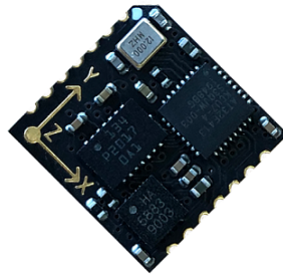


Hi229 用戶手冊

IMU/VRU/AHRS姿態測量模組, Rev 1.0



目錄

Hi229 用戶手冊

目錄

簡介

主要特性

板載感測器

通訊接口及供電

硬體參數

尺寸

引腳定義

坐標系定義

性能指標

姿態角輸出精度

陀螺儀

加速度計

磁感測器參數

模組數據接口參數

感測器校准

加速度計和陀螺儀

地磁校准

關於地磁干擾的更多知識

6軸和9軸模式區別

移動機器人案例

安裝及焊接

應用指南

模組與PC機連接

模組與MCU進行連接

序列埠通訊協議

序列埠數據包

數據包總覽

產品支援數據包列表

0x90(用戶ID)

0xA0(加速度)

0xB0(角速度)

0xC0(磁場強度)

0xD0(歐拉角)

0XD1(四元數)

0XF0(氣壓)

0X91(IMUSOL)

出廠默認數據包

數據幀結構示例

數據幀配置為 0x90,0xA0,0xB0,0xC0,0xD0,0xF0 數據包

數據幀配置為 0x91 數據包

AT指令

AT+ID

AT+INFO

AT+ODR
AT+BAUD
AT+EOUT
AT+RST
AT+SETYAW
AT+MODE
AT+SETPTL

附錄A - 評估板

評估板簡介

從評估板上取下產品

附錄B - 韌體升級與恢復出廠設定

簡介

Hi229是一款低成本、高性能、小體積、低延時的航姿參考單元（AHRS），本產品整合了三軸加速度計、三軸陀螺儀、三軸磁場感測器和一款微控制器。可輸出經過感測器融合算法計算得到的基於當地地理坐標的三維方位數據，包含航向角，俯仰角和橫滾角。同時也可以輸出校准過的原始的感測器數據。本產品具有一定的室內地磁抗干擾性能，在一定強度的地磁場干擾環境下仍可正常工作。

典型應用：

- VR\動作捕捉
- 高動態環境下姿態測量\運動性能評估
- 無人機控制

主要特性

板載感測器

- 三軸陀螺儀，最大量程： $\pm 2000^{\circ}/s$
- 三軸加速度計，最大量程： $\pm 8G$
- 三軸磁場感測器，最大量程：800mG（毫高斯）

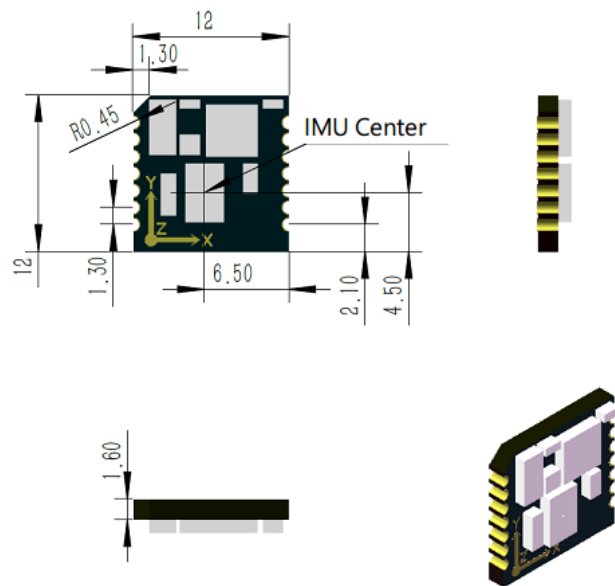
通訊接口及供電

- 序列埠（兼容TTL 可直接與5V 或3.3V 序列埠設備連接）
- 供電電壓：3.3（+/- 100 mV）
- 最大峰值功耗：32mA

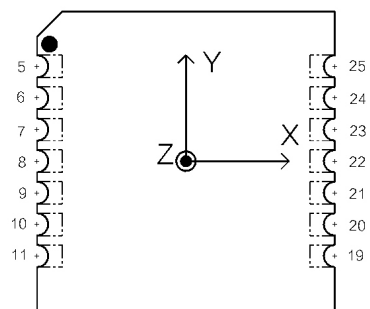
硬體參數

參數	描述
輸出數據接口	UART(TTL 1.8V - 5.0V)
工作電壓	3.3V（± 100mV）
功耗	86mW @3.3V
溫度範圍	-20℃ - 85 ℃
最大輸出速率	400Hz
尺寸	12 x 12 x 2.6mm (W x L x H)
板載感測器	三軸加速度計 三軸陀螺儀 三軸磁場感測器(可選)

