

CH110 用戶手冊

IMU/VRU姿態測量模組, Rev 1.0



CH110 用戶手冊

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

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

CAN通訊協議

CANopen 默認設置

CANopen TPTO

CAN接口編程指南

1. 使能數據輸出(開啟異步觸發)
2. 修改CAN鮑率，輸出速率及輸出幀資訊

示例1: 修改CAN鮑率

示例2: 修改數據輸出速率

示例3: 使能TPDO輸出

AT指令

AT+ID

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/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, 最大量程: $\pm 500^{\circ}/s$
- 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

- USB(虛擬序列埠)/RS232串行接口/CAN2.0總線
- 供電電壓：5-24V

其他

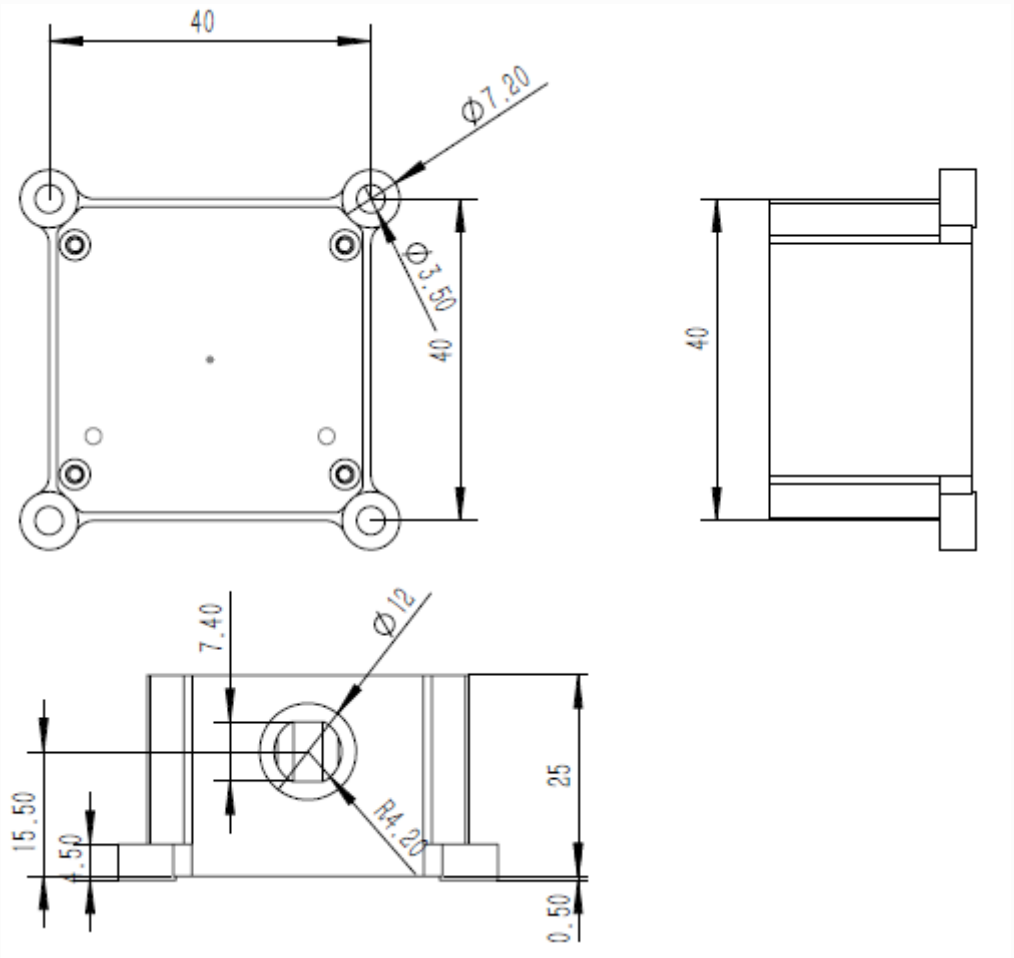
- PC端上位機程序，提供即時數據顯示，波形，校準及excel 數據記錄功能
- 多項模組參數用戶可配置

硬體及尺寸

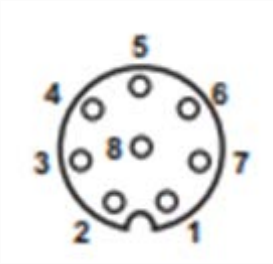
硬體參數

參數	描述
輸出數據接口	USB(虛擬序列埠)/RS232串行接口/CAN2.0總線
工作電壓	5-24V
溫度範圍	-20°C - 85 °C
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

