

# CH110 使用說明書

---

IMU/VRU姿態測量模組, Rev 1.0



## CH110 使用說明書

簡介

特性

板載感測器

數據處理

通訊接口及供電

其他

硬體及尺寸

硬體參數

尺寸

接口定義

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

感測器校準

地磁校準

磁干擾分類

6軸和9軸模式區別

校準方法

序列埠通訊協議

數據包

數據包總覽

0X91( IMUSOL)

出廠默認數據包

數據幀結構示例

數據幀配置為 0x91 數據包

CAN通訊協議

CANopen 默認設置

CANopen PTO傳輸細節

修改CAN介面配置

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
  - 修改波特率
  - 修改輸出速率
  - 使能TPDO輸出

AT指令

AT+ID

AT+URFR

AT+INFO

AT+ODR

AT+BAUD

AT+EOUT

AT+RST

AT+SETPTL

AT+MODE

附錄C - 韌體升級與恢復出廠設置

# 簡介

CH110是超核電子推出的一款超低成本、高性能、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算法計算得到的基於當地地理坐標的三維方位數據，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:

- 機器人航向跟蹤/無人駕駛等

# 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: $\pm 8G$

## 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
- 數據融合算法計算並輸出地理坐標系下的旋轉四元數及歐拉角等姿態資訊

## 通訊接口及供電

- RS232串行接口/CAN2.0總線
- 供電電壓：5-24V

## 其他

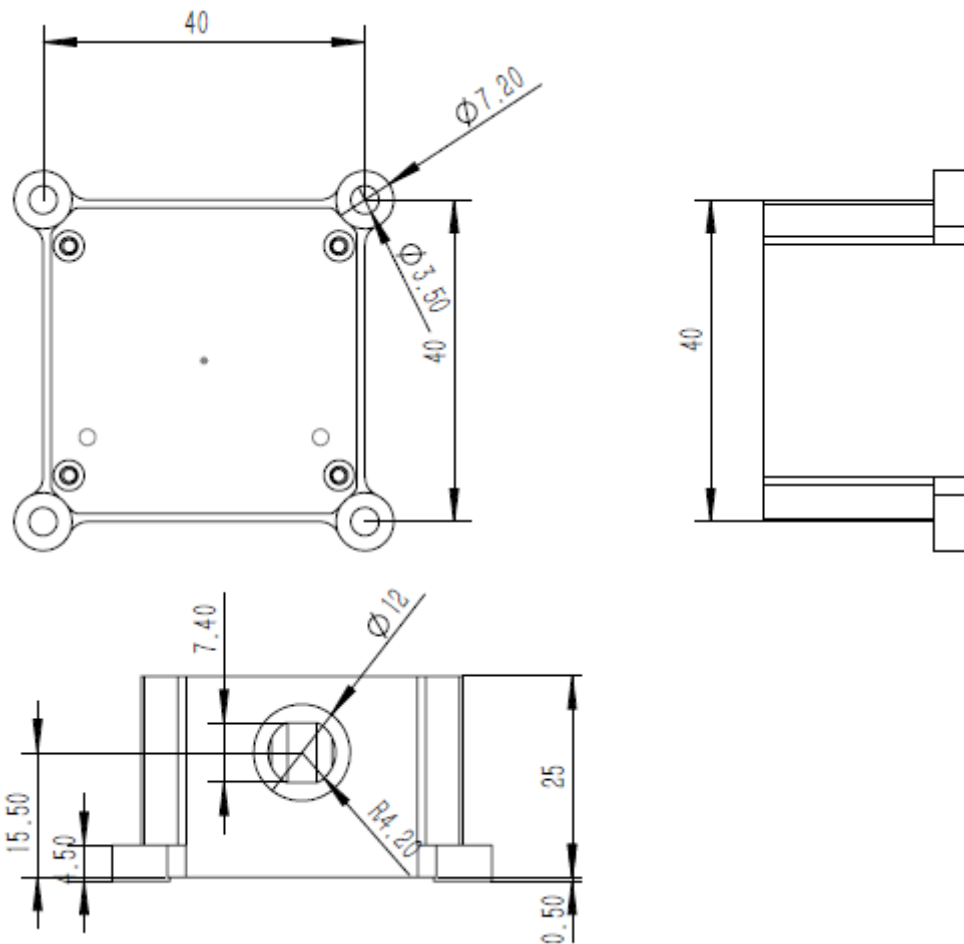
- PC端上位機程序，提供即時數據顯示，波形，校準及excel 數據記錄功能
- 多項模組參數用戶可配置