尺寸



引腳定義



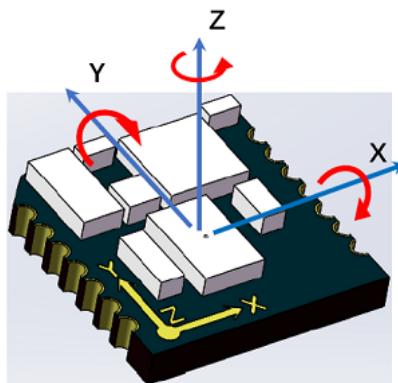
引腳號	名稱	說明
5	N/C	保留
6	VCC	電源 3.3V
7	SYNC_OUT	數據輸出同步，內部上拉，無數據輸出時為高電平(空間)，一幀數據開始發送時變為低電平，一幀數據發送完成後，返回高電平(空間)。不使用時需懸空
8	RXD	模組序列埠接收 UART RXD(接 MCU 的 TXD)
9	TXD	模組序列埠發送 UART TXD (接 MCU 的 RXD)
10	SYNC_IN	數據輸入同步：內部上拉，當模組檢測到下降沿時，會輸出一幀數據。不使用時需懸空
11	N/C	保留
19	GND	GND
20	RST	復位，內部上拉。 $>10\mu\text{S}$ 低電平復位模組。無需要外接阻容，建議接到MCU的GPIO引腳以實現軟體復位
21	N/C	保留
22	N/C	保留
23	N/C	保留
24	GND	GND
25	N/C	保留

坐標系定義

載體系使用 前-左-上(FLU)右手坐標系，地理坐標系使用 北-西-天(NWU)坐標系。其中歐拉角旋轉順序為 ZYX(先轉Z軸，再轉Y軸，最後轉X軸)旋轉順序。具體定義如下：

- 繞 Z 軸方向旋轉：航向角(也稱Yaw 或 ψ (讀作:psi)) 範圍： $-180^{\circ} - 180^{\circ}$
- 繞 Y 軸方向旋轉：俯仰角(也稱Pitch 或 θ (讀作:theta))範圍： $-90^{\circ}-90^{\circ}$
- 繞 X 軸方向旋轉：橫滾角(也稱Roll 或 ϕ (讀作:phi))範圍： $-180^{\circ}-180^{\circ}$

如果將模組視為飛行器的話。X 軸應視為機頭方向。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

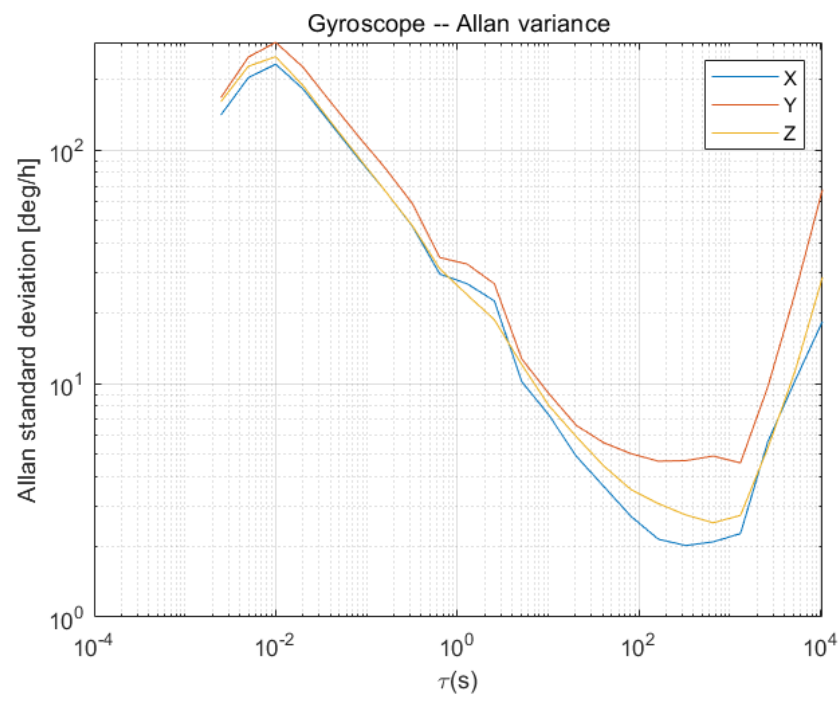
姿態角輸出精度

姿態角	典型值
橫滾角\俯仰角 - 靜態誤差	0.8°
橫滾角\俯仰角 - 動態誤差	2.5°
運動中航向角精度(6軸模式,30min,水平平穩運動,類掃地機運動模式)	<10°
運動中航向角精度(9軸模式下,無磁干擾,校準後)	3°

陀螺儀

參數	值	備注
測量範圍	±2000°/s	
分辨率	0.01°/s	
內部采樣頻率	1KHz	
零偏穩定性	8°/h	@25°C,1σ
零偏重復性	0.12°/s	@25°C,1σ
非正交誤差	±0.1%	@25°C,1σ
隨機游走	0.6°/√hr	@25°C,1σ
刻度非線性度	±0.1%	滿量程時(最大)
刻度系數誤差	±0.4%	出廠前校準後
加速度敏感性	0.1°/s/g	

