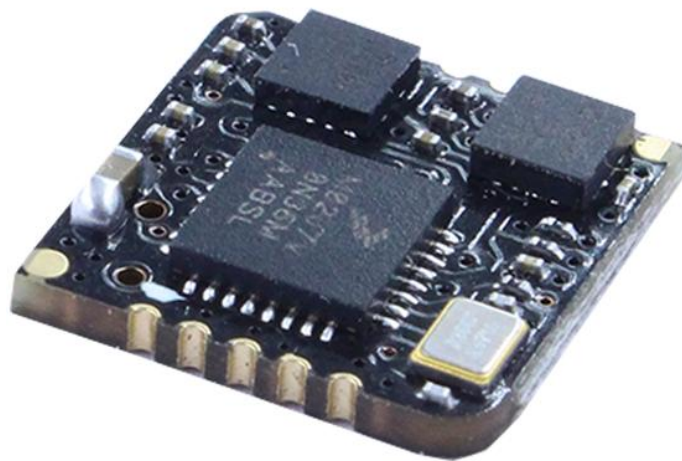


VRU/AHRS 模块

Document HI2XUM, Revision A4



目录

1 简介.....	3
特性.....	3
2 硬件及尺寸.....	4
硬件参数.....	4
引脚定义.....	4
尺寸参数及安装建议.....	5
参考系定义.....	5
3 性能指标.....	6
融合输出精度-相对精度.....	6
陀螺仪参数.....	6
加速度计参数.....	6
磁传感器参数.....	6
模块数据接口参数.....	6
4 通讯接口.....	7
数据包格式.....	7
出厂默认数据包.....	8
5 AT 指令.....	8
6 数据包配置.....	11
7 校准及融合算法.....	13
校准.....	13
融合算法输出.....	14
8 固件升级及恢复.....	15
固件升级.....	15
恢复出厂参数.....	15
9 历史版本.....	17

1 简介

HI21X 系列姿态传感器集成了三轴陀螺仪、三轴加速度计、三轴磁传感器以及 RF 射频单元和数据处理芯片。数据处理芯片内嵌数据融合算法。包含静态误差校准，动态误差估计，数据融合。可实时输出被测物体的姿态信息和航向信息。模块采用 PLCC (邮票孔) 封装。便于测试和系统集成。适用于 VR、手持设备、可穿戴设备、动作捕捉、室内机器人导航等多种领域。

HI21X

HI21XX 系列集成三轴陀螺仪，三轴加速度计及三轴磁传感器以及处理芯片。采用 PLCC28 封装, 统一的硬件平台。但根据功能的不同，分为以下型号：

HI219

HI219M 是一个航姿参考系统(AHRS) 可输出经过传感器融合算法计算得到的基于当地地理坐标的三维方位数据，包含横滚角、俯仰角以及以地磁北极为参考的航向角。同时也可以输出原始的传感器数据：三轴角速度、三轴加速度和三轴地磁场数据，通常称为 9 轴融合模块

特性

板载传感器

- 三轴陀螺仪, 最大量程: $\pm 2000^{\circ}/s$ 最输出速率: 1000 Hz
- 三轴加速度传感器, 最大量程: $\pm 16g$ 最大输出速率 1000 Hz
- 三轴磁传感器 最大量程: 800mG(毫高斯) 最大输出速率 200Hz

