

1 特性

硬體

- 高達 8 陣列高性能 IMU
- 出廠-40-85°C全溫溫補, 標定比例因數、跨軸、零偏
- 陀螺儀零偏不穩定性達 1.2° /h
- 加速度計零偏不穩定性達 0.014mg
- UART(RS-232/TTL)/RS-485/CAN/USB 等多種通信介面
- 支援 PPS、同步輸入、同步輸出信號
- 正常工作電壓範圍 5-48V (CAN 7-48V)
- IP68 級防水
- 集成溫度感測器
- M12 航插介面
- 小體積, 易於安裝
- RoHS、CE 認證, 加強型抗鹽霧外殼

軟體

- 擴展卡爾曼融合演算法, 高達 1000Hz 輸出, 低延時
- 優異的動態跟隨性能並且振動抑制性好
- 對線性加速度有出色的抑制作用
- 啟動時間<1s
- 支援 CANopen、Modbus、二進位等多種協定
- 無需外部指令配置、直接輸出資料
- 豐富的使用者配置指令
- 多功能 GUI, 方便操作
- 支援 ROS、C、QT 等多種常式

2 應用

- 精密儀器儀錶
- 平臺穩定和控制
- 工程機械
- 礦下儀器儀錶
- 機器人

3 描述

產品外觀

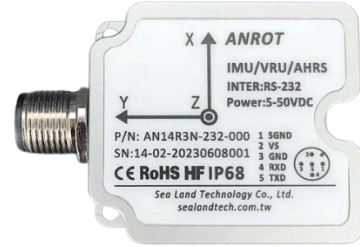


Figure1. HI14

系統方塊圖

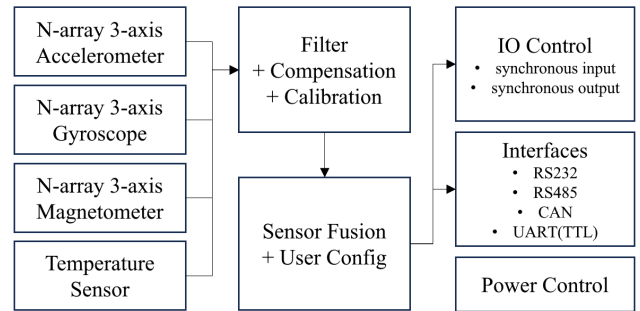


Figure2. Functional Block Diagram

通用描述

HI14 系列是利用陣列 MEMS-IMU、磁力計組成的 IMU/VRU/AHRS 感測器, 並且搭載了自主研發的擴展卡爾曼濾波、IMU 雜訊動態分析演算法、以及載體運動狀態分析演算法, 可以滿足高動態下姿態角的精度, 並且減小航向角的漂移。

每一個感測器出廠之前都經過了精細的補償包括溫度、零偏、比例因數、跨軸。

HI14 系列感測器通過 UART(RS-232/TTL)、RS-485、CAN、USB 等多種介面進行資料傳輸, 並且擁有豐富的使用者配置,

HI14 系列可以通過外部觸發(PPS 或者同步脈衝)與系統進行同步, 還以通過同步輸出功能與外部系統比如雷達、攝像頭時間對齊。

多功能上位機(GUI)可以說明快速地評測產品, 這些功能包括並不限於模組配置、資料顯示、固件升級、資料記錄等

選型與訂購資訊, 請參見 Table 1, Table 2。

目錄

1 特性 1

2 應用 1

3 描述 1

4 產品選型 4

5 訂購資訊 5

6 文件資訊 7

 6.1 版本資訊 7

7 參數 8

 7.1 正常工作 8

 7.2 絕對最大值 8

 7.3 介面參數 9

 7.4 陀螺儀 10

 7.5 加速度計 11

 7.6 磁力計 11

 7.7 溫度感測器 11

 7.8 Allan 方差曲線 12

 7.9 溫補曲線 13

 7.10 融合參數 14

 7.11 姿態角精度 14

 7.12 機械與環境參數 14

 7.13 產品尺寸 15

 7.13.1 M12 尺寸 15

8 坐標系定義 16

 8.1 坐標系 16

 8.2 感測器質心位置 16

 8.3 推薦的安裝方式 17

9 引腳定義 18

 9.1 M12 連接器端子定義 18

 9.1.1 RS232 & UART 介面定義 18

 9.1.2 RS232 & UART 引腳說明 18

 9.1.3 RS-485 & CAN 介面定義 19

 9.1.4 RS-485 & CAN 引腳說明 19

10 線束信息 19

11 接線說明 20

 11.1 M12A 8 芯母頭轉 DB9 母頭(電源線外置，帶同步) 20

 11.2 M12A 8 芯母頭轉 OPEN 20

 11.2.1 同步輸入輸出與 UART 共地 20

 11.2.2 同步輸入輸出與 UART 不共地 20

 11.3 M12A 5 芯母頭轉 OPEN 21

 11.3.1 RS-485 21

 11.3.2 CAN 21

12 軟體架構 22

12.2 IMU 子系統.....	23
12.2.2 原始資料.....	23
12.2.3 低通濾波.....	23
12.2.4 工廠標定.....	23
12.2.5 座標變換.....	23
12.2.6 線上補償.....	23
12.3 資料融合	23
12.3.1 擴展卡爾曼融合	23
12.3.2 運動狀態動態分析	23
13 初始配置.....	24
13.1 介面初始配置	24
13.2 感測器初始配置.....	24
13.3 通信協議	24
14 同步功能.....	25
14.1 外部系統觸發 IMU	25
14.1.1 同步脈衝輸入	25
14.1.2 同步時間戳記	25
14.2 IMU 觸發外部系統	25
15 地磁校準.....	26
15.1 地磁校準方法.....	26
15.2 常見地磁干擾.....	27
15.2.2 空間磁場干擾	27
15.2.3 感測器坐標系下的干擾.....	28
15.3 地磁使用注意事項	28

4 產品選型

Table1. 選型

HI14a-b-cde ¹										
產品系列		a-感測器	b-資料介面		c-同步功能		d-出線形式		e-定制信息	
HI14	R3	4XIMU+Magnetic	232	RS-232	0	無同步功能	0	M12 連接器	0	默認
	R5	8XIMU+ Magnetic	485	RS-485	1	有同步功能				
			CAN	CAN2.0						
			URT	UART(TTL)						
			USB	USB ²						

Note1. 型號舉例：HI14R5-232-000，所有型號默認全溫溫補

Note2. RS-232 可通過搭配 USB 轉 RS-232 線束變為 USB 產品，因此 USB 介面的產品可訂購 RS-232 介面的產品，只是配線不同

5 訂購資訊

Table2. 訂購資訊

Interf	Part Number	Name	Description
RS-232 ¹	HI14R3-232-100	4 陣列 IMU/VRU/AHRS 感測器	6DoF+Magnetic 2.5° /h 30ug M12，有同步功能
	HI14R5-232-100	8 陣列 IMU/VRU/AHRS 感測器	6DoF+Magnetic 1.76° /h 21ug M12，有同步功能
UART(TTL) ²	HI14R3-URT-100	4 陣列 IMU/VRU/AHRS 感測器	6DoF+Magnetic 2.5° /h 30ug M12，有同步功能
	HI14R5-URT-100	8 陣列 IMU/VRU/AHRS 感測器	6DoF+Magnetic 1.76° /h 21ug M12，有同步功能
RS-485 ³	HI14R3-485-000	4 陣列 IMU/VRU/AHRS 感測器	6DoF+Magnetic 2.5° /h 30ug M12
	HI14R5-485-000	8 陣列 IMU/VRU/AHRS 感測器	6DoF+Magnetic 1.76° /h 21ug M12
CAN ³	HI14R3-CAN-000	4 陣列 IMU/VRU/AHRS 感測器	6DoF 2.5° /h 30ug M12
	HI14R5-CAN-000	8 陣列 IMU/VRU/AHRS 感測器	6DoF 1.76° /h 21ug M12