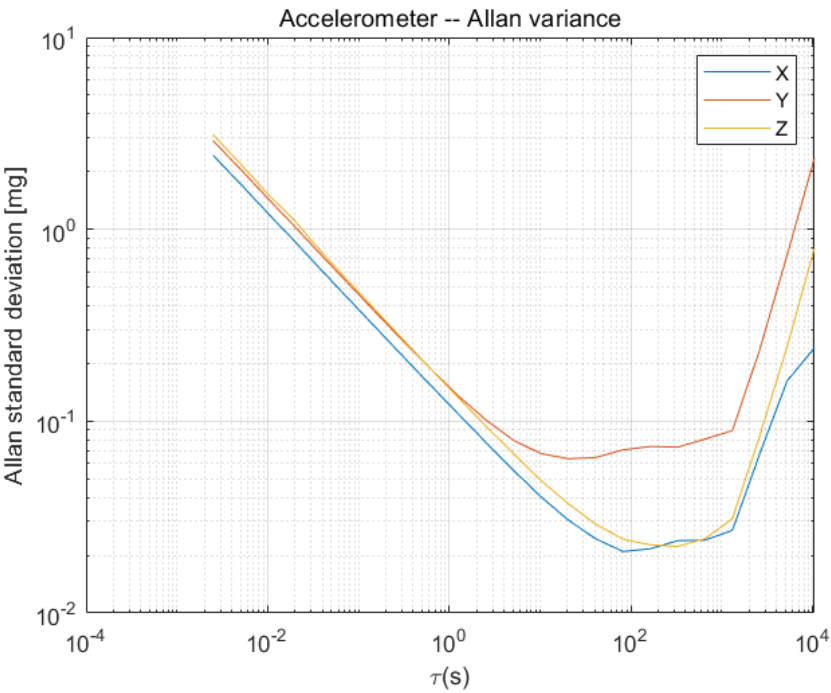
陀螺Allan方差曲線



加速度計

參數	值	備注
測量範圍	±8G (1G = 1x 重力加速度)	
分辨率	1uG	
內部採樣頻率	1KHz	
零偏穩定性	60uG	@25°C, 1σ
零偏重複性	4.8mG	@25°C, 1σ
非正交誤差	±0.1%	
隨機游走	$0.08m/s\sqrt{h}$	@25°C, 1σ
刻度系數誤差	±0.3% (滿量程時)	出廠前校淮後
全溫範圍溫度變化	2mg	-20 - 85°

加速度Allan方差曲線



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

模組數據接口參數

參數	值
序列埠輸出速率	9600/115200/460800/921600可選
幀輸出速率	1/25/50/100/200/400Hz 可選

感測器校准

加速度計和陀螺儀

加速度計和陀螺儀在出廠前經過比例因子誤差，非正交誤差和零偏誤差校准，校准參數保存在模組內部。其中陀螺儀出廠前還經過溫補校准，校准參數保存在模組內部。

地磁校准

磁感測器(部分型號支援)出廠前經過橢球校准，但磁感測器很容易受到外界環境磁場干擾，一般都需要客戶重新校准：

模組內部自帶主動地磁校准系統，該系統不需要用戶發送任何指令，該系統在後台自動采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，就會嘗試地磁校准。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准**。但是模組仍然提供接口來讓用戶檢查當前校准狀態。自動校准的前提是需要有足夠程度姿態機動(模組姿態的變化)並且維持一定時間，內部校准系統才能搜集不同姿態下的地磁場資訊，從而完成校准，**靜止狀態下是無法進行地磁校准的**。

首當使用模組並且需要使用9軸模式時，應進行如下校准操作：

1. 檢查周圍是否磁干淨：室內，實驗室桌子旁，大型鐵/剛框架結構附近。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/電腦等容易產生干擾的物體。
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准。如果始終沒能成功校准模組，說明周圍地磁場干擾比較大。
3. 校准的成功與否可用AT指令來查看：發送 **AT+INFO=HSI** 指令，模組會打印當前地磁校准系統狀態：





只需關心**fiter**一項：**0.03**以下說明校准結果已經足夠好。如果**fiter**始終**>0.1**，說明地磁干擾很大，需要再次校准以期得到更好的校准結果。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采集數據，自動的動態擬合地磁校准參數。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**。

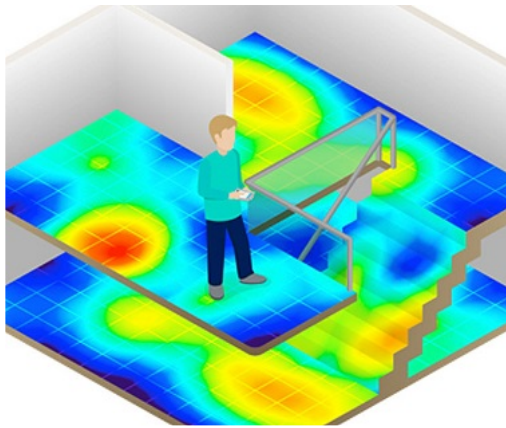
- 雖然地磁校准無需手動開啟或停止，模組自動在後台自動運行該系統，但是用戶仍然可以手動控制地磁校准系統的開啟與否，使用 **AT+MCALCTL=0** 來關閉地磁校准系統，使用 **AT+MCALCTL=1** 來開啟地磁校准系統，該命令立即生效，掉電保存。用戶可以開啟地磁校准後使 **AT+INFO=HSI** 來判斷校准質量，一旦校准成功完成，使用 **LAT+MCALCTL=0** 來關閉校准系統，並鎖定校准值。一般情況下，只要在無磁區域校准成功過一次，後面是無需再次校准的。
- 如果客戶安裝位置改變(比如上一次校准是拿著模組單獨去校准的，使用的時候卻是安裝在目標設備上)。則需要帶著目標設備進行重新校准，詳見移動機器人案例。

關於地磁干擾的更多知識

種類	定義	典型干擾源	影響	措施
空間磁場干擾 (Distortions that do not move with sensor)	干擾不隨感測器運動而運動，而處於世界坐標系下	各種固定的磁干擾源，家具，家用電器，電纜，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	無論磁場感測器是否校准的好，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。地磁補償會錯誤並且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元凶。這種干擾不能被校准，會嚴重影響地磁性能。空間磁場干擾在室內尤其嚴重。	只能盡量避免這種干擾源
感測器坐標系下的干擾 (Distortions that move with sensor)	干擾源隨感測器運動而運動	模組PCB，與模組固定在一起的板子，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	對感測器造成硬磁/軟磁干擾。這些干擾可以通過地磁校准算法加以很好的消除。	模組自動地磁校准

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.