数据处理

- 加速度和陀螺仪出厂前经过校准
- 数据融合算法计算并输出地理坐标系下的旋转四元数及欧拉角
- 可输出板载传感器原始测量数据

通讯接口及供电

- 串口(兼容 TTL 可直接与 5V 或 3.3V 串口设备连接)
- 供电电压：3.3 (+/- 100 mV)
- 最大峰值功耗：25mA

其他

- 开源的 C# 上位机程序，提供实时数据显示，波形，校准及 excel 数据记录功能
- 多项参数用户可配置

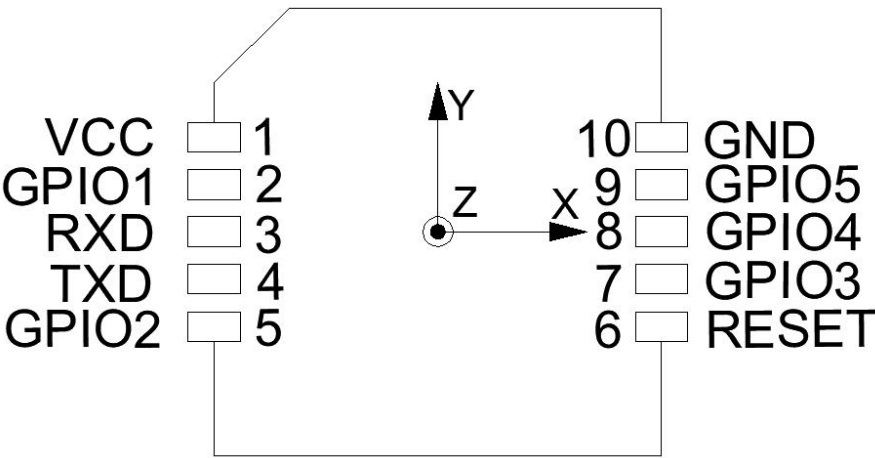
2 硬件及尺寸

硬件参数

参数		HI219M
数据接口:		UART (1.8V-3.3V)
其他接口:		5x GPIO
工作电压:		3.3 (+/- 100 mV)
功耗:		66mW @ 3.3V (随输出频率有浮动)
温度范围:		0 °C - 85 °C
最大线性速度:		0-115 m/s
尺寸:		12 x 12 x 2 mm (W x L x H)
板载传感器	三轴加速度计 三轴陀螺仪	三轴加速度计 三轴陀螺仪 三轴磁传感器

引脚定义

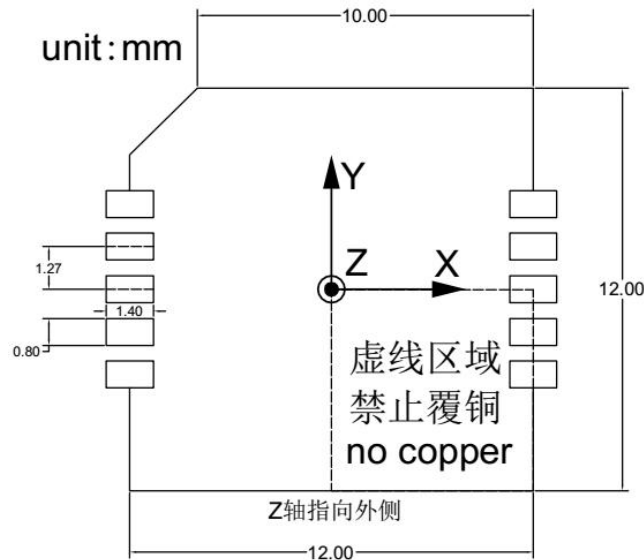
模块引脚定义如下：其中 GPIO 为通用 GPIO 口，不使用可悬空。



引脚号	名称	说明
1	VCC	电源
2	GPIO1	数据帧同步脉冲 (内部上拉, 一帧数据输出前, 此引脚输出>2uS 低脉冲)
3	RXD	串口接收端(1.8V - 3.3V)
4	TXD	串口发送端(1.8V - 3.3V)
5	GPIO2	GPIO2(保留)
6	RESET	复位 低电平>10us 有效
7	GPIO3	GPIO3(保留)
8	GPIO4	GPIO4(保留)
9	GPIO5	GPIO5(保留)

10	GND	GND
----	-----	-----

尺寸参数及安装建议



由于传感器制造工艺的原因，XY 和 Z 轴性能有略微差异，安装时建议将模块 Z 轴与重力方向保持平行(既水平安装)，通常建议将模块安置在几何重心上，以获得最佳的测量效果。如果使用地磁芯片尽量距离模块 10cm 内不能有铁质外壳，小功率电机等磁性器件。HI21X 系列采用 JEDEC PLCC28 封装，与 PLCC28 的标准插座兼容。如果产品体积允许可以采取此种安装方式便于拆卸。

参考系定义

HI21X 采用右手(RH, Right-Hand)坐标系。输出的四元数及欧拉角为 惯性坐标系(世界坐标系) -> 传感器坐标系的旋转。其中欧拉角旋转顺序为 ZYX(也称 321)旋转顺序，欧拉角具体定义如下：

- 绕 Z 轴方向旋转:Yaw, 航向角
- 绕 Y 轴方向旋转:Pitch 俯仰角
- 绕 X 轴方向旋转:Roll 横滚角

HI21X 使用 右手系 笛卡儿 北西天(NWU) 坐标系统，即视为模块的地理坐标系(世界坐标系)定义如下：

- X 轴正方向指向北
- Y 轴正方向指向西
- Z 轴正方向指向天

当采用 NWU 系时，如果将模块视为飞行器的话。X 轴应视为机头方向。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°

3 性能指标

融合输出精度-相对精度

		HI216M		HI219M	
		Typ	Max	Typ	Max
横滚(Roll)/俯仰(Pitch)	静态	0.2°	0.4°	0.2°	0.4°
	动态	0.5°	2.0°	0.5°	2.0°
航向(Yaw)		相对航向角无参考标准		1.0°~2.0° (绝对航向角)	

