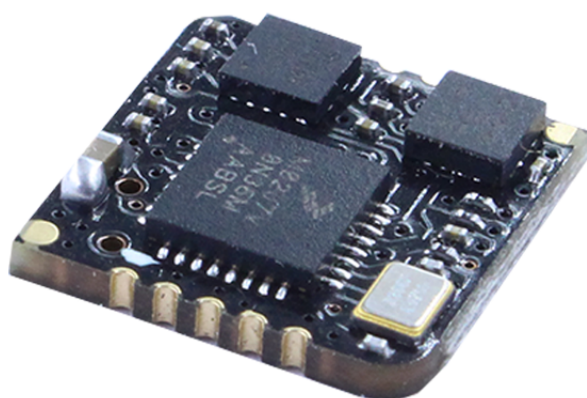


# HI219用户手册

---

AHRS/IMU姿态测量模块, Rev A6



## HI219用户手册

简介

特性

板载传感器

数据处理

通讯接口及供电

其他

硬件及尺寸

硬件参数

尺寸

引脚定义

安装建议

参考系定义

性能指标

姿态角输出精度

陀螺仪

加速度计

磁传感器参数

模块数据接口参数

通讯接口

数据包格式

出厂默认数据包

AT指令

融合及校准算法

校准

融合算法输出

评估板

评估板简介

使用评估板

从评估板上取下产品

其他注意事项

固件升级与恢复出厂设置

固件升级

恢复出厂设置

版本历史；

# 简介

---

HI219是超核电子推出的一款低成本、高性能、小体积、低延时的惯性测量单元（IMU），本产品集成了三轴加速度计、三轴陀螺仪以及一款低功耗微处理器。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、俯仰角以及以相对的航向角。同时也可以输出原始的传感器数据。

典型应用：

- VR\动作捕捉
- 高动态环境下姿态测量\运动性能评估
- 无人机控制

## 特性

---

### 板载传感器

- 三轴陀螺仪, 最大量程:  $\pm 2000^{\circ}/s$  输出速率 1000Hz
- 三轴加速度计, 最大量程:  $\pm 16g$  输出速率 1000Hz
- 三轴地磁场传感器，最大量程: 800mG 内部采样率 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

