

1 特性

1.1 硬件

- 高性能 MEMS-IMU
- 5-36V 宽压输入
- EtherCAT 接口
- 出厂-40-85°C全温温补, 标定比例因子、跨轴、零偏
- 陀螺仪零偏不稳定性可达 1.6°/h
- 加速度计零偏不稳定性可达 18ug
- 全对称设计
- 优异的抗振性
- 集成温度传感器
- 小体积独立外壳封装, 易于集成
- RoHS、CE 认证

1.2 软件

- 自适应扩展卡尔曼融合算法, 高达 1000Hz 输出, 低延时
- 优异的动态跟随性能并且振动抑制性好
- 对线性加速度有出色的抑制作用
- 启动时间<1s
- 无需外部指令配置、直接输出数据
- 丰富的用户配置指令
- 多功能 GUI, 方便操作
- 支持 ROS、C、QT 等多种例程

2 应用

- 人形机器人

3 描述

3.1 产品外观



Figure1: HI15

3.2 系统框图

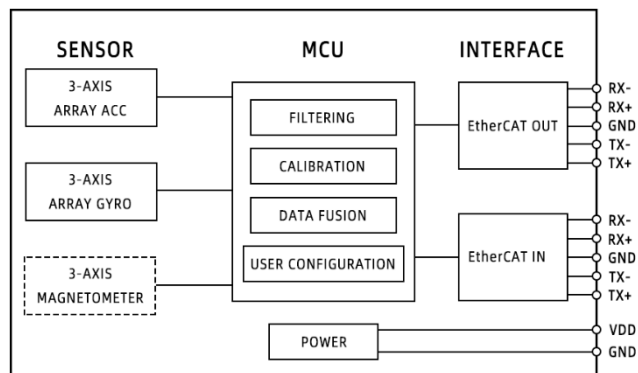


Figure2: Functional block diagram

Note1: 虚线表示有的型号不支持, 具体请看产品选型表 Table1

3.3 通用描述

HI15 系列是利用高性能 MEMS-IMU、磁力计和增强型单轴陀螺仪组成的 IMU/VRU 传感器, 并且搭载了自主研发的自适应扩展卡尔曼滤波、IMU 噪声动态分析算法、以及载体运动状态分析算法, 可以满足高动态下姿态角的精度, 并且减小航向角的漂移。

每一个传感器出厂之前都经过了精细的补偿包括温度、零偏、比例因子、跨轴。

HI15 系列传感器通过 EtherCAT 接口进行数据传输, 并且拥有丰富的用户配置。

多功能上位机(GUI)可以帮助快速地评测产品, 这些功能包括并不限于模块配置、数据显示、固件升级、数据记录等。

选型与订购信息, 请参见 Table 1, Table 2

目录

1 特性 1

 1.1 硬件..... 1

 1.2 软件..... 1

2 应用 1

3 描述 1

 3.1 产品外观 1

 3.2 系统框图 1

 3.3 通用描述 1

4 产品选型..... 4

5 产品订购..... 5

 5.1 订购信息 5

 5.2 联系我们 5

6 文档信息..... 6

 6.1 适用范围 6

 6.2 文档版本信息..... 6

 6.3 相关文档与开发套件..... 6

7 参数 7

 7.1 绝对最大值..... 7

 7.2 正常工作 7

 7.3 陀螺仪 8

 7.4 加速度计 8

 7.5 温度传感器..... 8

 7.6 初始零偏 9

 7.7 Allan 方差曲线 10

 7.8 陀螺仪与加速度计温度特性 11

 7.9 融合参数 12

 7.10 姿态角精度..... 12

 7.11 机械与环境参数 12

 7.12 产品尺寸与引脚定义..... 13

 7.12.1 HI15 外壳尺寸..... 13

 7.12.2 HI15 外壳尺寸表 13

 7.12.3 HI15 接口引脚定义 14

8 坐标系定义 15

 8.1 坐标系 15

 8.2 传感器质心位置 15

 8.3 推荐的安装方式 16

9 初始配置.....	17
10 通信协议.....	18
10.1 对象结构关系简述	18
10.2 0x6000 数据对象结构	18
10.3 IMU_STATE 状态码说明	18

4 产品选型

Table 1: 选型信息

HI15a-b-c-d¹					
公司标识	产品系列	a-传感器		b-数据接口	c-定制信息
HI	15	R2	6DoF 1.6°/h 0.018mg	ECAT EtherCAT	000 默认 其他 有定制

Note1: 型号举例：HI15R2-ECAT-000

Note2: 所有型号默认全温温补

5 产品订购

5.1 订购信息

Table 2: 订购信息

Part Number	Name	Description	Note
HI15R2-ECAT-000	IMU/VRU Module	6DoF 1.6°/h 0.018mg	1