下圖是一個典型的室內磁場分布圖。可以看到：一般室內環境的空間磁場畸變是比較嚴重的(屬於空間地磁干擾，無法校准補償)



注意

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屏蔽機制，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，地下車庫等等），即使校準後，9軸的航向角精度可能還不如6軸甚至會出現大角度誤差。

6軸和9軸模式區別

正因為地磁場非常容易受到空間干擾，所以使用9軸模式時應非常注意。下表列舉了不同的使用場合和工況下的使用建議

模式	適用環境	典型應用	優點	缺點	注意事項
6軸模式	各種環境	雲台等低動態姿態檢測，室內機器人	1. 姿態角輸出穩定性好 2. 完全不受磁場干擾	航向角隨時間緩慢漂移	航向角會隨時間緩慢飄移且無法補償
9軸模式	無磁干擾環境	1. 指南針，尋北系統 2. 空曠且磁干擾較少的室內，模組基本不會大範圍在室內移動（典型的如攝影棚內動作捕捉，且被測者不會做大範圍走動）	1. 航向角不會隨時間漂移 2. 一旦檢測到地磁場可快速修正航向角指北	任何磁干擾都會出現航向角準確度下降。室內干擾嚴重情況下 航向角無法指向正確方向。另外，移動機器人的金屬結構和電機運行時會產生非常強的磁干擾，所以移動機器人平台不適用於9軸模式。	首次使用前需要校準地磁感測器

模組的自動地磁校准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准，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准。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，這種干擾是無法校准，即使校准成功，也會精度非常差，只能避而遠之安裝。安全距離控制在 40CM 以上)。

移動機器人案例

假設客戶想在移動機器人上使用9軸模式獲得準確，不漂移的航向角，模組安裝在機器人上(看做一個剛體)：

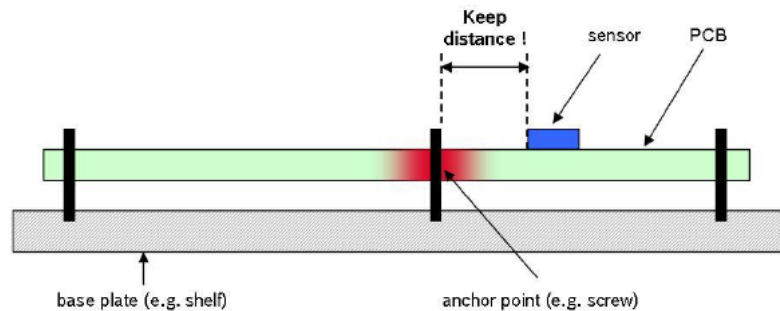
- 由於機器人本身由於金屬結構(部件，電路)的存在會有一個很大的硬磁干擾，相當於上文提到的"感測器坐標系下的干擾"。這部分干擾可以被校准。
- 由於機器人的電機啟動停止，以及機器人在室內經過各種房間的磁干擾導致空間磁場改變，會產生上文中提到的"空間磁場干擾"。這部分干擾不能被校准。

兩種干擾同時存在並且都可能很大，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：

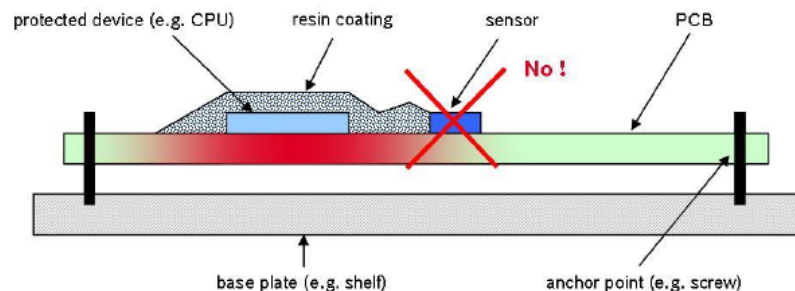
1. 校准：必須帶著機器人一起校准(機器人足夠小，大型機器人很難做到帶著機器人一起校准)，單獨把模組拿下來校准好再安裝上去是不正確的做法。必須將機器人和模組視做同一剛體去校准才能得到正確的校准結果，具體校准環節請參考上文，校准成功後重新上電(復位)生效。
2. 由於室內磁環境複雜，即使校准正確完成可能還是會出現較大的航線誤差，尤其是電機啟停，功率改變時，對磁場影響巨大
3. 城市建築，地下建築，橋梁和其他鋼鐵結構會引起局部磁場異常，特別是在車輛使用直流電驅動的區域內，9軸模式根本無法使用。當直流驅動的機車行駛過時，附近的車輛立即被磁化，所有原來的校准參數全部失效，車體也不會恢復到原來的磁場結構。

