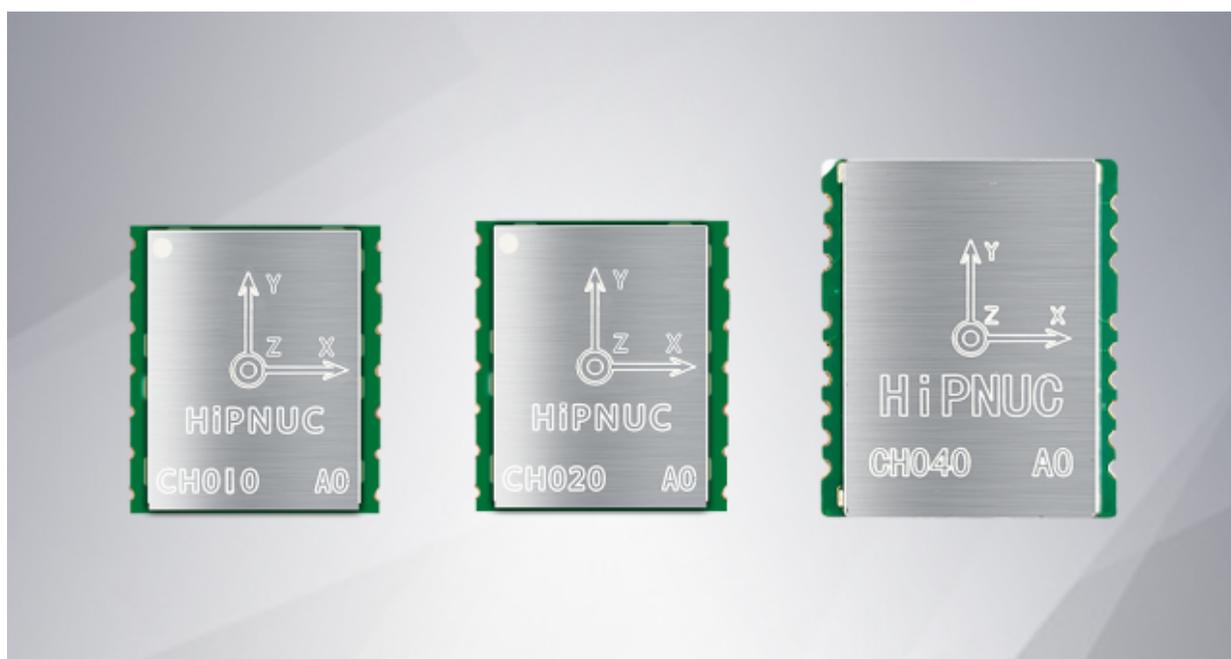


适用于CH010、CH020、CH040、CH040MP



文件: ch0x0_um_cn

技术支持: support@hipnuc.com

属性: 公开

网站: www.hipnuc.com



© 2016-2023 北京超核电子科技有限公司版权所有，本档包含的信息在没有通知的情况下可能会发生更改。

文档变更历史

版本	日期	作者	备注
V1.2	2023年12月7日	HiPNUC	修正CH040引脚描述标题错误
V1.1	2023年9月5日	HiPNUC	去除CH010M、CH020M更新指令集
V1.0	2023年5月21日	HiPNUC	初始版本

CH0X0系列用户手册

- 1 产品简介
 - 1.1 主要应用场景:
 - 1.2 主要优势
 - 1.2.1 完整的制造体系
 - 1.2.2 先进的软件算法
 - 1.2.3 工业级MEMS传感器
 - 1.3 开发套件
 - 1.3.1 评估套件
 - 1.3.2 完善的上位机软件
 - 1.4 订购信息
- 2 机械/电气/接口参数
 - 2.1 CH010/CH020尺寸图
 - 2.1.1 CH010/CH020引脚定义
 - 2.1.2 CH040/CH040MP尺寸图
 - 2.1.3 CH040/CH040MP引脚定义
 - 2.2 电气与机械参数
 - 2.2.1 电气参数
 - 2.2.2 机械参数
 - 2.3 接口参数
 - 2.3.1 UART
 - 2.3.2 CAN
 - 2.3.3 同步输入SYNC_IN
 - 2.3.4 同步输出SYNC_OUT
- 3 坐标系定义
- 4 技术规格
 - 4.1 姿态角量程
 - 4.2 姿态角精度
 - 4.3 陀螺仪
 - 4.4 加速度计
 - 4.5 Allan 方差
 - 4.6 磁传感器参数
 - 4.7 气压计参数
- 5 软件架构
 - 5.1 IMU
 - 5.1.1 陀螺仪数据处理过程
 - 5.1.2 加速度计数据处理过程
 - 5.1.3 磁场数据处理过程
 - 5.1.4 原始数据
 - 5.1.5 低通滤波
 - 5.1.6 工厂标定

- 5.1.7 坐标变换
 - 5.1.8 地磁场的在线校准
- 5.2 数据融合
 - 5.2.1 卡尔曼融合算法
 - 5.2.2 运动状态动态分析
- 5.3 数据输出
- 6 初始配置
 - 6.1 UART(TTL)接口初始配置
 - 6.2 CAN接口初始配置
- 7 硬件设计参考
 - 7.1 电源设计
 - 7.2 通信电路设计
 - 7.2.1 UART
 - 7.2.2 CAN
- 8 焊接
 - 8.1 焊接曲线
 - 8.2 注意事项
- 9 技术支持