陀螺仪参数

	HI216M	HI219M
测量范围	$\pm 2000^\circ/\text{s}$ (± 250 ± 500 ± 500 ± 2000 可选)	
非线性度	$\pm 0.1\%$ (25°最佳)	
噪声密度	$0.08^\circ/\text{s}/\sqrt{\text{Hz}}$	
输出频率	1KHz	

加速度计参数

	HI216M	HI219M
测量范围	$\pm 16\text{G}$ (1G = 1x 重力加速度 ± 2 ± 4 ± 8 ± 16 可选)	
非线性度	$\pm 0.5\%$ (25°最佳)	
最大零点偏移	60mG	
噪声密度	$250\mu\text{G}/\sqrt{\text{Hz}}$	
输出频率	1KHz	

磁传感器参数

	HI216M	HI219M
测量范围	N/A	$\pm 8\text{Gauss}$
非线性度	N/A	0.1%
输出频率	N/A	200Hz

模块数据接口参数

	HI216M	HI219M
输出波特率	9600 - 921600bps	
数据输出速率	0 - 1KHz	

4 通讯接口

数据包格式

模块资料包中提供了 C 和 C# 的数据解析函数以供参考。模块上电后，模块默认按 60Hz (出厂默认输出速率) 输出数据包，数据包格式如下：

PRE	TYPE	LEN	CRC	ID1	DATA1	ID2	DATA2	IDn	DATAN..
-----	------	-----	-----	-----	-------	-----	-------	-----	---------

数据域	长度	说明
PRE	1 byte	前导码 → (0x5A)
TYPE	1 byte	帧类型 → (0xA5)
LEN	2 byte	帧长度
CRC	2 byte	CRC 校验码
ID	1 byte	数据包标识
DATA	1 - 255 byte	数据包数据

前导码(PRE)

固定为 0x5A

帧类型(TYPE)

固定为 0xA5 代表数据类帧

帧长度(LEN)

帧中数据域的长度，单位为字节，一帧最大为 65535 字节 LSB(低字节在前)，不包含 PRE,TYPE,LEN,CRC 字段。

循环冗余校验(CRC)

除 CRC 本身外其余所有帧数据的 16 位 CRC 校验和 LSB。附带例程中提供 CRC 校验函数实现

数据包标识(ID)及数据(DATA)

一帧数据可由多个数据包组成，每个数据包包含 ID 和 DATA 两部分。ID 标识该数据包的类型及长度，DATA 为数据包数据内容。模块支持的数据包如下

ID	DATA 长度	意义	单位	说明
0x90	1 byte	用户可配置 ID	N/A	ID 值可使用 AT 指令设置
0xA0	6 byte	未校准的加速度	0.001G	格式为 int16，共三个轴，每个轴占 2 个字节，X、Y、Z 三轴共 6 个字节，LSB。
0xA1	6 byte	校准后的加速度	0.001G	格式为 int16，共三个轴，每个轴占 2 个字节，X、Y、Z 三轴共 6 个字节，LSB。
0xA5	6 byte	传感器坐标系下线性加速度	0.001G	格式为 int16，共三个轴，每个轴占 2 个字节，X、Y、Z 三轴共 6 个字节，LSB。
0xA6	6 byte	传感器坐标系下重力加速度	0.001G	格式为 int16，共三个轴，每个轴占 2 个字节，X、Y、Z 三轴共 6 个字节，LSB。
0xB0	6 byte	未校准的角速度	0.1°/s	格式为 int16，共三个轴，每个轴占 2 个字节，X、Y、Z 三轴共 6 个字节，LSB。
0xB1	6 byte	校准后的角速度	0.1°/s	格式为 int16，共三个轴，每个轴占 2 个字节，X、Y、Z 三轴共 6 个字节，LSB。
0xC0	6 byte	未校准的磁场强度	0.001Gauss	格式为 int16，共三个轴，每个轴占 2 个字节，X、Y、Z 三轴共 6 个字节，LSB。

0xD0	6 byte	欧拉角 (整形输出)	度	整形格式输出的欧拉角。格式为 int16，共三个轴，每个轴占 2 个字节，顺序为 Pitch/Roll/Yaw。LSB。Roll, Pitch 为实际值乘以 100 后得到的数值，Yaw 为乘以 10 得到的数值
0xD9	12 byte	欧拉角 2 (浮点输出)	度	浮点格式输出的欧拉角。格式为 float，共 3 个值 (Pitch/Roll/Yaw)，每个值占 4 字节(单精度浮点数)，LSB。
0xD1	16 byte	四元数	N/A	格式为 float，共 4 个值 (W X Y Z)，每个四元数占 4 字节(单精度浮点数)，LSB。
0xF0	4 byte	气压	帕	HI21X 系列此值无意义
0x80	4 byte	按键值	N/A	HI21X 系列此值无意义

