	F0 00 1C 3D	0.0380868	四元数 Y
q_z	float	8D 37 5C 3F	0.860223	四元数 Z

3.5 C 语言解析代码示例（以 HI91 为例）

请参考官方 C 语言例程

```
1  int16_t payload_len;
2  uint16_t crc;
3  crc = 0;
4  payload_len = buf[2] + (buf[3] << 8);
5
6  /* Calculate 5A A5 and LEN field crc */
7  crc16_update(&crc, buf, 4);
8
9  /* Calculate payload crc */
10 crc16_update(&crc, buf + 6, payload_len);
```

计算得到的 CRC 值为 0xBB14，与数据帧中的 CRC 字段值相同，CRC 校验通过。

3.5.1 定义数据接收结构

从 0x91 开始为数据包的数据域，定义数据结构体和常用转换宏：

```
1  #include "stdio.h"
2  #include "string.h"
3
4  /* Common type conversion */
5  #define U1(p) *((uint8_t *) (p))
6  #define I1(p) *((int8_t *) (p))
7  #define I2(p) *((int16_t *) (p))
8
9  static uint16_t U2(uint8_t *p) {uint16_t u; memcpy(&u, p, 2); return u;}
10 static uint32_t U4(uint8_t *p) {uint32_t u; memcpy(&u, p, 4); return u;}
11 static int32_t I4(uint8_t *p) {int32_t u; memcpy(&u, p, 4); return u;}
12 static float R4(uint8_t *p) {float r; memcpy(&r, p, 4); return r;}
13
14 typedef struct
15 {
16     uint8_t tag; /* Item tag: 0x91 */
17     float acc[3]; /* Acceleration */
18     float gyr[3]; /* Angular velocity */
19     float mag[3]; /* Magnetic field */
20     float eul[3]; /* Attitude: Euler angle */
21     float quat[4]; /* Attitude: quaternion */
22     float pressure; /* Air pressure */
23     uint32_t timestamp; /* Timestamp */
24 }imu_data_t;
```

3.5.2 接收数据

从 buf[6]=0x91 开始为 payload 部分：

```
1  imu_data_t i0x91 = {0};
2  int offset = 6; /* Payload start at buf[6] */
3
4  i0x91.tag = U1(buf+offset+0);
5  i0x91.pressure = R4(buf+offset+4);
6  i0x91.timestamp = U4(buf+offset+8);
7  i0x91.acc[0] = R4(buf+offset+12);
8  i0x91.acc[1] = R4(buf+offset+16);
9  i0x91.acc[2] = R4(buf+offset+20);
10 i0x91.gyr[0] = R4(buf+offset+24);
11 i0x91.gyr[1] = R4(buf+offset+28);
12 i0x91.gyr[2] = R4(buf+offset+32);
13 i0x91.mag[0] = R4(buf+offset+36);
```

```
14 i0x91.mag[1] = R4(buf+offset+40);
15 i0x91.mag[2] = R4(buf+offset+44);
16 i0x91.eul[0] = R4(buf+offset+48);
17 i0x91.eul[1] = R4(buf+offset+52);
18 i0x91.eul[2] = R4(buf+offset+56);
19 i0x91.quat[0] = R4(buf+offset+60);
20 i0x91.quat[1] = R4(buf+offset+64);
21 i0x91.quat[2] = R4(buf+offset+68);
22 i0x91.quat[3] = R4(buf+offset+72);
```

3.5.3 打印接收到的数据

```
1 printf("%-16s0x%X\r\n", "tag:", i0x91.tag);
2 printf("%-16s%8.4f %8.4f %8.4f\r\n", "acc(G):", i0x91.acc[0],
i0x91.acc[1], i0x91.acc[2]);
3 printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "gyr(deg/s):", i0x91.gyr[0],
i0x91.gyr[1], i0x91.gyr[2]);
4 printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "mag(uT):", i0x91.mag[0],
i0x91.mag[1], i0x91.mag[2]);
5 printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "eul(deg):", i0x91.eul[0],
i0x91.eul[1], i0x91.eul[2]);
6 printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "quat:", i0x91.quat[0],
i0x91.quat[1], i0x91.quat[2], i0x91.quat[3]);
7 printf("%-16s%8.3f\r\n", "pressure(pa):", i0x91.pressure);
8 printf("%-16s%d\r\n", "timestamp(ms)",
i0x91.timestamp);
```

3.6 最大传输速率

协议	字节数	9600bps	115200bps	230400bps	256000bps	460800bps	921600bps
91	76	10Hz	100Hz	250Hz	250Hz	500Hz	1000Hz