### 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：32mA

### 其他

- PC端上位机程序，提供实时数据显示，波形，校准及excel 数据记录功能
- 多项模块参数用户可配置

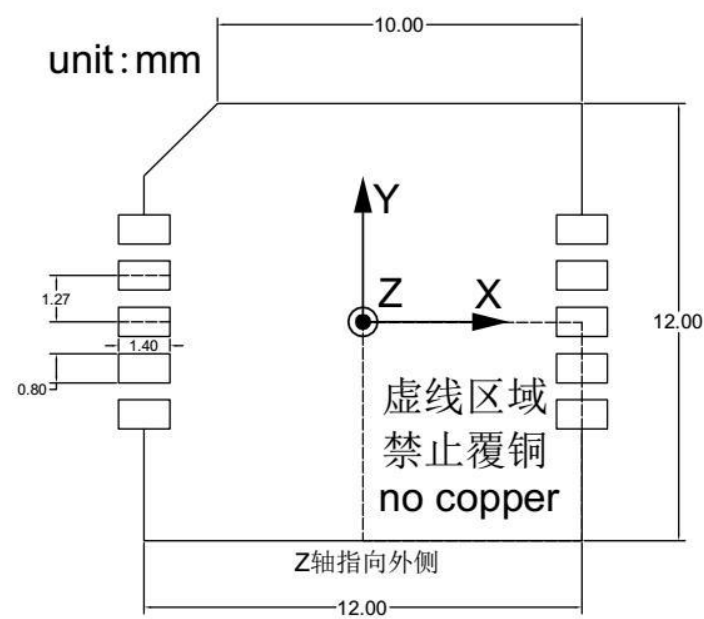
## 硬件及尺寸

---

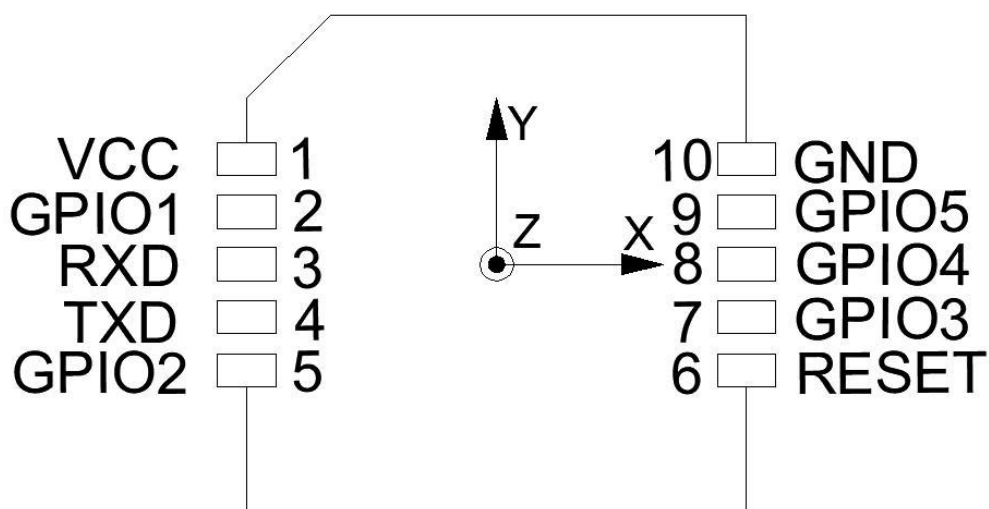
### 硬件参数

| 参数      | 描述                          |
|---------|-----------------------------|
| 输出数据接口  | UART(TTL 1.8V - 3.3V)       |
| 工作电压    | 3.3V (± 100mV)              |
| 功耗      | 86mW @3.3V                  |
| 温度范围    | -20℃ - 85℃                  |
| 最大线性加速度 | 0 - 115 $m/s^2$             |
| 尺寸      | 12 x 12 x 2.6mm (W x L x H) |
| 板载传感器   | 三轴加速度计 三轴陀螺仪 三轴地磁场传感器       |

尺寸



引脚定义



| 引脚号 | 名称                 | 说明                                     |
|-----|--------------------|--|
| 1   | VCC                | 电源 3.3V                                |
| 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                | 模块串口接收 UART RXD (接 MCU 的 TXD)          |
| 4   | TXD                | 模块串口发送 UART TXD (接 MCU 的 RXD)          |
| 5   | GPIO2 <sup>1</sup> | 保留                                     |
| 6   | RST                | 复位 低电平>10us 有效                         |
| 7   | GPIO3              | 保留                                     |
| 8   | GPIO4              | 保留                                     |
| 9   | GPIO5              | 保留                                     |
| 10  | GND                | 电源地                                    |

## 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)。尽量让距离模块10cm 内不能有铁质外壳, 小功率电机等磁性器件。

## 参考系定义

本产品采用右手(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: 航向角\Yaw\phi( $\psi$ ) 范围:  $-180^{\circ}$  -  $180^{\circ}$
- 绕 Y 轴方向旋转: 俯仰角\Pitch\theta( $\theta$ ) 范围:  $-90^{\circ}$  -  $90^{\circ}$
- 绕 X 轴方向旋转: 横滚角\Roll\psi( $\phi$ ) 范围:  $-180^{\circ}$  -  $180^{\circ}$

本产品使用 右手系 笛卡儿 北西天(NWU) 坐标系, 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°

**注意**，以上定义中只在绝对航向角模式下才有意义，在没有地磁场校准的在相对航向角模式下(如HI216 或者 HI219工作在6轴模式时)，航向角在模块启动后既输出为 0°，与地理方位无任何关系。既 X/Y 轴并不能指向地理 的北/西。

## 性能指标

### 姿态角输出精度

| 姿态角          | 典型值         | 最大值         |
|--------------|-------------|-------------|
| 横滚角\俯仰角 - 静态 | 0.2°        | 0.4°        |
| 横滚角\俯仰角 - 动态 | 0.5°        | 2.0°        |
| 航向角          | 1.0°(绝对航向角) | 2.0°(绝对航向角) |