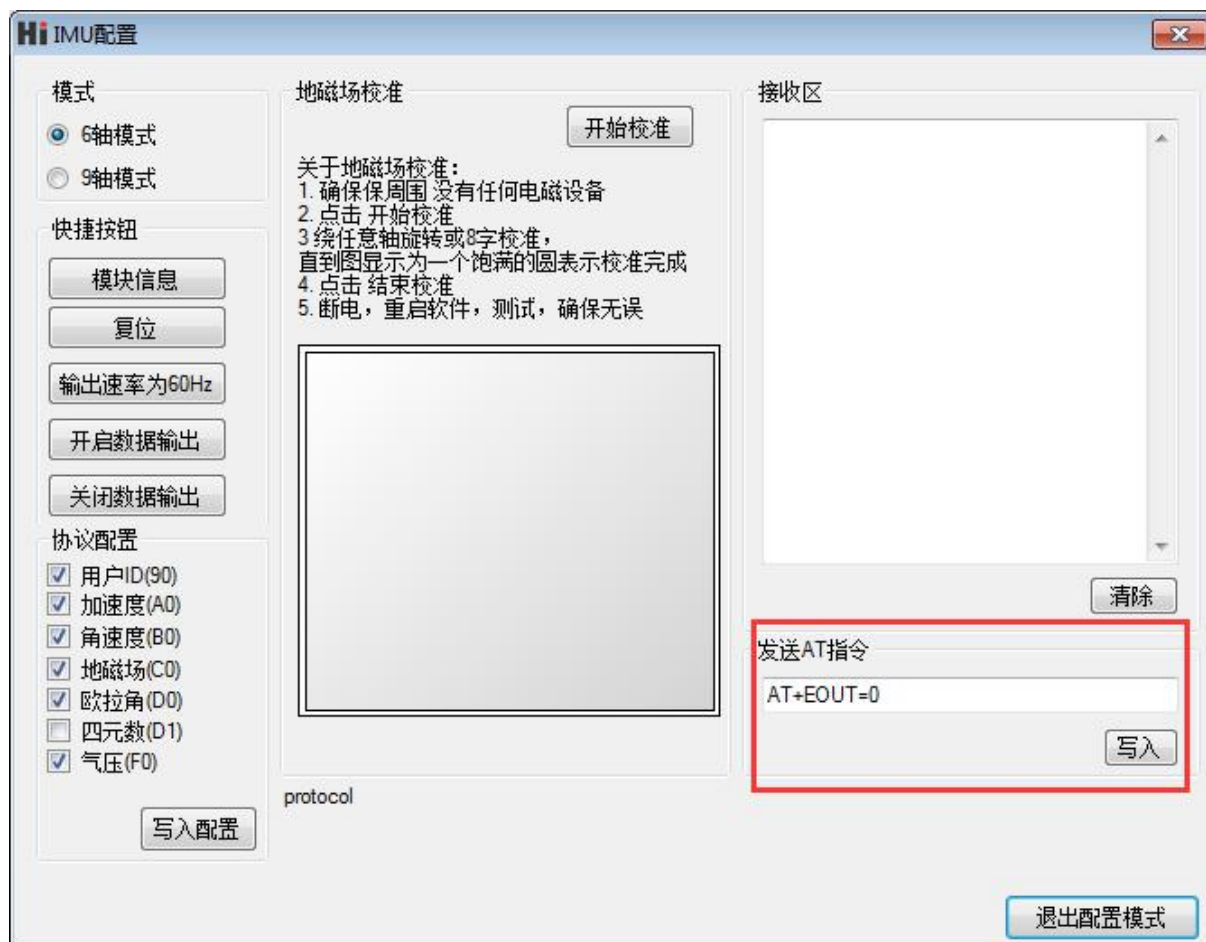
出厂默认数据包

模块输出一帧中的数据可包含不同的数据包，并且可以使用上位机任意组合配置，出厂默认的数据包配置如下：

顺序	数据包	说明
1	0x90	用户 ID
2	0xA0	原始加速度
3	0xB0	原始角速度
4	0xC0	原始磁场
5	0xD0	欧拉角
6	0xF0	气压

5 AT 指令

本模块采用 AT 指令集配置/查看模块参数。AT 指令总以 ASCII 码 “AT” 开头，后面跟控制字符，最后以回车换行 “\r\n” 结束。可使用串口调试助手进行测试：