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 右-前-上(RFU)坐標系， 地理坐標系使用 東-北-天(ENU)坐標系。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\phi(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\psi(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	備註
橫滾角\俯仰角 - 靜態誤差	0.4°	載體水平平穩運動
橫滾角\俯仰角 - 動態誤差	1.0°	載體水平平穩運動
運動中航向角精度	5° @20min	載體水平平穩運動

陀螺儀

參數	值	備註
測量範圍	$\pm 500^{\circ}/s$	
零偏穩定性X軸	$3.5^{\circ}/h$	@25°, 1 σ
零偏穩定性Y軸	$2^{\circ}/h$	@25°, 1 σ
零偏穩定性Z軸	$2^{\circ}/h$	@25°, 1 σ
零偏重複性	$0.035^{\circ}/s$	@25°, 1 σ
非正交誤差	$\pm 0.1\%$	
隨機遊走X軸	$0.3^{\circ}/s\sqrt{h}$	@25°, 1 σ
隨機遊走Y軸	$0.3^{\circ}/s\sqrt{h}$	@25°, 1 σ
隨機遊走Z軸	$0.25^{\circ}/s\sqrt{h}$	@25°, 1 σ
刻度非線性度	$\pm 0.1\%$	滿量程時(最大)
刻度係數誤差	$\pm 0.4\%$	出廠前校準後
加速度敏感性	$0.1^{\circ}/s/g$	

加速度計

參數	值	備註
測量範圍	$\pm 8G$ (1G = 1x 重力加速度)	
零偏穩定性X軸	30uG	@25°, 1 σ
零偏穩定性Y軸	30uG	@25°, 1 σ
零偏穩定性Z軸	40uG	@25°, 1 σ
零偏重複性	1.8mG	@25°, 1 σ
非正交誤差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$
隨機遊走X軸	$0.04m/s\sqrt{h}$	@25°, 1 σ
隨機遊走Y軸	$0.04m/s\sqrt{h}$	@25°, 1 σ
隨機遊走Z軸	$0.06m/s\sqrt{h}$	@25°, 1 σ
刻度係數誤差	$\pm 0.3\%$ (滿量程時)	
全溫範圍溫度變化	2mg	-20 - 85°

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	1/50/100/200/400Hz 可選
啟動時間	<1s

感測器校準

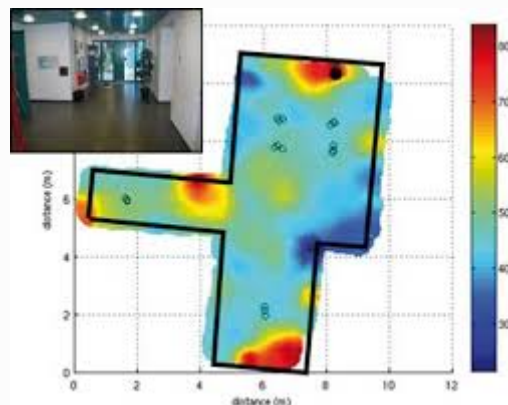
1. 加速度計和陀螺儀在出廠前經過比例因子誤差和非正交誤差校準，校準參數保存在模組內部。
2. 陀螺儀的輸出每次上電後會有一個隨機的不為0的bias，稱之為零偏重複性。這個隨機bias不能在出廠前被校準。系統在啟動後1S內認為處於靜止狀態並採集1S的陀螺儀角速度作為初始bias。這個過程稱之為陀螺儀上電自校準。自校準在上電後靜止模組3s 左右可獲得最好的校準效果。**如上電1s內模組處於運動狀態(包括緩慢轉動，振動等)則航向角飄移現象會顯著增大。**建議使用時每次上電後靜止至少1s。
3. 磁感測器(部分型號支援)出廠前經過橢球校準，但磁感測器很容易受到外界環境磁場干擾，一般都需要客戶重新校準，出廠校準參數意義不大。詳見地磁校準章節。

地磁校準

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=MSI

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，默認按出廠幀率(通常為100)輸出幀數據，幀格式如下：

域名稱	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，低字節在前。長度表示數據域(PAYLOAD)的長度，不包含 PRE, TYPE, LEN, CRC 字段。
CRC	-	2	除CRC 本身外其餘所有字段(PRE, TYPE, LEN, PAYLOAD)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。標籤決定了數據的類型及長度。

CRC實現函數：

```
1  /*
2      currentCrc: 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 }
```