### 陀螺仪

| 参数   | 值                                  |
|------|------------------------------------|
| 测量范围 | ±2000°/s (±250 ±500±1000 ±2000 可选) |
| 非线性度 | ±0.1% (25°最佳)                      |
| 噪声密度 | 0.08°/s/ $\sqrt{Hz}$               |
| 采样率  | 1000Hz                             |

### 加速度计

| 参数     | 值                                    |
|--------|--------------------------------------|
| 测量范围   | ±16G (1G = 1x 重力加速度 ±2 ±4 ±8 ±16 可选) |
| 非线性度   | ±0.5% (25°最佳)                        |
| 最大零点偏移 | 60mG(校准后)                            |
| 噪声密度   | 250 $\mu G\sqrt{Hz}$                 |
| 采样率    | 1000Hz                               |

## 磁传感器参数

| 参数   | 值       |
|------|---------|
| 测量范围 | ±8Gauss |
| 非线性度 | ±0.1%   |
| 采样率  | 200Hz   |

## 模块数据接口参数

| 参数      | 值                         |
|---------|---------------------------|
| 串口输出波特率 | 4800/9600/115200/460800可选 |
| 帧输出速率   | 1 - 1000Hz                |

## 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 ( byte ) | 说明         |
|------|-------------|------------|
| PRE  | 1           | 前导码(0x5A)  |
| TYPE | 1           | 帧类型 (0xA5) |
| LEN  | 2           | 帧长度        |
| CRC  | 2           | CRC16校验码   |
| ID   | 1           | 数据包标识      |
| DATA | 1 - 64      | 数据包数据      |

- PRE 固定为0x5A
- TYPE 固定为0xA5 代表数据类帧
- LEN 帧中数据域的长度，单位为字节，一帧最大为256 字节LSB(低字节在前)，长度只是值真正数据的长度，不包含 PRE, TYPE, LEN, CRC 字段。
- CRC 除CRC 本身外其余所有帧数据的16 位CRC 校验和LSB<sup>2</sup>。附带例程中提供CRC 校验函数实现

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：

| 数据包ID | 长度(字节) | 名称           | 单位                  |
|-------|--------|--------------|---------------------|
| 0x90  | 1      | 用户ID         | 无                   |
| 0xA0  | 6      | 加速度          | 0.001G <sup>3</sup> |
| 0xA5  | 6      | 线性加速度        | 0.001G              |
| 0xB0  | 6      | 角速度          | 0.1°/s              |
| 0xC0  | 6      | 磁场强度         | 0.001Gauss          |
| 0xD0  | 6      | 欧拉角(整形输出)    | 度                   |
| 0xD9  | 12     | 欧拉角(浮点输出)    | 度                   |
| 0xD1  | 16     | 四元数          | N/A                 |
| 0xF0  | 4      | 气压           | 帕                   |
| 0x70  | 36     | 模块校准后的传感器输数据 | 见说明                 |

- **0x90** 用户ID，HI219此值固定为0
- **0xA0** 加速度，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。传感器输出的原始加速度
- **0xA5** 线性加速度，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。地理坐标系下去除重力分量的加速度值
- **0xB0** 角速度，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。传感器输出的角速度
- **0xC0** 磁场强度，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。传感器输出的磁场强度
- **0xD0** 欧拉角整形格式，格式为int16，共三个轴，每个轴占2 个字节，顺序为Pitch/Roll/Yaw。LSB。接收到Roll, Pitch 为物理值乘以100 后得到的数值，Yaw 为乘以10 得到的数值举例：当接收到的Yaw = 100 时，表示航向角为10°
- **0xD9** 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(float 型单精度浮点数)，LSB。
- **0xD1** 四元数，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** HI219 此值固定为0
- **0x70** 此数据包输出经过模块内部校准滤波处理的传感器数据，格式为：三轴加速度(X,Y,Z) + 三轴角速度(X,Y,Z) + 三轴地磁场(X,Y,Z)，每个数据均为 float 型(LSB)共：3(加速度,角速度,地磁) × 3(X,Y,Z) × 4(每个float 型占 4 字节) = 36 字节加速度单位为 G (1G = 当地重力加速度)角速度单位为 °/s 地磁场单位为 0.001Gauss