Note1：RS-232 可通過搭配 USB 轉 RS-232 線束變為 USB 產品，同步 RS-232 介面預設配 M12 8 芯直母頭-DB9 母頭_OPEN 線束，線長 3m，參考 Table 21

Note2：同步 UART(TTL)介面預設配 M12 8 芯直母頭-OPEN 線束，線長 3m

Note3：RS-485 與 CAN 介面預設配 M12 5 芯直母頭-OPEN 線束，線長 3m

- 產品可以通過以下形式訂購：
- 1. 電子郵件: sltech@ms28.hinet.net
 - 2. 電話: +886-02-89699610
 - 3. 官方網站: <https://sealandtech.com.tw>
 - 4. Line: 矽林科技



6 文件資訊

6.1 版本資訊

Table3. 檔案版本

版本	日期	變更內容
00	2024 年 4 月 3 日	初始版本
10	2026 年 1 月 13 日	更新新版硬體參數

7 參數

如無特殊備註，測試溫度 25℃，供電電壓 24V，陀螺儀量程 2000° /s，加速度計量程 12g，地磁量程 8Gauss，測試樣品為 8Pcs。

7.1 正常工作

Table4. 正常工作

Parameters	Condition	Product	Min	Type	Max	Unit	Note
輸入電壓	非 CAN 介面		5	24	48	V	1
	CAN 介面		7	24	48		
功耗		HI14R3			<0.4	W	
		HI14R5			<0.6		
工作溫度			-40	-	85	℃	
陀螺儀量程			125	2000	2000	° /s	
加速度計量程			3	12	24	g	
啟動時間					2	s	2

Note1. EMC 指令 2014/30/EU，支持反極性保護，短路保護
Note2. 啟動時間指的是系統從關機到開機有效資料輸出的時間。在此期間應該保持模組靜止

7.2 絕對最大值

Table5. 絕對最大值

Parameters	Limit	Unit	Note
機械衝擊	2000	g	Duration <1ms
儲存溫度	-40-85	℃	
ESD	30	KV	JEDEC/ESDA JS-001
輸入溫度	50	V	
IO1	0 to 5	V	
IO2	0 to 3.3	V	
TXD(TTL)	0 to 3.3	V	
RXD(TTL)	0 to 5	V	
RS-232 TX To GND	±13.2	V	
RS-232 RX To GND	±24	V	
CAN H or CAN L to GND	±40	V	
CAN H to CAN L	±27	V	
RS-485 A or RS-485 B	-8 to 13	V	

7.3 介面參數

Table6. 介面參數

Interf	Parameters	Condition	Min	Type	Max	Unit	Note
RS-232	串列傳輸速率		9600	115200	921600	bps	1
	輸出幀率		0	100	1000	Hz	2
	輸出電壓		± 5.0	± 5.4		V	
	輸出阻抗			300		Ω	
	輸入電壓		-15		15	V	
	輸入阻抗		3	5	7	kΩ	
UART(TTL)	串列傳輸速率		9600	115200	921600	bps	1
	輸出幀率		0	100	1000	Hz	2
	輸出電壓			3.3	3.6	V	
	輸入電壓		0	3.3	5	V	
RS-485	串列傳輸速率		9600	115200	115200	bps	3
	輸出幀率		0	10	50	Hz	4
	差分輸出電壓		2		5	V	
	輸出共模電壓			2.5	3	V	
	輸入阻抗	開路	48			kΩ	
		短路		120		Ω	5
CAN	串列傳輸速率		125	500	1000	kbps	6
	輸出幀率		5	100	200	Hz	7
	差分輸出		1.5	-	3	V	
	CANH、CANL 差分輸入電阻	開路	19	30	52	kΩ	
		短路		120		Ω	5

Note1. 感測器串口預設配置起始位元 1bit，資料長度 8bits，停止位 1bit，無校驗，支持的常用串列傳輸速率為 9600,115200,230400,25600,460800,921600

Note2. 感測器支持 1,5,10,50,100,200,250,500,1000Hz 資料輸出。200,250Hz 幀率需要串口串列傳輸速率≥230400，500Hz 幀率需要串口串列傳輸速率 ≥460800，1kHz 幀率需要串口串列傳輸速率=921600。

Note3. RS-485 通信支援的串列傳輸速率為 9600,115200。

Note4. 感測器支援 5,10,50Hz 資料輸出。

Note5. 如需 120Ω 電阻，需定制，採購前請聯繫我們。

Note6. CAN 通信支援的串列傳輸速率為 125K,250K,500K,1000K

Note7. 感測器支援 5,10,50,100,200Hz 資料輸出。

7.4 陀螺儀

Table7. 陀螺儀參數

Parameters	Condition	Product	Min	Type	Max	Unit	Note
量程				2000		° /s	
解析度				16bit			
比例因數	100° /s	HI14R3		<300	350	ppm	1
		HI14R5		<300	300		
非線性	最佳擬合直線 Fs=2000° /s		-0.05	-	0.05	%Fs	2
3dB 頻寬			90	116	200	Hz	
取樣速率				1000		Hz	
零偏不穩定性	Allan Variance	HI14R3		1.6		° /h	1σ
		HI14R5		1.2			
零偏重複性	Allan Variance	HI14R3		12		° /h	1σ
		HI14R5		8			
角度隨機遊走	Allan Variance	HI14R3		0.25		° /√h	1σ
		HI14R5		0.18			
零偏全溫變化	-40-85°C			0.07	0.2	° /s	3

Note1. 轉檯正反各旋轉 10 圈，取平均測得

Note2. 在指定範圍內與最佳擬合直線的最大偏差

Note3. 實驗室溫箱轉檯測得，溫升斜率小於 5°C/min，詳細資料參考 Figure 11

7.5 加速度計

Table8. 加速度計參數

Parameters	Condition	Product	Min	Type	Max	Unit	Note
量程				12		g	
解析度				16bit			
初始零偏					10	mg	
非線性	最佳擬合直線 Fs=3g			0.5		%Fs	1
3dB 頻寬			80	145	200	Hz	
取樣速率				1600		Hz	
零偏不穩定性	Allan Variance	HI14R3		0.018		mg	1σ
		HI14R5		0.014			
零偏重複性	Allan Variance	HI14R3		0.15		mg	1σ
		HI14R5		0.1			
隨機遊走	Allan Variance	HI14R3		0.04		m/s√h	1σ
		HI14R5		0.028			
零偏全溫變化	-40-85℃			2	3	mg	1σ

Note1. 在指定範圍內與最佳擬合直線的最大偏差

7.6 磁力計

Table9. 磁力計參數

Parameters	Condition	Min	Type	Max	Unit	Note
量程		-8	-	8	Gauss	
解析度	Fs=2G		2		mGauss	
取樣速率			200Hz			
線性度	最佳擬合直線 Fs=2G		0.1		Fs%	

