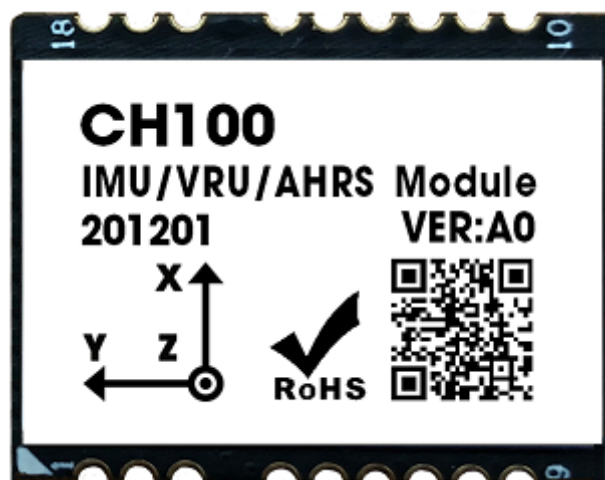


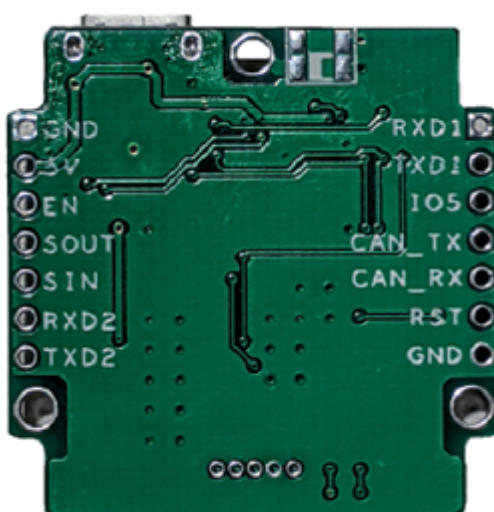
# CH100 用戶手冊

IMU/VRU/AHRS 姿態測量模組, Rev 1.0

晶片



模組



## CH100 用戶手冊

晶片

模組

簡介

簡介

特性

板載感測器

數據處理

通訊介面及供電

其他

硬體及尺寸

硬體參數

尺寸

介面定義

座標系定義

效能指標

姿態角輸出精度

陀螺儀

加速度計

磁感測器參數

氣壓計參數

模組數據接口參數

感測器校準

地磁校準

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

串列埠通訊協議

數據包

數據包總覽

產品支援數據包列表

0X91(IMUSOL)

出廠預設數據包

數據幀結構示例

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+MODE

AT+URFR

CAN通訊協議

CANopen 預設設定

CANopen TPDO

使用上位機連線CAN裝置

CANOpen介面常用命令舉例

1. 使能數據輸出(開啟非同步觸發)

2. 修改CAN波特率，輸出速率及輸出幀資訊

示例1: 修改CAN波特率

示例2: 修改節點ID

示例3: 修改/開啟/關閉 數據輸出速率

示例4: 開啟/關閉站點

示例5: 配置TPDO為同步模式

### 3. 注意事項

附錄A - 韌體升級與恢復出廠設定

附錄B - FAQ

## 簡介

CH100是超核電子推出的一款高效能、小體積、低延時的慣性測量單元(IMU)，本產品整合了三軸加速度計、三軸陀螺儀和一款微控制器。可輸出經過感測器融合演算法計算得到的基於當地地理座標的三維方位數據，包含無絕對參考的相對航向角，俯仰角和橫滾角。同時也可以輸出校準過的原始的感測器數據。

典型應用:

- 機器人/AGV DR SLAM應用
- 無人駕駛/組合導航用IMU

## 簡介

CH100是超核電子推出的一款高效能、小體積、低延時的慣性測量單元(IMU)，本產品整合了三軸加速度計、三軸陀螺儀和一款微控制器。可輸出經過感測器融合演算法計算得到的基於當地地理座標的三維方位數據，包含無絕對參考的相對航向角，俯仰角和橫滾角。同時也可以輸出校準過的原始的感測器數據。

典型應用:

- 機器人/AGV DR SLAM應用
- 無人駕駛/組合導航用IMU

## 特性

### 板載感測器

- 三軸陀螺儀
- 三軸加速度計
- 三軸磁場感測器
- 氣壓感測器

### 數據處理

- 加速度和陀螺儀出廠前經過三軸非正交和標度因子校準
- 數據融合演算法計算並輸出地理座標系下的旋轉四元數及歐拉角等姿態資訊

### 通訊介面及供電

- TTL串列埠
- 供電電壓：3.3V - 5V

## 其他

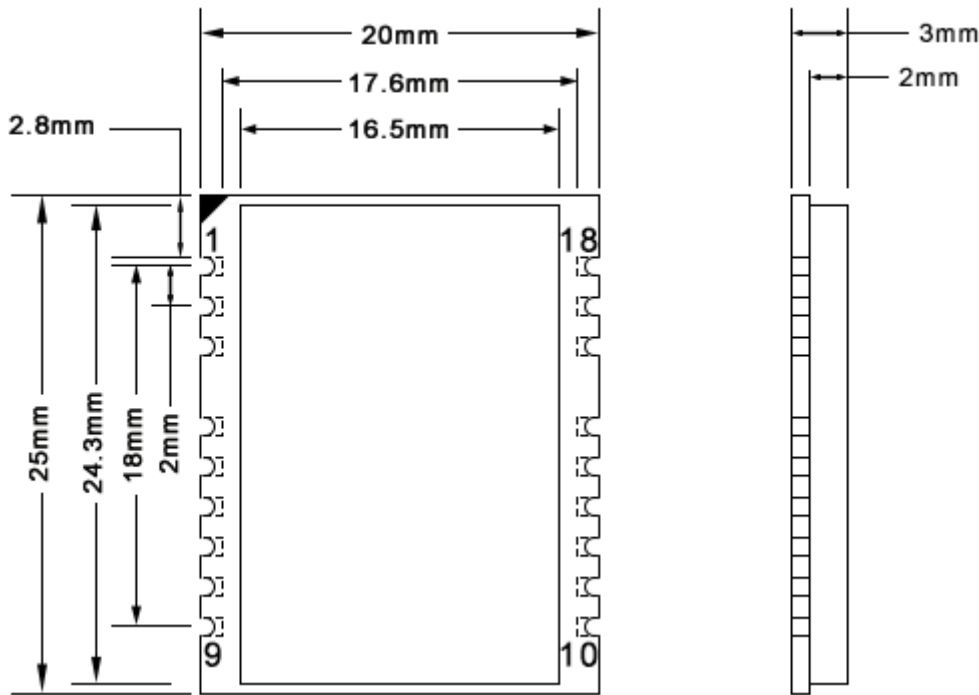
- PC端上位機程式，提供實時數據顯示，波形，校準及excel 數據記錄功能
- 多項模組參數使用者可配置

