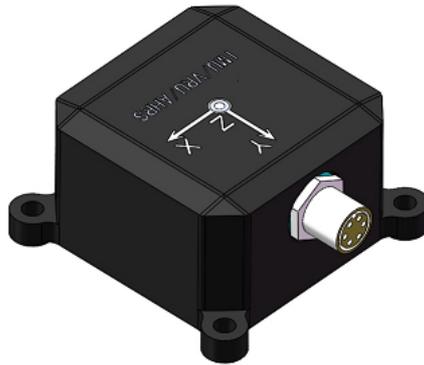


CH104/108 IP68 IMU/VRU/AHRS 用戶手冊

2022.07.02: 釋出第一版CH10X系列的模組說明書

2022.08.15: 更新參數特性細節



採購與支援: 矽林科技有限公司 <https://sealandtech.com.tw/contact.html>

主要應用場景

CH10X系列可以精確地感知移動裝置的俯仰 (Pitch)、橫滾 (Roll)、航向 (Yaw) 等姿態資訊，比如AR/VR、自動導引小車 (AGV)、巡檢機器人、無人機等應用領域。它可與鐳射雷達 (Lidar)、視覺 (Camera) 等導航方案形成優勢互補，增強裝置的導航精度，並減小對外界參考物體的依賴。典型的應用市場如下：

- 自動導引小車 (AGV/AMR)
- 服務機器人
- 組合導航 (GNSS)
- 工程機械
- 智慧農機

產品特點

出廠標定

MEMS慣性感測器由於製造工藝、材質等問題，有一些共性的誤差源，比如零偏 (Bias)、比例因子 (Scale Factor)、跨軸 (Cross Axis)，這些誤差會在出廠之前會經過嚴格的標定程式，減少這些誤差的影響，標定參數會儲存在每一個產品中。

可輸出多種數據型別

CH10X擁有數據預處理和基於四元數的擴充套件卡爾曼 (EKF) 數據融合引擎，因此可以為使用者提供原始數據、姿態數據以及四元數等數據資訊。詳細介紹如下

- 加速度 (Accleration) 含有重力並標定后的加速度
- 角速度 (Angular Rates:) 標定后的角速度
- 姿態角 (Attitude) 俯仰 (Pitch)、橫滾 (Roll)、航向 (Yaw)
- 四元數 (Quaternion) 姿態四元數

數據接口

為更好地滿足CH10X系列在各種場景下的應用，我們為CH10X系列配備了USB、232、CAN、485等數據接口，其中USB最高幀率可以達到400Hz, 232最高速率400Hz, CAN2.0最高幀率200Hz。並且提供完善的Linux、ROS1/ROS2、Win、MCU驅動。

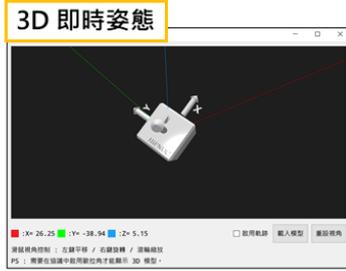
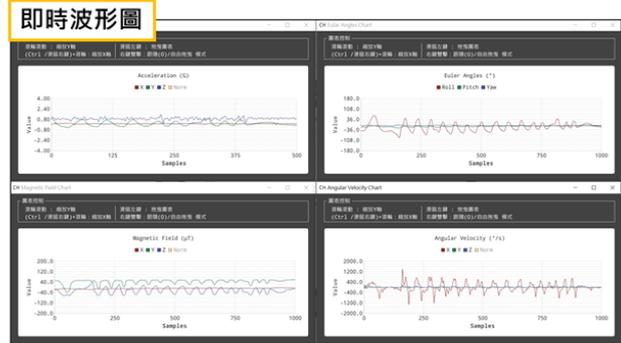
- CH10X系列CAN遵循CANopen協議或SAE J1939協議
- 如果使用232介面並且需要400Hz傳輸頻率，那麼使用者的232晶片的波特率需要設定為921600的波特率

上位機軟體ANROTIMU-UI

ANROTIMU-UI是我們爲了使用者快速評估產品而開發的一款PC端軟體，可以自由的執行在WIN/Linux之上。具有如下特點：

- 數據顯示
- 數據記錄
- 數據分析
- 產品參數配置
- 韌體升級

下載連結



產品參數

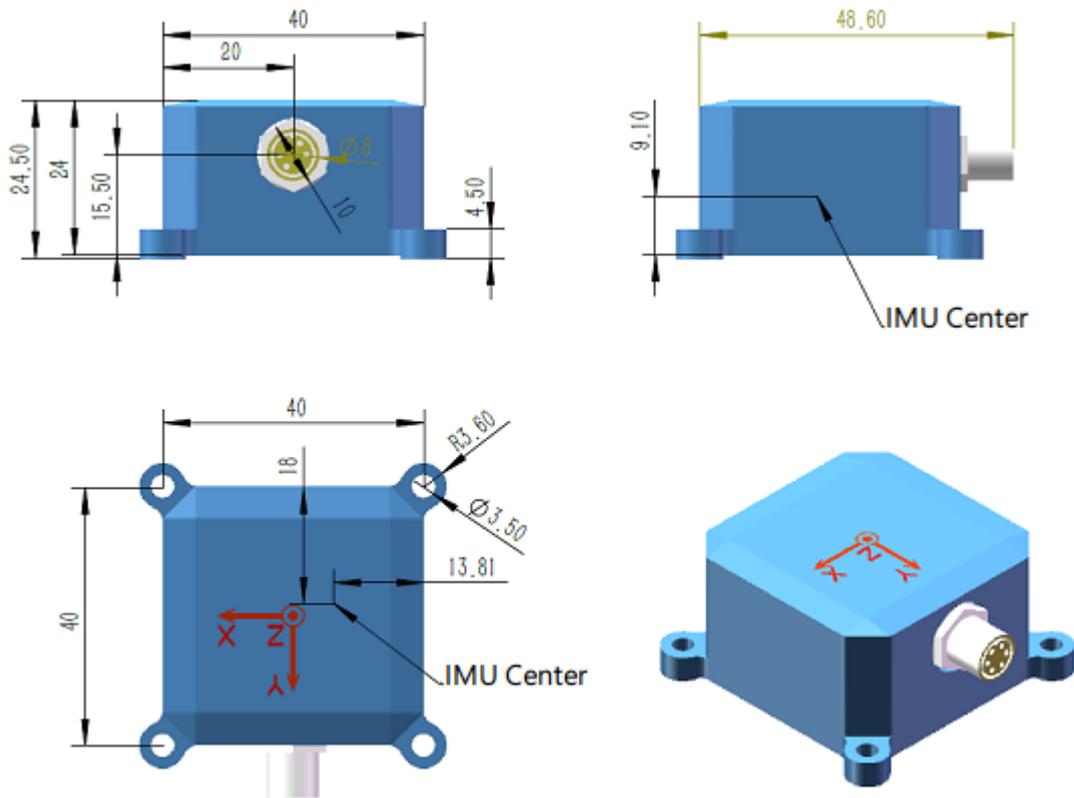
指標	CH102	CH104	CH108
機械與電氣			
尺寸	40x40x24.5mm(螺絲孔間距)		
重量	73g	74g	76g
電壓	USB介面：5V CAN/232/485介面5-36V		
功耗	206mW	245mW	410mW
啟動時間與方式	靜止啟動時間<1s		
介面-USB			
USB(虛擬序列埠波特率)	9600/115200(預設)/230400/460800/921600		
模組輸出幀率	1/50/100(預設)/200/400Hz		
感測器最大輸出幀率	400Hz原始數據(加速度,角速度)	400Hz姿態角	100Hz磁場原始數據
介面-序列埠RS-232			
序列埠波特率	9600/115200(預設)/230400/460800/921600		
模組輸出幀率	1/50/100(預設)/200/400Hz		
感測器最大輸出幀率	400Hz原始數據(加速度,角速度)	400Hz姿態角	100Hz磁場原始數據
介面-CAN2.0	預設無120Ω電阻		
波特率	125K/250K/500K(預設)/1000K		
協議	CANopen/SAEJ1939		
最大數據速率	200Hz原始數據(加速度·角速度)	200Hz姿態角	100Hz磁場數據
介面-485			
協議	Modbus/私有		
最大數據速率	100Hz原始數據(加速度·角速度)	100Hz姿態角	100Hz磁場數據
環境			
ESD	USB介面:IEC61000-4-2 ESD 15KV Air, 8KV contact compliance CAN/232/485:IEC61000-4-2 ESD 30KV Air, 30KV contact compliance EFT, IEC 61000-4-4,50A (5/50ns) Lightning, IEC 61000-4-5 2nd edition, 10A		
工作/儲存溫度	-40°C-85°C		
振動	1mm (0-100Hz) &<18g(100Hz-2kHz)		
衝擊	2000g		
MTBF	50000h		