## 出厂默认数据包

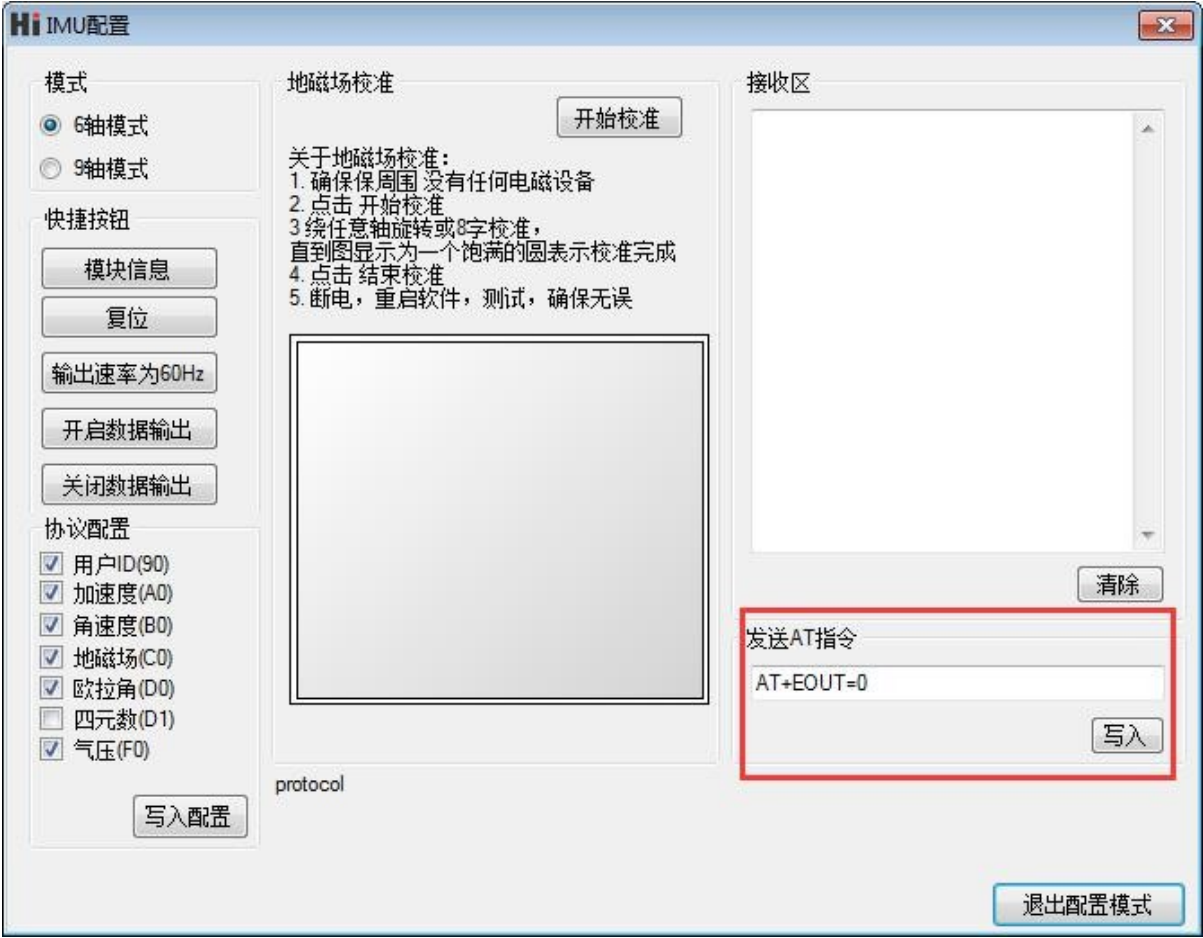
模块输出一帧中的数据可包含不同的数据包，并且可以使用上位机任意组合配置，出厂默认的数据包 配置如下：



| 顺序 | 数据包  | 说明        |
|----|------|-----------|
| 1  | 0x90 | 用户ID      |
| 2  | 0xA0 | 加速度       |
| 3  | 0xB0 | 角速度       |
| 4  | 0xC0 | 磁场强度      |
| 5  | 0xD0 | 欧拉角(整形输出) |
| 6  | 0xF0 | 气压        |