安裝及焊接

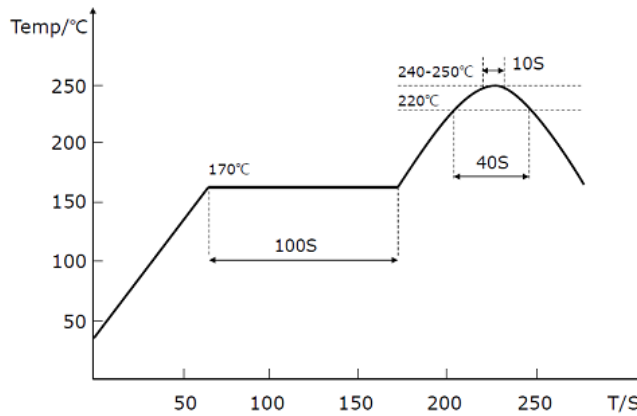
1. 安裝位置請遠離PCB容易形變點，盡量遠離PCB邊緣(>30mm)，遠離PCB定位螺絲孔(>10mm)等。



2. 安裝位置請遠離強磁設備，如電機，喇叭等強磁器件。
3. 組裝好的PCB不得使用超聲波清潔儀進行清潔。
4. 本產品不可使用塑封或噴塗三防漆，噴漆或塑封會造成感測器應力改變進而影響性能。



5. 推薦回流焊的爐溫曲線圖如下：



注意

回流焊最後階段需要自然冷卻，不能開啟爐子強制風冷卻，否則嚴重影響產品性能。

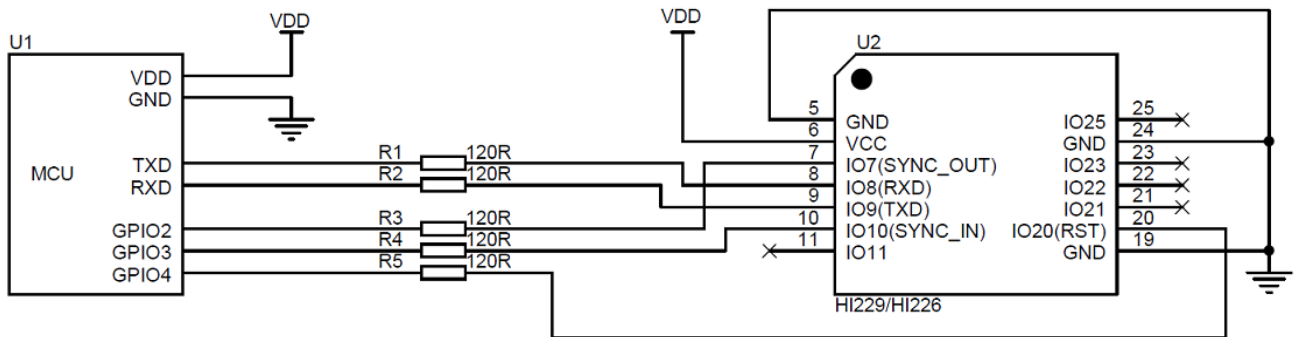
應用指南

模組與PC機連接

建議使用評估板與PC機進行連接，評估板板載USB供電及USB轉序列埠功能，可以方便的配合PC機上的評估軟體進行性能測試。具體請參見附錄中的評估板一節。

模組與MCU進行連接

模組與MCU通過TTL電平的序列埠進行連接，建議模組的RST引腳建議接到MCU的GPIO上。方便MCU強制復位模組。



注意

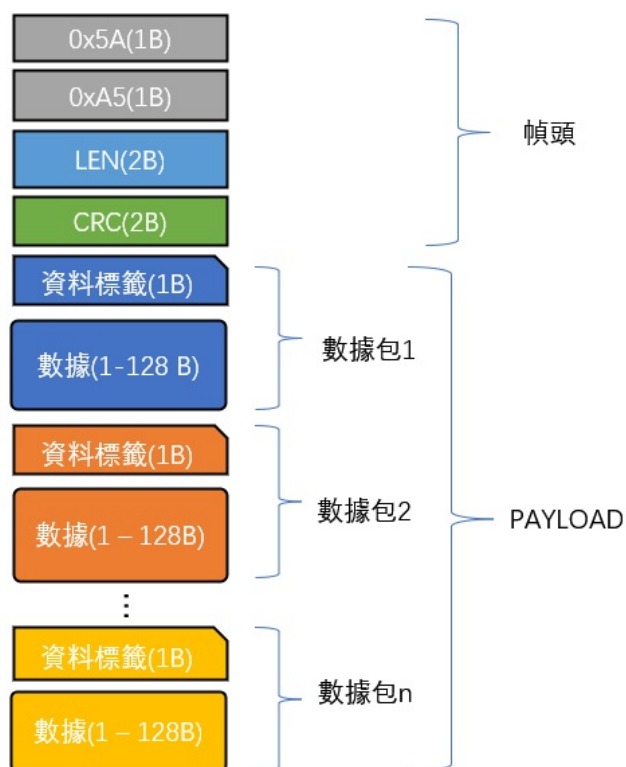
1. 如不使用同步輸入 (SYNC_IN) 和同步輸出功能 (SYNC_OUT) 可不接 SYNC_IN 和 SYNC_OUT。
2. 120歐電阻的作用是為了方便調試，並防止MCU和模組電平不匹配，可以去掉，建議保留。
3. VCC的電壓範圍具體參加手冊說明
4. 模組內置上電復位電路，RST可以不接，但是建議接到主機一個GPIO上來實現軟體復位。

序列埠通訊協議

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 *correctCrc, const uint8_t *src, uint32_t lengthInBytes)
7  {
8      uint32_t crc = *correctCrc;
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
0x90	2	用戶ID	
0xA0	7	經過出廠校淮後加速度	
0xB0	7	經過出廠校淮後角速度	
0xC0	7	磁場強度	
0xD0	7	歐拉角	
0xD1	17	四元數	
0xF0	5	氣壓	輸出0
0x91	76	IMUSOL(IMU數據集合)	推薦使用