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	備註
0x90	2	用戶ID	
0xA0	7	加速度	
0xB0	7	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)	加速度,順序為：XYZ(注意單位和0xA0包不同)
24	float	12	deg/s	角速度,順序為： XYZ(注意單位和0xB0包不同)
36	float	12	uT	磁強度,順序為： XYZ(注意單位和0xC0包不同)
48	float	12	deg	節點歐拉角 順序為： 橫滾角(Roll)，俯仰角(Pitch)，航向角(Yaw)(注意順序和單位與0xD0包不同)
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
HI226	0x91
HI229	0x91
CH100	0x91
CH110	0x91

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。剩餘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      /* calulate 5A A5 and LEN filed crc */
8      crc16_update(&crc, buf, 4);
9
10     /* calulate 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	eu1(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 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[6];            /* reserved */
6      uint32_t      ts;               /* 時間戳 */
7      float         acc[3];           /* 加速度 */
8      float         gyr[3];           /* 角速度 */
9      float         mag[3];           /* 地磁 */
10     float         eul[3];           /* 歐拉角: Roll,Pitch,Yaw */
11     float         quat[4];          /* 四元數 */
12 }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

```

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PTO1-4 傳輸數據，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50Hz
- 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

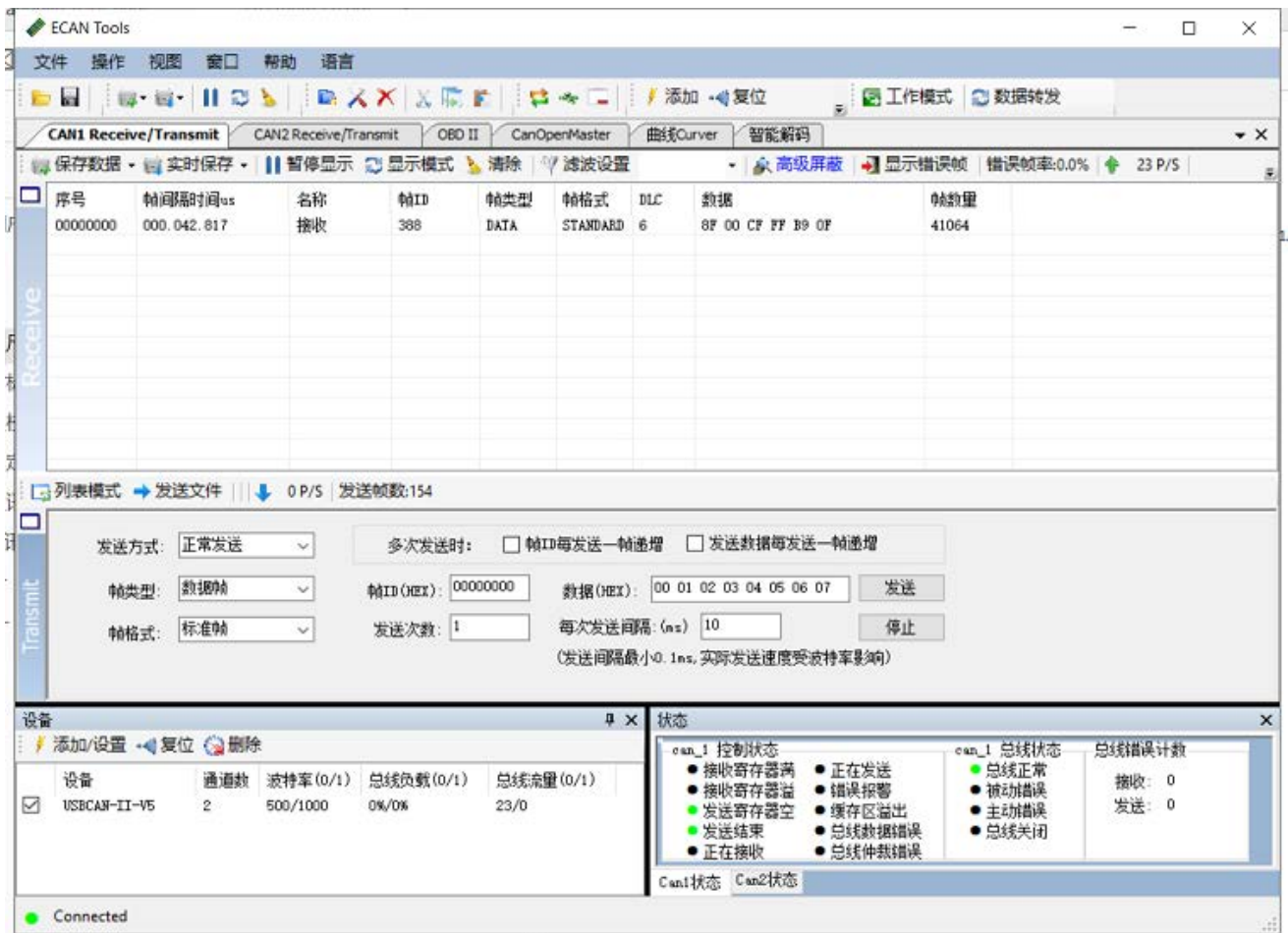
CANopen 默認設置

CANopen默認配置	值
CAN 鮑率	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(見下節)
心跳包	無

CANopen TPTO

PTO通道	PTO 幀 ID	長度	PTO 傳輸方式	發送數據	說明
TPDO1	0x180+ID	6	異步定時 (0xFE)	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	異步定時 (0xFE)	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	0x480+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: $(0x00 \ll 8) + 0x8F = 0x008F = 1.43^\circ$
- Y軸: $(0xFF \ll 8) + 0xCF = 0xFFCF = -0.49^\circ$
- Z軸: $(0x0F \ll 8) + 0xB9 = 0x0FB9 = 40.25^\circ$

CAN接口編程指南

1. 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

2. 修改CAN鮑率，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, 掉電保存, 重啟生效。

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總線鮑率
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協議默認定義)
TPDO1	0x180+ID	0x1800
TPDO2	0x280+ID	0x1801
TPDO3	0x380+ID	0x1802
TPDO4	0x480+ID	0x1803

示例1: 修改CAN鮑率