如果用232介面進行400hz傳輸數據·使用者的232介面晶片需要支援921600的波特率

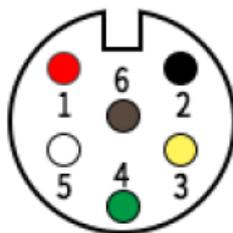
機械與電氣效能

尺寸圖

所有標註單位均為mm



航插介面定義



序號	顏色	CH10x-USB(虛擬序列埠)	CH10x-232/CAN	CH10x-485/CAN
1	紅	VCC_USB(5V)	VCC(5-36V)	VCC(5-36V)
2	黑	GND	GND	GND
3	黃	DN	H	H
4	綠	DP	L	L
5	白	-	TXD(RS232)	A(RS485)
6	棕	-	RXD(RS232)	B(RS485)

USB介面的CH10X系列姿態感測器配專門的USB轉接線，使用者可以即插即用，VCC_USB供電電壓絕對最大值5.2V

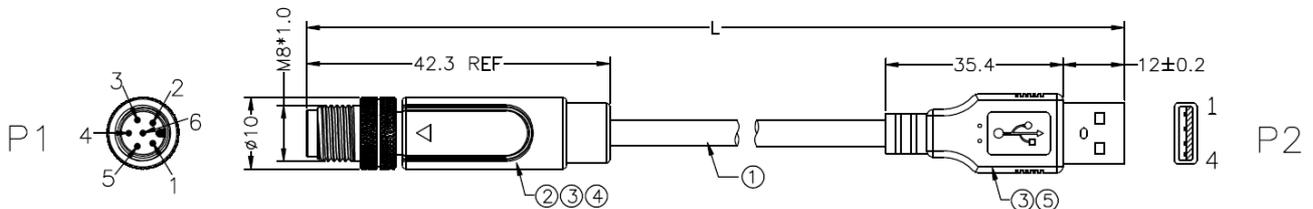
包裝內含遮蔽雙絞數據線纜



預設1.5m、0.5m如需其他長度可以與我們聯繫訂做。

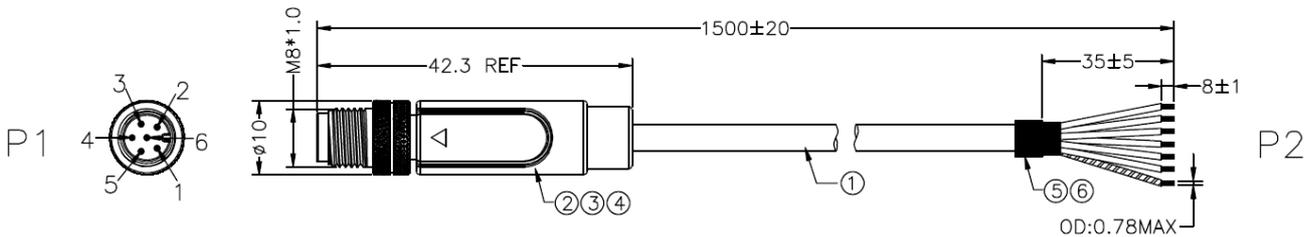
線纜-USB介面

感測器端為6芯M8A母頭圓形防水聯結器，連線線端為1.5m的USB轉6芯M8A公直頭成型線，規格如下圖：
單位為mm



線纜-CAN/232/485介面

感測器端為6芯M8A母頭圓形防水聯結器，連線線端為1.5m的6芯M8A公直頭成型線，規格如下圖：
單位為mm



電氣與機械參數

型別	條件	最小值	典型值	最大值	單位
電源輸入VCC_USB	USB介面	4.9	5	5.2	V
電源輸入VCC	CAN/232/485介面	5	-	36	V
DN、DP	USB介面	-0.3	-	3.6	V
RS-232		-15	-	15	V
CAN		-36	-	36	V
CAN差分電壓		1.5	-	3.0	V
RS-485		-12	-	12	V
功耗P	CH102(M)	-	-	206	mW
功耗P	CH104(M)	-	-	245	mW
功耗P	CH108M	-	-	410	mW

型別	條件	最小值	典型值	最大值	單位
工作溫度		-40	-	85	°C
振動衝擊		-2000	-	2000	g
MTBF			50000		h

EMC防護標準

USB介面：

- IEC61000-4-2 ESD 15KV Air, 8KV contact compliance

CAN/232/485:

- IEC61000-4-2 ESD 30KV Air, 30KV contact compliance
- EFT, IEC 61000-4-4, 50A (5/50ns)
- Lightning, IEC 61000-4-5 2nd edition, 10A