1. 产品简介

CH0X0系列是利用高性能、小体积、工业级MEMS惯性器件感知物体姿态信息的姿态感知系统，它集成了惯性测量单元(IMU)、磁力计、气压计和一款搭载扩展卡尔曼融合算法(EKF)的微控制器。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，包含有绝对参考的航向角，俯仰角和横滚角。同时也可以输出校准过的原始的传感器数据。CH0X0系列的封装可以方便可靠地集成到用户的系统，CH0X0系列主要包含CH010、CH020、CH040、CH040MP四款产品，区别如下表：

型号	CH010	CH020	CH040	CH040MP
产品等级	工业级	工业级	工业级	工业级
产品类型	IMU/VRU	IMU/VRU	IMU/VRU	IMU/VRU/AHRS
IMU阵列	1	2	4	4
辅助传感器	-	-	-	地磁+气压

1.1 主要应用场景：

CH0X0系列可以精确地感知移动设备的俯仰(Pitch)、横滚(Roll)、航向(Yaw)等姿态信息，比如AR/VR，自动导引小车(AGV)，巡检机器人、无人机等应用领域。它可与激光雷达(Lidar)、视觉(Camera)等导航方案形成优势互补，增强设备的导航精度，并减小对外界参考物体的依赖。典型的应用市场如下：

- 自动导引小车(AGV/AMR)
- 服务机器人
- 巡检机器人
- 工程机械

1.2 主要优势

1.2.1 完整的制造体系

- 自主研发自动化批量标定与测试产线，保证量产产品一致性。
- 小体积，嵌入式设计，产品兼容性好性价比高
- 零偏、比例因子、跨轴等误差因素出厂标定

1.2.2 先进的软件算法

丰富的行业经验，融合先进的算法，可以在实时估算零偏、地磁自动校准、抗磁场干扰等方面具有优势表现。

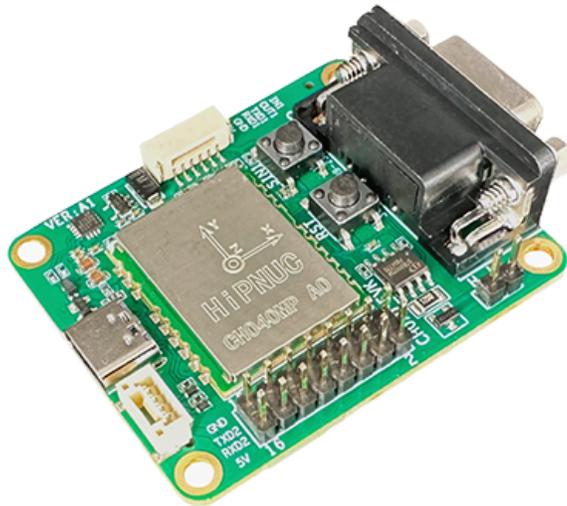
1.2.3 工业级MEMS传感器

- 2.5°/h的零偏不稳定性
- 高达0.3°姿态角精度

1.3 开发套件

1.3.1 评估套件

拥有丰富接口和测试电路的评估套件，详情可参考CH0X0_EVK用户手册



1.3.2 完善的上位机软件

CHCenter是我们为了用户快速评估产品而开发的一款PC端软件，可以自由的运行在WIN/Linux之上。CHCenter具有如下特点：

- 数据显示
- 数据记录
- 数据分析
- 产品参数配置
- 固件升级



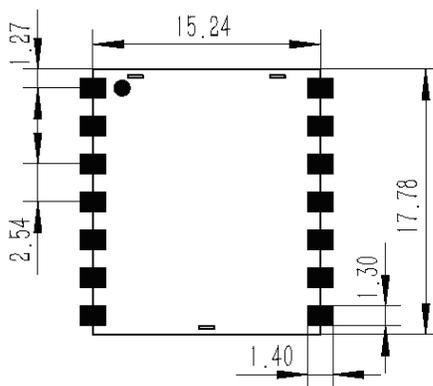
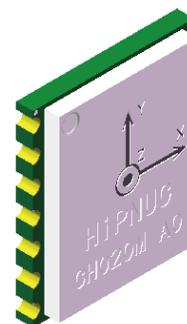
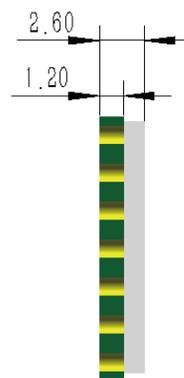
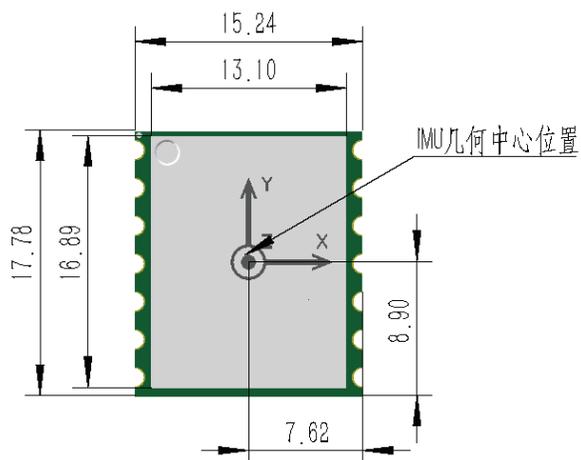
1.4 订购信息