5.2 联系我们

- 产品可以通过以下形式订购：
- 1. 可以通过邮件与我们销售联系 sales@hipnuc.com
 - 2. 可直接拨打电话进行联系
座机：010-69726346
移动电话：15801501203
web: www.hipnuc.com
 - 3. 添加微信



4. 公众号与官网

新产品和技术资料可以通过官网获得



6 文档信息

6.1 适用范围

文档适用于硬件版本为 A0 及以上的模组。版本变更历史如下：

Table 3: 硬件版本变更

产品	硬件版本	变更内容
HI15	A0	初始版本
	A2	外壳尺寸变更，增加显示灯

6.2 文档版本信息

Table 4: 文件版本

版本	日期	章节	变更内容
1.0	Feb 17, 2025	-	初始版本
1.1	April 9, 2025	1,7.12	变更产品图片 产品尺寸
1.2	Jun 6, 2025	7.3 7.4 7.12	变更产品尺寸参数 以及传感器相关参数
1.3	2025-9-22		删除 HI15M0 型号

6.3 相关文档与开发套件

- 1. 指令与编程手册
- 2. CAE/Step 文件
- 3. CE/RoHS 等认证文件
- 4. GUI 上位机与参考例程

7 参数

如无特殊备注，测试温度 25℃，供电电压 5V。

7.1 绝对最大值

Table 5: 绝对最大值

Parameters	Limit	Comment
机械冲击	2000g	Duration <1ms
存储温度	-40°C-85°C	
ESD HBM	15KV	JEDEC/ESDA JS-001
输入电压	40V	
IO To GND	-0.3-5V	

7.2 正常工作

Table 6: 正常工作

Parameters	Condition	Min	Nom	Max	Unit	Note
输入电压		5	-	40	V	
功耗		1	1.2	1.3	W	
工作温度		-40	-	85	°C	
陀螺仪量程		125	2000	2000	°/s	1
加速度计量程		3	12	24	g	
启动时间				2	s	2

Note1: 启动时间指的是系统从关机到有效数据输出的时间。在此期间应该保持模块静止

7.3 陀螺仪

Table 7: 陀螺仪参数

Parameters	Condition	Min	Nom	Max	Unit	Note
量程			2000		°/s	
分辨率			16bit			
比例因子	100°/s		<280	300	ppm	1
非线性		-0.05	-	0.05	%Fs	2
3dB 带宽			80	200	Hz	
采样率			1000		Hz	
零偏不稳定性	Allan Variance		1.6		°/h	3
零偏稳定性	10s 平滑		5		°/h	
零偏重复性			8		°/h	3
角度随机游走	Allan Variance		0.25		°/√h	3
零偏全温变化-40-85°C			<0.09	0.2	°/s	4
加计敏感性	All three axis		0.1		°/s/g	

- Note1:** 转台正反各旋转 10 圈，取平均测得
- Note2:** 在指定范围内与最佳拟合直线的最大偏差
- Note3:** 参考 7.7Allan 方差曲线
- Note4:** 超核实验室温箱转台测得，温升斜率小于 3°C/min，详细数据参考 Figure 7 温补曲线

7.4 加速度计

Table 8: 加速度计参数

Parameters	Condition	Product	Min	Nom	Max	Unit	Note
量程				12		g	
分辨率				16bit			
初始零偏					5	mg	1
非线性				0.5		%Fs	
3dB 带宽				90	200	Hz	
采样率				1600		Hz	
零偏不稳定性	Allan Variance			0.018		mg	2
零偏稳定性	10s 平滑			0.035		mg	
零偏重复性				0.15		mg	2
随机游走	Allan Variance			0.04		m/s/√h	2
零偏全温变化	-40-85°C			<2.5	5	mg	3

- Note1:** 用户安装之后此数值会有变化以实际为准，参考 7.6 初始零偏
- Note2:** 参考 7.7-Allan 方差曲线
- Note3:** 超核实验室温箱转台测得，温升斜率小于 3°C/min，详细数据参考 Figure 7 温补曲线

7.5 温度传感器

Table 9: 温度传感器参数

Parameters	Condition	Min	Nom	Max	Unit	Note
量程		-104	-	150	°C	
Offset error			±1		K	