## 硬體及尺寸

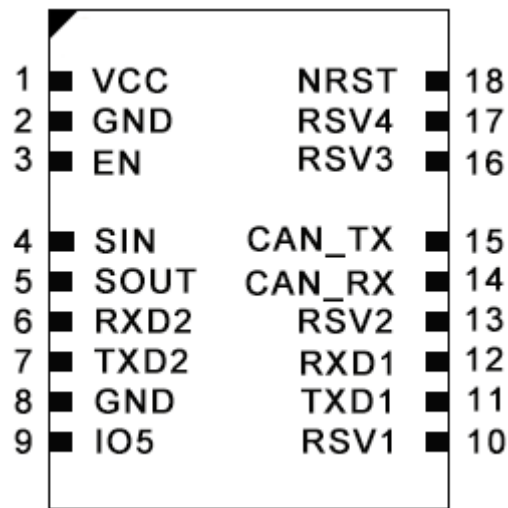
### 硬體參數

| 參數     | 描述   |
|--------|--|
| 輸出數據接口 | TTL串列埠(1.8V - 5.0V)                            |
| 工作電壓   | 3.3V - 5V                                      |
| 溫度範圍   | -20°C - 85°C                                   |
| 最大輸出速率 | 400Hz原始數據(加速度,陀螺儀,姿態角), 100Hz磁場原始數據, 64Hz氣壓計數據 |
| 尺寸     | 20 x 25 x 3mm (W x L x H)                      |

### 尺寸



### 介面定義



| 引腳號 | 名稱     | 說明   |
|-----|--------|--|
| 1   | VCC    | 電源 3.3V  |
| 2   | GND    | GND  |
| 3   | EN     | 使能 高電平有效，內部上拉，不需要可懸空                                 |
| 4   | SIN    | 保留,必須懸空  |
| 5   | SOUT   | 保留,必須懸空  |
| 6   | RXD2   | 保留,必須懸空  |
| 7   | TXD2   | 保留,必須懸空  |
| 8   | GND    | GND  |
| 9   | IO5    | 保留,必須懸空  |
| 10  | RSV1   | 保留,必須懸空  |
| 11  | TXD1   | 模組串列埠發送 UART TXD (接 MCU 的 RXD)                       |
| 12  | RXD1   | 模組串列埠接收 UART RXD(接 MCU 的 TXD)                        |
| 13  | RSV2   | 保留,必須懸空  |
| 14  | CAN_RX | CAN_RX   |
| 15  | CAN_TX | CAN_TX   |
| 16  | RSV3   | 保留,必須懸空  |
| 17  | RSV4   | 保留,必須懸空  |
| 18  | NRST   | 復位, 內部上拉。 >10uS 低電平復位模組。無需外接阻容，建議接到MCU的GPIO引腳以實現軟體復位 |

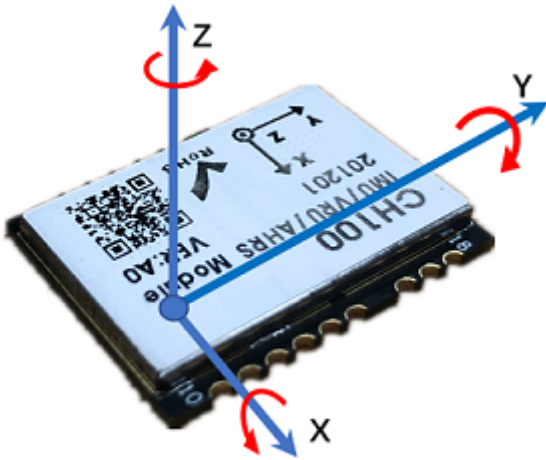
## 座標系定義

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( $\psi$ ) 範圍: -180° - 180°

- 繞 X 軸方向旋轉:俯仰角\Pitch\theta( $\theta$ ) 範圍: -90°-90°
- 繞 Y 軸方向旋轉: 橫滾角\Roll\phi(  $\phi$ )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°



# 效能指標

## 姿態角輸出精度

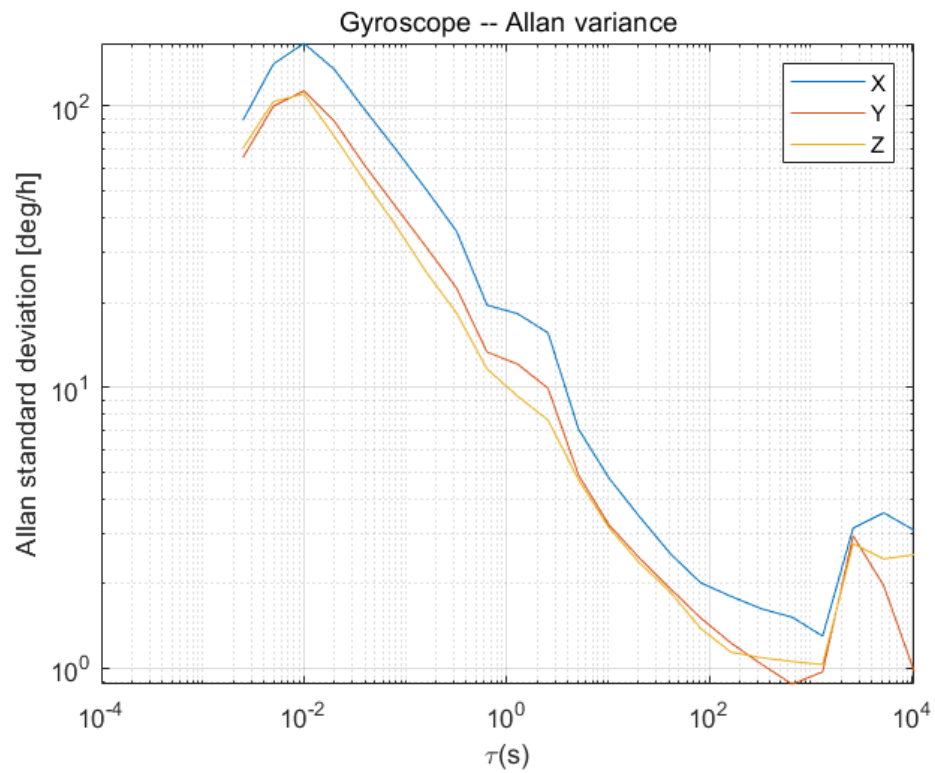
| 姿態角            | 典型值             | 備註                     |
|----------------|-----------------|------------------------|
| 橫滾角\俯仰角 - 靜態誤差 | <0.2°           | 低機動運動, 無長時間加減速行為       |
| 橫滾角\俯仰角 - 動態誤差 | <0.8°           | 低機動運動, 無長時間加減速行為       |
| 航向角            | <8° ( 30min 內 ) | 6軸模式，低機動運動, 無長時間加減速行為  |
| 航向角            | <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     | 值                  | 備註              |
|--------|--------------------|-----------------|
| 測量範圍   | ±500°/s            |                 |
| 零偏穩定性  | 2.5°/hr            | @25°,1 $\sigma$ |
| 零偏重複性  | 0.035°/s           | @25°,1 $\sigma$ |
| 非正交誤差  | ±0.1%              |                 |
| 隨機遊走   | 0.3° / $\sqrt{hr}$ | @25°,1 $\sigma$ |
| 刻度非線性度 | ±0.1%              | 滿量程時(最大)        |
| 刻度係數誤差 | ±0.4%              | 出廠前校準后          |
| 加速度敏感性 | 0.1°/s/g           |                 |