P/N	名称	规格描述
CH010	IMU/VRU模块	6DoF 5.1°/h
CH020	IMU/VRU模块	6DoF 3.6°/h
CH040	IMU/VRU/模块	6DoF 2.5°/h
CH040MP	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF 地磁 气压 2.5°/h

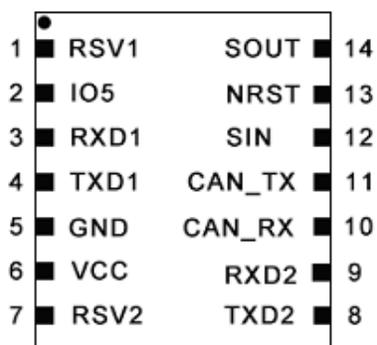
2. 机械/电气/接口参数

2.1 CH010/CH020尺寸图

所有标注单位均为mm



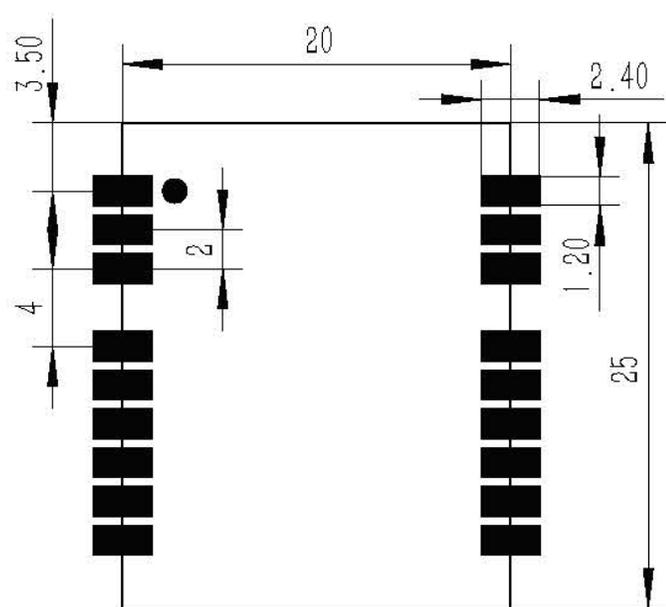
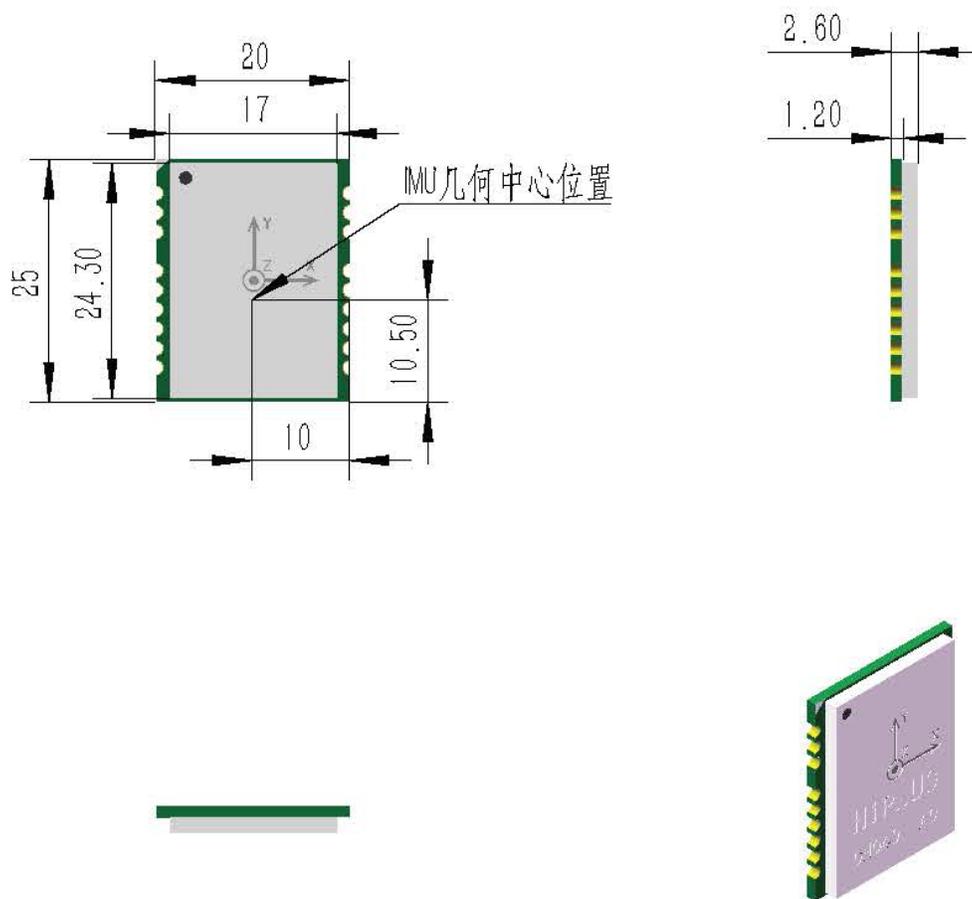
2.1.1 CH010/CH020引脚定义