7.6 初始零偏

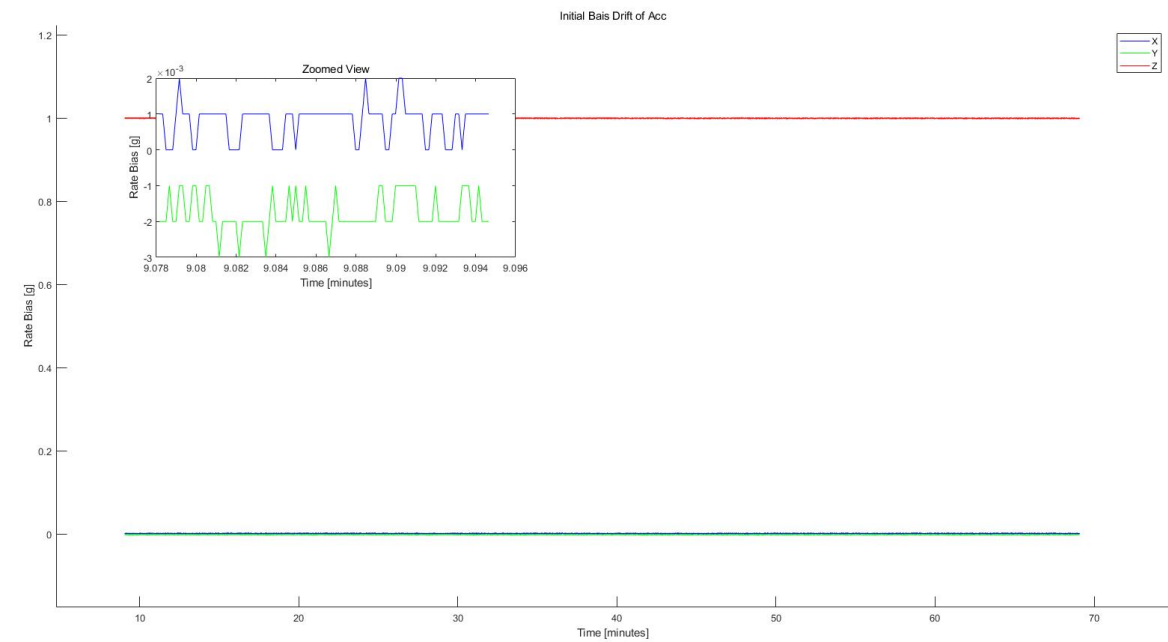


Figure3: HI15R2 initial bias drift of accelerometer

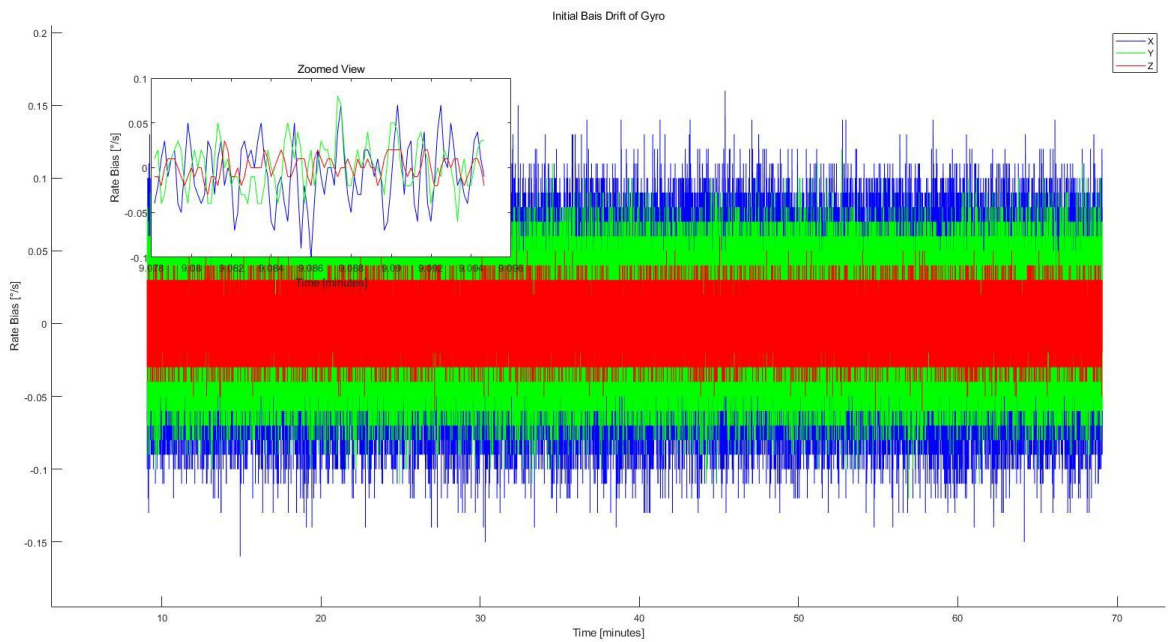


Figure4: HI15R2 initial bias drift of gyroscope

7.7 Allan 方差曲线

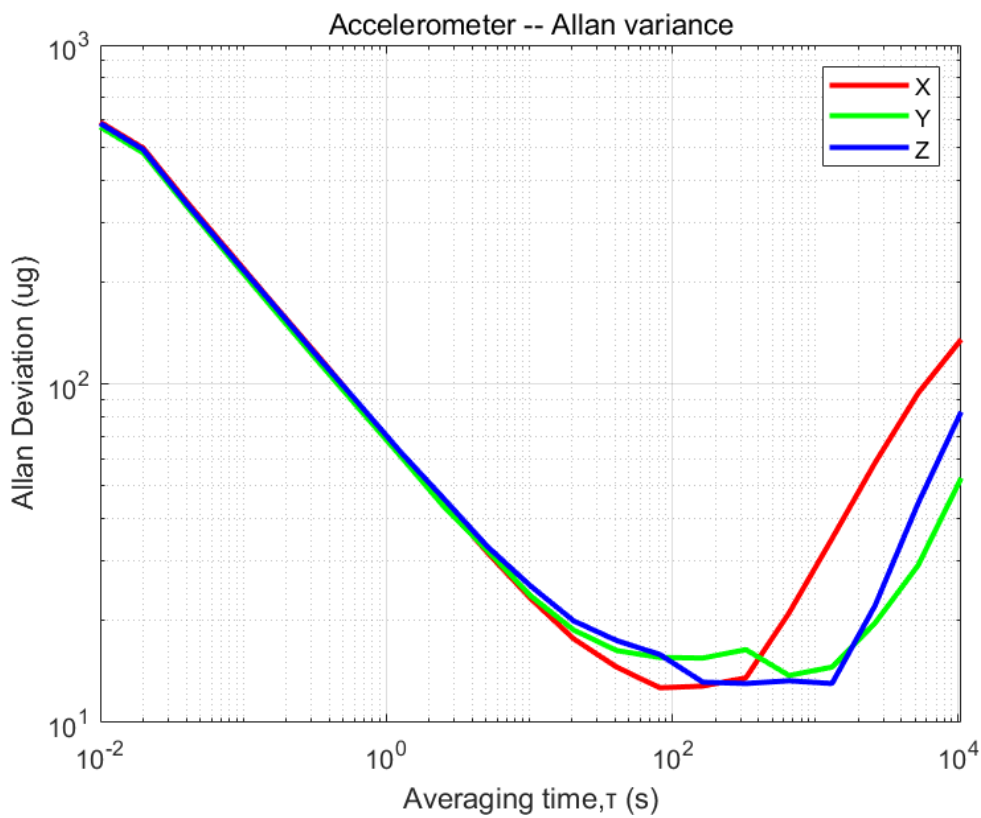


Figure5: HI15R2 accelerometer allan variance