# 硬體及尺寸

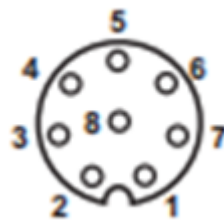
## 硬體參數

參數	描述
輸出數據接口	RS232串行接口
工作電壓	5-24V
溫度範圍	-20℃ - 85 ℃
最大線性加速度	0 - $115\ m/s^2$
尺寸	40 x 40 x 25mm (W x L x H)
板載感測器	三軸加速度計 三軸陀螺儀 三軸磁感測器

## 尺寸



## 接口定義



序號	引腳號	功能
1	紅	Vin
2	黑	GND
3	黃	RS232 TX
4	綠	RS232 RX
5	白	保留
6	棕	保留
7	藍	CAN_H
8	灰	CAN_L

# 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 $\text{Yaw}\backslash\phi(\psi)$  範圍:  $-180^{\circ} - 180^{\circ}$
- 繞 Y 軸方向旋轉: 俯仰角 $\text{Pitch}\backslash\theta(\theta)$  範圍:  $-90^{\circ} - 90^{\circ}$
- 繞 X 軸方向旋轉: 橫滾角 $\text{Roll}\backslash\psi(\phi)$ 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(9軸模式下,無磁干擾,校準後)	3°

## 陀螺儀

參數	值
測量範圍	$\pm 2000^{\circ}/s$
零偏穩定性	10°/h
刻度非線性度	$\pm 0.1\%$ (滿量程時)
噪聲密度	$0.08^{\circ}/s/\sqrt{Hz}$
加速度敏感性	0.001°/s/g

## 加速度計

參數	值
測量範圍	$\pm 8G$ (1G = 1x 重力加速度 )
零偏穩定性	30mG
非線性度	$\pm 0.5\%$ (滿量程時)
噪聲密度	$120\text{ }\mu G\sqrt{Hz}$

## 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
序列埠輸出波特率	9600/115200/460800/921600可選
幀輸出速率	1/25/50/100Hz 可選

## 感測器校準

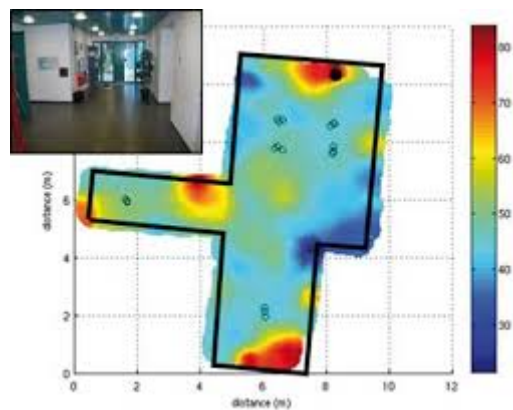
1. 每一個姿態感測器都單獨進行過全測量範圍內的校準和測試。陀螺和加速度計的非正交和刻度因子誤差參數都會保存在模組內部的Flash中。
2. 陀螺儀自動校準需要在上電後靜止模組5s 左右以獲得最好的校準效果。如**上電5s內**模組處於非靜止狀態或者緩慢轉動狀態則陀螺性能嚴重下降。

## 地磁校準

### 磁干擾分類

種類	定義	典型干擾源	影響	措施
空間磁場干擾	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，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，會嚴重影響地磁性能。空間磁場干擾在室內尤其嚴重。	模組內置的勻質磁場檢測及屏蔽非勻質磁場
感測器坐標系下的干擾	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準算法加以很好的消除。	地磁校準