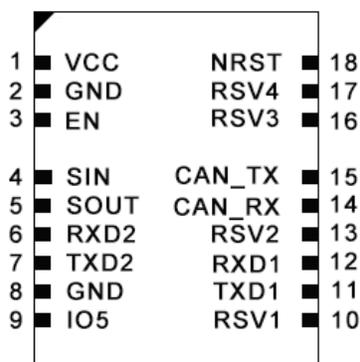
序号	名称	类型	描述
1	RSV	N/A	悬空
2	IO5	I/O	悬空
3	RXD1	I	串口1接收 UART1 RXD
4	TXD1	O	串口1发送 UART1 TXD
5	GND	电源	GND
6	VCC	电源	电源输入
7	RSV2	N/A	悬空
8	TXD2	O	串口2发送 UART2 TXD
9	RXD2	I	串口2接收 UART2 RXD
10	CAN_RX	I	CAN_RX
11	CAN_TX	O	CAN_TX
12	SYNC_IN	I	数据同步输入, 内部上拉, 当模块检测到下降沿时, 会输出一帧数据。不使用时悬空
13	NRST	I	复位, 内部上拉。 >10uS 低电平复位模块。建议连接主机的GPIO, 不使用时悬空
14	SYNC_OUT	O	数据同步输出, 内部上拉 无数据输出时为高电平(空闲), 一帧数据开始发送时变为低电平 一帧数据发送完成后, 返回高电平(空闲)。不使用时需悬空

使用CAN功能时需外接CAN芯片, 比如TJA1044

2.1.2 CH040/CH040MP尺寸图



2.1.3 CH040/CH040MP引脚定义



序号	名称	类型	描述
1	VCC	电源	电源输入3.3-5.5VDC
2	GND	电源	GND
3	EN	I	默认上拉使能, 不用时可悬空, 如果关闭模块可以拉低该引脚电压
4	SYNC_IN	I	数据同步输入, 内部上拉, 当模块检测到下降沿时, 会输出一帧数据。不使用时悬空
5	SYNC_OUT	O	数据同步输出, 内部上拉 无数据输出时为高电平(空闲), 一帧数据开始发送时变为低电平 一帧数据发送完成后, 返回高电平(空闲)。不使用时需悬空
6	RXD2	I	串口2接收 UART2 RXD (保留)
7	TXD2	O	串口2发送 UART2 TXD (保留)
8	GND	电源	GND
9	IO5	I/O	悬空
10	RSV	N/A	悬空
11	TXD1	O	串口1发送 UART1 TXD
12	RXD1	I	串口1接收 UART1 RXD
13	RSV	N/A	悬空
14	CAN_RX	I	CAN_RX
15	CAN_TX	O	CAN_TX
16	RSV	N/A	悬空
17	RSV	N/A	悬空
18	NRST	I	复位, 内部上拉。 >10uS 低电平复位模块。建议连接主机的GPIO, 不使用时悬空

使用CAN功能时需外接CAN芯片, 比如TJA1044

2.2 电气与机械参数

2.2.1 电气参数

类型	条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源输入	VCC	3.3	3.3/5	7	V
使能输入电压	EN	-0.3	-	VCC	V
EN电压 V_{EN}	-	0	-	VCC	V
EN电流 I_{EN}	-	-	0.01	1	uA
功耗 P	CH010	-	-	152	mW
	CH020	-	-	204	mW
	CH040(MP)	-	-	242	mW
IO电平阈值 V_{IH}	-	1.7	-	5	V
IO电平阈值 V_{IL}	-	-	-	0.6	V
IO电流 I_{IO}	-	-20	-	20	mA
ESD	HBM 2KV, CDM 1KV				
启动时间	<1s				
启动方式	水平静止启动				

严禁在使用过程中超过上述限制范围

2.2.2 机械参数

参数	条件	数值
结构尺寸	CH010/CH020	17.78X15.24X3mm
	CH040/CH040MP	25X20X3mm
重量	CH010/CH020	<1.6g
	CH040/CH040MP	<2.5g
封装类型		SMD
工作温度		-40-85°C
冲击		2000g
认证		RoHS、CE

2.3 接口参数

2.3.1 UART

UART(TTL)

波特率	9600/115200/230400/460800/921600bps(默认115200)
协议	超核二进制协议
帧率	5/10/50/100/250/500Hz(默认100)

2.3.2 CAN

CAN

波特率	125K/250K/500K/1000K(默认500K)
协议	CANopen
帧率	5/10/50/100/200Hz(默认100)