7.7 溫度感測器

Table10. 溫度計參數

Parameters	Condition	Min	Type	Max	Unit	Note
量程		-40	-	85	℃	
Offset error			±1		K	

7.8 Allan 方差曲線

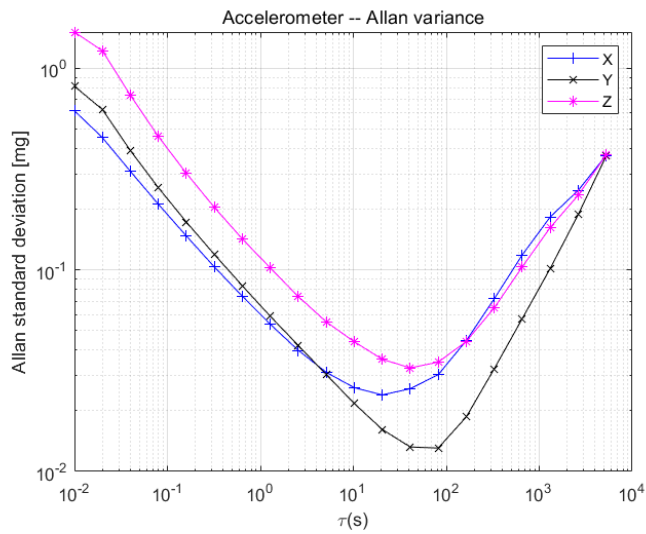


Figure1. HI14R3 Accelerometer Allan Variance

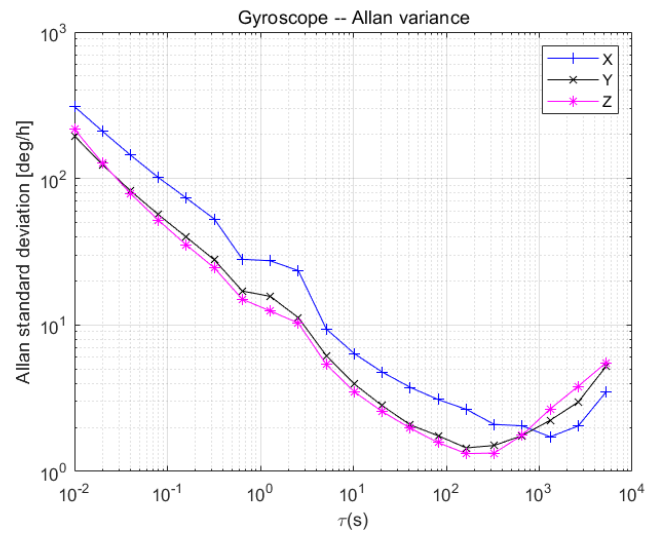


Figure2. HI14R3 Gyroscope Allan Variance

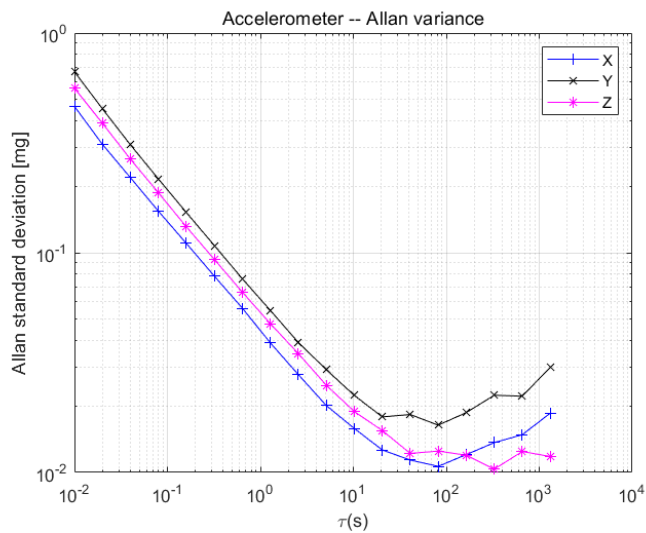


Figure3. HI14R5 Accelerometer Allan Variance

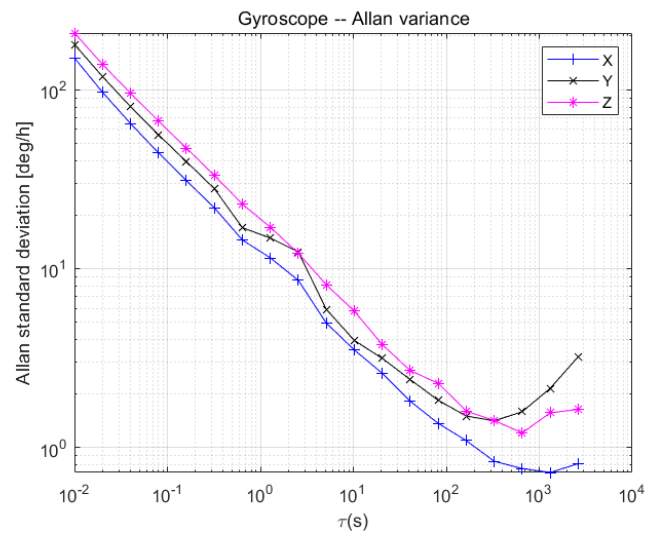


Figure4. HI14R5 Gyroscope Allan Variance

7.9 溫補曲線

將被測樣品從-40°C升溫至 85°C，對樣品零偏資料進行補償，補償結果如下

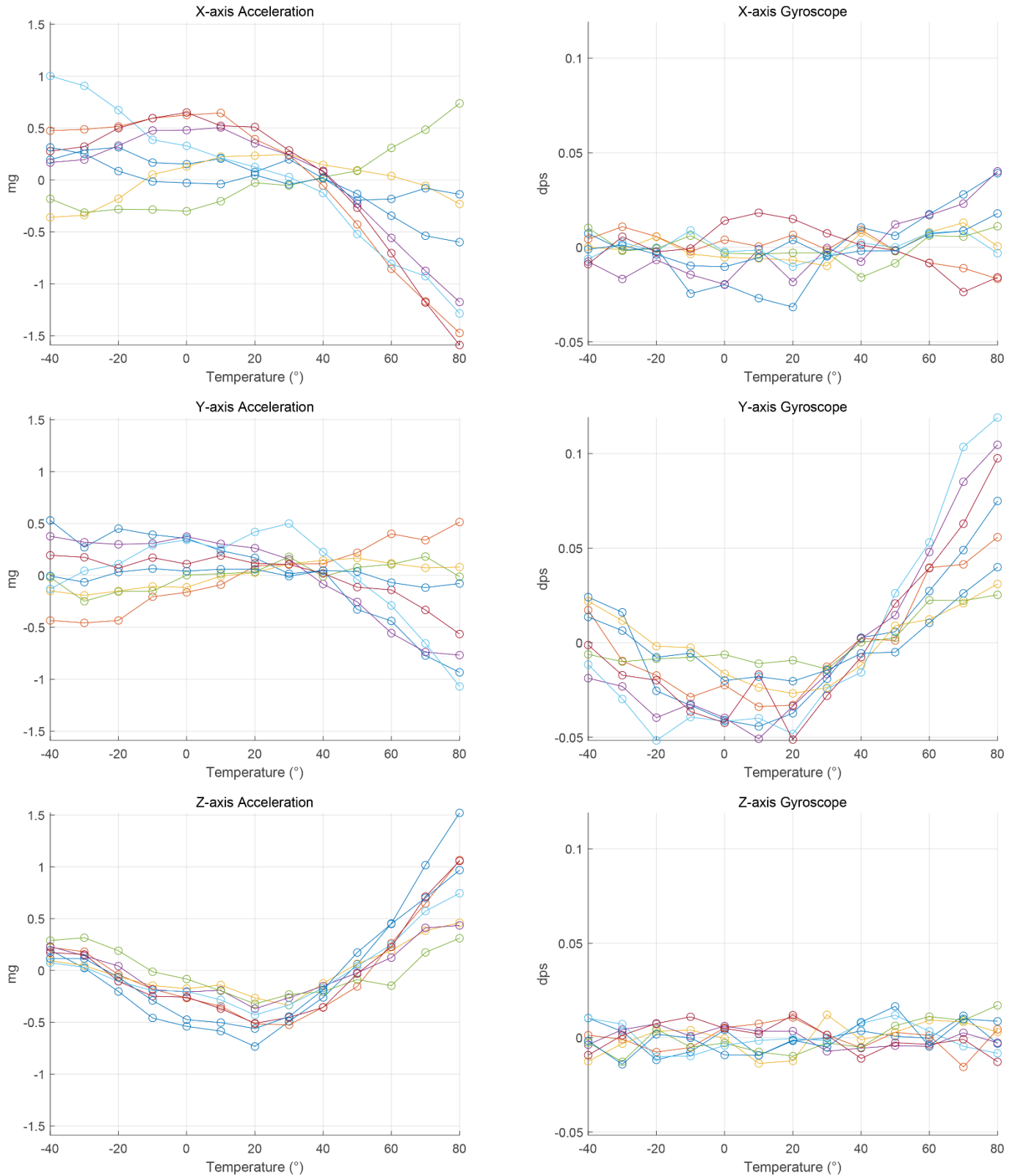


Figure5. Accelerometer and Gyroscope Temperature Compensated Curve

7.10 融合參數

Table11. 融合參數

Parameters	Value
俯仰角(Pitch)	± 90°
橫滾角(Roll)	± 180°
航向角(Yaw)	± 180°
解析度	0.01°

7.11 姿態角精度

Table12. 姿態角精度

Parameters	Condition	Product	Min	Type	Max	Unit	Note
俯仰/橫滾(靜態)				0.15	0.2	°	
俯仰/橫滾(動態)				0.15	0.2	°	
航向角靜態漂移(6DOF)	靜止 2h			0.15	0.2	°	1