模块支持的 AT 指令如下：

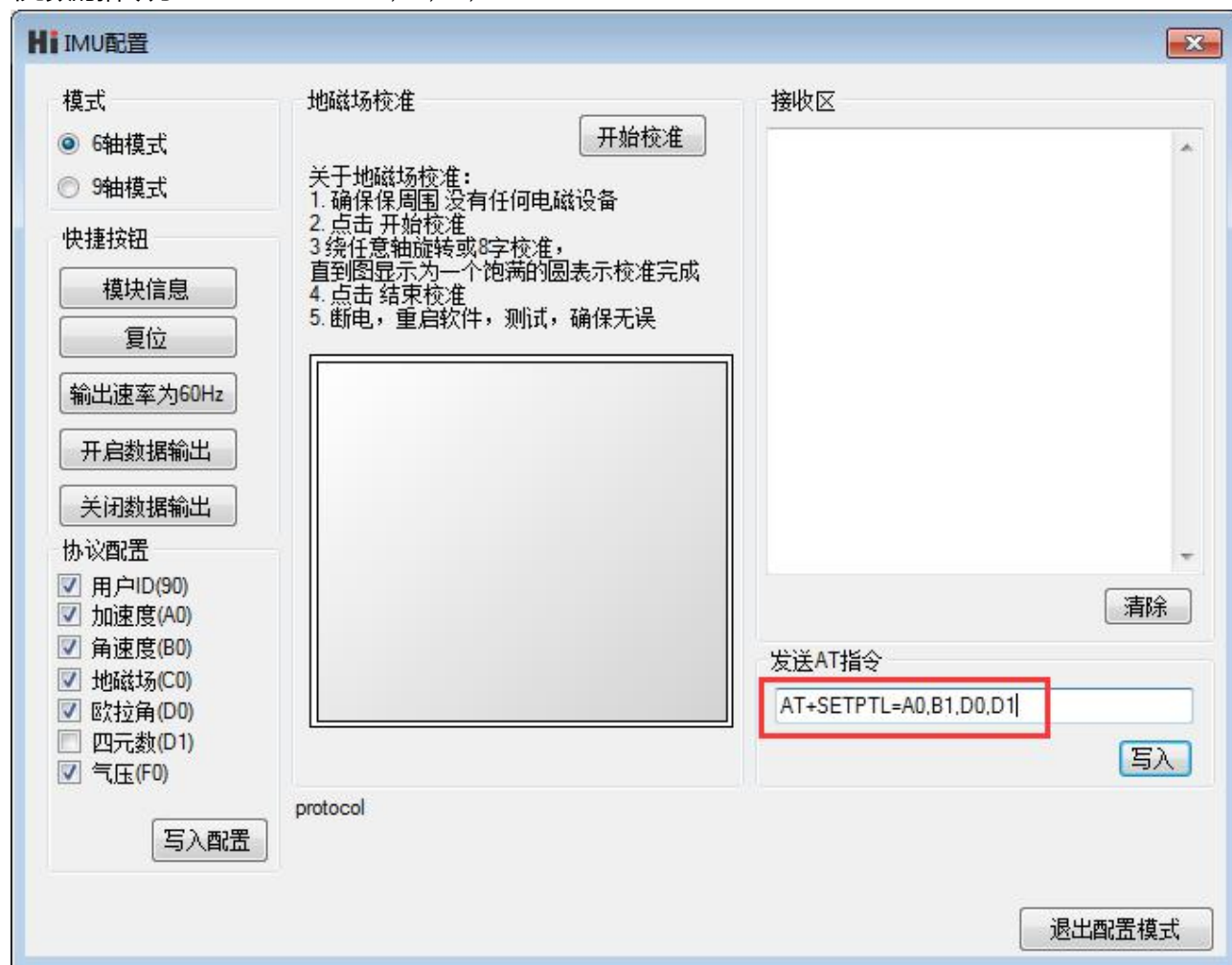
AT	掉电保存	默认	说明	示例
AT+INFO	N	N/A	列出模块当前版本信息及所有状态信息	AT+INFO
AT+ODR	Y	60	设置模块输出帧频率	AT+ODR=60
AT+BAUD	Y	115200	设置模块输出波特率 注意：波特率参数设置好后会立即生效，因此上位机的波特率也要做相应修改。升级固件时，需要切换回 115200 波特率	AT+BAUD=115200
AT+MODE	Y	0	设置模块工作模式:(HI219M 有效) AT+MODE=0 6 轴模式 AT+MODE=1 9 轴模式	AT+MODE=0
AT+EOUT	N	1	设置数据输出开关: AT+EOUT=0 关闭数据输出 AT+EOUT=1 开启数据输出	AT+EOUT=0
AT+RST	N	N/A	复位	AT+RST
AT+ID	Y	0	设置模块用户 ID: 每个模块可以设置一个用户可编程 ID, AT+ID 读取 ID 值 AT+ID =x 设置 ID 值 x = 0-255	设置 ID 为 100 AT+ID=100