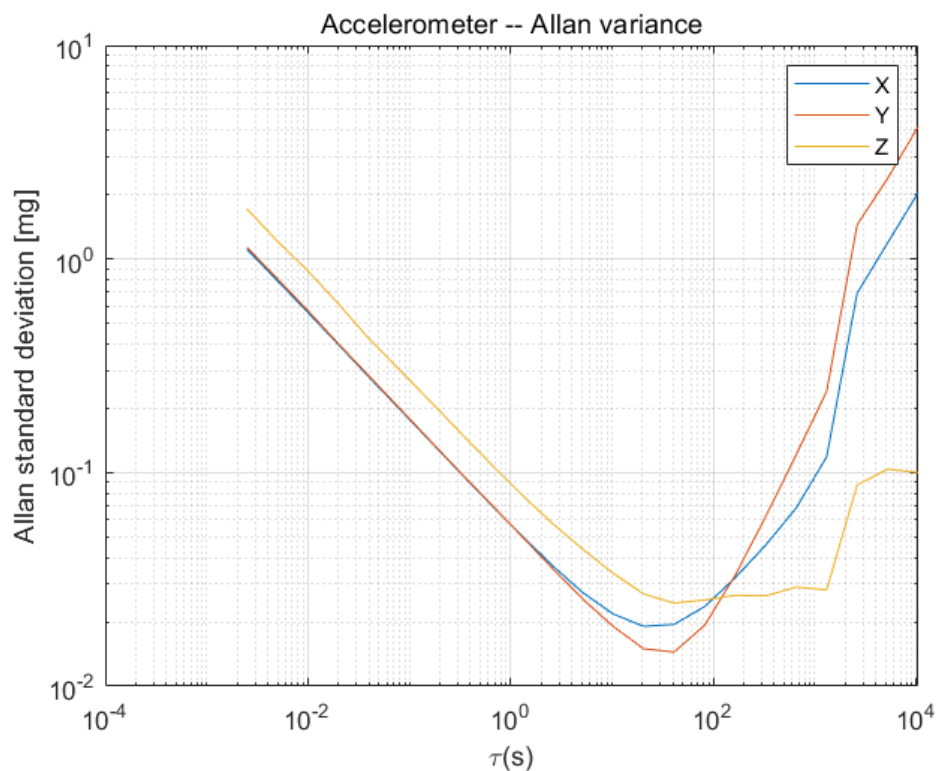
陀螺Allan方差曲線



加速度計

| 參數       | 值                    | 備註        |
|----------|----------------------|-----------|
| 測量範圍     | ±8G (1G = 1x 重力加速度 ) |           |
| 零偏穩定性    | 30uG                 | @25°,1σ   |
| 零偏重複性    | 1.8mG                | @25°,1σ   |
| 非正交誤差    | ±0.1%                | ±0.1%     |
| 隨機遊走     | $0.04m/s\sqrt{h}$    | @25°,1σ   |
| 刻度係數誤差   | ±0.3% (滿量程時)         | 出廠前校準后    |
| 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 | $\pm 8\text{G}(\text{Gauss})$ |
| 非線性度 | $\pm 0.1\%$                   |
| 解析度  | 0.25mG                        |

## 氣壓計參數

| 參數   | 值  |
|------|--|
| 測量範圍 | 300 – 1200 hPa                                   |
| 解析度  | $\pm 0.006 \text{ hPa}$ (or $\pm 5 \text{ cm}$ ) |
| 精度   | $\pm 0.06 \text{ hPa}$ (or $\pm 50 \text{ cm}$ ) |
| 輸出頻率 | 64Hz   |

## 模組數據接口參數

| 參數       | 值                           |
|----------|-----------------------------|
| 串列埠輸出波特率 | 9600/115200/460800/921600可選 |
| 幀輸出速率    | 1/50/100/200/400Hz 可選       |
| 啟動時間     | <2.5s                       |