航向角動態漂移(6DOF)		HI14R3 HI14R5		5	15	°	2
航向角磁輔助(AHRS)		HI14R3 & HI14R5		2	3	°	3
航向角旋轉誤差(6DOF)	100° /s 旋轉	HI14R3 HI14R5		<0.8	1.3 1	°	4

Note1. 模組水準靜止 2h
Note2. 模組在室內清潔機器人上運動 1h 測得。1σ
Note3. 地磁校準之後，周邊無磁場干擾情況下測得，需要將產品配置為 AHRS 模式
Note4. 轉檣連續旋轉 10 圈，航向角累積誤差

7.12 機械與環境參數

Table13. 機械與環境參數

Parameters	Value
尺寸	58.5X40X20mm
重量	<75g
外殼材質	鋁合金
固定螺絲	M3
表面處理	
存儲溫度	-50°C-90°C
抗振動	1.0 mm (10 Hz — 58 Hz) & ≤ 20 g (58 Hz to 600 Hz)
防水等級	IP68
環保	RoHS 指令 2011/65/EU

7.13 產品尺寸

All Dimensions in mm units.

7.13.1 M12 尺寸

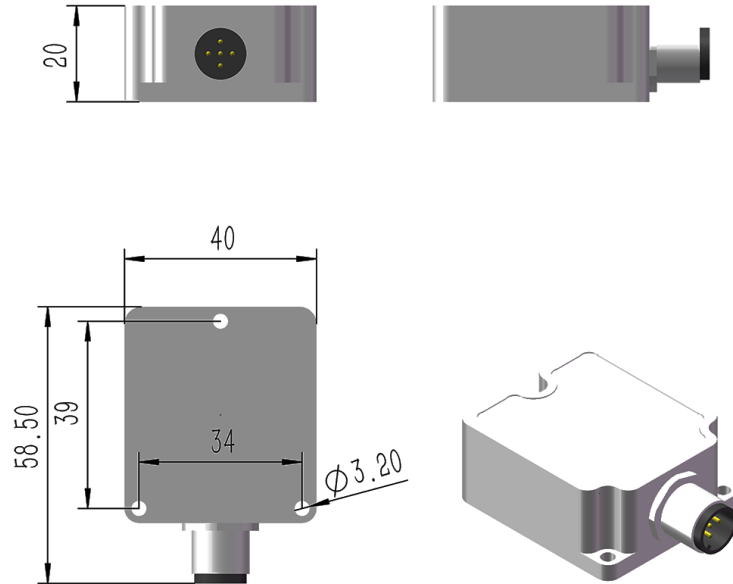


Figure6. HI14 M12 Connector Dimension

8 坐標系定義

8.1 坐標系

載體系使用右-前-上(RFU)坐標系，地理坐標系使用東-北-天(ENU)坐標系。加速度和陀螺儀軸向如下圖所示

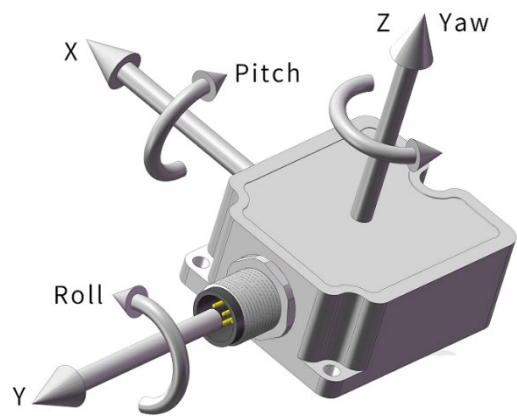


Figure7. HI14 Coordinate System

歐拉角旋轉順序為東-北-天-312(先轉 Z 軸，再轉 X 軸，最後轉 Y 軸)旋轉順序。具體定義如下：

- 繞 Z 軸方向旋轉: 航向角\Yaw\psi(Ψ) 範圍: -180° - 180°
- 繞 X 軸方向旋轉: 俯仰角\Pitch\theta(Θ) 範圍: -90° - 90°
- 繞 Y 軸方向旋轉: 橫滾角\Roll\phi(Φ)範圍: -180° - 180°