2.3.3 同步输入SYNC_IN

SYNC_IN

输入电压	-0.5-3.6V
输入频率	0-500Hz

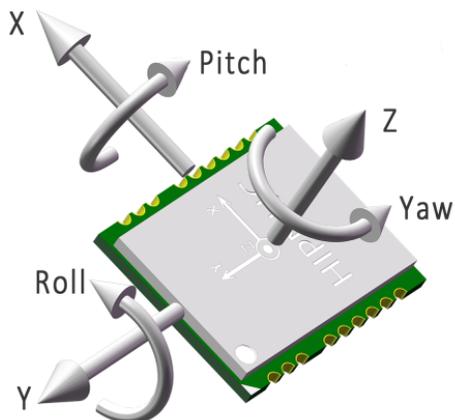
2.3.4 同步输出SYNC_OUT

SOUT1

输出电压	0-3.3V
输出频率	0-500Hz

3. 坐标系定义

载体系使用 右-前-上(RFU)坐标系，地理坐标系使用 东-北-天(ENU)坐标系。加速度和陀螺仪轴向如下图所示。



欧拉角旋转顺序为东-北-天-312(先转Z轴，以绕Z轴旋转后的坐标系为基准再转X轴，然后再以绕X轴旋转后的坐标系为基准，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(ψ) 范围: $-180^\circ - 180^\circ$
- 绕 X 轴方向旋转: 俯仰角\Pitch\theta(θ) 范围: $-90^\circ - 90^\circ$
- 绕 Y 轴方向旋转: 横滚角\Roll\phi(ϕ) 范围: $-180^\circ - 180^\circ$

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°

4. 技术规格

4.1 姿态角量程

姿态角量程	
俯仰角(Pitch)	±90°
横滚角(Roll)	±180°
航向角(Yaw)	±180°

4.2 姿态角精度

型号	CH010	CH020	CH040	CH040MP
俯仰/横滚(静态)	0.3°	0.3°	0.3°	0.3°
俯仰/横滚(动态)	0.8°	0.5°	0.3°	0.3°
航向角静态漂移(VRU) ^①	<0.12°/h	<0.12°/h	<0.12°/h	<0.12°/h
航向角动态漂移(VRU) ^②	<10°	<7°	<5°	<5°
航向角(地磁辅助) ^③	-	-	-	2°
航向角旋转误差(VRU) ^④	<2°	<2°	<2°	<2°
分辨率	0.005°	0.005°	0.005°	0.005°

①模块在25°C绝对静止1h测得

②模块在室内清洁机器人上运动1h测得，室温25°C，1 σ

③地磁校准之后，周边无磁场干扰情况下室温25°C测得，需要将产品配置为地磁辅助模式(AHRS)

④转台连续旋转10圈，航向角累积误差，室温25°C

4.3 陀螺仪

参数	CH010	CH020	CH040/CH040MP	备注
测量范围	±2000°/s(可调)	±2000°/s(可调)	±2000°/s(可调)	
分辨率	0.001°/s	0.001°/s	0.001°/s	
3dB带宽	116Hz(可调)	116Hz(可调)	116Hz(可调)	
零偏不稳定性	5.1°/hr	3.6°/hr	2.5°/hr	@25°C,1 σ
零偏重复性	0.09°/s	0.07°/s	0.05°/s	@25°C,1 σ
非正交误差	±0.1%	±0.1%	±0.1%	@25°C,1 σ
随机游走	0.6°/√hr	0.42°/√hr	0.3°/√hr	@25°C,1 σ
刻度非线性度	±0.1%	±0.1%	±0.1%	满量程时(最大)
刻度系数误差	1400ppm	800ppm	550ppm	出厂前校准后
加速度敏感性	0.1°/s/g	0.1°/s/g	0.1°/s/g	
Z轴全温零偏变化 ^①	0.004°/s/°C	0.0005°/s/°C	TBD	-40°C - 85°C

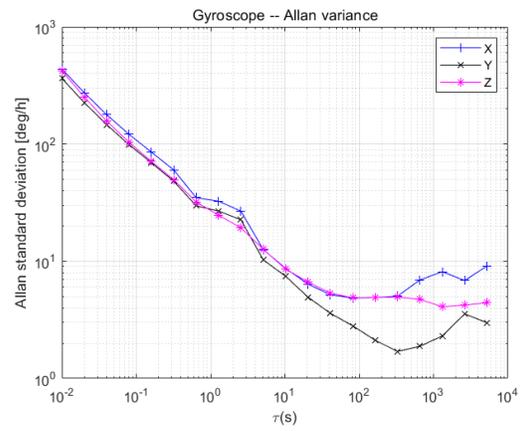
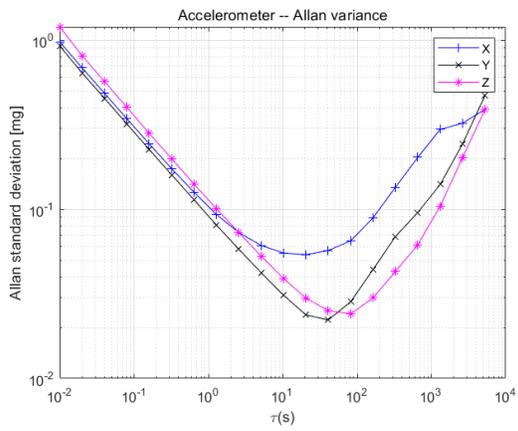
④测试样品平均值