# 感測器校準

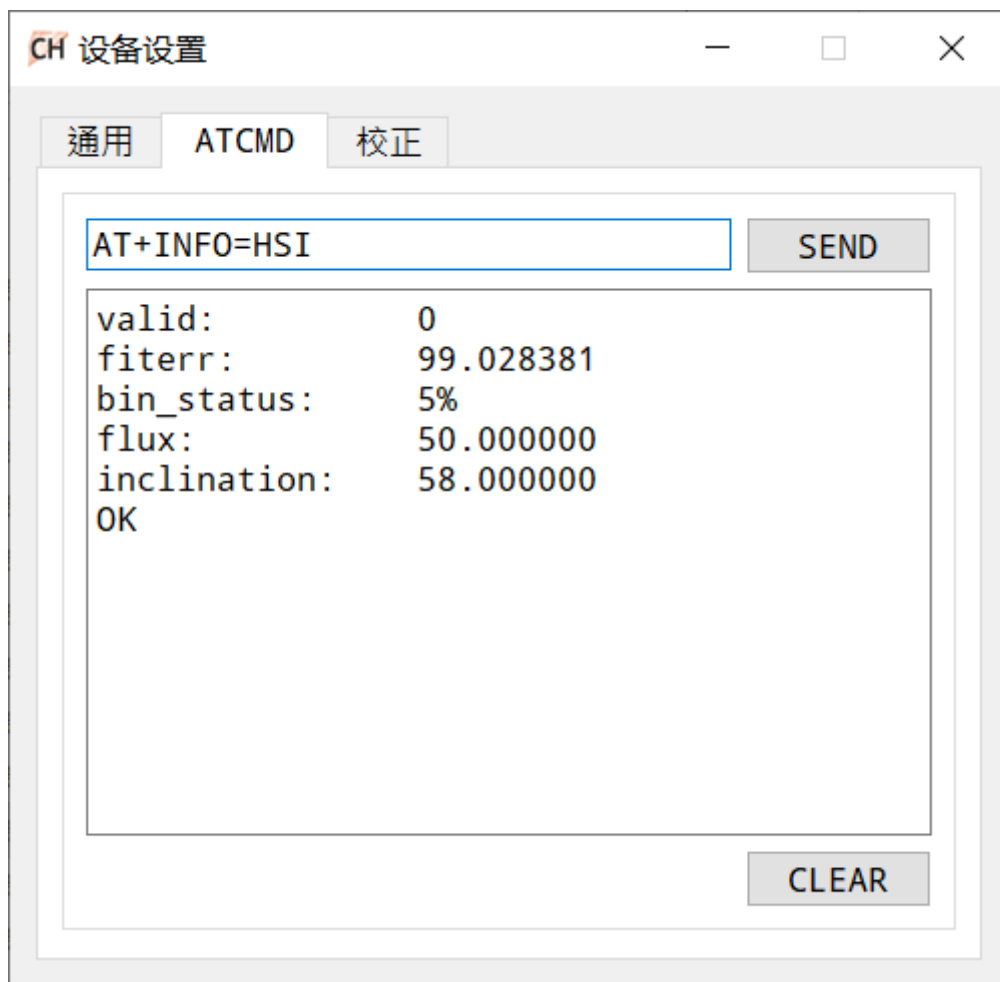
1. 加速度計和陀螺儀在出廠前經過比例因子誤差，非正交誤差和零偏誤差校準，校準參數儲存在模組內部。
2. 陀螺儀出廠前經過溫補校準，校準參數儲存在模組內部。
3. 磁感測器(部分型號支援)出廠前經過橢球校準，但磁感測器很容易受到外界環境磁場干擾，一般都需要客戶重新校準，出廠校準參數意義不大。詳見地磁校準章節。

## 地磁校準

模組內部自帶主動地磁校準系統，該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目前校準狀態。自動校準的前提是需要有足夠程度機動(模組姿態的變化)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**。

首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. 檢查周圍是否磁乾淨：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，儘量將模組遠離(>0.5m)實驗室桌子/電腦等容易產生干擾的物體。
2. 在儘量小範圍內(位置不動，只是旋轉)，緩慢的讓模組旋轉，讓模組經歷儘量多的姿態位置(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，模組會列印目前地磁校準系統狀態：





只需關心`fiterr`一項：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線上自動採集數據，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.

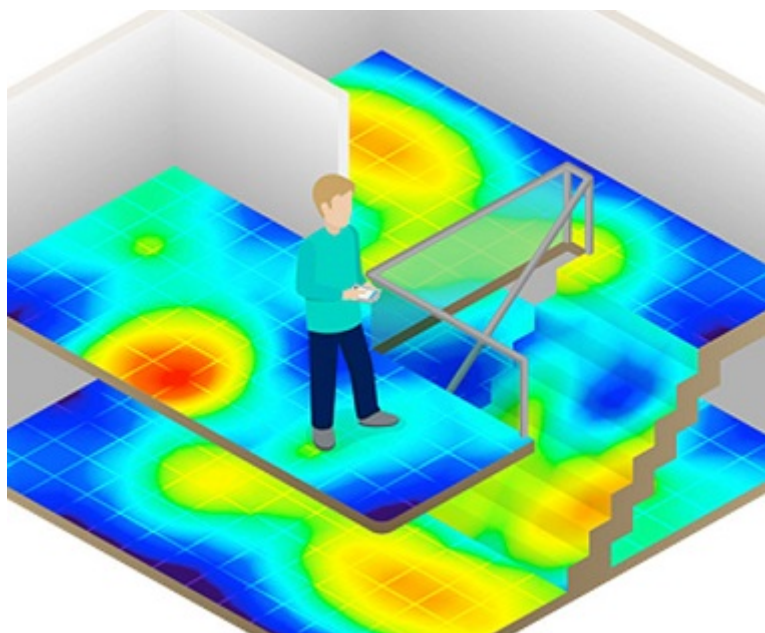
## 關於地磁干擾的更多知識

| 種類 | 定義 | 典型干擾源 | 影響 | 措施 |
|----|----|-------|----|----|
|----|----|-------|----|----|

| 種類   | 定義                     | 典型干擾源  | 影響   | 措施          |
|--|------------------------|--|--|-------------|
| 空間磁場干擾<br>(Distortions that do not move with sensor) | 干擾不隨感測器運動而運動，而處於世界座標系下 | 各種固定的磁干擾源，傢俱，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兇。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。 | 只能儘量避免這種干擾源 |
| 感測器座標系下的干擾<br>(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，儀器裝置，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準演算法加以很好的消除。  | 模組自動地磁校準    |

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

下圖是一個典型的室內磁場分佈圖。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，無法校準補償)



### 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，儘管模組內建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，地下車庫等等)，即使校準后，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 |
|----|------|------|----|----|------|
|----|------|------|----|----|------|

| 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   | 雲臺等低動態姿態檢測，室內機器人  | 1. 姿態角輸出穩定性好<br>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<br>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<br>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執行時會產生非常強的磁干擾，所以移動機器人平臺不適用於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，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 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"感測器座標系下的干擾"。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。