產品支援數據包列表

0x90(用戶ID)

共2字節，用戶設置的ID。

字節偏移	類型	大小	單位	說明
0	uint8_t	1	-	數據包標籤:0x90
1	uint8_t	1	-	用戶ID

0xA0(加速度)

共7 個字節，LSB。輸出感測器的原始加速度

字節偏移	類型	大小	單位	說明
0	uint8_t	1	-	數據包標籤:0xA0
1	int16_t	2	0.001G(1G = 1重力加速度)	X軸加速度
3	int16_t	2	0.001G	Y軸加速度
5	int16_t	2	0.001G	Z軸加速度

0xB0(角速度)

共7字節，LSB。輸出感測器的原始角速度

字節偏移	類型	大小	單位	說明
0	uint8_t	1	-	數據包標籤:0xB0
1	int16_t	2	0.1°/s	X軸角速度
3	int16_t	2	0.1°/s	Y軸角速度
5	int16_t	2	0.1°/s	Z軸角速度

0xC0(磁場強度)

共7字節，LSB。輸出感測器的原始磁場強度

字節偏移	類型	大小	單位	說明
0	uint8_t	1	-	數據包標籤:0xC0
1	int16_t	2	0.001Gauss	X軸磁場強度
3	int16_t	2	0.001Gauss	Y軸磁場強度
5	int16_t	2	0.001Gauss	Z軸磁場強度

0xD0(歐拉角)

共7字節，LSB。格式為int16，共三個軸，每個軸占2 個字節，順序為Pitch/Roll/Yaw。接收到Roll，Pitch 為物理值乘以100後得到的數值，Yaw 為乘以10 得到的數值。

例：當接收到的Yaw = 100 時，表示航向角為10°

字節偏移	類型	大小	單位	說明
0	uint8_t	1	-	數據包標籤:0xD0
1	int16_t	2	0.01°	Pitch(俯仰角)
3	int16_t	2	0.01°	Roll(橫滾角)
5	int16_t	2	0.1°	Yaw(航向角)

0xD1(四元數)

共17字節，格式為float，共4個值，順序為W X Y Z。每個值占4 字節(float)，整個四元數為4個float，LSB。

字節偏移	類型	大小	單位	說明
0	uint8_t	1	-	數據包標籤:0xD1
1	float	4	-	W
5	float	4	-	X
9	float	4	-	Y
13	float	4	-	Z

0XF0(氣壓)

共5字節，格式為float。（只針對有氣壓感測器的產品）

字節偏移	類型	大小	單位	說明
0	uint8_t	1	-	數據包標籤:0xF0
1	float	4	Pa	大氣壓

0X91(IMUSOL)

共76字節，新加入的數據包，用於替代A0,B0,C0,D0,D1等老的數據包。整合了IMU的感測器原始輸出和姿態解算數據，其中所有數據段均為LSB。

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	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)	經過出廠校準後加速度,XYZ三個軸，每個軸為4字節float型
24	float	12	deg/s	經過出廠校準後角速度,XYZ三個軸，每個軸為4字節float型
36	float	12	uT	磁場強度,XYZ三個軸，每個軸為4字節float型
48	float	12	deg	節點歐拉角 順序為：橫滾角(Roll)，俯仰角(Pitch)，航向角(Yaw)，每個角度為4字節float型
60	float	16	-	節點四元數集合，順序為WXYZ，每個值為4字節float

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
HI226	91
Hi229	91
CH100	91
CH110	91

數據幀結構示例

數據幀配置為 0x90,0xA0,0xB0,0xC0,0xD0,0xF0 數據包

使用序列埠助手採樣一幀數據，共41字節，前6字節為幀頭，長度和CRC校驗值。剩余35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 23 00 FD 61 90 00 A0 55 02 3D 01 E2 02 B0 FE FF 17 00 44 00 C0 80 FF 60 FF 32 FF D0 64 F2 6C 0E BB 01 F0 00 00 00 00

- 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：23 00：(0x00<<8) + 0x23 = 35

幀CRC校驗值：FD 61：(0x61<<8) + 0xFD = 0x61FD

- 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 filed 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0x61FD，與幀攜帶的CRC值相同，幀CRC校驗通過。

- 第三步：接收數據

90 00：ID 數據包，0x90為數據包標籤，ID = 0x00。

A0 55 02 3D 01 E2 02：加速度數據包，0xA0為數據包標籤，三軸加速度為：

X軸加速度= (int16_t)((0x02<<8)+ 0x55) = 597(單位為mG)

Y軸加速度 = (int16_t)((0x01<<8)+ 0x3D) = 317

Z軸加速度= (int16_t)((0x02<<8)+ 0xE2) = 738

B0 FE FF 17 00 44 00：角速度數據包，0xB0為數據包標籤，三軸角速度為：

X軸角速度= (int16_t)((0xFF<<8)+ 0xFE) = -2(單位為0.1°/s)

Y軸角速度 = (int16_t)((0x00<<8)+ 0x17) = 23

Z軸角速度= (int16_t)((0x00<<8)+ 0x44) = 68

C0 80 FF 60 FF 32 FF：磁場數據包，0xC0為數據包標籤，三軸磁場為：

X軸角速度= (int16_t)((0xFF<<8)+ 0x80) = -128 (單位為0.001Gauss)