AT+TRG	N	N/A	触发模块输出一帧数据，可以配合 AT+ODR=0 来实现单次触发输出。	1.AT+ODR=0 2.AT+TRG
AT+SETPTL	Y	N/A	见 数据包配置 章节	

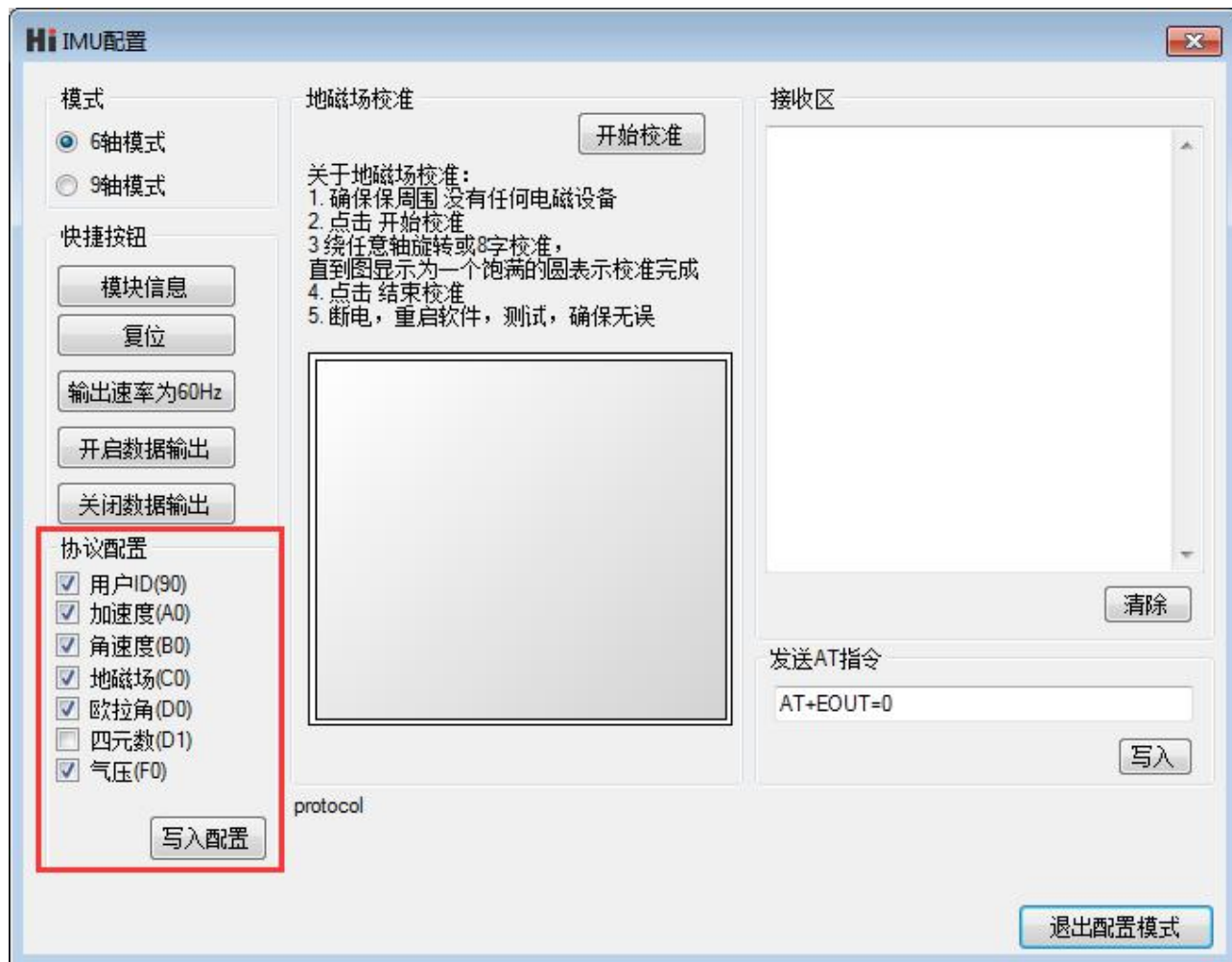
6 数据包配置

模块数据帧数据包组成可使用 AT 指令配置，格式为 AT+SETPTL=<ITEM_ID>,<ITEM_ID>...