## 串列埠通訊協議

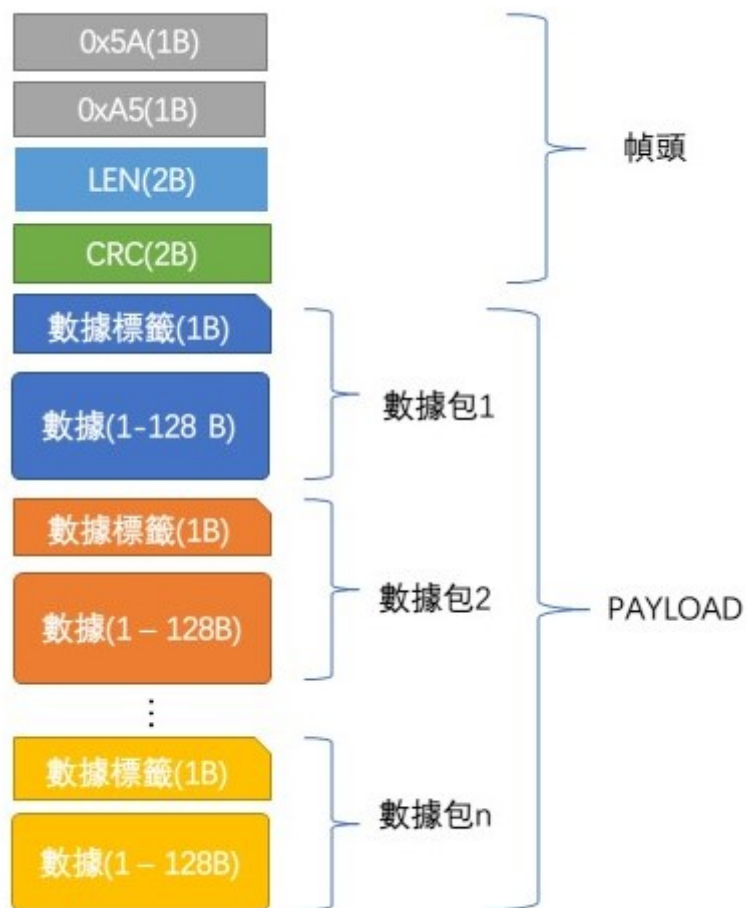
模組上電后，預設按出廠幀率(通常為100)輸出幀數據，幀格式如下：

| 幀頭   | 幀型別  | PAYLOAD長度(2B) | CRC校驗(2B) | PAYLOAD數據(0-512B) |
|------|------|---------------|-----------|-------------------|
| 0x5A | 0xA5 | LEN           | CRC       | 數據域               |

| 域名稱  | 值     | 長度<br>(位元組) | 說明  |
|------|-------|-------------|---|
| PRE  | 0x5A  | 1           | 固定為0x5A   |
| TYPE | 0xA5  | 1           | 固定為0xA5   |
| LEN  | 1-512 | 2           | 幀中數據域的長度，低位元組在前。長度表示數據域(PAYLOAD)的長度，不包含PRE,TYPE,LEN,CRC 欄位。 |



| 域名稱     | 值 | 長度<br>(位元組) | 說明   |
|---------|---|-------------|--|
| CRC     | - | 2           | 除CRC 本身外其餘所有欄位(PRE,TYPE,LEN, PAYLOAD)幀數據的16 位CRC 校驗和。<br>LSB(低位元組在前) |
| PAYLOAD | - | 1-512       | 一幀攜帶的數據。PAYLOAD域 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。標籤決定了數據的型別及長度。        |



CRC實現函式：

```

/*
    currentCrc: previous crc value, set 0 if it's first section
    src: source stream data
    lengthInBytes: length
*/

```

```

static void crc16_update(uint16_t *currentCrc, const uint8_t *src,
uint32_t lengthInBytes)
{
    uint32_t crc = *currentCrc;
    uint32_t j;
    for (j=0; j < lengthInBytes; ++j)
    {
        uint32_t i;
        uint32_t byte = src[j];
        crc ^= byte << 8;
        for (i = 0; i < 8; ++i)
        {
            uint32_t temp = crc << 1;
            if (crc & 0x8000)
            {
                temp ^= 0x1021;
            }
            crc = temp;
        }
    }
    *currentCrc = crc;
}

```

## 數據包

### 數據包總覽

| 數據包標<br>籤 | 數據包長度(包含標籤1位元<br>組) | 名稱                  | 備<br>註 |
|-----------|---------------------|---------------------|--------|
| 0x91      | 76                  | IMUSOL(IMU數據集<br>合) |        |

### 產品支援數據包列表

#### 0X91( IMUSOL)

共76位元組。整合了IMU的感測器原始輸出和姿態解算數據。

| 位元<br>組偏<br>移 | 型別      | 大<br>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) |

| 位元組偏移 | 型別       | 大小 | 單位              | 說明  |
|-------|----------|----|-----------------|---|
| 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) | 加速度,順序為：XYZ                                 |
| 24    | float    | 12 | deg/s           | 角速度,順序為：XYZ                                 |
| 36    | float    | 12 | uT              | 磁強度,順序為：XYZ                                 |
| 48    | float    | 12 | deg             | 節點歐拉角 順序為：橫滾角(Roll) · 俯仰角(Pitch) · 航向角(Yaw) |
| 60    | float    | 16 | -               | 節點四元數集合,順序為WXYZ                             |

## 出廠預設數據包

出廠預設一幀中攜帶數據包數據定義如下：

| 產品    | 預設輸出數據包 |
|-------|---------|
| CH100 | 91      |
| CH110 | 91      |

## 數據幀結構示例

### 數據幀配置為 0x91 數據包

使用串列埠助手採樣一幀數據,共82位元組,前6位元組為幀頭,長度和CRC校驗值。剩餘76位元組為數據域。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

```

uint16_t payload_len;
uint16_t crc;

crc = 0;
payload_len = buf[2] + (buf[3] << 8);

/* calculate 5A A5 and LEN filed crc */
crc16_update(&crc, buf, 4);

/* calculate payload crc */
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。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：

```

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

```

\_\_packed 為編譯器關鍵字(Keil下)，表示結構體按位元組緊對齊，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位元組對齊), 其中buf指向幀頭, buf[6]指向幀中數據域。