Y軸角速度 = (int16_t)((0xFF<<8)+ 0x60) = -160

Z軸角速度= (int16_t)((0xFF<<8)+ 0x32) = -206

D0 64 F2 6C 0E BB 01 歐拉角數據包, 0xD0為數據包標籤

Pitch= (int16_t)((0xF2<<8)+ 0x64) / 100 = -3484 / 100 = -34.84 °

Roll= (int16_t)((0x0E<<8)+ 0x6C) / 100 = 3692 / 100 = 36.92°

Yaw = (int16_t)((0x01<<8)+ 0xBB) / 10 = 443 /10 = 44.3°

F0 00 00 00 00 氣壓數據包 · 0xF0為數據包標籤

```
1 float prs;
2 prs = memcpy(&prs, &buf[37], 4);
```

最後得到結果：

1	id	:	0	
2	acc(G)	:	0.597	0.317 0.738
3	gyr(deg/s)	:	-0.200	2.300 6.800
4	mag(uT)	:	-12.800	-16.000 -20.600
5	eul(R/P/Y)	:	36.920	-34.840 44.300

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。剩余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 filed 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。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。在C語言中可以定義結構體來方便的讀取數據：

定義0x91數據包結構體如下：

```

1  __packed typedef struct
2  {
3      uint8_t    tag;                /* 數據標籤:0x91 */
4      uint8_t    id;                /* 模組ID */
5      uint8_t    rev[2];
6      float      prs;                /* 氣壓 */
7      uint32_t    ts;                /* 時間戳 */
8      float      acc[3];             /* 加速度 */
9      float      gyr[3];             /* 角速度 */
10     float      mag[3];             /* 地磁 */
11     float      eul[3];             /* 歐拉角: Roll,Pitch,Yaw */
12     float      quat[4];            /* 四元數 */
13 }id0x91_t;

```

__packed 為編譯器關鍵字(Keil下)，表示結構體按字節緊對齊，結構體每一個元素一一對應0x91數據包的結構定義。接收數據時將接收到的陣列直接memcpy到結構體即可：(注意定義結構體時必須4字節對齊)，其中 **buf** 指向幀頭，**buf[6]** 指向幀中數據域。

```

1      /* 接收數據並使用0x91數據包結構定義來解釋數據 */
2      __align(4) id0x91_t dat;      /* struct must be 4 byte aligned */
3      memcpy(&dat, &buf[6], sizeof(id0x91_t));

```

最後得到dat數據結果：

```

1  id          : 0
2  timestamp   : 310205
3  acc         :    0.224    0.770    0.691
4  gyr         :  -54.708  -20.077 -119.070
5  mag         :    19.183  -26.208  -34.542
6  eul(R/P/Y) :    48.720  -21.014  -45.512
7  quat        :    0.855    0.310   -0.310   -0.277