座標系定義

載體系使用 右-前-上(RFU)座標系，地理座標系使用 東-北-天(ENU)座標系。其中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的話，Y軸正方向應視為機頭方向。當感測器系與慣性系重合時，歐拉角的理想輸出為：Pitch = 0°，Roll = 0°，Yaw = 0°

性能指標

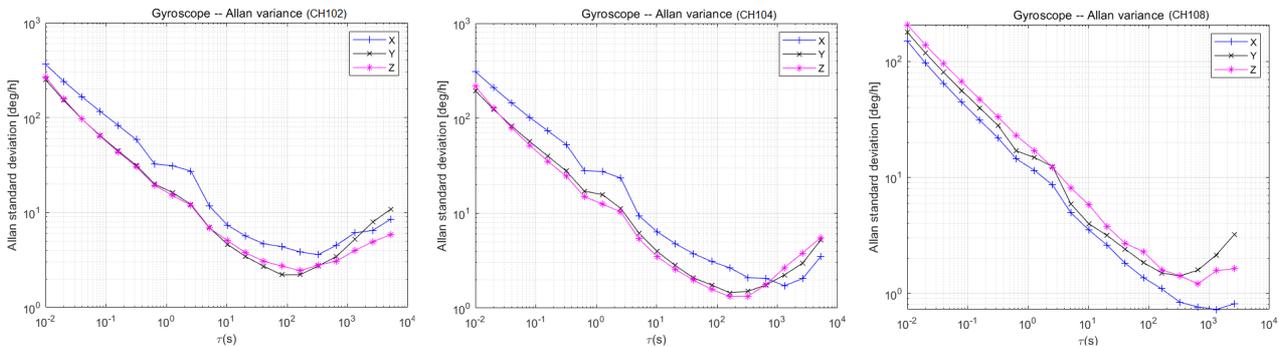
姿態角輸出精度

姿態角	典型值 CH102(M)	典型值 CH104(M)	典型值 CH108	備註
Pitch/Roll(static)	0.2°	0.2°	0.2°	靜止
Pitch/Roll(dynamic)	0.2°	0.2°	0.2°	低機動運動，無長時間加減速行為
Yaw(VRU)(static)	0.3°	0.2°	0.2°	靜止,1hr內
Yaw(VRU)(dynamic)	5°	3°	2°	6軸模式·低機動運動，無長時間加減速行為·0.5hr
Yaw(magnetic)	2°	2°	2°	9軸模式·周圍磁場環境乾淨·並且經過地磁校準

陀螺儀

參數	CH102	CH104	CH108	備注
測量範圍	$\pm 2000^\circ/\text{s}$	$\pm 2000^\circ/\text{s}$	$\pm 2000^\circ/\text{s}$	可配置
分頻率	$0.01^\circ/\text{s}$	$0.01^\circ/\text{s}$	$0.01^\circ/\text{s}$	
零偏穩定性	$3.5^\circ/\text{hr}$	$2.5^\circ/\text{hr}$	$1.76^\circ/\text{hr}$	@25°C, 1 σ
零偏重復性	$0.07^\circ/\text{s}$	$0.05^\circ/\text{s}$	$0.03^\circ/\text{s}$	@25°C, 1 σ
非正交誤差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	@25°C, 1 σ
隨機游走	$0.42^\circ/\sqrt{\text{hr}}$	$0.3^\circ/\sqrt{\text{hr}}$	$0.21^\circ/\sqrt{\text{hr}}$	@25°C, 1 σ
刻度非線性度	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	滿量程時(最大)
刻度系數誤差	800ppm	550ppm	300ppm	出廠前校淮後
加速度敏感性	$0.1^\circ/\text{s/g}$	$0.1^\circ/\text{s/g}$	$0.1^\circ/\text{s/g}$	

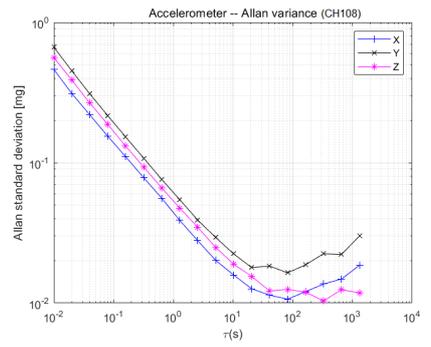
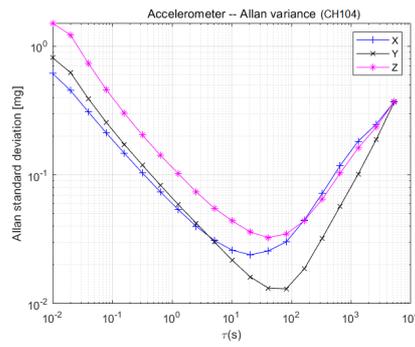
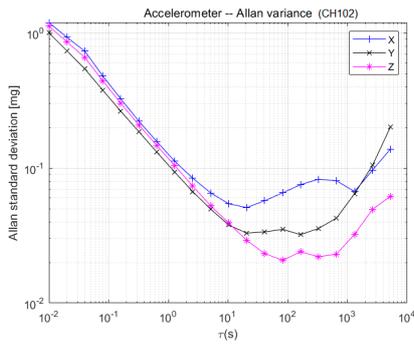
陀螺Allan方差曲線由左至右依序為:CH102、CH104、CH108



加速度計

參數	CH102	CH104	CH108	備注
測量範圍	$\pm 8\text{G}$ (1G = 1x 重力加速度)	$\pm 8\text{G}$ (1G = 1x 重力加速度)	$\pm 24\text{G}$ (1G = 1x 重力加速度)	
分辨率	1 μG	1 μG	1 μG	
零偏穩定性	42 μG	30 μG	21 μG	@25°C, 1 σ
零偏重復性	2.52mG	1.8mG	0.6mG	@25°C, 1 σ
非正交誤差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$
隨機游走	$0.056\text{m}/\text{s}\sqrt{\text{h}}$	$0.04\text{m}/\text{s}\sqrt{\text{h}}$	$0.028\text{m}/\text{s}\sqrt{\text{h}}$	@25°C, 1 σ
刻度系數誤差	$\pm 0.3\%$ (滿量程時)	$\pm 0.3\%$ (滿量程時)	$\pm 0.2\%$ (滿量程時)	出廠前校淮後
全溫範圍溫度變化	$\pm 0.3\text{mg}/^\circ\text{C}$	$\pm 0.3\text{mg}/^\circ\text{C}$	$\pm 0.3\text{mg}/^\circ\text{C}$	-20 - 85°