```

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

```

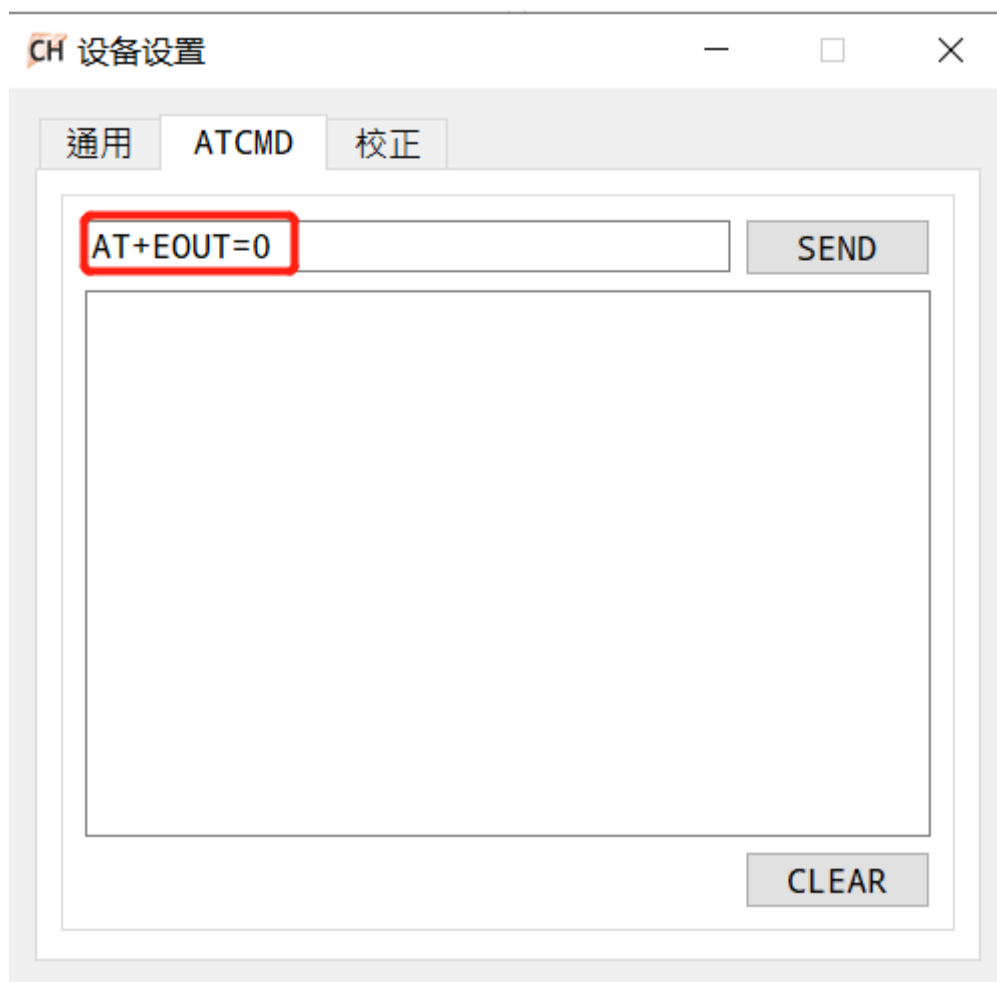
最後得到dat數據結果：

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

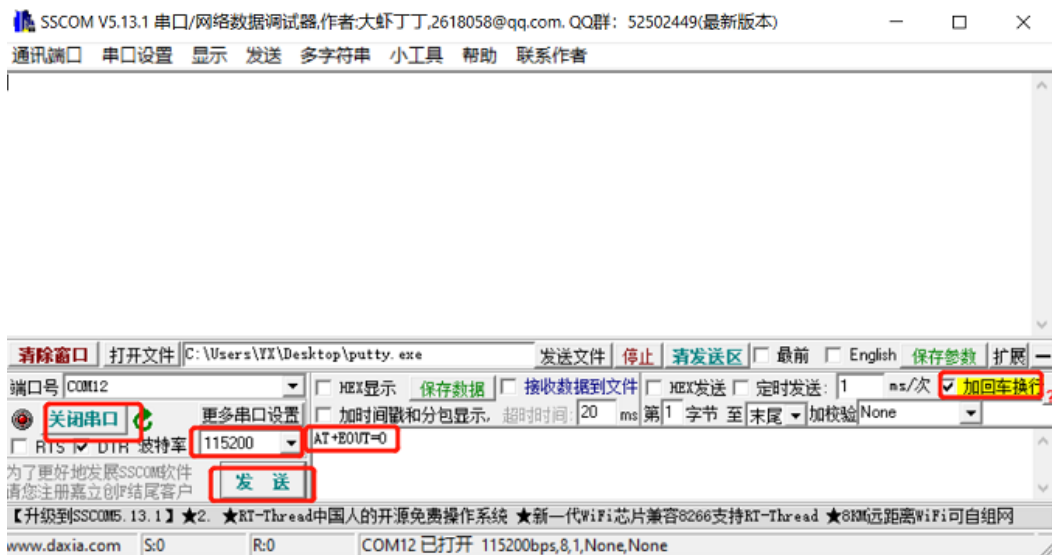
## AT指令

當使用串列埠與模組通訊時, 模組支援AT 指令集配置/檢視模組參數。AT 指令總以ASCII 碼AT 開頭, 後面跟控制字元, 最后以回車換行\r\n結束。

使用上位機輸入AT指令：



使用串列埠除錯助手進行測試：



通用模組 AT指令如下

| 指令        | 功能           | 掉電儲存(Y) | 立即生效(Y),復位生效(R) | 備註     |
|-----------|--------------|---------|-----------------|--------|
| AT+ID     | 設定模組使用者ID    | Y       | R               |        |
| AT+INFO   | 列印模組資訊       | N       | Y               |        |
| AT+ODR    | 設定模組串列埠輸出幀頻率 | Y       | R               |        |
| AT+BAUD   | 設定串列埠波特率     | 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 | 設定輸出數據包      | Y       | Y               | 部分型號支援 |
| AT+MODE   | 設定模組工作模式     | Y       | R               | 部分型號支援 |
| AT+GWID   | 設定無線閘道器ID    | Y       | R               | 部分型號支援 |

## AT+ID

設定模組使用者ID

例 AT+ID=1

## AT+INFO

列印模組資訊，包括產品型號，版本，韌體發佈日期等。

## AT+ODR

設定模組串列埠輸出速率。掉電儲存，復位模組生效

**例** 設定串列埠輸出速率為100Hz: AT+ODR=100

注意：當ODR設定為比較高時(如200),預設的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)后，模組才能按設定的ODR輸出數據幀。

## AT+BAUD

設定串列埠波特率，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
- 波特率參數設定好后掉電儲存，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

串列埠輸出開關

**例** 打開串列埠輸出 AT+EOUT=1 關閉串列埠輸出 AT+EOUT=0

## AT+RST

復位模組

**例** AT+RST

## AT+MODE

設定模組工作模式

**例**

- 設定模組工作在6軸模式(無磁校準) AT+MODE=0
- 設定模組工作在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軸的介面，可用於任意角度的垂直安裝。

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

其中  $C_{nn}$  支援浮點數

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_U = \begin{bmatrix} C00 & C01 & C02 \\ C10 & C11 & C12 \\ C20 & C21 & C22 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_B$$

其中  $\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_U$  為旋轉后的感測器座標系下感測器數據， $\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_B$  為旋轉前感測器座標系下感測器數據

下面是幾種常用旋轉舉例：

- 新感測器座標系為 繞原座標系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
- 新感測器座標系為 繞原座標系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
- 新感測器座標系為 繞原座標系X軸 旋轉180° · 輸入命令：AT+URFR=1,0,0,0,-1,0,0,0,-1
- 新感測器座標系為 繞原座標系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
- 新感測器座標系為 繞原座標系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
- 新感測器座標系為 繞原座標系Y軸 旋轉180° · 輸入命令：AT+URFR=-1,0,0,0,1,0,0,0,-1
- 新感測器座標系為 繞原座標系Z軸 旋轉90° · 輸入命令：AT+URFR=0,-1,0,1,0,0,0,0,1