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。



### 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)。



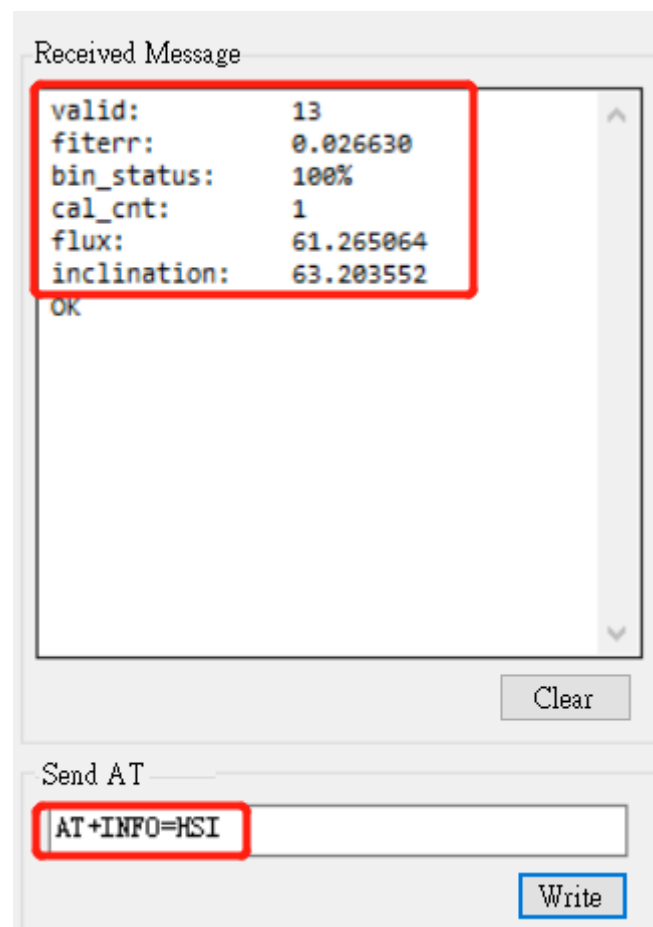
## 校準方法

本模組整合了主動無干預地磁校準算法,模組會自動收集地磁場資訊並進行硬磁軟磁校準參數估計,校準成功後校準資訊會保存在模組Flash上。用戶無須任何操作/指令即可實現地磁校準。首次使用時,模組會自動採集周圍地磁場,並嘗試計算地磁感測器校準參數。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:

在盡量小範圍內,緩慢的讓模組運動和旋轉,或者進行8字運動 或者分別繞每個軸360度,讓模組經歷盡量多的姿態。一般情況下,如果地磁干擾在可接受的範圍內,即可完成校準。如果後面在同樣地磁環境下(同地點),則無需再次校準。如果始終沒能成功校準模組,說明周圍地磁場干擾比較大。

地磁校準狀態可以使用AT指令來查看:

發送 `AT+INFO=HSI` 指令,模組會打印當前地磁校準系統狀態:



Received Message

```
valid:      13
fiterr:     0.026630
bin_status: 100%
cal_cnt:    1
flux:       61.265064
inclination: 63.203552
OK
```

Clear

Send AT

`AT+INFO=HSI`

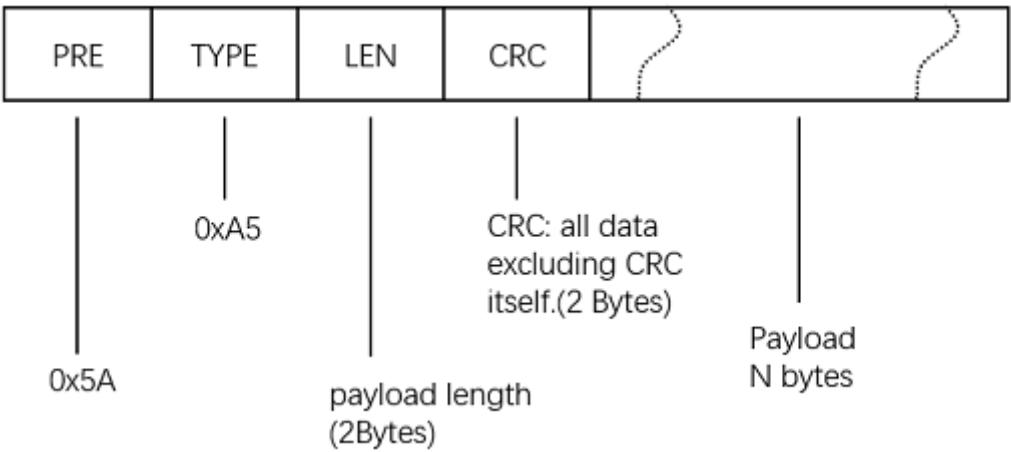
Write

參數顯示	意義	說明
valid	有效標誌	0: 不存在有效校準參數(沒有校準或者從來沒有校準成功過)。非0：地磁校準完成
fiterr	擬合殘差	殘差越小，說明參數擬合效果越好，通常在0.03以下說明校準結果已經足夠好。如果擬合結果始終>0.1，說明地磁干擾很大，最好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。
flux	當地磁場	最近一次擬合器估計出的地磁場強，單位為uT
inclination	當地磁傾角	最近一次擬合器估計出的磁傾角，單位為°