# 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：



AT指令列表如下：

| 指令        | 是否掉电保存 | 默认值    | 说明        |
|-----------|--------|--------|-----------|
| AT+INFO   | N      | N/A    | 打印模块基本信息  |
| AT+ODR    | Y      | 50     | 设置模块输出帧频率 |
| AT+BAUD   | Y      | 115200 | 设置串口波特率   |
| AT+EOUT   | N      | 1      | 数据输出开关    |
| AT+RST    | N      | N/A    | 复位模块      |
| AT+TRG    | N      | N/A    | 单次输出输出触发  |
| AT+SETPEL | Y      | 见详细描述  | 设置输出数据包   |

- `AT+INFO` 打印模块信息，包含版本号，产品名称等
- `AT+ODR` 设置数据输出速率，如 `AT+ODR=50`
- `AT+BAUD` 设置串口波特率，可选值：4800/9600/115200/256000/460800，如 `AT+BUAD=115200`

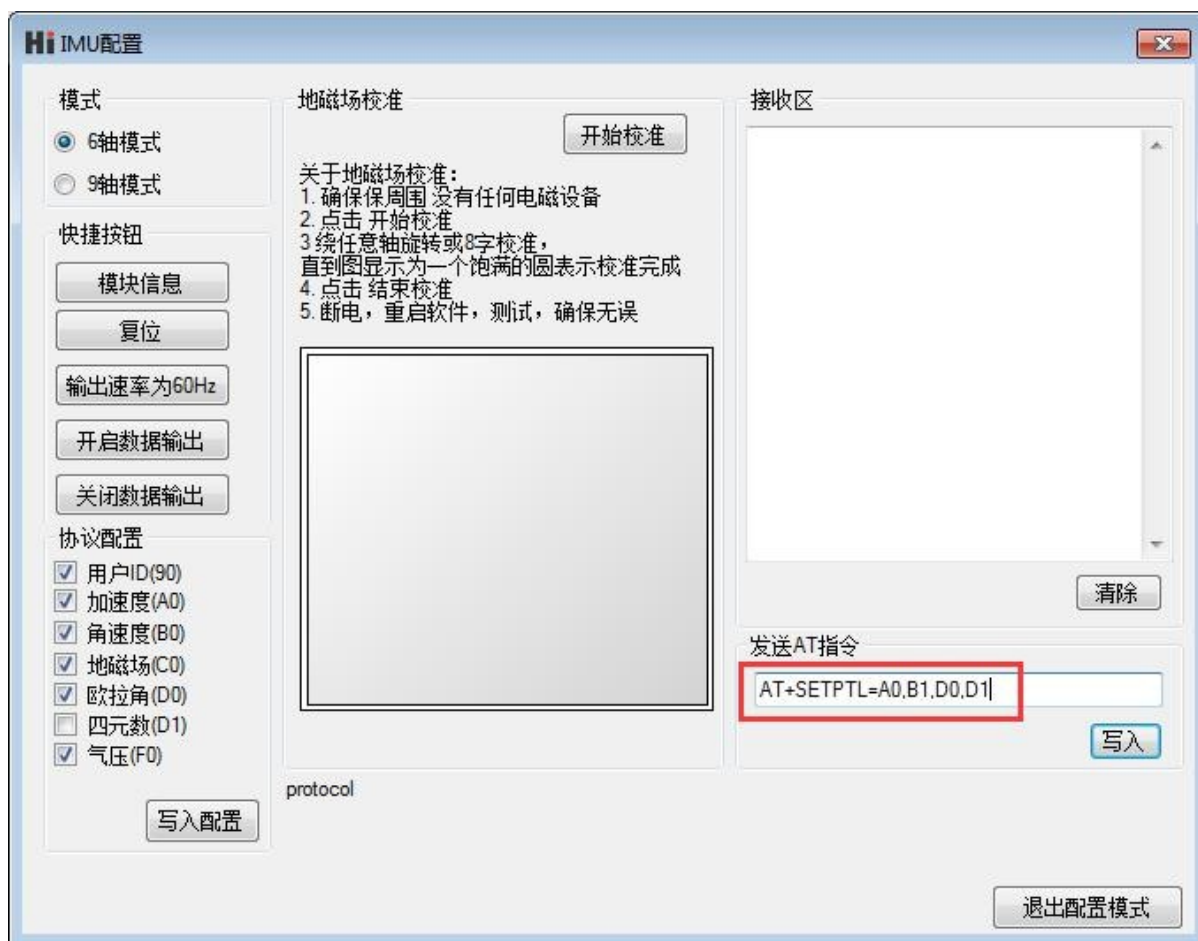
**注意** 波特率参数设置好后会立即生效，因此上位机的波特率也要做相应修改

**注意** 升级固件时，需要切换回115200 波特率

- `AT+RST` 复位模块
- `AT+EOUT` 开启/关闭数据输出 如开启输出 `AT+EOUT=1`，关闭数据输出 `AT+EOUT=0`
- `AT+TRG` 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。
- `AT+SETPTL` 设置输出协议:

模块数据帧中的数据包组成可使用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。如, 配置模块输出加速度, 角速度, 整形格式欧拉角, 和四元数的指令为：