一帧输出可包含最多 8 个数据包，例如，配置模块输出 原始加速度，校准后的角速度，整形格式欧拉角，和四元数的指令为：AT+SETPTL=A0,B1,D0,D1



推荐使用上位机进行模块协议配置。如下图：



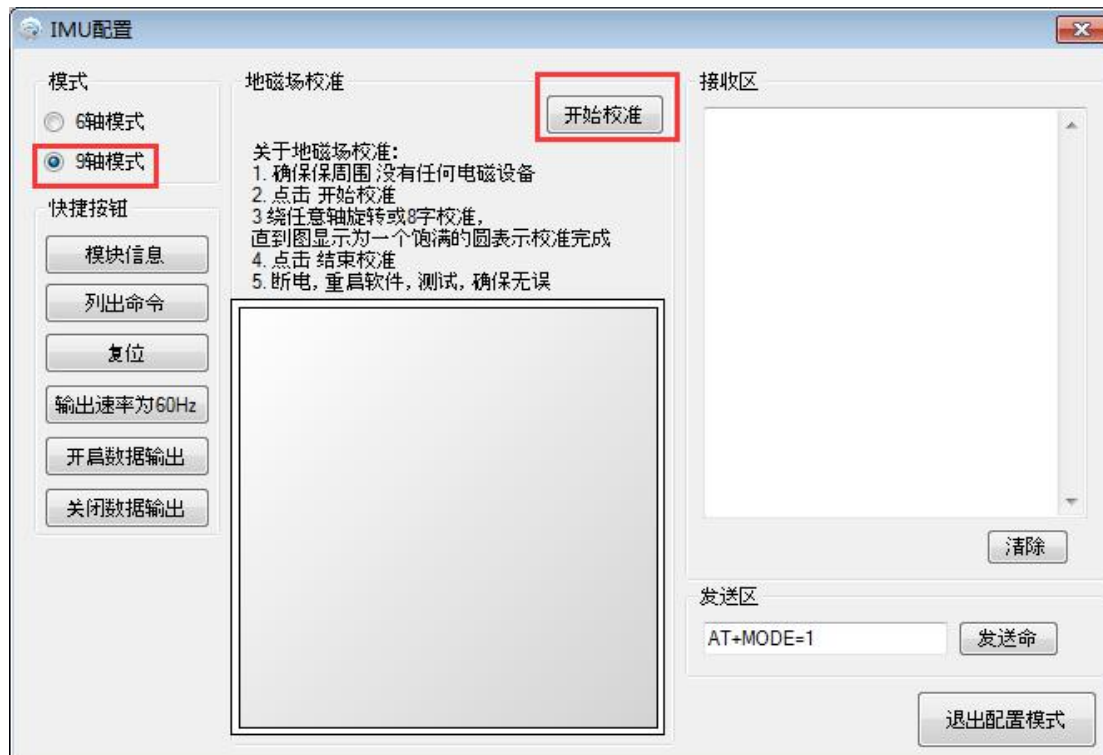
7 校准及融合算法

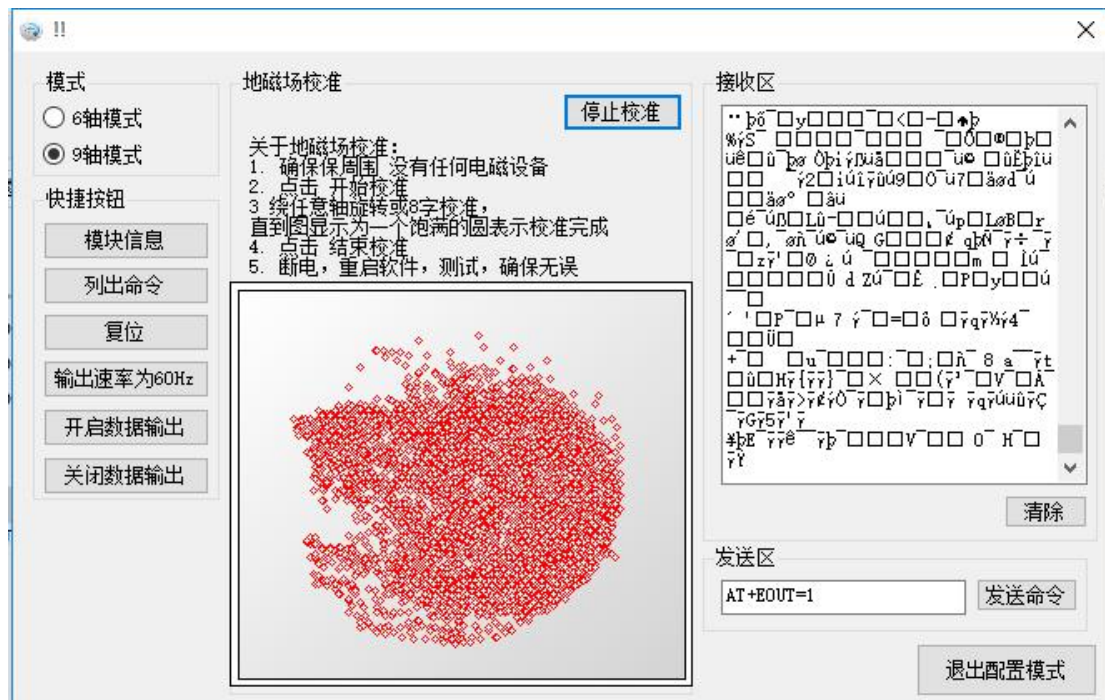
校准

每一个 HI21X 系列姿态传感器都单独进行过全测量范围内的校准和测试。陀螺仪和加速度计都进行过出厂校准并存储到模块内部的存储器中。并且，模块上的处理器会根据用户使用情况自动校准陀螺仪、加速度计的零偏和非正交误差。一般情况下，用户无需再对加速度和陀螺仪进行校准。

地磁场不同于加速度及陀螺仪，由于用户 PCB 板安装应力及周围磁环境的不同。需要用户自行校准。对于 HI219M，如果不进行地磁校准，则航向角不能指向正确地磁北极，但仍然可以给出有效的绝对航向角从而做到 Yaw 角零漂移。在用户进行地磁校准后才能输出有效的指向地磁北极的姿态角信息。所以在使用前，需要对模块进行磁场校准，避免周围环境对模块的影响。校准方法如下：

- 打开上位机软件，连接模块，确保模块已经可以正常工作
- 打开 IMU 界面，切换到配置模块选项，
- 切换到 9 轴模式，然后点击开始校准
- 手持模块，远离磁场等电子设备，分别绕三个轴各转 360 度或者 8 字校准，直到下面的绘图区显示出一个相对饱满的圆为止。如果难以完成一个相对饱满的圆，说明周围存在较大磁场干扰。
- 完成上一步操作后，将模块水平放置大约 2-5S 左右 (重要), 然后点击“停止校准”按钮，到此校准结束。断电重启生效。校准示意图如下图所示：





融合算法输出

模块内置的传感器数据融合算法及滤波算法，将三轴陀螺仪、三轴加速度计与三轴磁传感器（可选）数据进行融合，该算法包含稳健的姿态解算、误差动态估计和自主航位稳定

HI219M 融合三轴陀螺仪、三轴加速度计与三轴磁传感器并输出当地地理坐标(世界坐标系)下的姿态和绝对航向角(以地磁北极为参考)信息