- 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)，最好還需重複手工校準操作。

## 序列埠通訊協議

模組上電後，模組默認按100Hz (出廠默認輸出速率) 輸出幀數據，幀格式如下：



其中：

域	值	長度 (字節)	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。LSB(低字節在前)，長度表示數據域的長度，不包含 <b>PRE</b> 、 <b>TYPE</b> 、 <b>LEN</b> 、 <b>CRC</b> 字段。
CRC	-	2	除CRC 本身外其餘所有幀數據的16 位CRC 校驗和。LSB(低字節在前)
PAYLOAD	-	1-512	一幀攜帶的數據。PAYLOAD 由若干個 <b>子數據包</b> 組成。每個數據包 包含：數據包標籤(DATA_ID)和數據(DATA) 兩部分。DATA_ID 決定了數據的類型及長度，DATA 為數據包內容。

CRC實現函數：

```

/*
    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

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

### 0X91( IMUSOL)

共76字節，新加入的數據包，用於替代A0,B0,C0,D0,D1等數據包。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	-	6	-	保留
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)	X,Y,Z軸的加速度，注意單位和0xA0不同
24	float	12	deg/s	X,Y,Z軸的角速度，注意單位和0xB0不同
36	float	12	uT	X,Y,Z軸的磁場強度(HI229支持,注意單位和0xC0不同)
48	float	12	deg	節點歐拉角集合, 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
CH110	0x91( IMUSOL)

## 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語言數組 `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. 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;                /* data packet tag */
    uint8_t    id;
    uint8_t    rev[6];             /* reserved */
    uint32_t    ts;                /* timestamp */
    float       acc[3];
    float       gyr[3];
    float       mag[3];
    float       eul[3];            /* euler angles: Roll,Pitch,Yaw */
    float       quat[4];           /* quaternion */
}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數組直接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。