如果將模組視為飛行器，Y 軸正方向應視為機頭方向。當感測器系與慣性系重合時，歐拉角輸出為:Pitch = 0° ，Roll = 0° ，Yaw = 0°

8.2 感測器質心位置

Table14. HI14 系列感測器質心位置

Axis	X-offset	Y-offset	Z-offset	Unit
X	0	0	6.2	mm
Y	0	0	6.2	mm
Z	0	0	6.2	mm

8.3 推薦的安裝方式

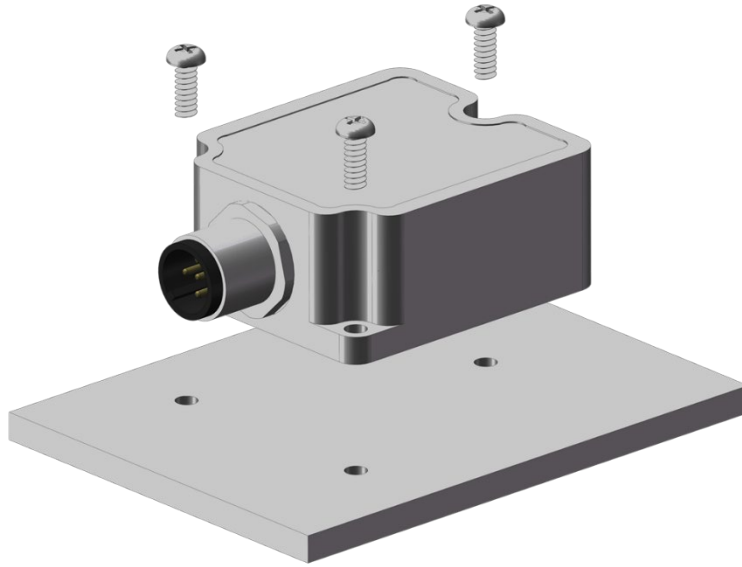


Figure8. Mounting Example

- 如需其他安裝方式，請參考指令與程式設計手冊進行座標旋轉
- 推薦安裝到載體振動小，溫度變化小的位置

9 引腳定義

9.1 M12 連接器端子定義

9.1.1 RS232 & UART 介面定義



Figure9. M12-A Code 8Pin Male of Sensor

Table15. RS232 & UART 引腳說明

M12 8Pin Male								
Number	1	2	3	4	5	6	7	8
Color	白(WH)	棕(BN)	綠(GN)	黃(YL)	灰(GY)	粉(PK)	藍(BU)	紅(RD)
Name	SGND	Vs	GND	RXD	TXD	SGND	SIN	SOUT

9.1.2 RS232 & UART 引腳說明

Table16. RS232 & UART 引腳說明

Number	Name	Type	RS-232	UART(TTL)
1	SGND	Power	信號地	信號地
2	Vs	Power	電源+	電源+
3	GND	Power	電源地	電源地
4	RXD	I	串口接收 RS-232 電平	串口接收 TTL 電平
5	TXD	O	串口發送 RS-232 電平	串口發送 TTL 電平
6	SGND	Power	信號地	信號地
7	SIN	I	同步輸入	SYNC_IN 同步輸入，不用可懸空
8	SOUT	O	同步輸出	同步輸出，不用可懸空

9.1.3 RS-485 & CAN 介面定義



Figure10. M12-A Code 5Pin Male of Sensor

M12 5Pin Male						M12 5Pin Male					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
CAN	棕(BN)	白(WH)	藍(BU)	黑(BK)	灰(GY)	RS-485	棕(BN)	白(WH)	藍(BU)	黑(BK)	灰(GY)
	CAN GND	Vs	GND	CAN H	CAN L		485 GND	Vs	GND	485 A	485 B

9.1.4 RS-485 & CAN 引腳說明

Table17. RS-485 & CAN 引腳說明

Number	RS-485 Name	Type	Description	Number	CAN Name	Type	Description
1	485 GND	Power	485 地	1	CAN GND	Power	CAN 地
2	Vs	Power	電源+	2	Vs	Power	電源+
3	GND	Power	電源地	3	GND	Power	電源地
4	485 A	AIO	RS-485 A	4	CAN H	AIO	CAN High
5	485 B	AIO	RS-485 B	5	CAN L	AIO	CAN Low

10 線束信息

Table18. 線束說明

Description	Digram	Note
M12 8 芯直母頭-DB9 母頭 適用: RS232 帶同步功能		1
M12 8 芯直母頭-OPEN 適用: - RS232 帶同步功能 - UART(TTL) 帶同步功能		1 2
M12 5 芯直母頭-OPEN 適用: - RS485 - CAN		1 2

Note1. 所有線材 PUR，默認線長 3m，線纜長度可訂製 0.5m、1m、5m。UART(TTL)介面不建議線長超 3m 所有線纜均可定制 M12A 彎頭資料線，方便使用
Note2. 引腳定義參考 9.1

11 接線說明

11.1 M12A 8 芯母頭轉 DB9 母頭(電源線外置，帶同步)

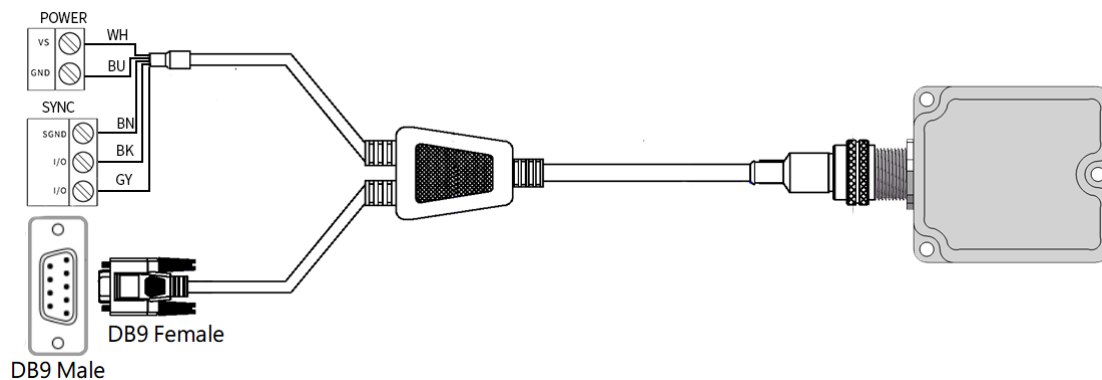


Figure11. M12-A Code 8Pin to DB9 External Power With Synchronous

11.2 M12A 8 芯母頭轉 OPEN

11.2.1 同步輸入輸出與 UART 共地

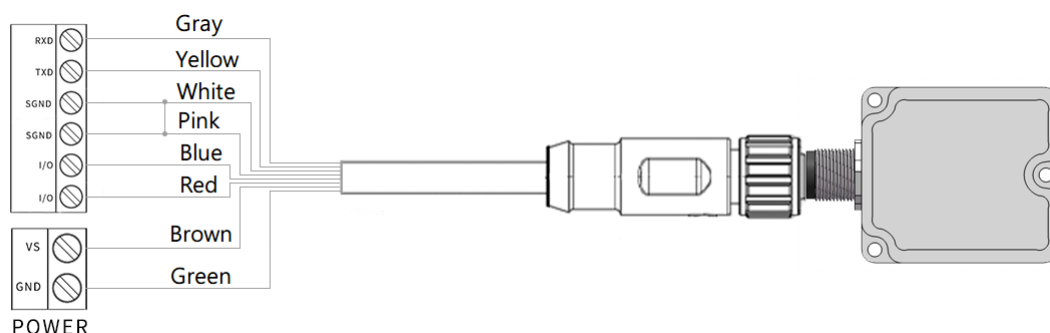


Figure12. M12-A Code 8Pin to Open Synchronous IO with UART Common Ground

如果電源系統與 UART 系統參考地為同一個地，那麼 SGND(白、粉線)可以不接

11.2.2 同步輸入輸出與 UART 不共地

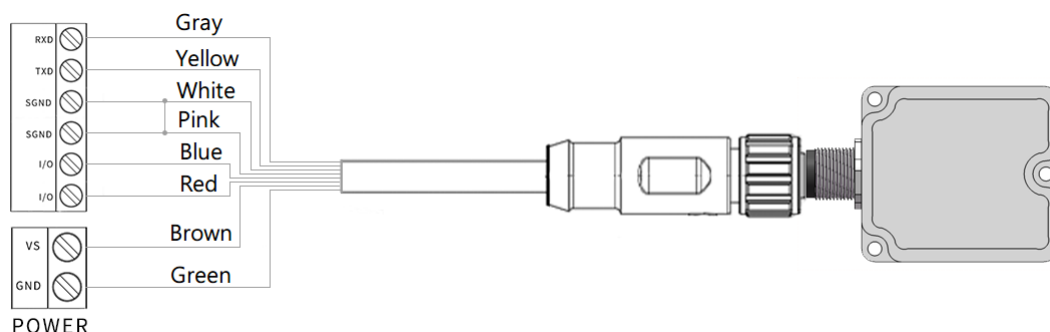


Figure13. M12-A Code 8Pin to Open Synchronous IO with UART Are Not In Common Ground