`AT+SETPTL=A0,B1,D0,D1`



## 融合及校准算法

### 校准

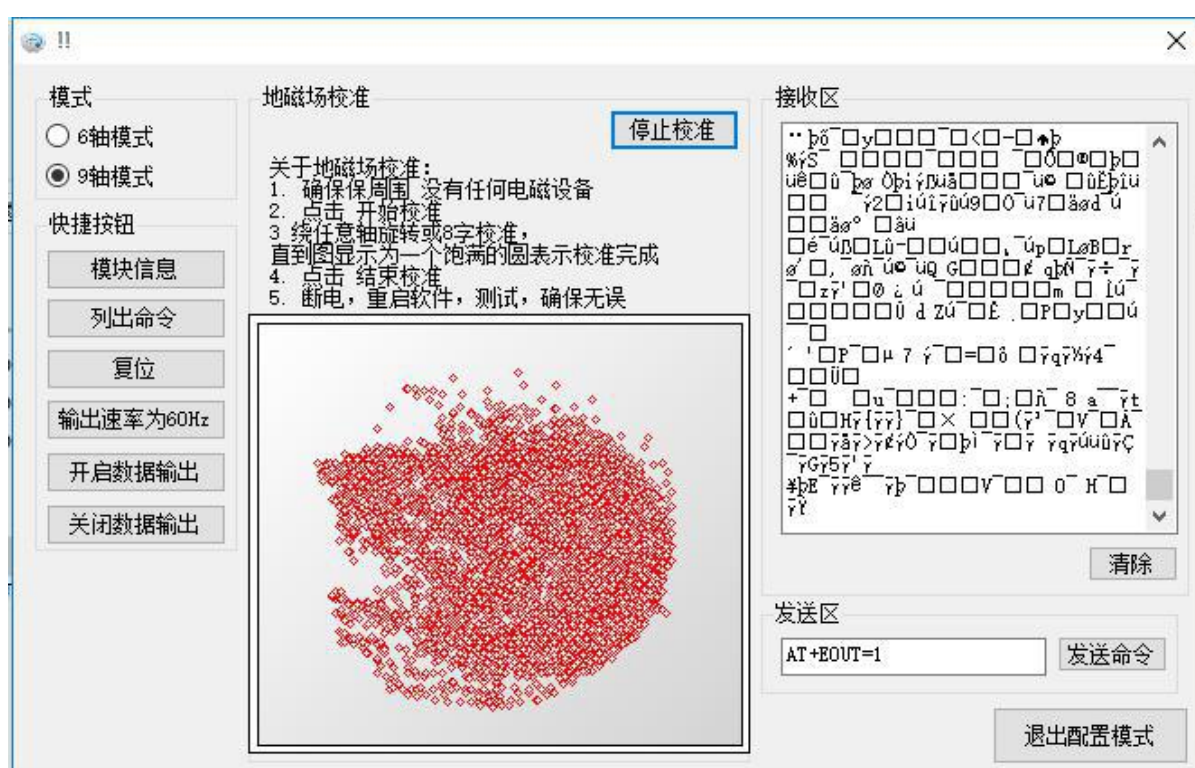
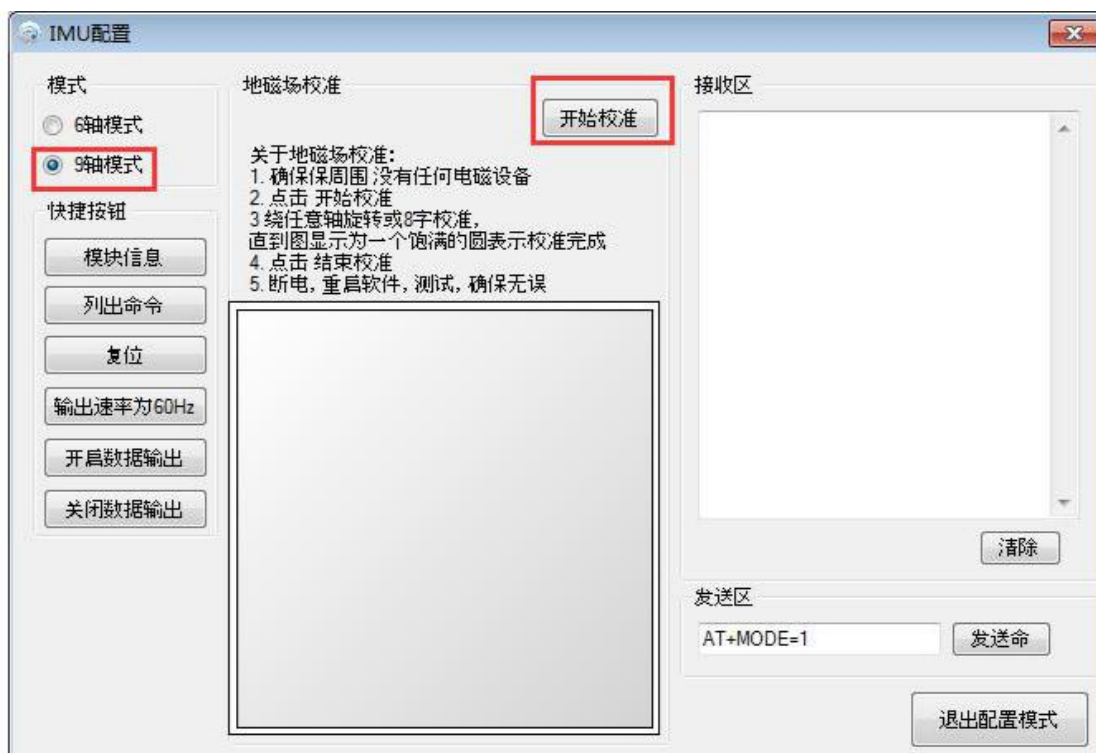
每一个HI219 姿态传感器都单独进行过全测量范围内的校准和测试。加速度计进行过出厂校准并存储到模块内部的存储器中。并且，模块上的处理器会根据用户使用情况自动校准陀螺仪、加速度计的零偏。一般情况下，用户无需再对加速度和陀螺仪进行校准。陀螺仪自动校准需要在上电后静止模块5S 左右，以获得最好的校准效果。如果上电静置短于规定时间，则模块陀螺仪零偏校准效果会下降。

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 HI219，如果不进行地磁校准而直接开启 9 轴模式，则会导致航向角指示不正确。总而言之，开启 9 轴模式前，必须进行地磁校准。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。

同时，如果您的应用在室内环境下，则地磁干扰异常复杂，电子设备如电脑，以及带有金属的家具(桌椅) 甚至房间中金属结构(钢筋等)都会给地磁场带来非常大的干扰影响，房间与房间之间，房间中各个位置之间，可能地磁场干扰环境都很不同，所以在室内环境下，必须在使用位置进行校准，如果使用位置变化，则需要重新校准。

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 2-5 S 左右**，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