```
/* 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
```

## CAN通訊協議

模組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PTO1-4 傳輸姿態數據，所有傳輸均採用標準數據幀，不接收遠程幀和拓展數據幀。
- PTO採用異步定時觸發模式, 默認輸出速率為20Hz
- 當模組上電時，按照CANopen協議，模組會主動發送一條(一次)節點上線報文。節點上電處於預操作狀態(pre-operational) 需要主機發送NMT協議將節點設置為operation狀態才會開始發送數據

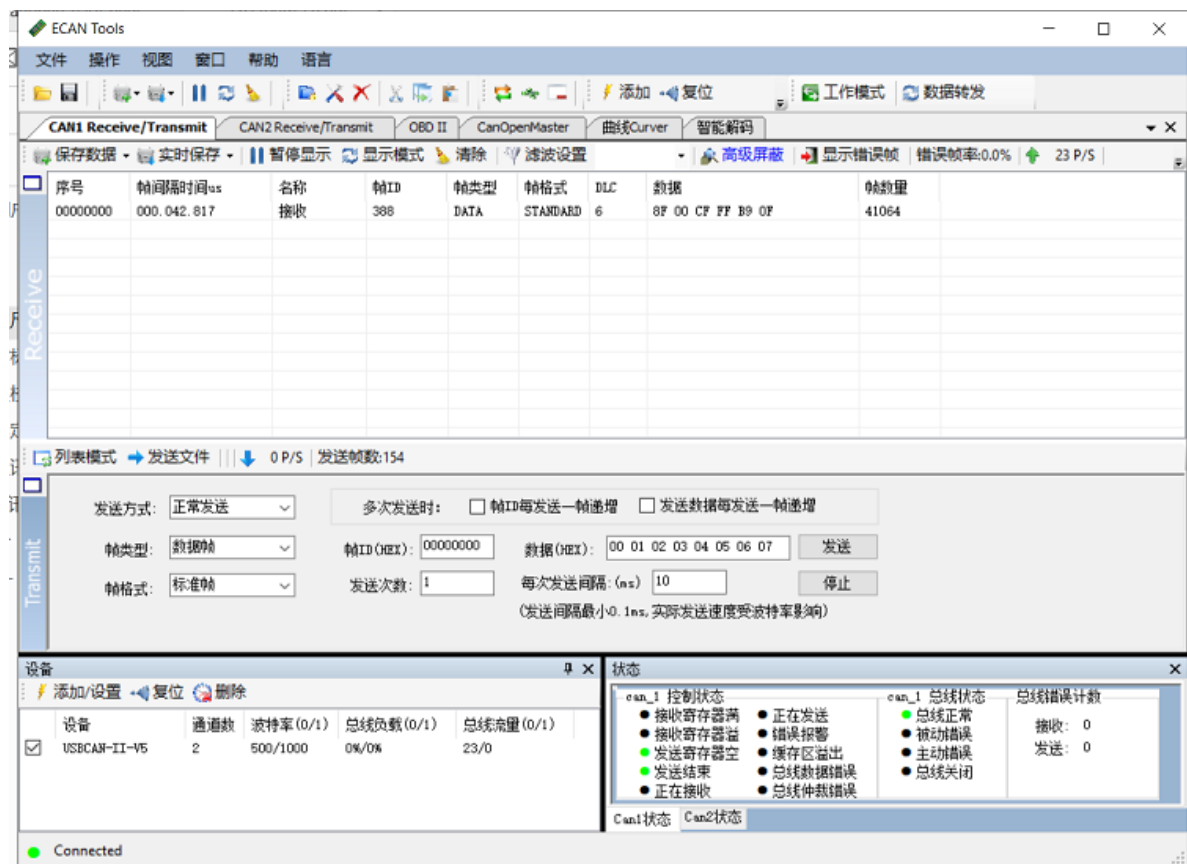
## CANopen 默認設置

CANopen默認配置	值
CAN 波特率	500KHz
CANopen節點ID	8
初始化狀態	預操作(Pre-operational),需要發送Start Remote Node命令模組才能開始輸出數據
心跳包	無

## CANopen PTO傳輸細節

PTO通道	PTO 幀ID	長度	PTO 傳輸方式	發送數據	說明
TPDO1	0x180+ID	6	循環同步 (0x01)	加速度	每軸數據類型為(INT16,低字節在前)·分別為X,Y,Z軸加速度·單位為mG(0.001重力加速度)
TPDO2	0x280+ID	6	循環同步 (0x01)	角速度	每軸數據類型為(INT16,低字節在前)·分別為X,Y,Z軸角速度·單位為0.1DPS(°/s)
TPDO3	0x380+ID	6	異步定時 (0xFE)	歐拉角	每軸數據類型為(INT16,低字節在前)·順序分別為橫滾角(Roll,繞X軸旋轉),俯仰角(Pitch,繞Y軸旋轉),航向角(Yaw繞Z軸旋轉)·歐拉角單位為0.01°
TPDO4	0x380+ID	8	循環同步 (0x01))	四元數	每軸數據類型為(INT16,低字節在前)·分別為 $q_w$ $q_x$ $q_y$ $q_z$ ·單位四元數擴大10000倍後結果·如四元數為1,0,0,0時,輸出10000,0,0,0.

使用USB-CAN工具抓取默認CAN輸出包截圖如下：



其中 歐拉角(PTO3) CAN幀ID =0x380 + 8(默認ID) = 0x388 · 數據為:

- X軸：(0x00<<8)+ 0x8F = 0x008F = 1.43°
- Y軸：(0xFF<<8)+ 0xCF = 0xFFCF = -0.49°
- Z軸：(0x0F<<8)+ 0xB9 = 0x0FB9= 40.25°

## 修改CAN介面配置

數據字典以下位置存放廠商參數配置數據, 可通過CANopen主站修改, 掉電儲存, 重啟生效

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

### 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

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
TPDO2	0x280+ID	0x1801
TPDO3	0x380+ID	0x1802
TPDO4	0x480+ID	0x1803

#### 修改波特率

如將CAN波特率修改為125K, 則發送:

ID=0x608, DLC=8, DATA=0x23, 0x00, 0x21, 0x00, 0x48, 0xE8, 0x01, 0x00 (ID=0x608, 長度為8的標準數據幀)

其中 0x23為SDO寫四個位元組指令, 0x00, 0x21為寫0x2100索引, 0x00, 0x01, 0xE8, 0x48 = (0x00<<24) + (0x01<<16) + (0xE8<<8) + 0x48 = 125000.

如將CAN波特率修改為250K, 則發送:

ID=0x608, DLC=8, DATA=0x23, 0x00, 0x21, 0x00, 0x90, 0xD0, 0x03, 0x00

其中 0x03, 0xD0, 0x90 = (0x03<<16) + (0xD0<<8) + 0x90 = 250000

#### 修改輸出速率

發送標準CANopen協議幀, 使用標準快速SDO指令:

如修改TPDO3(歐拉角)輸出速率為100Hz:(10ms event觸發)

ID=0x608, DLC=8, DATA=0x2B, 0x02, 0x18, 0x05, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00

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



- $0x00, 0x01 = (0x00 \ll 8) + 0x01 = 1$  (10ms為單位，1為10ms觸發一次)，後面不足補0。

## 使能TPDO輸出

使能PDTO輸出，只需要修改對應的TPDO對應的參數暫存器的觸發模式為非同步定時(0xFE)即可

例：比如使能TPDO1定時輸出，則需要寫0x1800索引，子索引為0x02，寫入值為0xFE(非同步定時輸出)，使用標準快速SDO指令：