如果電源系統與 UART 系統參考地為同一個地，那麼 SGND(白線)可以不接

如果電源系統與同步系統參考地為同一個地，那麼 SGND(粉線)可以不接

11.3 M12A 5 芯母頭轉 OPEN

11.3.1 RS-485

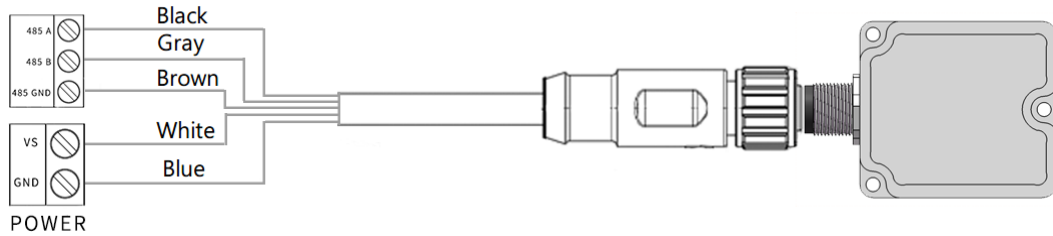


Figure14. M12-A Code 5Pin to Open RS-485

✚ 如果 485 設備沒有 485 GND，那麼 485 GND(棕線)可以不接

11.3.2 CAN

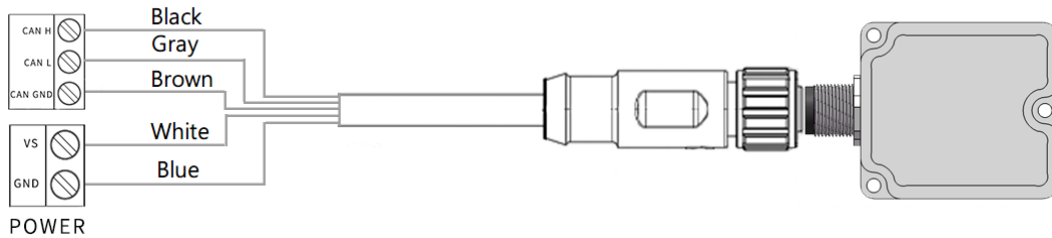


Figure15. M12-A Code 5Pin to Open CAN

✚ 如果 CAN 設備沒有 CAN GND，那麼 CAN GND(棕線)可以不接

12 軟體架構

HI14 系列採用了自主研發的擴展卡爾曼濾波、IMU 雜訊動態分析技術以及運動狀態自我調整技術，可以滿足高動態下姿態角的精度，減小 航向角的漂移。演算法架構主要包含 IMU、融合狀態、融合演算法、資料輸出 4 個部分。