4.4 加速度计

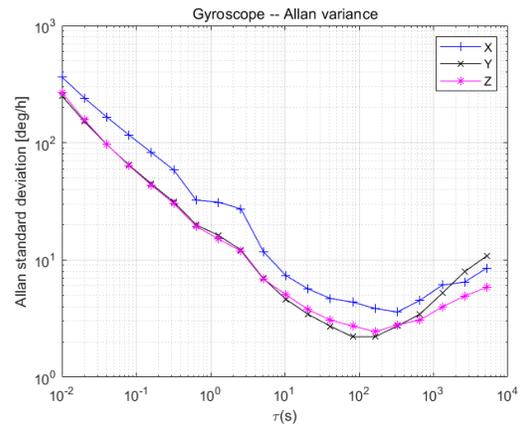
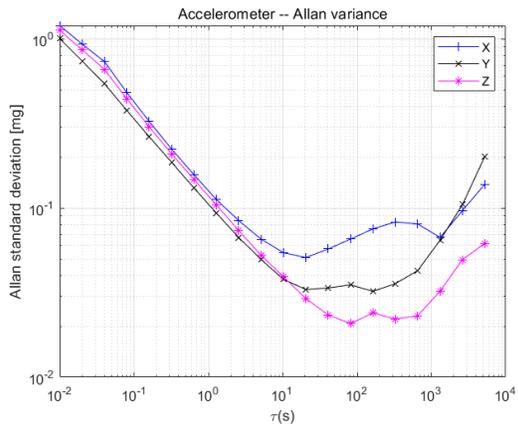
参数	CH010	CH020	CH040/CH040MP	备注
测量范围	±12g	±12g	±12g	1g=1x当地重力加速度
分辨率	1ug	1ug	1ug	
3dB带宽	145Hz	145Hz	145Hz	
零偏不稳定性	60ug	42ug	30ug	@25°C,1σ(1ug = 10 ⁻⁶ g,1g=1x当地重力加速度)
零偏重复性	1.8mg	1.5mg	1.2mg	@25°C,1σ
非正交误差	±0.1%	±0.1%	±0.1%	@25°C,1σ
随机游走	0.08m/s√h	0.06m/s√h	0.04m/s√h	@25°C,1σ
刻度系数误差	±1%	±0.3%	±0.3%	出厂前校准后, 满量程时
全温范围温度变化	<0.3mg/°C	<0.005mg/°C	<0.005mg/°C	-40°C - 85°C

4.5 Allan 方差

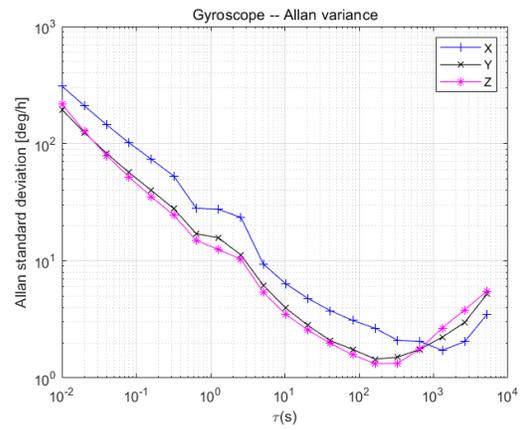
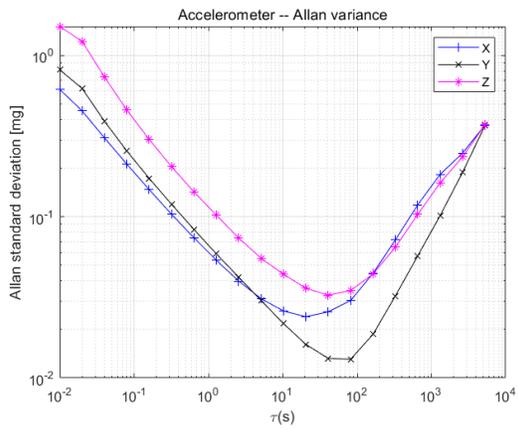
CH010