ID=0x608, DLC=8, DATA=0x2F, 0x00, 0x18, 0x02, 0xFE, 0x00, 0x00, 0x00

其中

- 0x2F為SDO寫一個位元組指令
- 0x00, 0x18為寫0x1800索引
- 0x02子索引
- 0xFE為寫入的值，後面不足補0。

## AT指令

當使用序列埠與模組通訊時，模組支持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。可使用序列埠調試助手進行測試：

The screenshot shows a software interface for configuring a serial port. On the left, there are several sections: '模式' (Mode) with radio buttons for '6軸模式' and '9軸模式'; '快捷按鈕' (Quick Buttons) with buttons for '模組資訊', '復位', '輸出速率為50Hz', '開啟數據輸出', and '關閉數據輸出'; '協議配置' (Protocol Configuration) with checkboxes for '老協議' (Old Protocol) and '新協議' (New Protocol); and 'IMU數據集合(91)' (IMU Data Collection (91)) with a checked checkbox. At the bottom left is a '寫入配置' (Write Configuration) button. On the right, there is a '接收區' (Receive Area) showing received data: 'HI221 1.0.4 build Sep 25 2019', '2007 - 2019 Copyright by HiPNUC', 'MODE: 1(9 AXIS)', 'ID: 1', 'SERIAL: 8130DE6F', 'ODR: 50Hz', 'MODE=1', and 'OK'. Below this is a '清除' (Clear) button. At the bottom right, there is a '發送AT指令' (Send AT Command) section with a text input field containing 'AT+MODE=1' and a '寫入' (Write) button. At the very bottom right is a '退出配置模式' (Exit Configuration Mode) button.

通用模組 AT指令如下

指令	功能	掉電保存(Y)	立即生效(Y),復位生效(R)
AT+ID	設置模組用戶ID	Y	R
AT+URFR	旋轉模組感測器坐標系	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	不支援		
AT+SETPTL	設置輸出協議	Y	Y
AT+MODE	設置模組工作模式	Y	R
AT+GWID	不支援		

## AT+ID

設置模組用戶ID

例 AT+ID=1

## AT+URFR

某些情況下感測器需要傾斜垂直安裝，這時候需要旋轉感測器坐標系，這條指令提供了旋轉感測器坐標系的接口：

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

其中  $C_{nn}$  支持浮點數

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

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°，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°，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°，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°，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

- 恢復默認值：`AT+URFR=1,0,0,0,1,0,0,0,1`

## AT+INFO

打印模組資訊，包括產品型號，版本，韌體發佈日期等。

## 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`

## 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+SETPTL

設置輸出協議:

模組數據幀中的數據包組成可使用AT指令配置，格式為 `AT+SETPTL=<ITEM_ID>,<ITEM_ID>...`

例 配置模組輸出加速度，角速度, 整形格式歐拉角和四元數的指令為：`AT+SETPTL=A0,B0,D0,D1`

台版預設使用:`AT+SETPTL=91`，如果使用過程不慎修改到其他數據包，重新勾選如下圖並寫入即可。