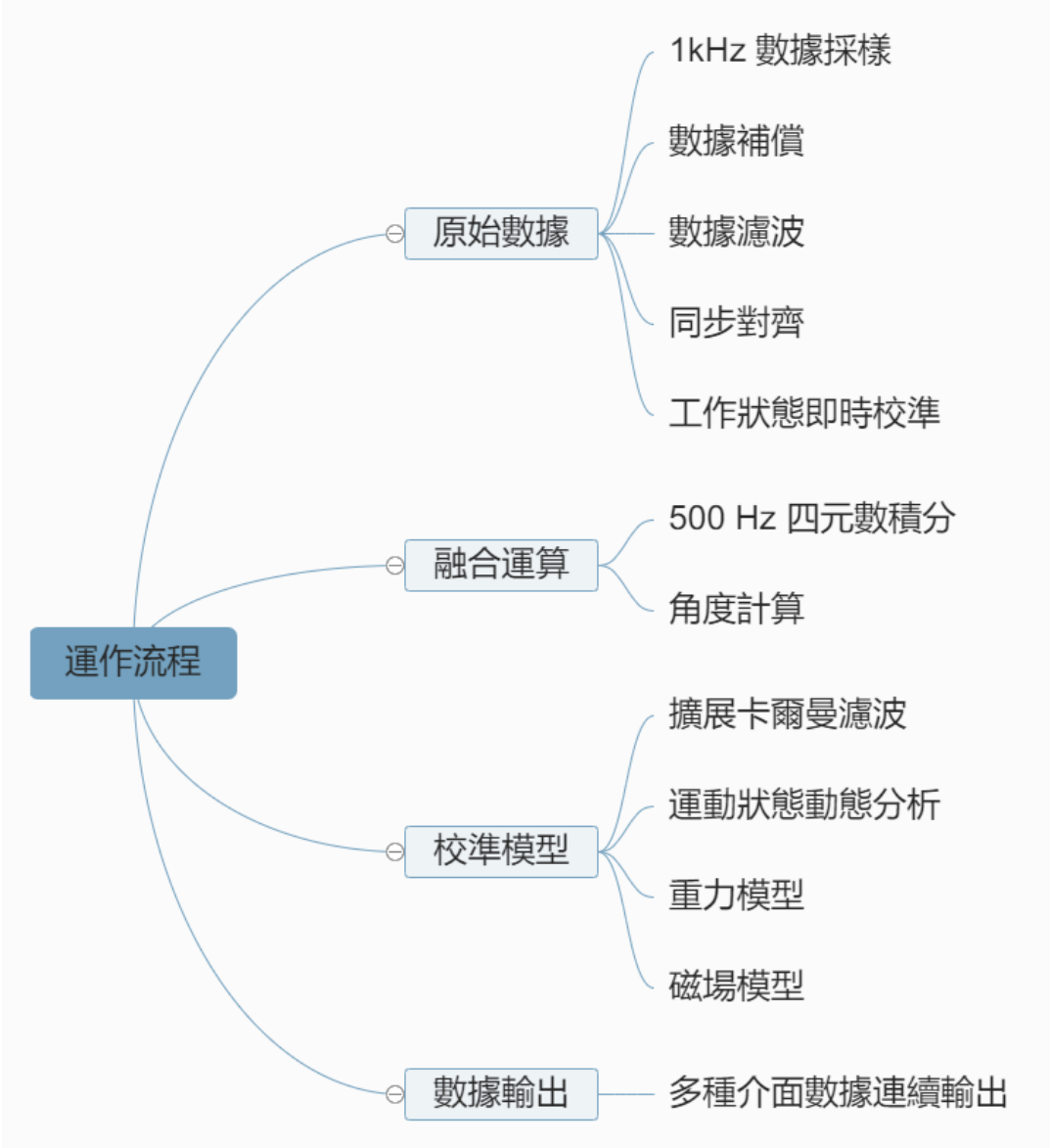


Figure16. Software Architecture

12.2 IMU 子系統

IMU 系統主要工作是對 IMU 原始資料進行標定補償、時間對齊等操作，使得 IMU 的資料可以更好地滿足多種多樣的用戶

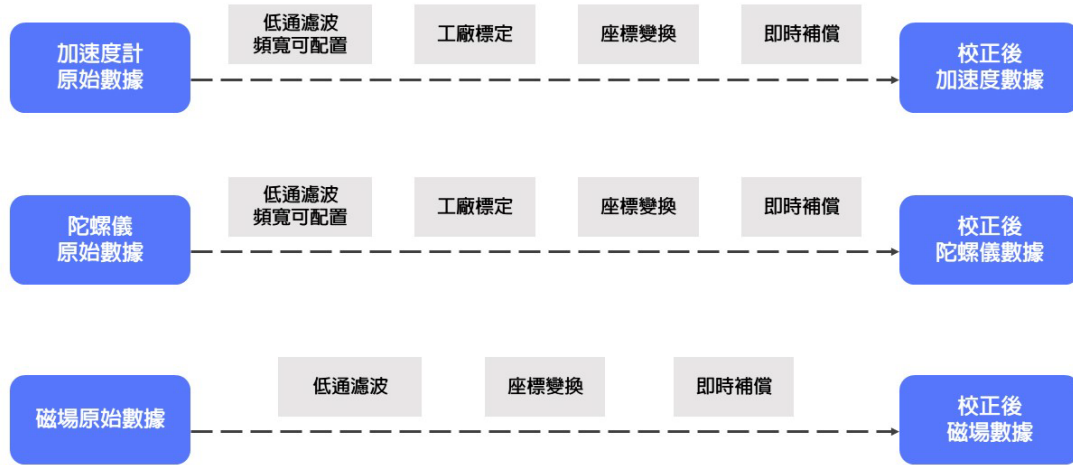


Figure17. Data Processing

12.2.2 原始資料

MCU 以最高的採樣頻率採集加速度計、陀螺儀、地磁場的原始資料，方便後期處理

12.2.3 低通濾波

HI14 系列為使用者提供了多種低通數位濾波方案，這些濾波方案可以更好的濾除實際使用環境的雜訊干擾，滿足用戶的多場景應用。

12.2.4 工廠標定

每個 MEMS IMU 在生產製造過程中，都有一些共性的零偏，比例因數、跨軸等誤差，除此之外還會受到，溫度變化的影響，因此我們在生產、製造、測試的過程中通過專有的設備將這些誤差的影響降低到最小。

12.2.5 座標變換

我們預設推薦使用者對產品進行水準安裝使用，但是受限於用戶的使用場景，有時不得不將模組進行其他位置安裝，因此我們可以支援對感測器的坐標系進行旋轉以更好地滿足用戶安裝需求。座標變換指令可參考指令與程式設計手冊

12.2.6 線上補償

用戶在開始上電時需保持 1S 的靜止時間，產品可以自動採集並計算當前的陀螺零偏狀態，這樣可以更好的補償陀螺儀的資料。

12.3 資料融合

12.3.1 擴展卡爾曼融合

處理器利用擴展卡爾曼演算法將加速度計、陀螺儀、磁力計的原始資料進行固定頻率(預設 1000Hz)的四元數全姿解算，通過資料融合可以得到四元數、歐拉角等融合後的資訊。同時可以估計陀螺儀、加速度計等感測器的零偏，這對於依賴低延時、低抖動姿態資訊作為控制輸入資訊的系統非常重要。

12.3.2 運動狀態動態分析

根據加速度計、陀螺儀等感測器提供的資訊，可以間接分析當前載體的運動狀態，從而調整卡爾曼融合狀態，使模組性能處於最佳狀態。

13 初始配置

HI14 系列設計的初衷是使用者進行最低限度的配置，以實現覆蓋絕大部分應用場景的操作。因此預設配置已經可 以滿足很多工況的場景，但是我們也為使用者提供了其他配置選項以應對特殊場景。

13.1 介面初始配置

Table19. 介面初始配置

Interf	Parameters	Value	Unit	Note
UART & RS232	協議	二進位協定(91)		1
	串列傳輸速率	115200	bps	2
	數據幀率	100	Hz	3
RS-485	協議	Modbus		1
	串列傳輸速率	115200	bps	2
	數據幀率	50	Hz	3
	終端 120Ω 電阻	無		4
CAN	協議	CANopen		1
	串列傳輸速率	500K	bps	2
	數據幀率	100	Hz	3
	終端 120Ω 電阻	無		4

Note1.如需更改協定請參考指令與程式設計手冊
Note2.如需更改串列傳輸速率請參考指令與程式設計手冊
Note3.如需更改輸出幀率請參考指令與程式設計手冊
Note4.如需定制 120Ω 電阻，採購之前請與我們聯繫

13.2 感測器初始配置

Table20. 感測器初始配置

Parameters	Value	Unit	Note
陀螺儀量程	± 2000	° /s	
3dB 頻寬	90	Hz	
加速度計量程	± 12	g	
3dB 頻寬	80	Hz	
磁力計量程	± 8	Gauss	
模式	6DOF		1

Note1.如需更改模式請參考指令與程式設計手冊

13.3 通信協議

為支持用戶多樣化的場景與通信需求，我們的模組支援自訂的二進位協定，也支援 Modbus、CANopen 等常見的標準協定。協定具體內容請參考指令與程式設計手冊。

14 同步功能

如果使用者的系統包含多個子系統比如雷達、攝像頭等，那麼系統之間的資料同步就會變得極其重要。我們的 IMU 支援同步脈衝輸入、PPS 輸入以及同步輸出等同步方式，使用者在使用過程中會變得比較方便。

Note：IMU 與外部同步系統需要共地

14.1 外部系統觸發 IMU

14.1.1 同步脈衝輸入

同步脈衝輸入(SIN): 引腳為上拉輸入模式，空閒狀態為高電平。當模組檢測到下降沿時，會輸出一幀資料。此時模組應處於同步觸發模式既 ONMARK 模式。

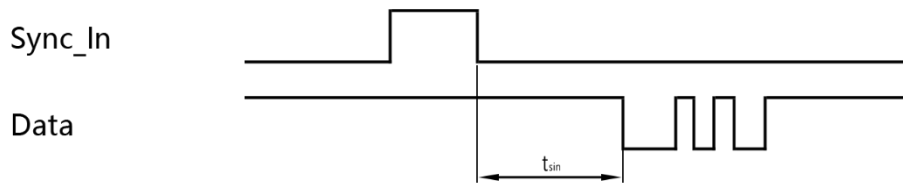


Figure18. Sync_In(SIN) Timing

數據延時: 模組檢測到下降沿與資料輸出的時間間隔 t_{sin} 為 $0.78ms \pm 0.2ms$

14.1.2 同步時間戳記

IMU 可以輸出 PPS 同步時間戳記。PPS 同步時間戳記指的是: 當模組檢測到最近一次下降沿信號時開始到當前一幀資料採樣時所經過的時間。

Note：如何配置為 ONMARK 觸發參考指令與程式設計手冊

14.2 IMU 觸發外部系統

資料同步輸出(SOUT): 引腳為輸出模式，無數據輸出時為高電平 (空閒)，一幀資料開始發送時變為低電平，一幀資料發送完成後，返回高電平(空閒)。例: 預設狀態下，模組輸出 100Hz 資料，該引腳輸出 100Hz 占空比 為 50%的脈衝。