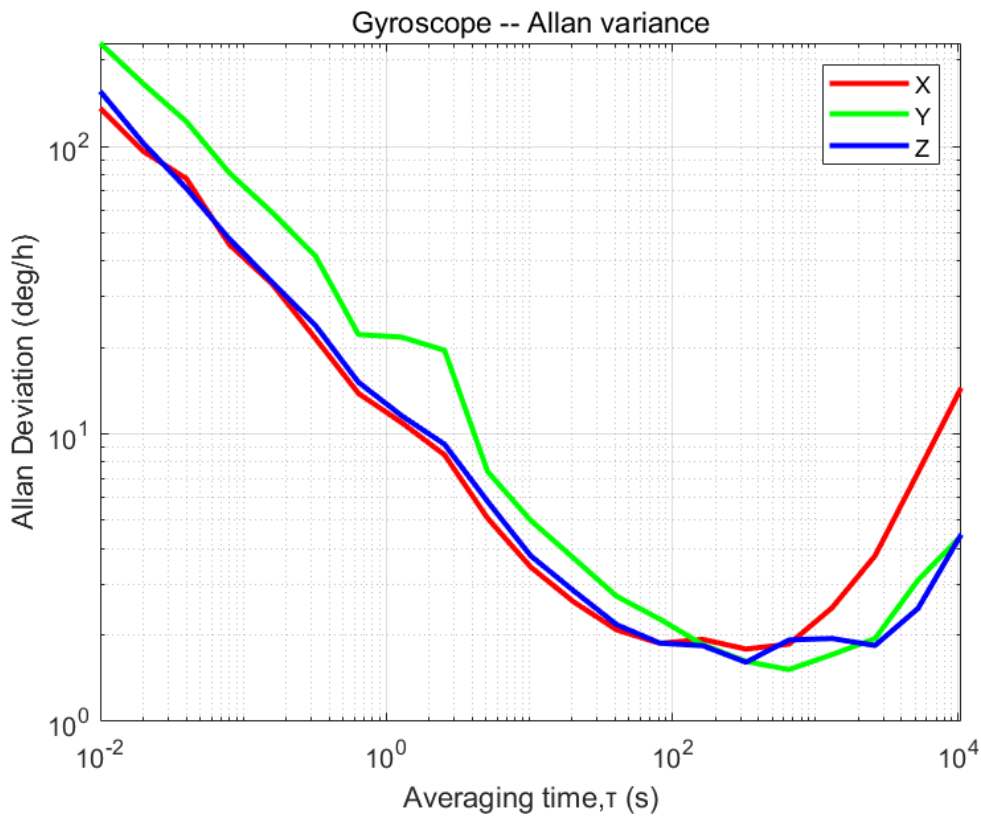


Figure6: HI15R2 gyroscope allan variance

7.8 陀螺仪与加速度计温度特性

将被测样品从-40°C升温至 85°C，对样品零偏数据进行补偿，补偿结果如下

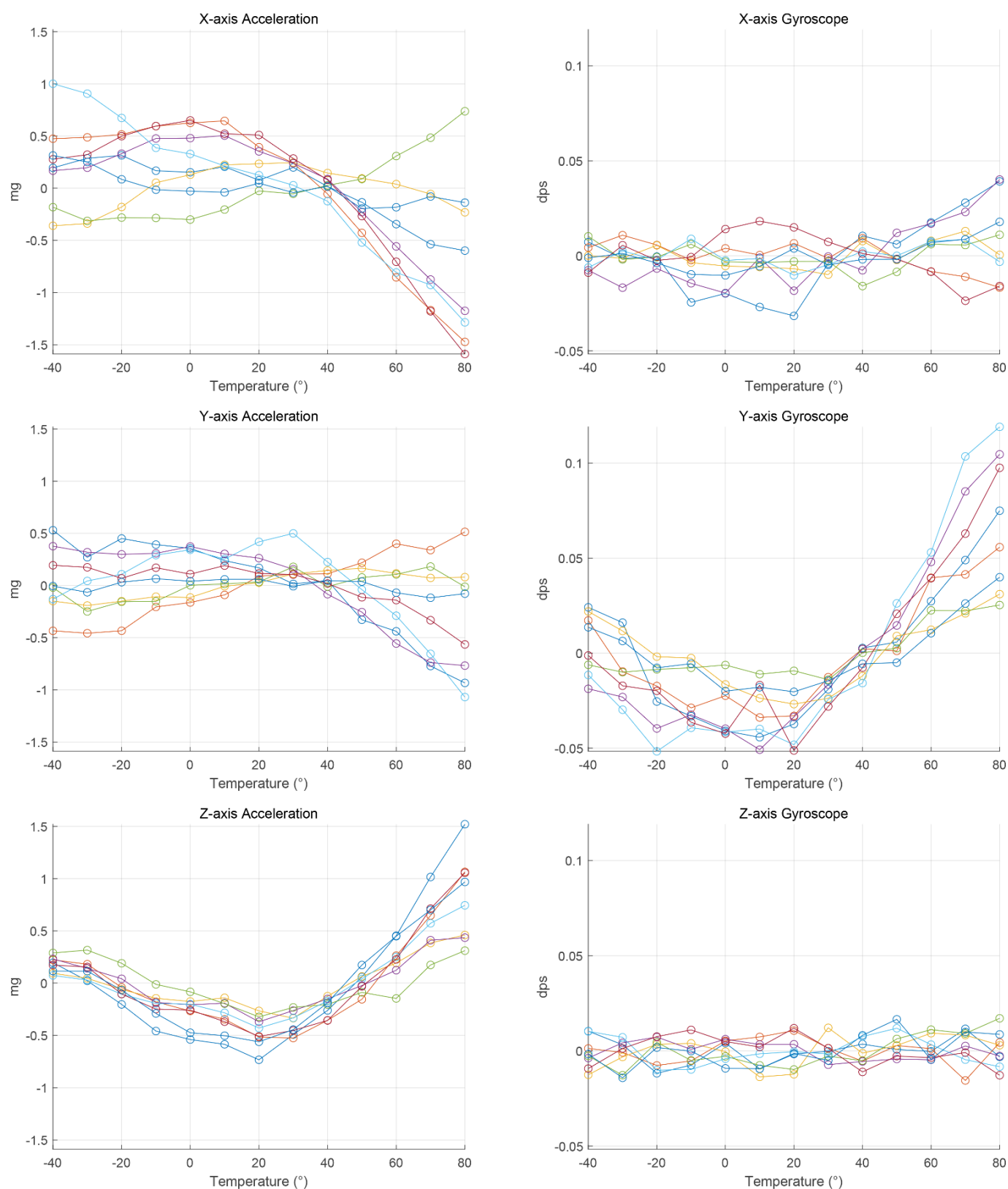


Figure7: Accelerometer and Gyroscope Temperature Compensated Curve

7.9 融合参数

Table 10: 融合参数

Parameters	Value
俯仰角(Pitch)	±90°
横滚角(Roll)	±180°
航向角(Yaw)	±180°
四元数(Quaternion)	支持
角度分辨率	0.01°

7.10 姿态角精度

Table 11: 姿态角精度

Parameters	Condition	Product	Min	Nom	Max	Unit	Note
俯仰/横滚(静态)				0.15	0.2	°	
俯仰/横滚(动态)				0.15	0.2	°	
航向角静态漂移(6DOF)	静止 2h			0.15	0.2	°	1
航向角旋转误差(6DOF)	100°/s 旋转			<2	3	°	2