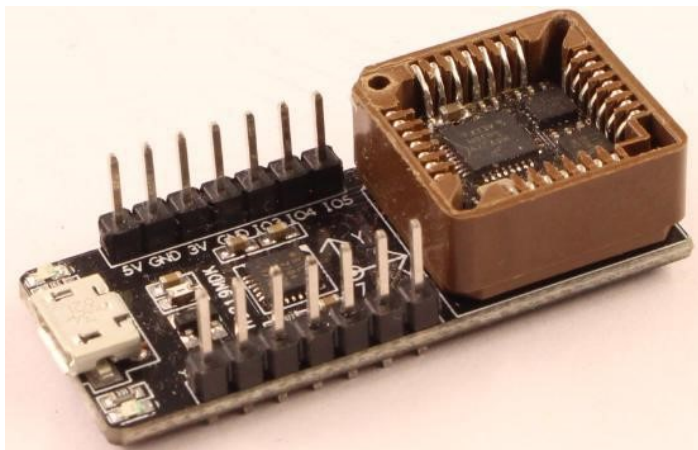
模块板载处理器将三轴陀螺仪、三轴加速度计数据进行融合，该算法包含稳健的姿态解算、误差动态估计和自主航位稳定。

## 评估板

### 评估板简介

评估板提供了快速评估本产品的办法。评估板板子资源包括：

- MicroUSB 接口，提供USB 转串口功能和供电功能
- 板载CP2104 USB-UART 芯片，并且可输出3.3V 100mA 给姿态模块供电



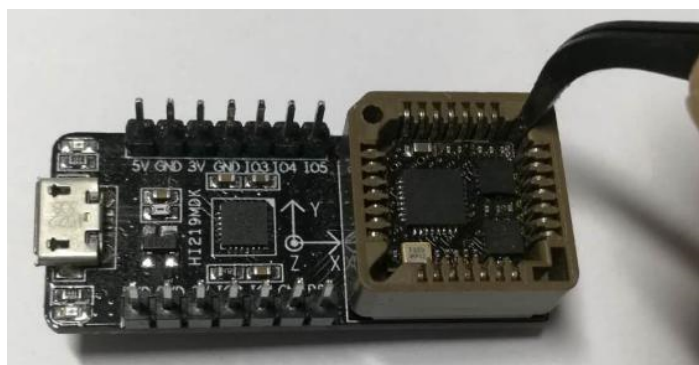
## 使用评估板

安装资料包中的CP2104 USB-UART 驱动程序, 将MicroUSB 线连接电脑和模块，打开资料包中的Uranus 上位机，连接串口，默认状态下，模块会以115200-N-8-N-1 输出出厂默认的数据包。

## 从评估板上取下产品

模块默认被嵌入评估板的PLCC-28 插槽中，如需取出模块，请按如下步骤操作：

- 断电，准备好细螺丝刀或镊子
- 从PLCC 插座或者背面圆形空洞内将模块撬出或顶出。如图所示：



## 其他注意事项

- 评估板的主要作用仅仅是快速评估模块性能，USB 接口本身适合于工业级或者高运动场合适合的连接，如果您的应用为高运动环境(动作捕捉等)，则不建议在您的产品中直接使用评估板。
- 当使用评估板时，模块的串口与USB-UART 芯片连接，因为UART 只能一对一通讯，不能一个输入对多个输出，所以当使用评估板时，不能再将模块的TX,RX 引脚接到其他串口设备上。否则会造成物理损坏

## 固件升级与恢复出厂设置

### 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](http://www.hipnuc.com) 来获取最新固件版本 固件升级步骤:



- 从[www.hipnuc.com](http://www.hipnuc.com) 获取最新的固件程序。拓展名为.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。



## 恢复出厂设置

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GPIO2 与GND
- 重新上电模块，此时出厂参数已经被恢复GND。
- 断开GPIO2与GND。

## 版本历史；

| 版本 | 日期       | 作者     | 描述                     |
|----|----------|--------|------------------------|
| A5 | 20171228 | YandId | 重新命名为HI219UM，增加了一些细节描述 |
| A6 | 20180301 | YandId | 改为 md排版                |

---

1. 通用输入输出，不使用可悬空 [↗](#)

2. 低字节在前 [↗](#)

3.  $1G = 1 \times \text{当地重力加速度}$  [↗](#)