CH020



CH040



4.6 磁传感器参数

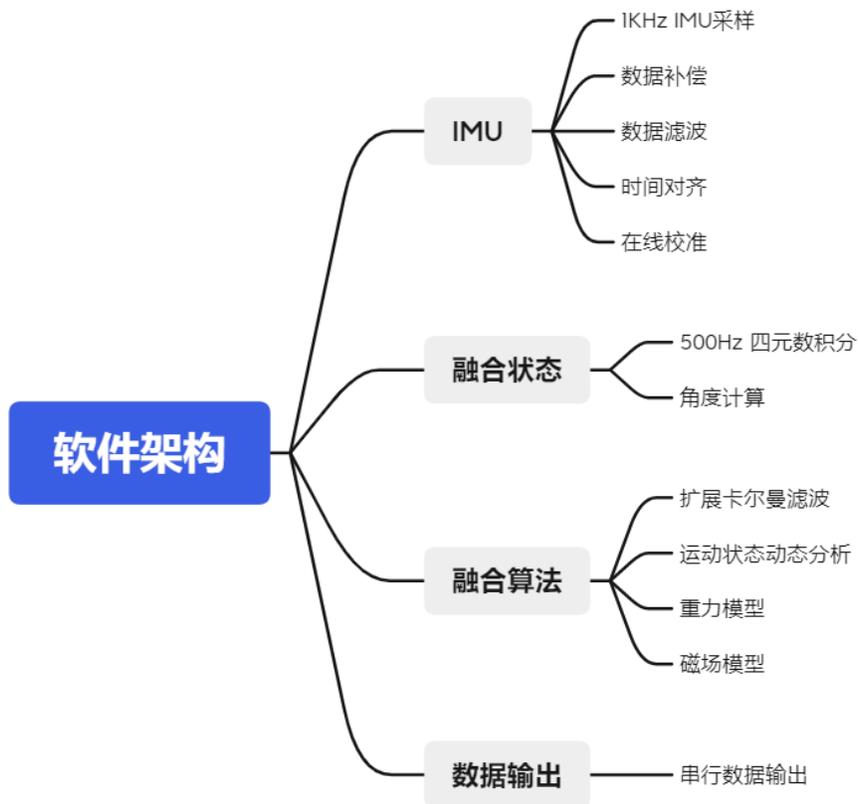
参数	CH040MP
测量范围	±8G(Gauss)
非线性度	±0.1%
分辨率	0.25mG

4.7 气压计参数

参数	CH040MP
测量范围	300 – 1200 hPa
分辨率	± 0.006 hPa (or ±5 cm)
精度	± 0.06 hPa (or ±50 cm)
内部采样频率	64Hz

5. 软件架构

CH0X0系列采用超核最新的融合算法引擎，该算法引擎采用了自主研发的扩展卡尔曼滤波和IMU噪声动态分析技术，可以满足高动态下姿态角的精度，并且减小航向角的漂移。算法架构主要包含IMU、融合状态、融合算法、数据输出4个部分：



5.1 IMU

IMU系统主要工作是对IMU原始数据进行标定补偿，使得IMU的数据可以更好地满足多种多样的用户场景。

5.1.1 陀螺仪数据处理过程



5.1.2 加速度计数据处理过程



5.1.3 磁场数据处理过程



5.1.4 原始数据

MCU以1KHz的采样频率采集加速度计和陀螺仪的原始数据

5.1.5 低通滤波

CH0X0系列为用户提供了多种低通滤波方案(可参考第6章用户配置-带宽配置章节)，这些滤波方案可以满足用户的多场景应用。

5.1.6 工厂标定

每个MEMS IMU在生产制造过程中，都有一些共性的零偏，比例因子、跨轴等误差，除此之外还会受到，温度变化的影响，因此我们在生产、制造、测试的过程中通过专有的设备将这些误差的影响降低到最小。

5.1.7 坐标变换

我们默认推荐用户对产品进行水平安装使用，但是受限于用户的使用场景，有时不得不将模块进行其他位置安装，因此我们可以支持对传感器的坐标系进行旋转以更好地满足用户安装需求。坐标变换指令可参考第6章用户配置-坐标变换章节。

5.1.8 地磁场的在线校准

地磁场的在线校准支持自动校准，具体内容可参考初始配置与操作-地磁校准章节

5.2 数据融合

5.2.1 卡尔曼融合算法

处理器利用扩展卡尔曼算法将加速度计、陀螺仪、磁力计的原始数据进行固定频率(默认500Hz)的四元数全姿解算，通过数据融合可以得到四元数、欧拉角等融合后的信息。同时可以估计陀螺仪、加速度计等传感器的零偏，这对于依赖低延时、低抖动姿态信息作为控制输入信息的系统非常重要。

融合数据输出

欧拉角(俯仰、横滚、航向)

四元数

5.2.2 运动状态动态分析

根据加速度计、陀螺仪等传感器提供的信息，可以间接分析当前载体的运动状态，从而调整卡尔曼融合状态，使模块性能处于最佳状态。

5.3 数据输出

不同的数据接口拥有不同的输出协议，详见下表：

数据接口	协议
UART(TTL)	超核自定义二进制协议(91协议)
CAN	CANopen

6. 初始配置

CH0X0系列设计的初衷是用户进行最低限度的配置，以实现覆盖绝大部分应用场景的操作。因此默认配置已经可以满足很多工况的场景，但是我们也为用户提供了其他配置选项以应对特殊场景。

6.1 UART(TTL)接口初始配置

配置	参数
模式	6DoF 无地磁辅助
波特率	115200
数据帧率	100Hz
坐标系	参考坐标系定义章节
陀螺仪带宽(3dB)	116Hz
加速度计带宽(3dB)	145Hz
陀螺仪量程	$\pm 2000^\circ/\text{s}$
加速度计量程	$\pm 12\text{g}$

6.2 CAN接口初始配置

配置	参数
模式	6DoF 无地磁辅助
波特率	500K
数据帧率	100Hz
坐标系	参考坐标系定义章节
陀螺仪带宽(3dB)	116Hz
加速度计带宽(3dB)	145Hz
陀螺仪量程	$\pm 2000^\circ/\text{s}$
加速度计量程	$\pm 12\text{g}$