```

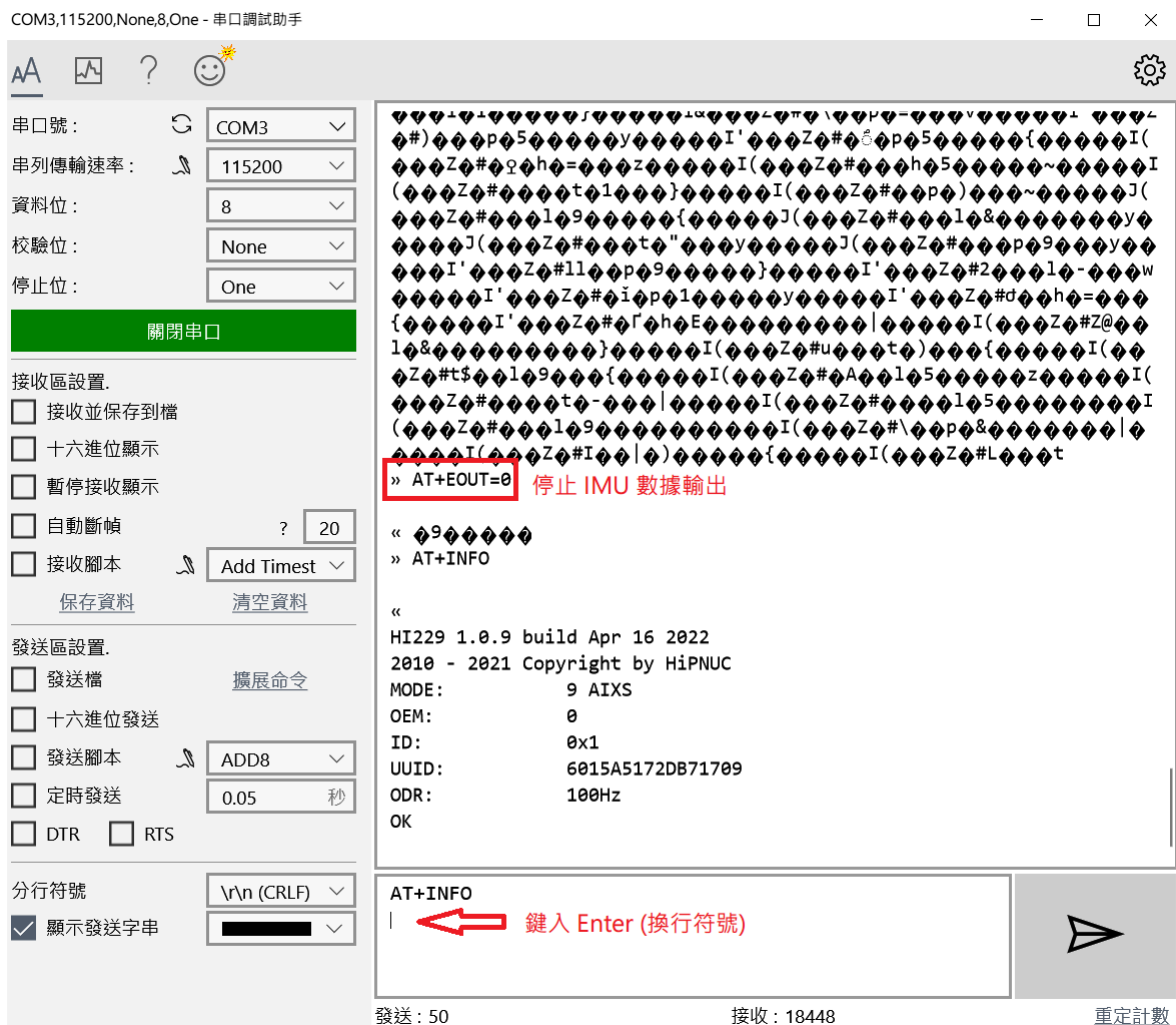
AT指令

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：



通用模組 AT指令如下

指令	功能	掉電保存(Y) 掉電不保存(N)	立即生效(Y) 復位生效(R)	備注
AT+ID	設置模組用戶ID	Y	R	
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	R	
AT+BAUD	設置序列埠鮑率	Y	R	
AT+EOUT	數據輸出開關	N	Y	
AT+RST	復位模組	N	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
AT+MODE	設置模組工作模式	Y	R	部分型號支援
AT+GWID	設置無線網關ID	Y	R	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鮑率可能不滿足輸出頻寬要求，此時需要將模組鮑率設高(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

設置序列埠鮑率，可選值：9600/115200/460800/921600`

例 **AT+BAUD=115200**

注意

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

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+SETPTL

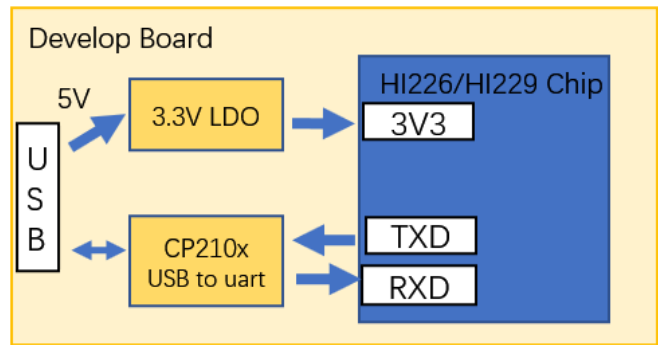
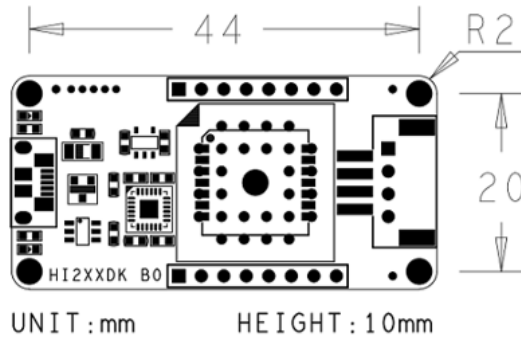
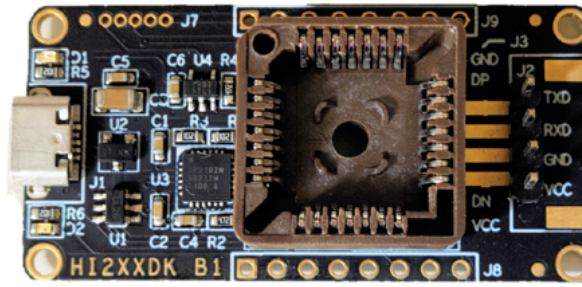
設置輸出協議：

設置一幀中所包含的數據包：格式為 **AT+SETPTL=<ITEM_ID>,<ITEM_ID>...**

例

- 配置模組輸出：**91數據包(IMUSOL)**，指令為：**AT+SETPTL=91**
- 配置模組輸出：**加速度(A0)·角速度(B0)，整形格式歐拉角(D0)和四元數(D1)**的指令為：**AT+SETPTL=A0,B0,D0,D1**

附錄A - 評估板



評估板簡介

提供供電+USB轉序列埠功能，方便客戶快速評估產品。

資料包中包含CP2104 USB-UART 驅動程序，將USB線連接電腦和模組，打開資料包中的上位機，連接序列埠，默認狀態下，模組會以115200鮑率輸出入廠默認的數據包。

從評估板上取下產品

模組默認被嵌入評估板的PLCC28 插槽中，如需取出模組，請按如下步驟操作：

- 斷電，準備好細螺絲刀或鑷子
- 從PLCC 插座或者背面圓形空洞內將模組撬出或頂出。

注意

- 評估板是為了快速驗證，評估模組性能。本身不帶有任何其他計算功能。
- USB 接口本身不適合於工業級場景或者高運動場合的電氣連接，如果您的應用為高運動環境（動作捕捉等），**不建議在您的產品中直接使用評估板。**

附錄B - 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，將模組和上位機鮑率都設定為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，此時關閉串列埠，重新給模組上電，模組升級完成。

開啟

寫入

PATH: C:/Users/goodman-home/Downloads/firmware.hex

0%