加速度Allan方差曲線由左至右依序為：CH102、CH104、CH108



磁感測器參數

參數	值
測量範圍	±8G(Gauss)
非線性度	±0.1%
分辨率	0.25mG

標定

出廠標定

加速度計和陀螺儀出廠前會經過標定，這些被標定的誤差包括比例因子、零偏、非正交誤差以及溫度。校準參數會被寫在模組內部。

啟動標定

為了模組獲得更好的效能，我們還為用戶提供了上電自動標定的功能，這需要用戶在上電的過程中保持水平靜止1s，這樣可以獲得更準確的零偏參數。我們獨有的啟動演算法可以模組很好的避免上電零偏計算錯誤，充分發揮模組效能。

磁力計校準

地磁感測器出廠前經過橢球校準，但磁感測器很容易受到外界環境磁場干擾，一般都需要客戶在拿到產品後重新校準。

模組內部自帶主動地磁校準系統，該系統不需要用戶發送任何指令，該系統在後臺自動採集一段時間內地磁場數據，並做分析比較，剔除異常數據，一旦數據足夠，就會嘗試地磁校準。所以，當使用9軸模式時，不需要用戶任何干預即可完成地磁校準。但是模組仍然提供介面來讓用戶檢查當前校準狀態。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，內部校準系統才能蒐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：室內桌子旁，大型鐵質框架結構附近，都屬於常見的干擾區域。建議將模組拿到室外空曠處，即使沒有條件拿到室外，盡量將模組遠離(>0.5m)實驗室桌子、電腦、電機、手機等容易產生地磁干擾的物體。
2. 在盡量小範圍內(位置不動，只是旋轉)，緩慢的讓模組旋轉，讓模組經歷盡量多的姿態位置(每個軸至少都旋轉360°，持續約1分鐘)。一般情況下即可完成校準。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. 校準的成功與否可用AT指令來檢視：發送 **AT+INFO=HSI** 指令，模組會列印當前地磁校準系統狀態，如圖4-1所示：這裡只需關心 **fiterr**項即可：0.03以下說明校準結果已經足夠好。如果**fiterr**始終>0.1，說明地磁干擾很大，需要再次校準以期得到更好的校準結果。擬合殘差會隨著時間緩慢增長。
4. 雖然地磁參數估計可以在線自動採集數據，自動的動態擬合地磁校準參數。但是如果周圍地磁環境改變(比如需要到另外房間或者室內室外切換，或者是模組被安裝/焊接到了新的環境中)，還需重複執行1-3步。
5. 雖然地磁校準無需手動開啟或停止，模組自動在後臺自動運行該系統，但是用戶仍然可以手動控制地磁校準系統的開啟與否，使用 **AT+MCALCTL=0** 來關閉地磁校準系統，使用 **AT+MCALCTL=1** 來開啟地磁校準系統，該命令立即生效，掉電儲存。用戶可以開啟地磁校準後使 **AT+INFO=HSI** 來判斷校準質量，一旦校準成功完成，使用 **AT+MCALCTL=0** 來關閉校準系統，並鎖定校準值。一般情況下，只要在無磁區域校準成功過一次，後面是無需再次校準的。
6. 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。



磁干擾分類

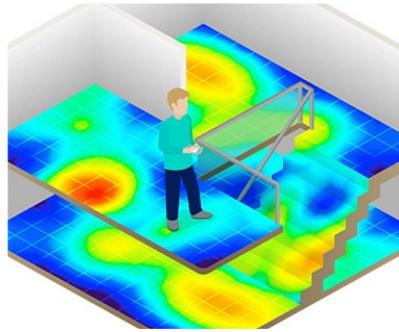
地磁干擾可分為空間磁場干擾與感測器坐標系下的磁場干擾，如下圖所示

Distortions that move with the sensor	Distortions that do not move with the sensor
	
<ul style="list-style-type: none">• Calibration errors• Hard iron effects• Soft iron effects• Etc.	<ul style="list-style-type: none">• Spatial distortions• Temporal distortions• Etc.

空間磁場干擾(干擾不隨感測器位姿改變而改變)

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。



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匀)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，會嚴重影響地磁效能。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

感測器坐標系下的干擾(干擾隨感測器位姿改變而改變)

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，產品等。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。

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蔽機制，但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，電磁實驗室，車間，地下車庫等)，即使校準後9軸的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羅盤再分開的(發生相對位移)，一旦分開是需要再重新校準。如果這個鐵大小是不固定的，或與羅盤的距離變化也不是固定的，這種干擾是無法校準的，即使校準成功，也會精度非常差，只能避而遠之安裝，安全距離控制在50cm以上)。

案例分析

假設客戶想在移動機器人上使用9軸模式獲得準確的不漂移的航向角，模組安裝在機器人上(看做一個剛體)，由於機器人本身的金屬結構(部件·電路)會有一個很大的硬磁干擾，相當於上文提到的"感測器坐標系下的干擾"。這部分干擾可以被校準。由於機器人的電機啟動停止，以及機器人在室內經過各種房間的磁干擾導致空間磁場改變，會產生上文中提到的"空間磁場干擾"。這部分干擾不能被校準。兩種干擾同時存在的可能性很大，給9軸模式造成了很大挑戰。這時候建議客戶用6軸模式，如果9軸模式必須使用則要做到如下幾點：

1. 校準：必須帶著機器人一起校準(機器人足夠小)，單獨把模組拿下來校準好再安裝上去是不正確的做法。必須將機器人和模組視做一個剛體去校準才能得到正確的校準結果，具體校準環節請參考上文，校準成功後，重新上電(復位)生效。
2. 由於室內磁環境複雜，即使校準正確完成可能還是會出現較大的航線誤差，尤其是電機啟停，功率改變時，對磁場影響巨大。

如果應用場合不需要地磁感測器，可以忽略地磁感測器，產品默認處於6軸模式，即地磁場不參與解算，不建議機器人行業使用9軸姿態感測器

6軸模式與9軸模式

模式	使用環境	典型應用	優點	缺點
6軸	不用考慮磁場影響	無人駕駛 傾角檢測	姿態角輸出穩定性 好完全不受磁場干擾	在沒有外界參考條件下航向角隨時間緩慢漂移
9軸	需要考慮磁場影響	指南針 尋北系統	航向角不會隨時間 漂移一旦檢測到地 磁場可快速修正航 向角指北	任何磁干擾都會使航向角準確度下降。干擾嚴重的情況下航向角無法指向正確方向。使用前需要校準感測器