HI216M 融合三轴陀螺仪、三轴加速度计并输出当地地理坐标(世界坐标系)下的姿态和相对航向角(上电默认航向角为 0°)信息

8 固件升级及恢复

固件升级

本产品支持在线升级固件，请关注超核电子官网 www.hipnuc.com 来获取最新固件版本

固件升级步骤:

- 从 www.hipnuc.com 获取最新的固件程序。拓展名为 xxx.hex
- 连接模块，打开上位机，将模块和上位机波特率设置为 115200.切换到固件升级窗口
- 点击连接按钮，如出现模块连接信息。则说明升级系统准备就绪，点击文件选择器(...)选择拓展名为 xxx.hex 的固件，然后点击开始编程。下载完成后会提示编程完成，此时关闭串口，重新上电，模块升级完成。
- 注意，升级模块固件后，用户配置数据和校准数据会丢失。



恢复出厂参数

当模块被设置成错误的波特率时，会导致输出波特率不正确造成不能再接受新的 AT 指令（波特率不能与上位机匹配导致）。可以通过以下方法来强制恢复模块所有配置参数为出厂默认参数。恢复出厂设置会清除所有用户配置数据。

- 模块断电，并且短接与 GPIO2 与 GND
- 重新上电模块，所有参数既恢复默认出厂值（出厂默认波特率:115200），断开 GPIO2 与 GND。

9 历史版本

Revision	Date	By	Changes
A	20170612	YANDLD	Initial release
A1	20170630	YANDLD	Index fix, and EN version
A2	20170713	YANDLD	Add filtered data output, add GPIO description
A3	20170730	YANDLD	Add coordinate system definition, fix protocol LEN filed description.
A4	20171112	YANDLD	Revise document, replace HI21XX to HI21X