Note1: 模块水平静止 2h

Note2: 转台连续旋转 10 圈，航向角累积误差

7.11 机械与环境参数

Table 12: 机械与环境参数

Parameters	Product	Value	Note
尺寸		39.1X36X13mm	
重量		25g	
外壳材质与工艺		铝合金 CNC	
装配螺丝		M2.5	
接插件型号	电源	SM02B-PASS-1	
	信号	SM05B-GHS-TB	
抗振动		1.0mm(10Hz-58Hz)&≤20g(58Hz-600Hz)	
环保		RoHS 指令 2011/65/EU	
EMC		LVD Directive 2014/35/EU	
跌落测试		在高 75cm 的实验台上，自由跌落 3 次	
温度冲击		温度在 1h 内从-40℃升至 85℃，5 次	

7.12 产品尺寸与引脚定义

All Dimensions in mm units.

7.12.1 HI15 外壳尺寸

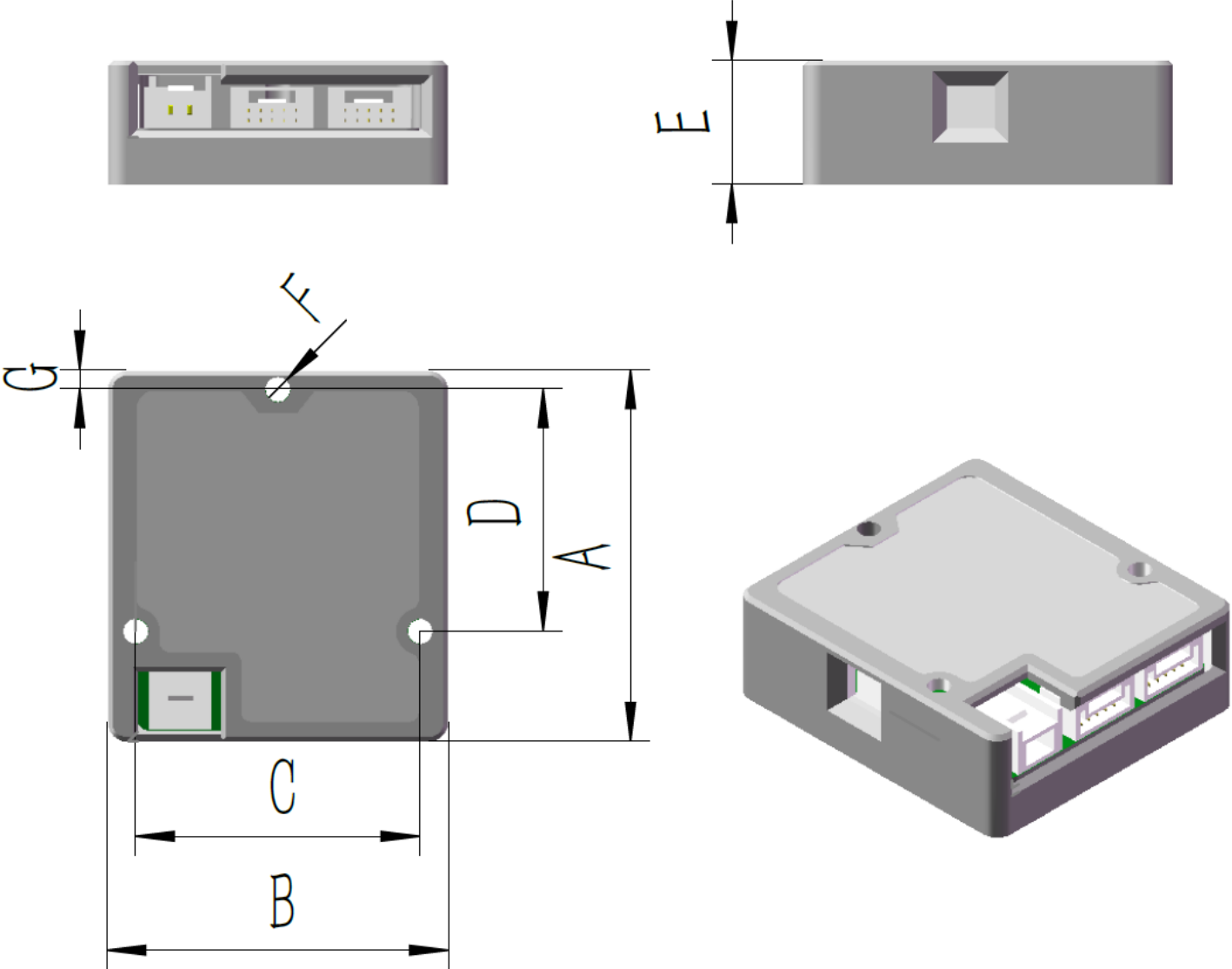


Figure8: HI15 interface mechanical dimension

7.12.2 HI15 外壳尺寸表

Table 13: HI15 外壳尺寸

Symbol	Min(mm)	Typ(mm)	Max(mm)
A	38.9	39.1	39.3
B	35.8	36	36.2
C	29.8	30	30.2
D	25.3	25.5	25.7
E	12.8	13	13.2
F	φ2.45	φ2.6	φ2.75
G	1.8	2	2.2