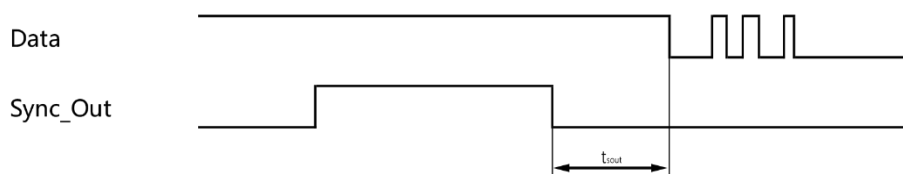


Figure19. Sync_Out(SOUT) Timing

數據延時: 模組輸出資料與同步輸出下降沿的時間間隔 t_{sout} 為 $10us \pm 1us$

15 地磁校準

在絕大多數情況下，機器人及室內環境，AHRS(9 軸)模式很容易受到干擾導致航向角產生誤差。在少數空曠且無磁場干擾的環境下，可以嘗試使用地磁輔助模式，比如無人機，在使用前需要將模組配置為地磁輔助模式並且進行地磁校準。配置指令詳見指令與程式設計手冊 CONFIG ATT MODE。

15.1 地磁校準方法

校準前提：

- 當前測試下航向角精度達不到要求。
- 模組安裝環境有磁場干擾，這種干擾是固定的，並且這個干擾磁場與模組安裝之後不會再發生距離變化(例:模組安裝在一個鐵材料之上，因為鐵會有磁場干擾，這時就需要把鐵與模組一起旋轉校準，並且這個鐵在使用當中是不會和模組再分開的，一旦分開是需要再重新校準。如果這個鐵大小是不固定的，或與模組的距離變化也不是固定的，這種干擾是無法校準，只能避而遠之安裝，安全距離控制在 40CM 以上)

模組內部自帶主動地磁校準系統，不需要使用者發送任何指令，該系統在後臺自動採集一段時間內地磁場資料，並做分析比較，剔除異常資料，一旦資料足夠，就會嘗試地磁校準。所以當使用地磁輔助(9 軸)模式時，不需要使用者任何干預即可完成地磁校準。但是模組仍然提供介面來讓使用者檢查當前校準狀態。自動校準的前提是需要模組有充分的姿態變化，並且維持一定時間，內部校準系統才能搜集不同姿態下的地磁場資訊，從而完成校準，靜止狀態下是無法進行地磁校準的。

當首次使用模組並且需要使用 AHRS (9 軸) 模式時，應進行如下校準操作：

1.檢查周圍是否存在磁場干擾：實驗室鐵質或者含有鐵質的桌子、電腦、電機、手機等旁邊都屬於常見的幹區域。建議將模組拿到室外空曠處，即使沒有條件拿到室外，儘量將模組遠離干擾源。

2.在儘量小範圍內(位置儘量不動，只是旋轉)，緩慢的讓模組旋轉，讓模組經歷儘量多的姿態位置(每個軸至少都旋轉 360°，持續約 1 分鐘)，即可完成校準，如果始終沒能成功校準模組，說明周圍地磁場干擾比較大。

3.如果客戶安裝位置改變(比如上一次校準是拿著模組單獨去校準的，使用的時候卻是安裝在目標設備上)。則需要帶著目標設備進行重新校準。

4.使用 **LOG MAGCONFIG** 查看地磁校準參數:

1.	...
2.	
3.	MAG BIS:
4.	0.029
5.	-22.062
6.	11.926

如果 MAG BIS 為一個不全為 0 的 3 個數字，說明地磁校準成功，如果 MAG BIS 全部為 0，說明地磁校準不成功，請回到 1 重新開始校準步驟。

15.2 常見地磁干擾

地磁干擾可分為空間磁場干擾與感測器坐標系下的磁場干擾，如下圖所示

Distortions that move with the sensor	Distortions that do not move with the sensor
	
• Calibration errors • Hard iron effects • Soft iron effects • Etc.	• Spatial distortions • Temporal distortions • Etc.

Figure20. Common Magnetic Field Interference

15.2.2 空間磁場干擾

定義：磁場干擾不隨感測器運動而運動，處於世界坐標系下

典型干擾源：各種固定的地磁干擾源，傢俱，家用電器，線纜，房屋內的鋼筋結構等。一切不隨磁感測器運動而運動的干擾源，下圖是典型的室內磁場分佈圖。

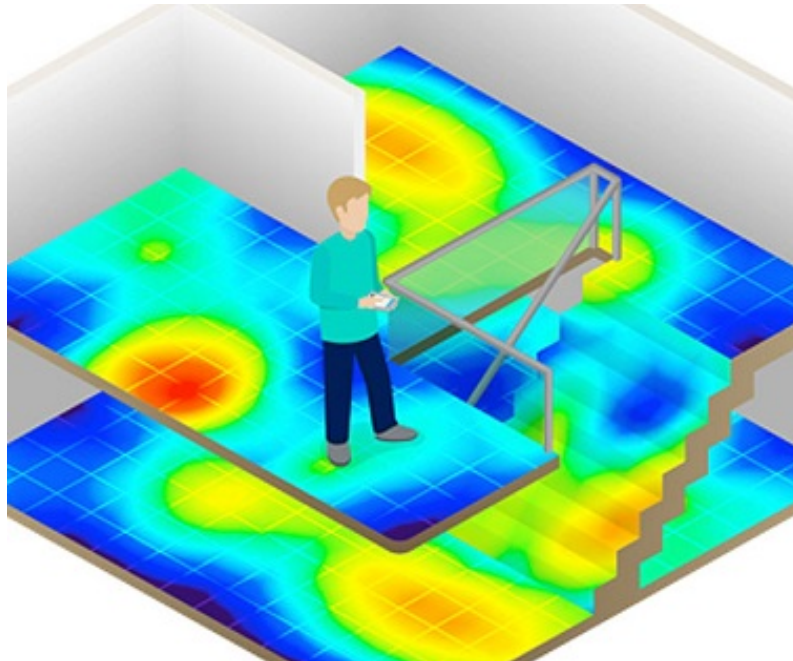


Figure21. Space Magnetic Field Interference

對模組的影響：

無論磁場感測器是否校準的好，這些空間磁場的干擾(或者說環境磁場不均勻)都會使得空間地磁場發生畸變。地磁補償會錯誤，無法獲得正確的航向角。他們是造成室內地磁融合難以使用的主要原因。這種干擾不能被校準,會嚴重影響地磁性能。空間磁場干擾在室內尤其嚴重。應對措施：只能盡量避免這種干擾源

15.2.3 感測器坐標系下的干擾

定義：地磁場干擾源隨感測器運動而運動

典型干擾源：與模組固定在一起的 PCB 板子，儀器設備等。他們和磁感測器視為同一個剛體，隨磁感測器運動而運動。

對模組的影響：對感測器造成硬磁/軟磁干擾。這些干擾可以通過地磁校準演算法加以很好的消除。應對措施：對模組進行地磁校準。

15.3 地磁使用注意事項

在室內環境下，空間磁場干擾尤其嚴重，而且空間磁干擾並不能通過校準來消除。在室內環境下儘管模組內置均質磁場檢測及遮罩機制，但地磁輔助(9 軸)模式航向角的準確度很大程度上取決於室內磁場畸變程度，如果室內磁場環境很差(如電腦機房旁，實驗室，車間，地下車庫等)，即使校準後航向角精度可能還不如 6 軸模式甚至會出現大角度誤差。模組的自動地磁校準系統只能處理和模組安裝在一起的，固定的磁場干擾。安裝環境如果有磁場干擾，這種干擾必須是固定的，並且這個干擾磁場與模組安裝之後不會再發生距離變化(例：模組安裝在一個鐵材料(機器人)之上，因為機器人金屬材料會有磁場干擾，這時就需要把機器人與模組一起旋轉校準，並且模組在使用當中是不會和 機器人再分開的(發生相對位移)，一旦分開是需要再重新校準。