- 恢復出廠預設值：AT+URFR=1,0,0,0,1,0,0,0,1

## CAN通訊協議

本產品CAN介面遵循以下標準：

- CAN介面符合CANopen協議，所有通訊均使用標準數據幀，只使用PTO1-4 傳輸數據，所有傳輸均採用標準數據幀，不接收遠端幀和拓展數據幀
- 所有PTO採用非同步定時觸發模式。

## CANopen 預設設定

| CANopen預設配置 | 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) |



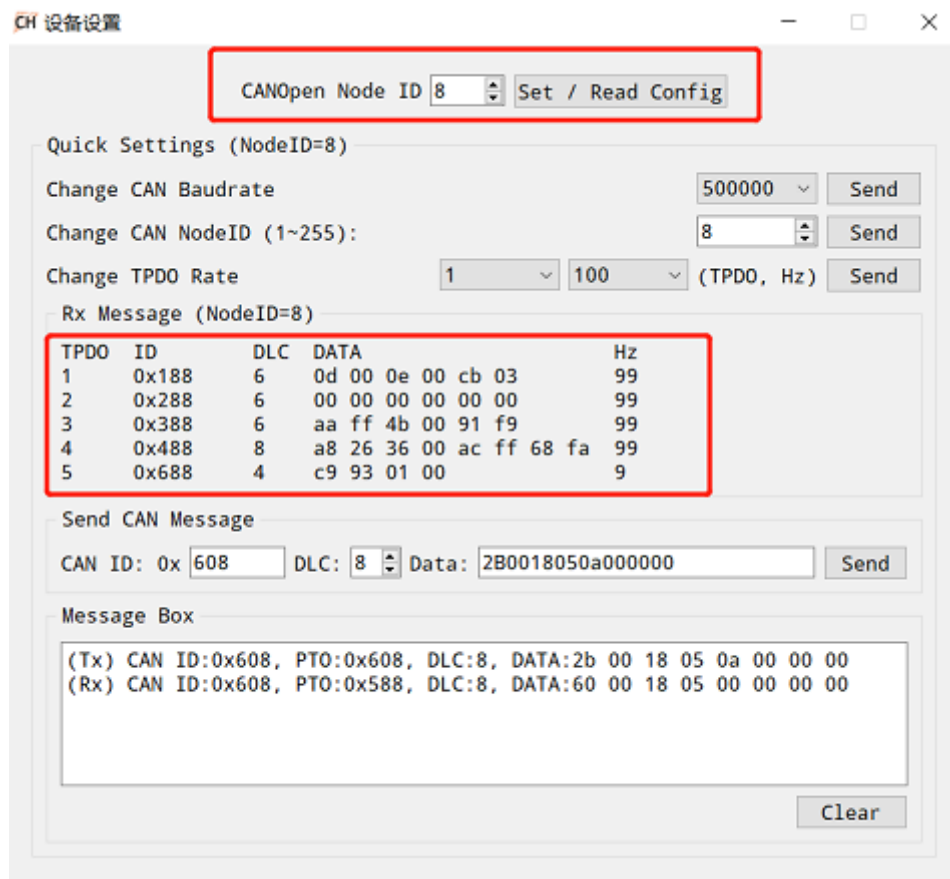
## CANopen TPDO

| PTO通道 | PTO 幀ID  | 長度<br>( DLC ) | PTO<br>傳輸<br>方式         | 非同步<br>輸出頻<br>率<br>( Hz ) | 發送<br>數據    | 說明   |
|-------|----------|---------------|-------------------------|---------------------------|-------------|--|
| TPDO1 | 0x180+ID | 6             | 非同<br>步定<br>時<br>(0xFE) | 100                       | 加<br>速<br>度 | 數據型別為<br>(int16,低位<br>元組在前，<br>每個軸2位<br>元組，共6<br>位元組)，分<br>別為X,Y,Z軸<br>加速度，單<br>位為<br>mG(0.001重<br>力加速度)                 |
| TPDO2 | 0x280+ID | 6             | 非同<br>步定<br>時<br>(0xFE) | 100                       | 角<br>速<br>度 | 數據型別為<br>(int16,低位<br>元組在前，<br>每個軸2位<br>元組，共6<br>位元組)，分<br>別為X,Y,Z軸<br>角速度，單<br>位為<br>0.1DPS(°/s)                        |
| TPDO3 | 0x380+ID | 6             | 非同<br>步定<br>時<br>(0xFE) | 100                       | 歐<br>拉<br>角 | 數據型別為<br>(int16,低位<br>元組在前，<br>每個軸2位<br>元組，共6<br>位元組)，順<br>序分別為 橫<br>滾角:Roll, 俯<br>仰角:Pitch,<br>航向<br>角:Yaw。單<br>位為0.01° |

| PTO通道 | PTO 幀ID  | 長度<br>( DLC ) | PTO<br>傳輸<br>方式         | 非同步<br>輸出頻<br>率<br>( Hz ) | 發<br>送<br>數<br>據 | 說明   |
|-------|----------|---------------|-------------------------|---------------------------|------------------|--|
| TPDO4 | 0x480+ID | 8             | 非同<br>步定<br>時<br>(0xFE) | 100                       | 四<br>元<br>數      | 數據型別為<br>(int16,低位<br>元組在前,每<br>個元素2位<br>元組,共8<br>位元組),分<br>別為<br>$q_w$ $q_x$ $q_y$ $q_z$<br>。單位四元<br>數擴大<br>10000倍后<br>結果。如四<br>元數為<br>1,0,0,0 時,<br>輸出<br>10000,0,0,0. |
| TPDO5 | 0x680+ID | 4             | 非同<br>步定<br>時<br>(0xFE) | 20                        | 氣<br>壓           | 單位Pa   |

## 使用上位機連線CAN裝置

使用上位機CHCenter，選擇專門配合上位機評估用的USB-CAN轉接器，會彈出統計/配置頁面，選擇CANopen節點ID號(預設8)點選 設定(Set/Read Config),即可搜索並連線模組，同時在接收框(Rx Message)中會顯示收到的CAN訊息及幀率，如下圖所示:



## CANOpen介面常用命令舉例

### 1. 使能數據輸出(開啟非同步觸發)

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

### 2. 修改CAN波特率，輸出速率及輸出幀資訊

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SDO指令修改，掉電儲存，重新上電生效。

| 數據字典位置 | 子偏移 | 名稱       | 值型別       | 預設值    | 說明        |
|--------|-----|----------|-----------|--------|-----------|
| 0x2100 | 0   | CAN_BAUD | INTEGER32 | 500000 | CAN匯流排波特率 |
| 0x2101 | 0   | NodeID   | INTEGER32 | 8      | 節點ID      |