如將CAN鮑率修改為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寫四個字節指令，0x00, 0x21為寫0x2100索引，0x00, 0x01, 0xE8, 0x48 = (0x00<<24) + (0x01<<16) + (0xE8<<8) + 0x48 = 125000.

如將CAN鮑率修改為250K，則發送：

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

其中

- 0x2B為SDO寫兩個字節指令
- 0x00, 0x21為寫0x2100索引
- 0x00, 0x03, 0xD0, 0x90 = (0x00<<24) + (0x03<<16) + (0xD0<<8) + 0x90 = 250000

示例2: 修改數據輸出速率

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寫兩個字節指令
- 0x02, 0x18為寫0x1802索引，
- 0x05為子索引
- 0x00, 0x01= (0x00<<8) + 0x01 = 1(10ms為單位，1為10ms觸發一次)，後面不足補0.

示例3: 使能TPDO輸出

使能PDTO輸出，只需要修改對應的TPDO對應的參數寄存器的觸發模式為異步定時(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(異步定時輸出)，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寫一個字節指令
- 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。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 '老協議' (Old Protocol) and '新協議' (New Protocol) sections, each containing checkboxes for various sensors; and a '寫入配置' (Write Configuration) button. The main area on the right is titled '接收區' (Receive Area) and contains a text box with the following text: 'HI221 1.0.4 build Sep 25 2019', '2007 - 2019 Copyright by HiPNUC', 'MODE: 1(9 AXIS)', 'ID: 1', 'SERIAL: 813DDE6F', 'ODR: 50Hz', 'MODE=1', and 'OK'. Below the '接收區' is a '清除' (Clear) button. At the bottom, 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. A '退出配置模式' (Exit Configuration Mode) button is located at the bottom right.

模式

☐ 6軸模式

☒ 9軸模式

快捷按鈕

模組資訊

復位

輸出速率為50Hz

開啟數據輸出

關閉數據輸出

協議配置

老協議

☐ 用戶ID(90)

☐ 加速度(A0)

☐ 角速度(B0)

☐ 地磁場(C0)

☐ 歐拉角(D0)

☐ 氣壓(P0)

☐ 四元數(D1)

新協議

☒ IMU數據集合(91)

寫入配置

接收區

HI221 1.0.4 build Sep 25 2019
2007 - 2019 Copyright by HiPNUC
MODE: 1(9 AXIS)
ID: 1
SERIAL: 813DDE6F
ODR: 50Hz
MODE=1
OK

清除

發送AT指令

AT+MODE=1

寫入

退出配置模式

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)	備註
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`

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。

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+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`

AT+MODE

設置模組工作模式

例

- 設置模組工作在6軸模式(無磁校準) `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`

附錄C - 韌體升級與恢復出廠設置

本產品支援升級韌體。

韌體升級步驟:

- 連接模組, 打開上位機, 將模組和上位機鮑率都設置為115200. 打開韌體升級窗口
- 點擊"連接", 如出現模組連接資訊。則說明升級系統準備就緒, 點擊文件選擇器(...)選擇副檔名為.hex 的韌體
- 點擊"開始編程"。下載完成後會提示編程完成, 此時關閉序列埠, 重新給模組上電, 模組升級完成。