7.12.3 HI15 接口引脚定义

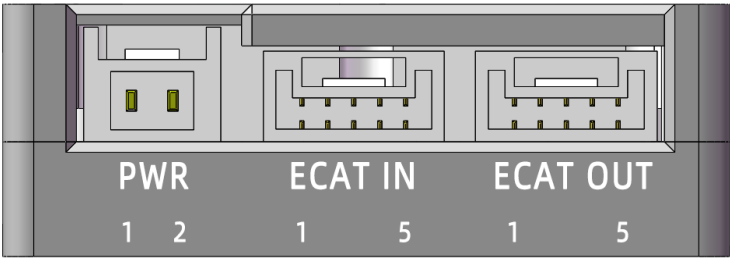


Figure9: Pin configuration as seen from front of HI15

Table 14: PWR 引脚功能描述

Pin Number	Pin Name	Type	Functional	Note
1	VCC	Power	电源输入 5-36V	
2	GND	Power	GND	

Table 15: EtherCAT 引脚功能描述

Pin Number	Pin Name	Type	Functional	Note
1	TX+	AIO		
2	TX-	AIO		
3	GND	Power	GND	
4	RX+	AIO		
5	RX-	AIO		

Table 16: 配套连接器

以下是来自 JST 的连接器，可用于将 HI15 系列传感器连接到电源和 EtherCAT 网络

Connector	JST Number	Type	Amount	Note
1	PARP-02V	Power connector	1	
2	GHR-05V-S	EtherCAT connector	2	

8 坐标系定义

8.1 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下图所示：

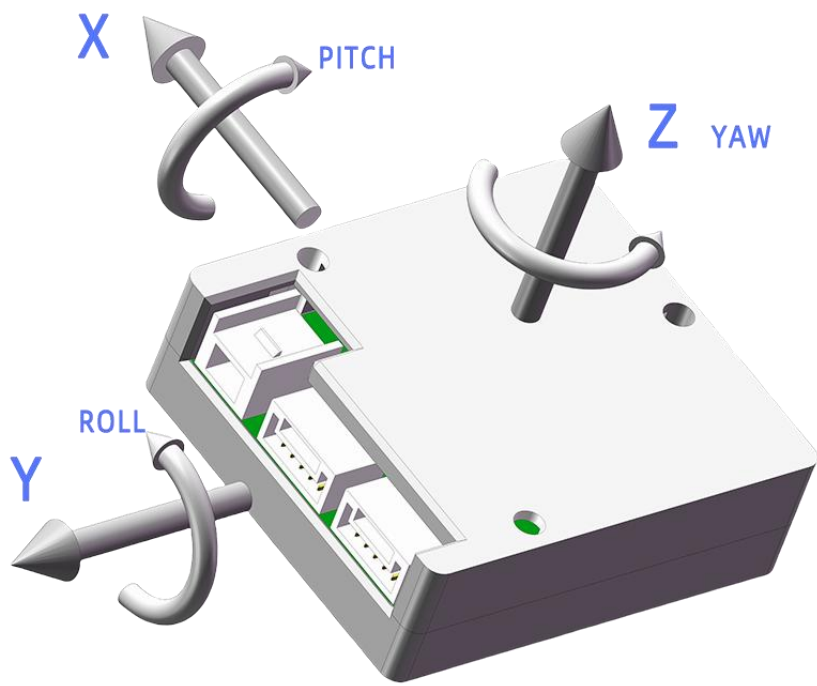


Figure10: HI15 Coordinate System

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(ψ) 范围：-180° - 180°

绕 X 轴方向旋转：俯仰角\Pitch\theta(θ) 范围：-90°-90°

绕 Y 轴方向旋转：横滚角\Roll\phi(φ)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°。

用户如果需要更改传感器默认坐标系，可以参考指令与编程手册。

8.2 传感器质心位置

Table 17: HI15 系列传感器中心位置

Axis	X-offset	Y-offset	Z-offset	Unit
X	0	-1.5	2.8	mm
Y	0	-1.5	2.8	mm
Z	0	-1.5	2.8	mm