10軸既支援6軸模式也支援9軸模式，並且可以為用戶額外提供氣壓數據

支援地磁的產品，無論在哪種模式下都會輸出地磁資訊，6軸模式地磁不會參與解算，9軸地磁會參與解算

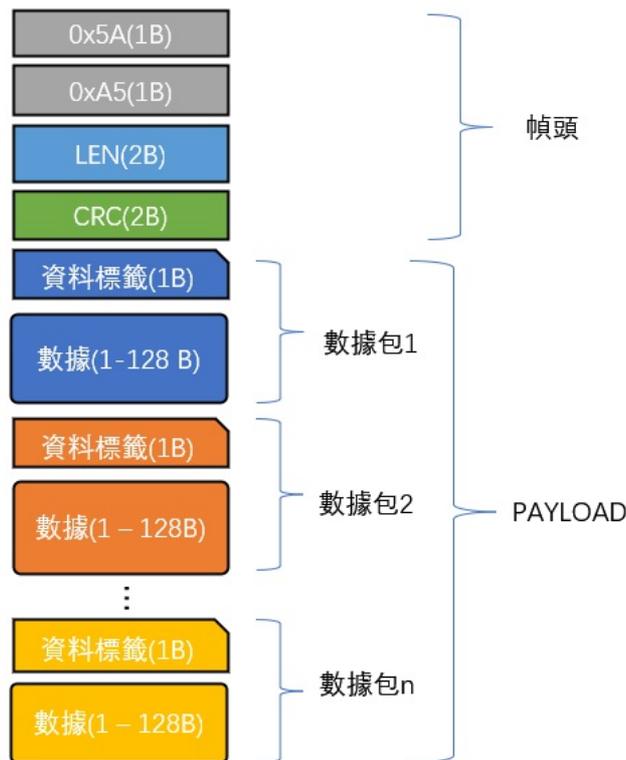
序列埠(RS232/USB VCOM)通訊協議

模組上電後，默認按出廠幀率(通常為100)輸出幀數據，幀格式如下：

```

1 | 序列埠數據幀結構：
2 | <幀頭(0x5A)><幀類型(0xA5)><長度><CRC校驗><數據域>
    
```

域名稱	值	長度(字節)	說明
幀頭	0x5A	1	固定為0x5A
幀類型	0xA5	1	固定為0xA5
長度	1-512	2	幀中數據域的長度，低字節在前。長度表示數據域的長度(不包含幀頭，幀類型，長度，CRC)
CRC校驗	-	2	除CRC 本身外其余所有字段(幀頭，幀類型，長度，數據域)的16 位CRC 校驗和。LSB(低字節在前)
數據域	-	1-512	一幀攜帶的數據。由若干個子數據包組成。每個數據包包含數據包標籤和數據兩部分。標籤決定了數據的類型及長度。



CRC實現函數：

```

1 | /*
2 |    correctCrc: previous crc value, set 0 if it's first section
3 |    src: source stream data
4 |    lengthInBytes: length
    
```

```

5  */
6  static void crc16_update(uint16_t *currentCrc, const uint8_t *src, uint32_t lengthInBytes)
7  {
8      uint32_t crc = *currentCrc;
9      uint32_t j;
10     for (j=0; j < lengthInBytes; ++j)
11     {
12         uint32_t i;
13         uint32_t byte = src[j];
14         crc ^= byte << 8;
15         for (i = 0; i < 8; ++i)
16         {
17             uint32_t temp = crc << 1;
18             if (crc & 0x8000)
19             {
20                 temp ^= 0x1021;
21             }
22             crc = temp;
23         }
24     }
25     *currentCrc = crc;
26 }

```

序列埠數據包

數據包總覽

數據包標籤	數據包長度(包含標籤1字節)	名稱	備注
0x91	76	IMUSOL(IMU數據集合)	

產品支援數據包列表

0X91(IMUSOL)

共76字節。整合了IMU的感測器原始輸出和姿態解算數據。

字節偏移	類型	大小	單位	說明
0	uint8_t	1	-	數據包標籤:0x91
1	uint8_t	1	-	ID
2	-	2	-	保留
4	float	4	Pa	氣壓(部分型號支援)
8	uint32_t	4	ms	節點本地時間戳資訊。從系統開機開始累加。每毫秒增加1
12	float	12	1G(1G = 1重力加速度)	經過出廠校準後的加速度,順序為:XYZ
24	float	12	deg/s	經過出廠校準後的角速度,順序為: XYZ
36	float	12	uT	磁強度,順序為: XYZ

字節偏移	類型	大小	單位	說明
48	float	12	deg	節點歐拉角 順序為：橫滾角(Roll, -180°~180°) · 俯仰角(Pitch, -90°~90°) · 航向角(Yaw, -180°~180°)
60	float	16	-	節點四元數集合, 順序為WXYZ

出廠默認數據包

出廠默認一幀中攜帶數據包數據定義如下：

產品	默認輸出數據包
CH100/CH110/CH010/CH020/CH040/CH102/CH104/CH108	91

數據幀結構示例

數據幀配置為 0x91 數據包

使用序列埠助手採樣一幀數據, 共82字節, 前6字節為幀頭, 長度和CRC校驗值。剩餘76字節為數據域。假設數據接收到C語言陣列 buf 中。如下所示：

```
5A A5 4C 00 6C 51 91 00 A0 3B 01 A8 02 97 BD BB 04 00 9C A0 65 3E A2 26 45 3F 5C E7 30 3F E2 D4 5A
C2 E5 9D A0 C1 EB 23 EE C2 78 77 99 41 AB AA D1 C1 AB 2A 0A C2 8D E1 42 42 8F 1D A8 C1 1E 0C 36 C2
E6 E5 5A 3F C1 94 9E 3E B8 C0 9E BE BE DF 8D BE
```

- 第一步：判斷幀頭，得到數據域長度和幀CRC：

幀頭：5A A5

幀數據域長度：4C 00：(0x00<<8) + 0x4C = 76

幀CRC校驗值：6C 51：(0x51<<8) + 0x6C = 0x516C

- 第二步：校驗CRC

```
1 uint16_t payload_len;
2 uint16_t crc;
3
4 crc = 0;
5 payload_len = buf[2] + (buf[3] << 8);
6
7 /* calculate 5A A5 and LEN field crc */
8 crc16_update(&crc, buf, 4);
9
10 /* calculate payload crc */
11 crc16_update(&crc, buf + 6, payload_len);
```

得到CRC值為0x516C，與幀中攜帶CRC值相同，幀CRC校驗通過。

- 第三步：接收數據

從 0x91 開始為數據包的數據域，定義數據結構體和常用轉換宏：

```
1 #include "stdio.h"
2 #include "string.h"
3
4 /* common type conversion */
```

```

5  #define U1(p) (*(uint8_t *)(p))
6  #define I1(p) (*(int8_t *)(p))
7  #define I2(p) (*(int16_t *)(p))
8  static uint16_t U2(uint8_t *p) {uint16_t u; memcpy(&u,p,2); return u;}
9  static uint32_t U4(uint8_t *p) {uint32_t u; memcpy(&u,p,4); return u;}
10 static int32_t I4(uint8_t *p) {int32_t u; memcpy(&u,p,4); return u;}
11 static float R4(uint8_t *p) {float r; memcpy(&r,p,4); return r;}
12
13 typedef struct
14 {
15     uint8_t tag;          /* item tag: 0x91 */
16     uint32_t id;         /* user define ID */
17     float acc[3];        /* acceleration */
18     float gyr[3];        /* angular velocity */
19     float mag[3];        /* magnetic field */
20     float eul[3];        /* attitude: eular angle */
21     float quat[4];       /* attitude: quaternion */
22     float pressure;      /* air pressure */
23     uint32_t timestamp;
24 }imu_data_t;
25