7. 硬件设计参考

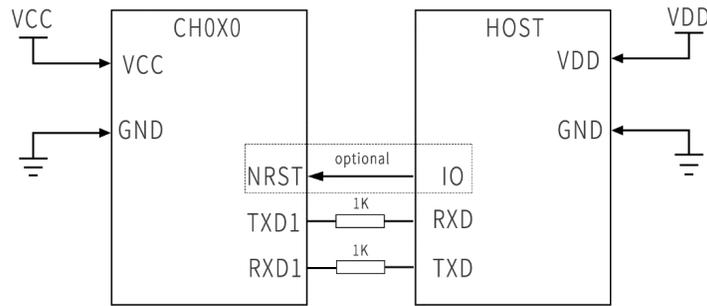
7.1 电源设计

CH0X0系列内置LDO，因此用户可以根据CH0X0的电气参数选择DC-DC或者LDO供电。

7.2 通信电路设计

7.2.1 UART

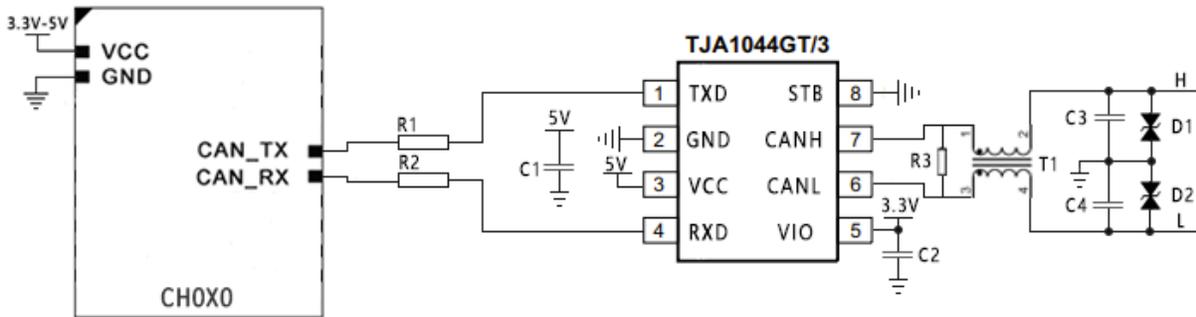
UART1和UART2均可以作为数据传输接口，推荐用户使用UART1与主机系统相连，如下图所示：



如果用户需要使用同步和复位功能，也可以将模块同步输出（SOUT）、同步输入（SIN）、NRST与主机相连，NRST内部已经内置阻容复位电路

7.2.2 CAN

选择TJA1044GT/3作为参考示例



终端电阻R3可根据实际情况选择是否需要焊接

Item	Reference	Part	P/N	Vendor	Note
电阻	R1,R2	1K	RC0402JR-071KL	YAGEO	
电阻	R3	120Ω	RC1206FR-07120RL	YAGEO	optional
电容	C1,C2	0.1uF	CC0402KRX5R7BB104	YAGEO	

Item	Reference	Part	P/N	Vendor	Note
电容	C3,C4	100pF	CC0402JRNPO9BN101	YAGEO	
共模电感	T1	5.8kΩ@10MHz 100uH@100kHz 150mA	ACT45B-101-2P-TL003	TDK	
TVS	D1,D2	SMBJ6.5CA	SMBJ6.5CA	GOODWORK	

8. 焊接

传感器 满足上IPC/JEDEC 标准的无铅焊接要求，即回流焊，峰值温度高达260°C。

传感器禁止手工维修和焊接，会影响精度

8.1 焊接曲线

参数类型	无铅
Average ramp-up rate (TSmax to Tp)	3°C/s max
Temperature min (TSmin)	150°C
Temperature max (TSmax)	200°C
Time (TSmin to TSmax)	60-180s
Temperature (TL)	170°C
Time (tL)	60-150s
Peak classification temperature (TP)	260°C
Time within 5 °C of actual peak temperature (tp)	20-40s
Ramp-down rate	6°C/min max
Time 25°C to peak temperature	8 min max

8.2 注意事项

通常来说MEMS传感器是由电子和机械结构组成的高精度测量设备，为实现精度、效率和机械坚固性而设计，需要将传感器安装在印刷电路板（PCB）上时，应考虑以下建议。

- 通常建议将PCB厚度最小化，因为薄PCB的固有应力较小，例如在弯曲过程中。（建议 ≤ 1.2 毫米）
- 不建议将传感器直接放在按钮触点的下方或旁边，因为这会导致机械应力。
- 不建议将传感器直接放置在温度极高的热点附近（例如控制器或图形芯片），因为这会导致PCB升温，从而导致传感器发热。
- 不建议将传感器放置在机械应力最大值附近（例如在对角交叉的中心）。机械应力会导致PCB和传感器弯曲。
- 不建议将传感器安装距离螺丝孔太近
- 避免将传感器安装在PCB可能或预期会出现谐振（振动）的区域。

如果上述建议无法得到适当实现，则在将器件放置在PCB上进行特定的在线偏移校准可能有助于最大限度地减少潜在的影响。

9. 技术支持

新产品信息及技术支持，请关注超核电子公众号和官方网站