8.3 推荐的安装方式

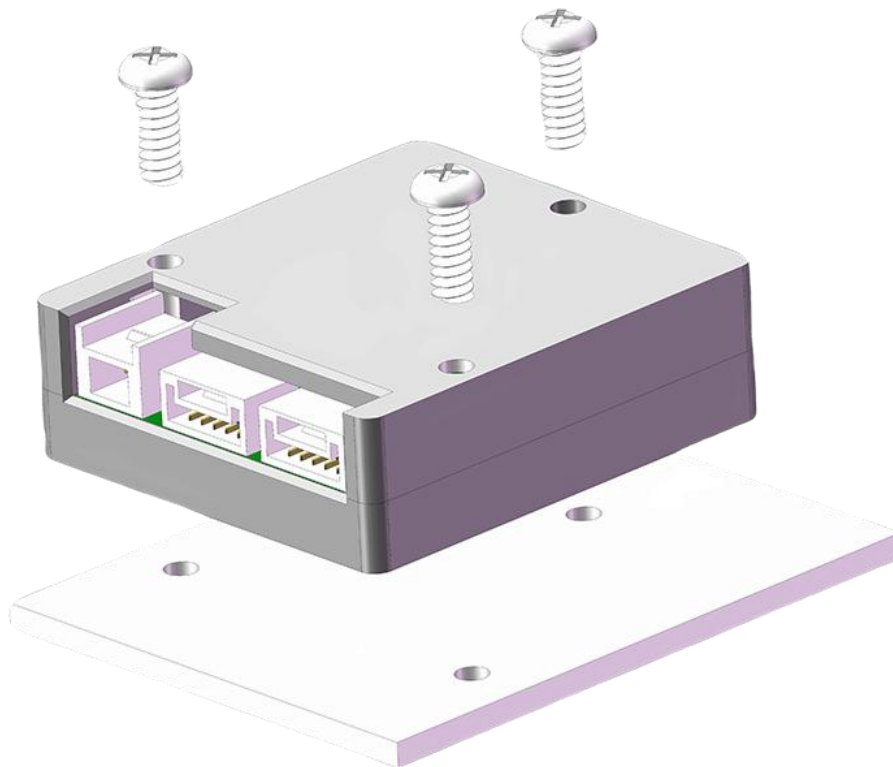


Figure11: Installation diagram

Note1: 如需其他安装方式，请参考指令与编程手册对坐标系进行旋转

Note2: 建议将模块安装到被测物体振动小，温度变化小的位置，并且与被测载体刚性连接

9 初始配置

HI15 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。传感器初始配置

Table 18: 传感器初始配置

Parameters	Value	Unit	Note
陀螺仪量程	±2000	°/s	
3dB 带宽	80	Hz	
加速度计量程	±12	g	
3dB 带宽	90	Hz	
模式	6DOF		

10 通信协议

EtherCAT 的 TxPDO 通道输出 IMU 数据

10.1 对象结构关系简述

0x6000: IMU 数据对象, 定义实际传输的数据内容, 包括加速度、角速度、四元数和状态信息

0x1A00: TxPDO 映射对象, 映射自 0x6000 的子项

0x1C13: SyncManager3 分配表, 指向 0x1A00

主站通过 SyncManager3 读取 0x1A00 中配置的映射项, 从而接收 0x6000 中的 IMU 实时数据

10.2 0x6000 数据对象结构

Object 0x6000 定义了通过 TxPDO 输出的 IMU 数据内容, 包含加速度、角速度、姿态四元数以及 IMU 状态信息

Table 19: 0x6000 数据对象结构

子索引	名称	数据类型	说明
0x01	acc_x	REAL32	X 轴加速度, 单位:m/s ²
0x02	acc_y	REAL32	Y 轴加速度, 单位:m/s ²
0x03	acc_z	REAL32	Z 轴加速度, 单位:m/s ²
0x04	gyr_x	REAL32	X 轴角速度, 单位:rad/s
0x05	gyr_y	REAL32	Y 轴角速度, 单位:rad/s
0x06	gyr_z	REAL32	Z 轴角速度, 单位:rad/s
0x07	q0	REAL32	四元数 W
0x08	q1	REAL32	四元数 X
0x09	q2	REAL32	四元数 Y
0x0A	q3	REAL32	四元数 Z
0x0B	imu_state	UINT16	IMU 状态, 表示正常工作的 IMU 数量

10.3 IMU_STATE 状态码说明

imu_state 使用低 4 位 (bit0 ~ bit3) 分别表示 IMU0 ~ IMU3 的状态, 每一位为 1 表示对应 IMU 正常工作, 为 0 表示故障或未连接

例如:

bit0=1 表示 IMU0 正常

bit1=1 表示 IMU1 正常

bit2=1 表示 IMU2 正常

bit3=1 表示 IMU3 正常

因此:

imu_state=0xF (即 1111) 表示所有 4 个 IMU 正常

imu_state=0xE (即 1110) 表示 IMU0 异常

imu_state=0x3 (即 0011) 表示 IMU2 和 IMU3 异常