```

接收數據，從buf[6]開始為payload部分：

```

1  imu_data_t i0x91 = {0};
2  int offset = 6; /* payload strat at buf[6] */
3
4  i0x91.tag = U1(buf+offset+0);
5  i0x91.id = U1(buf+offset+1);
6  i0x91.pressure = R4(buf+offset+4);
7  i0x91.timestamp = U4(buf+offset+8);
8  i0x91.acc[0] = R4(buf+offset+12);
9  i0x91.acc[1] = R4(buf+offset+16);
10 i0x91.acc[2] = R4(buf+offset+20);
11 i0x91.gyr[0] = R4(buf+offset+24);
12 i0x91.gyr[1] = R4(buf+offset+28);
13 i0x91.gyr[2] = R4(buf+offset+32);
14 i0x91.mag[0] = R4(buf+offset+36);
15 i0x91.mag[1] = R4(buf+offset+40);
16 i0x91.mag[2] = R4(buf+offset+44);
17 i0x91.eul[0] = R4(buf+offset+48);
18 i0x91.eul[1] = R4(buf+offset+52);
19 i0x91.eul[2] = R4(buf+offset+56);
20 i0x91.quat[0] = R4(buf+offset+60);
21 i0x91.quat[1] = R4(buf+offset+64);
22 i0x91.quat[2] = R4(buf+offset+68);
23 i0x91.quat[3] = R4(buf+offset+72);
24

```

打印接收到的數據：

```

1   printf("%-16s0x%X\r\n",          "tag:",          i0x91.tag);
2   printf("%-16s%d\r\n",            "id:",          i0x91.id);
3   printf("%-16s%8.4f %8.4f %8.4f\r\n", "acc(G):",      i0x91.acc[0], i0x91.acc[1],
i0x91.acc[2]);
4   printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "gyr(deg/s):",  i0x91.gyr[0], i0x91.gyr[1],
i0x91.gyr[2]);
5   printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "mag(uT):",     i0x91.mag[0], i0x91.mag[1],
i0x91.mag[2]);
6   printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "eul(deg):",    i0x91.eul[0], i0x91.eul[1],
i0x91.eul[2]);
7   printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "quat:",        i0x91.quat[0],
i0x91.quat[1], i0x91.quat[2], i0x91.quat[3]);
8   printf("%-16s%8.3f\r\n",          "pressure(pa):", i0x91.pressure);
9   printf("%-16s%d\r\n",              "timestamp(ms):", i0x91.timestamp);

```

打印出的解析結果：

```

1 tag:          0x91
2 id:           0
3 acc(G):       0.2242  0.7701  0.6910
4 gyr(deg/s):   -54.708 -20.077 -119.070
5 mag(uT):      19.183 -26.208 -34.542
6 eul(deg):     48.720 -21.014 -45.512
7 quat:         0.855   0.310  -0.310  -0.277
8 pressure(pa): -0.000
9 timestamp(ms): 310205

```

AT指令

當使用序列埠與模組通訊時，模組支援AT 指令集配置/查看模組參數。AT 指令總以ASCII 碼 **AT** 開頭，後面跟控制字符，最後以回車換行 `\r\n` 結束。

使用上位機輸入AT指令：



使用序列埠調試助手進行測試：

COM3,115200,None,8,One - 串口調試助手

AA ? ☺

串口号: COM3
 串列傳輸速率: 115200
 資料位: 8
 校驗位: None
 停止位: One

關閉串口

接收區設置

接收並保存到檔
 十六進位顯示
 暫停接收顯示
 自動斷幀 20
 接收腳本 Add Timest

保存資料 清空資料

發送區設置

發送檔 擴展命令
 十六進位發送
 發送腳本 ADD8
 定時發送 0.05 秒
 DTR RTS

分行符號
 顯示發送字串 \r\n (CRLF)

```

>> AT+EOUT=0 停止 IMU 數據輸出
« 9
» AT+INFO
«
HI229 1.0.9 build Apr 16 2022
2010 - 2021 Copyright by HiPNUC
MODE: 9 AIXS
OEM: 0
ID: 0x1
UUID: 6015A5172DB71709
ODR: 100Hz
OK
  
```

AT+INFO
 | ← 鍵入 Enter (換行符號)

發送: 50 接收: 18448 重定計數

AT指令列表

指令	功能	掉電保存(Y) / 掉電不保存(N)	立即生效(Y)/復位生效(N)	備注
AT+ID	設置模組用戶ID	Y	N	
AT+INFO	打印模組資訊	N	Y	
AT+ODR	設置模組序列埠輸出幀頻率	Y	N	
AT+BAUD	設置序列埠波特率	Y	N	
AT+EOUT	數據輸出開關	N	Y	
AT+RST	復位模組	N	Y	
AT+URFR	安裝角度設置	Y	N	
AT+SETYAW	手動設置航向角	N	Y	
AT+RSTORT	安裝對齊設置	Y	Y	
AT+TRG	單次輸出觸發	N	Y	部分型號支援
AT+SETPTL	設置輸出數據包	Y	Y	部分型號支援

指令	功能	掉電保存(Y) / 掉電不保存(N)	立即生效(Y)/復位生效(N)	備注
AT+MODE	設置模組工作模式	Y	N	部分型號支援

AT+ID

設置模組用戶ID

例 **AT+ID=1**

AT+INFO

打印模組資訊，包括產品型號，版本，韌體發布日期等。

AT+ODR

設置模組序列埠輸出速率。 掉電保存，復位模組生效

例 設置序列埠輸出速率為100Hz：**AT+ODR=100**

注意：當ODR設置為比較高時(如200)，默認的115200波特率可能不滿足輸出頻寬要求，此時需要將模組波特率設高(如921600)後，模組才能按設置的ODR輸出數據幀。輸出幀率可以為1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 400Hz。

AT+BAUD

設置序列埠波特率，可選值：**9600/115200/460800/921600**

例 **AT+BAUD=115200**

注意

- 使用此指令需要特別注意，輸入錯誤波特率後會導致無法和模組通訊
- 波特率參數設置好後掉電保存，復位模組生效。上位機的波特率也要做相應修改。
- 升級韌體時，需要切換回115200 波特率。