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

| PTO通道 | PTO 幀ID  | TPDO參數索引地址(CANopen協議預設定義) |
|-------|----------|---------------------------|
| TPDO1 | 0x180+ID | 0x1800                    |

| PTO通道 | PTO 幀ID  | TPDO參數索引地址(CANopen協議預設定義) |
|-------|----------|---------------------------|
| TPDO2 | 0x280+ID | 0x1801                    |
| TPDO3 | 0x380+ID | 0x1802                    |
| TPDO4 | 0x480+ID | 0x1803                    |
| TPDO5 | 0x680+ID | 0x1804                    |

### 示例1: 修改CAN波特率

將CAN波特率修改為125K, 則發送：

ID=0x608 ,DLC=8,DATA=23,00,21,00,48,E8,01,00(ID=0x608,長度為8的標準數據幀)

- ID=0x608為快速寫SDO地址,其中8為預設節點ID，修改節點ID后要做相應修改,如CANopenID改為9后,ID=0x609.
- 0x23為SDO寫四個位元組指令
- 0x00,0x21為寫0x2100索引
- 0x00 子索引位置，預設0
- $(4-7)0x00, 0x01, 0xE8, 0x48 = (0x00 \ll 24) + (0x01 \ll 16) + (0xE8 \ll 8) + 0x48 = 125000$

將CAN波特率修改為250K, 發送：

23,00,21,00,90,D0,03,00

將CAN波特率修改為1M,發送:

23 00 21 00 40 42 0F 00

### 示例2: 修改節點ID

如將裝置CANopen節點ID改為9, 則發送：

ID=0x608 ,DLC=8,DATA=23,01,21,00,09,00,00,00

- 0x23為SDO寫四個位元組指令
- 0x01,0x21為寫0x2101索引
- $0x09\ 0x00, 0x00, 0x00 = (0x00 \ll 24) + (0x00 \ll 16) + (0x00 \ll 8) + 0x09 = 9$

注意：

- 1.ID修改範圍：1-64
- 2.修改節點ID後重新上電生效，且生效后發送啟動節點命令(比如節點啟動命令數據變為0109)和SDO指令(發送CAN幀ID變為0x609)時注意為新的地址

### 示例3: 修改/開啟/關閉 數據輸出速率

發送標準CANopen協議幀，使用標準快速SDO指令:(此項配置立即生效)

修改TPDO3(歐拉角)輸出速率為20Hz(每50ms輸出一次):

ID=0x608 ,DLC=8,DATA=2B,02,18,05,32,00,00,00

其中

- 0x2B為SDO寫兩個位元組指令
- 0x02,0x18為寫0x1802索引,
- 0x05為子索引
- 0x00,0x32= (0x00<<8) + 0x32 = 50(單位為ms) , 後面不足補0.

將TPDO1(加速度)輸出速率修改為10Hz(每100ms輸出一次):

2B 00 18 05 64 00 00 00

將TPDO2(角速度)輸出速率修改為5Hz(每200ms輸出一次):

2B 01 18 05 C8 00 00 00

也可以通過修改輸出速率來關閉TPDO輸出(每0ms輸出一次代表關閉):

將TPDO2(角速度)定時輸出為0

2B,01,18,05,00,00,00,00

將TPDO1(加速度)輸出速率為0

2B 00 18 05 00 00 00 00

將TPDO3(歐拉角)輸出速率為0

2B 02 18 05 00 00 00 00

將TPDO4(四元數)輸出速率為0

2B 03 18 05 00 00 00 00

### 示例4: 開啟/關閉站點

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

- 開啟節點: ID:0,DLC:2,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,DLC:2,DATA:02 08 其中02為關閉節點命令，08為節點ID(出廠預設為8)

### 示例5: 配置TPDO為同步模式

先按示例4 中關閉所有TPDO(設定TPDO輸出速率為0) , 然後發送CANopen同步幀即可 :

CANopen 同步幀: ID:80 DLC:0, DATA:空

### 3. 注意事項

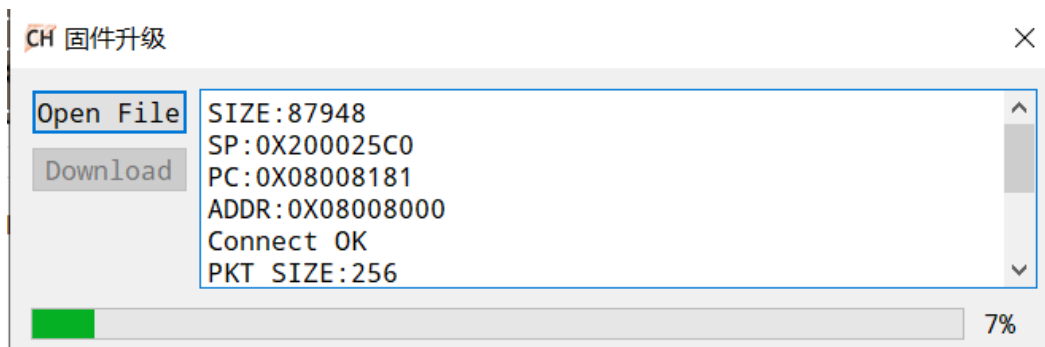
- 所有配置修改後重新上電後生效

## 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**. 打開韌體升級視窗
- 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 **Open File** 選擇附檔名為.hex 的韌體，然後點 **Download**。
- 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。



## 附錄B - FAQ

FAQ內容隨時更新，詳見:[FAQ](#)