AT+EOUT

序列埠輸出開關

例 打開序列埠輸出 **AT+EOUT=1** 關閉序列埠輸出 **AT+EOUT=0**

AT+RST

復位模組

例 **AT+RST**

AT+SETYAW

設置航向角，格式為 **AT+SETYAW=<MODE>, <VAL>**

- **MODE=0** 絕對模式：將航向角直接設置為VAL的值。如 **AT+SETYAW=0, 90** 將航向角直接設置為90°
- **MODE=1** 相對模式：將原航向角遞增VAL值。如 **AT+SETYAW=1, -10.5** 將航向角遞增-10.5°，如原來為30°，發送命令後航向角變為19.5°。

AT+MODE

設置模組工作模式

例

- 設置模組工作在6軸模式(無磁校准) `AT+MODE=0`
- 設置模組工作在9軸模式(地磁場感測器參與航向角校正) `AT+MODE=1`

AT+URFR

這條指令提供了旋轉感測器XYZ軸的接口，可用於任意角度的垂直安裝。

```
1 | AT+URFR=C00,C01,C02,C10,C11,C12,C20,C21,C22
```

其中 C_{nm} 支援浮點數

```
$$  
\left\{\begin{array}{l}X \\ Y \\ Z\end{array}\right\}_U = \left[\begin{array}{lll}C_{00} & C_{01} & C_{02}\end{array}\right] \cdot \left[\begin{array}{lll}C_{10} & C_{11} & C_{12}\end{array}\right] \cdot \left[\begin{array}{l}X \\ Y \\ Z\end{array}\right]_B  
$$
```

其中 $\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_U$ 為旋轉後的感測器坐標系下感測器數據， $\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_B$ 為旋轉前感測器坐標系下感測器數據

下面是幾種常用旋轉舉例：

- 新感測器坐標系為 繞原坐標系X軸 旋轉 90° (適用於垂直安裝:Y軸正方向朝下) · 輸入命令：
`AT+URFR=1,0,0,0,0,1,0,-1,0`
- 新感測器坐標系為 繞原坐標系X軸 旋轉 -90° (適用於垂直安裝:Y軸正方向朝上) · 輸入命令：
`AT+URFR=1,0,0,0,0,-1,0,1,0`
- 新感測器坐標系為 繞原坐標系X軸 旋轉180° · 輸入命令：`AT+URFR=1,0,0,0,-1,0,0,0,-1`
- 新感測器坐標系為 繞原坐標系Y軸 旋轉 90° (適用於垂直安裝:X軸正方向朝上) · 輸入命令：
`AT+URFR=0,0,-1,0,1,0,1,0,0`
- 新感測器坐標系為 繞原坐標系Y軸 旋轉 -90° (適用於垂直安裝:X軸正方向朝下) · 輸入命令：
`AT+URFR=0,0,1,0,1,0,-1,0,0`
- 新感測器坐標系為 繞原坐標系Y軸 旋轉180° · 輸入命令：`AT+URFR=-1,0,0,0,1,0,0,0,-1`
- 新感測器坐標系為 繞原坐標系Z軸 旋轉90° · 輸入命令：`AT+URFR=0,-1,0,1,0,0,0,0,1`
- 新感測器坐標系為 繞原坐標系Z軸 旋轉-90° · 輸入命令：`AT+URFR=0,1,0,-1,0,0,0,0,1`
- 恢復出廠默認值：`AT+URFR=1,0,0,0,1,0,0,0,1`

AT+RSTORT

一些情況下，模組安裝時需要設置水平對齊(Pitch=Roll=0) 或者全部對齊(Pitch=Roll=Yaw=0)，這是需要給模組的一個初始姿態偏移。使用此命令可以完成對齊配置。

- `AT+RSTORT=0`: Object Reset: Pitch = Roll = Yaw = 0
- `AT+RSTORT=1`: Heading Reset: Pitch = Roll = 0, Yaw保持不變
- `AT+RSTORT=2`: Alignment Reset: Pitch, Roll 保持不變, Yaw=0
- `AT+RSTORT=3`: Reset Offset: 清除所有對齊偏移設置

CAN通訊協議

本產品CAN接口遵循以下標準：

- CAN接口符合CANopen協議，所有通訊均使用標準數據幀，只使用PT01-4 傳輸數據。不接收/發送遠程幀和拓展數據幀
- 所有PT0采用異步定時觸發模式。

CANopen 默認設置

CANopen默認配置	值
CAN 波特率	500KHz
CANopen節點ID	8
初始化狀態	Operational
心跳包	無
TPDO輸出速率	10Hz - 200Hz(每個TPDO)

CANopen TPDO

PTO通道	PTO 幀ID	長度 (DLC)	PTO 傳輸方式	異步輸出頻率 (Hz)	發送數據	說明
TPD01	0x180+ID	6	異步定時 (0xFE)	100	加速度	數據類型為(int16, 低字節在前, 每個軸2字節, 共6字節), 分別為X,Y,Z軸加速度, 單位為mG(0.001重力加速度)
TPD02	0x280+ID	6	異步定時 (0xFE)	100	角速度	數據類型為(int16, 低字節在前, 每個軸2字節, 共6字節), 分別為X,Y,Z軸角速度, 單位為0.1DPS(°/s)
TPD03	0x380+ID	6	異步定時 (0xFE)	100	歐拉角	數據類型為(int16, 低字節在前, 每個軸2字節, 共6字節), 順序分別為 橫滾角:Roll, 俯仰角:Pitch, 航向角:Yaw。單位為0.01°
TPD04	0x480+ID	8	異步定時 (0xFE)	100	四元數	數據類型為(int16, 低字節在前, 每個元素2字節, 共8字節), 分別為 q_w q_x q_y q_z 。單位四元數擴大100000倍後結果。如四元數為1,0,0,0 時, 輸出100000,0,0,0。
TPD05	0x680+ID	4	異步定時 (0xFE)	20	氣壓	單位Pa

例：

收到加速度CAN幀：ID=0x188,DLC=6,DATA = 4A 00 1F 00 C8 03

- ID=0x188: ID為8的設備發送的加速度數據幀
- 加速度X軸 = 0x004A = 74 = 74mG
- 加速度Y軸 = 0x001F = 731 = 31mG
- 加速度Z軸 = 0x03C8 = 968 = 968mG

收到角速度CAN幀：ID=0x288,DLC=6,DATA = 15 00 14 01 34 00

- ID=0x288: ID為8的設備發送的角速度數據幀
- 加速度X軸 = 0x0015 = 21 = 2.1dps

- 加速度Y軸 = 0x0113 = 275 = 27.5dps
- 加速度Z軸 = 0x0023 = 35 = 3.5dps

使用上位機連接CAN設備

使用PCAN-View工具，配合PCAN-USB，可以在接收框(Rx Message)中會顯示收到的CAN消息及頻率，如下圖所示：

CAN-ID	Type	Length	Data	Cycle Time ^	Count
688h		4	00 00 00 00	102.6	27
488h		8	E0 26 FB 02 0E 02 1A 01	10.2	270
388h		6	48 02 7B 03 17 01	10.1	270
288h		6	00 00 00 00 00 00	10.1	270
188h		6	9B FF 94 00 BD 03	10.2	270

CANOpen接口常用命令

使能數據輸出(開啟異步觸發)

發送標準CANopen協議幀，使用NMT: Start Remote Node命令：

ID=0x000, DLC=2, DATA=0x01, 0x08

其中 0x01為Start Remote Node指令，0x08為節點ID

數據字典以下位置存放廠商參數配置數據，可通過CANopen 發送快速SD0指令修改，掉電保存，重新上電生效。

數據字典位置	子偏移	名稱	值類型	默認值	說明
0x2100	0	CAN_BAUD	INTEGER32	500000	CAN總線波特率
0x2101	0	NodeID	INTEGER32	8	節點ID

以上配置操作均使用快速SD0來寫數據字典，其中TPD0通道與其對應的參數索引為：

PTO通道	PTO 幀ID	TPD0參數索引地址(CANopen協議默認定義)
TPD01	0x180+ID	0x1800
TPD02	0x280+ID	0x1801
TPD03	0x380+ID	0x1802
TPD04	0x480+ID	0x1803
TPD05	0x680+ID	0x1804

修改CAN波特率

修改波特率：(ID=0x608，長度為8的標準數據幀，重新上電生效)

- CAN波特率修改為125K： **ID=0x608 · DATA=23, 00, 21, 00, 48, E8, 01, 00**
- CAN波特率修改為250K： **ID=0x608 · DATA=23, 00, 21, 00, 90, D0, 03, 00**
- CAN波特率修改為500K： **ID=0x608 · DATA=23, 00, 21, 00, 20, A1, 07, 00**

- CAN波特率修改為1M: ID=0x608 · DATA=23,00,21,00,40,42,0F,00

解釋：設定波特率為125KHz：ID=0x608為快速寫SD0地址，其中8為預設節點ID。修改節點ID后要做相應修改，如CANopen ID改為9后，ID=0x609。0x23為SD0寫四個位元組指令。0x00, 0x21為寫0x2100索引。0x00 子索引位置。預設0。(4-7位元組)0x00, 0x01, 0xE8, 0x48 = (0x00<<24) + (0x01<<16) + (0xE8<<8) + 0x48 = 125000。

修改節點ID

如將裝置CANopen節點ID改為9，重新上電生效

ID=0x608 · DATA=23,01,21,00,09,00,00,00

解釋：0x23為SD0寫四個位元組指令。0x01, 0x21為寫0x2101索引。0x09 0x00, 0x00, 0x00 = (0x00<<24) + (0x00<<16) + (0x00<<8) + 0x09 = 9。

ID修改範圍：1-64。生效后發送啟動節點命令(比如節點啟動命令數據變為01 09)和SD0指令(發送CAN幀ID變為0x609)時注意為新的地址

切換CAN協議

- ID=0x608 · DATA=23,06,21,00,00,00,00,00 切換協議為CANopen協議。重新後生效
- ID=0x608 · DATA=23,06,21,00,01,00,00,00 切換協議為J1939協議。重新後生效

修改/關閉/開啟數據輸出速率

此項配置立即生效，掉電儲存

- ID=0x608 · DATA=2B,00,18,05,00,00,00,00 關閉加速度輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,00,18,05,05,00,00,00 加速度200Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,00,18,05,0A,00,00,00 加速度100Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,00,18,05,14,00,00,00 加速度50Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,00,18,05,32,00,00,00 加速度20Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,00,18,05,64,00,00,00 加速度10Hz輸出(最低10Hz)
- ID=0x608 · DATA=2B,01,18,05,00,00,00,00 關閉角速度輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,01,18,05,05,00,00,00 角速度200Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,01,18,05,0A,00,00,00 角速度100Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,01,18,05,14,00,00,00 角速度50Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,01,18,05,32,00,00,00 角速度20Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,01,18,05,64,00,00,00 角速度10Hz輸出(最低10Hz)
- ID=0x608 · DATA=2B,02,18,05,00,00,00,00 關閉歐拉角輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,02,18,05,05,00,00,00 歐拉角200Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,02,18,05,0A,00,00,00 歐拉角100Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,02,18,05,14,00,00,00 歐拉角50Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,02,18,05,32,00,00,00 歐拉角20Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,02,18,05,64,00,00,00 歐拉角10Hz輸出(最低10Hz)
- ID=0x608 · DATA=2B,03,18,05,00,00,00,00 關閉四元數輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,03,18,05,05,00,00,00 四元數200Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,03,18,05,0A,00,00,00 四元數100Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,03,18,05,14,00,00,00 四元數50Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,03,18,05,32,00,00,00 四元數20Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,03,18,05,64,00,00,00 四元數10Hz輸出(最低10Hz)
- ID=0x608 · DATA=2B,04,18,05,00,00,00,00 關閉氣壓輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,04,18,05,05,00,00,00 氣壓200Hz輸出

- ID=0x608 · DATA=2B,04,18,05,0A,00,00,00 氣壓100Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,04,18,05,14,00,00,00 氣壓50Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,04,18,05,32,00,00,00 氣壓20Hz輸出
- ID=0x608 · DATA=2B,04,18,05,64,00,00,00 氣壓10Hz輸出(最低10Hz)

解釋：TPD00(加速度)輸出速率為100Hz(每10ms輸出一)：0x2B為SD0寫兩個位元組指令。0x00, 0x18為寫0x1800索引。0x05為子索引。0x00, 0x0A= (0x00<<8) + 0x0A = 10(單位為ms)·後面不足補0。

開啟/關閉站點

使用 NMT命令StartRemoteNode和 StopRemoteNode來開啟關閉節點：

- 開啟節點： ID:0 · DATA:01 08 其中01為開啟節點命令·08為節點ID(出廠預設為8)
- 關閉節點： ID:0 · DATA:02 08 其中02為關閉節點命令·08為節點ID(出廠預設為8)

配置TPD0為同步模式

先關閉所有TPD0(設定TPD0輸出速率為0)·然後發送CANopen同步幀即可：

CANopen 同步幀： ID:80 · DATA:空

附錄A - 韌體升級與恢復出廠設定

本產品支援升級韌體，正常使用下不需要自行升級韌體。

韌體升級步驟：

- 連線模組，打開上位機，將模組和上位機波特率都設定為115200，打開韌體更新視窗
- 點選連線按鈕，如出現模組連線資訊，則說明升級系統準備就緒，點選"開啟"選擇附檔名為.hex 的韌體，然後點"寫入"。
- 完成後會提示完成，此時關閉序列埠，重新給模組上電，模組升級完成。

