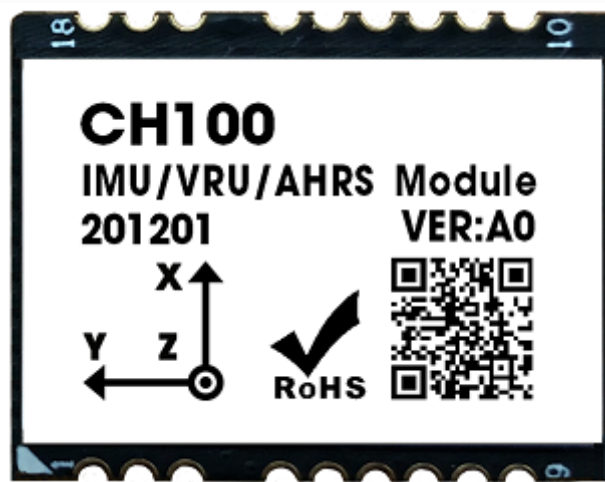


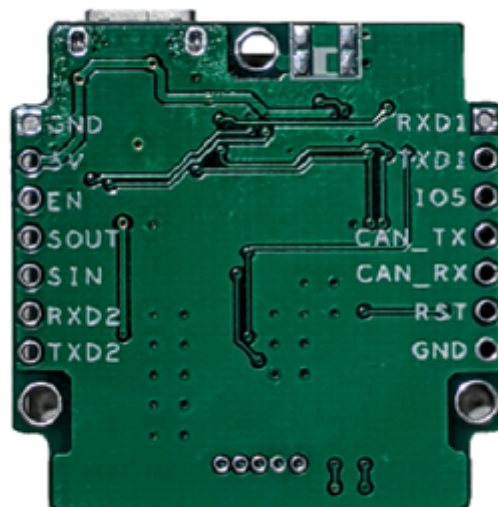
CH100 用戶手冊

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

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

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

序列埠通訊協議

數據包

數據包總覽

產品支援數據包列表

0X91(IMUSOL)

出廠默認數據包

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 默認設置

CANopen TPTO

CAN接口編程示例

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: 修改節點ID

示例3: (開啟)修改數據輸出速率

示例4: 關閉TPDO輸出

示例5: 開啟/關閉站點

示例6: 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置

簡介

CH100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: $\pm 8G$
- 三軸磁場感測器，最大量程: 800mG (毫高斯)
- 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

- TTL序列埠
- 供電電壓：3.3V - 5V

其他

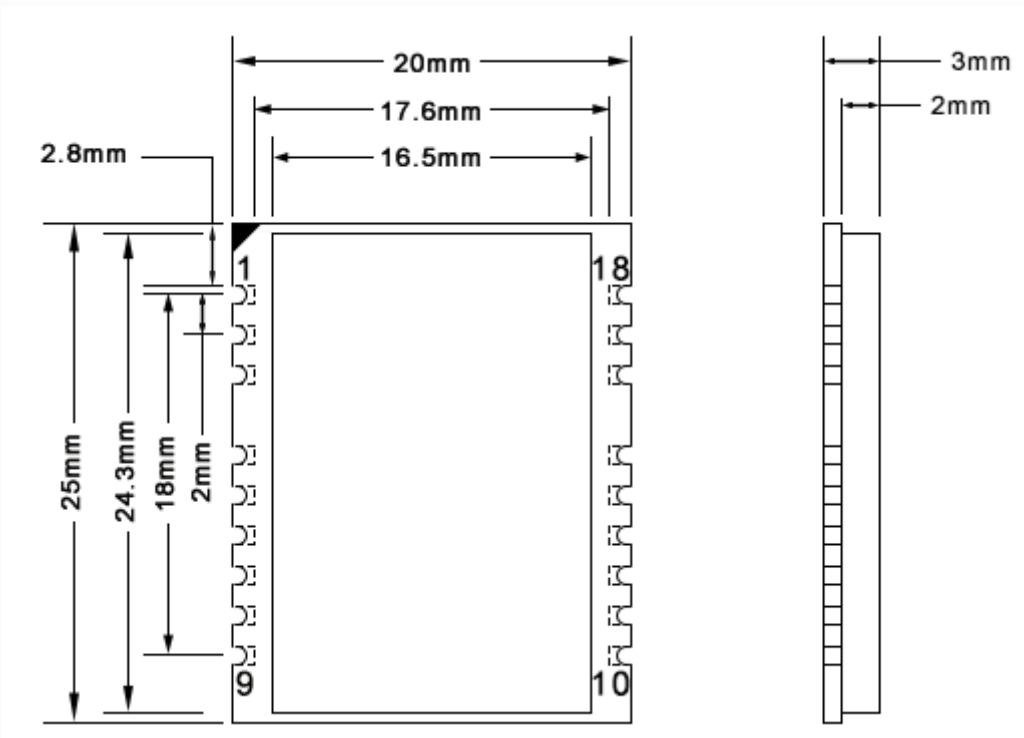
- PC端上位機程序，提供即時數據顯示，波形，校準及excel 數據記錄功能
- 多項模組參數用戶可配置

硬體及尺寸

硬體參數

參數	描述
輸出數據接口	TTL序列埠(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), 100Hz(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



接口定義

1	■	VCC	NRST	■	18
2	■	GND	RSV4	■	17
3	■	EN	RSV3	■	16
4	■	SOUT	CAN_TX	■	15
5	■	SIN	CAN_RX	■	14
6	■	RXD2	RSV2	■	13
7	■	TXD2	RXD1	■	12
8	■	GND	TXD1	■	11
9	■	IO5	RSV1	■	10

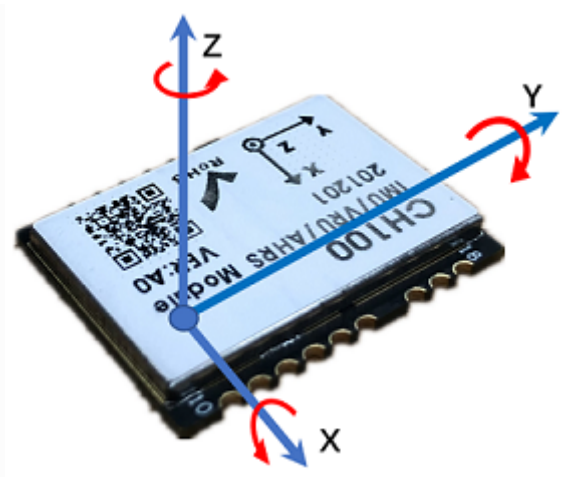
引腳號	名稱	說明
1	VCC	電源 3.3V
2	GND	GND
3	EN	使能 高電平有效，內部上拉，不需要可懸空
4	SIN	保留,必須懸空
5	SOUT	保留,必須懸空
6	RXD2	保留,必須懸空
7	TXD2	保留,必須懸空
8	GND	GND
9	IO5	保留,必須懸空
10	RSV1	保留,必須懸空
11	TXD1	模組序列埠發送 UART TXD (接 MCU 的 RXD)
12	RXD1	模組序列埠接收 UART RXD(接 MCU 的 TXD)
13	RSV2	保留,必須懸空
14	CAN_RX	CAN_RX
15	CAN_TX	CAN_TX
16	RSV3	保留,必須懸空
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

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\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°



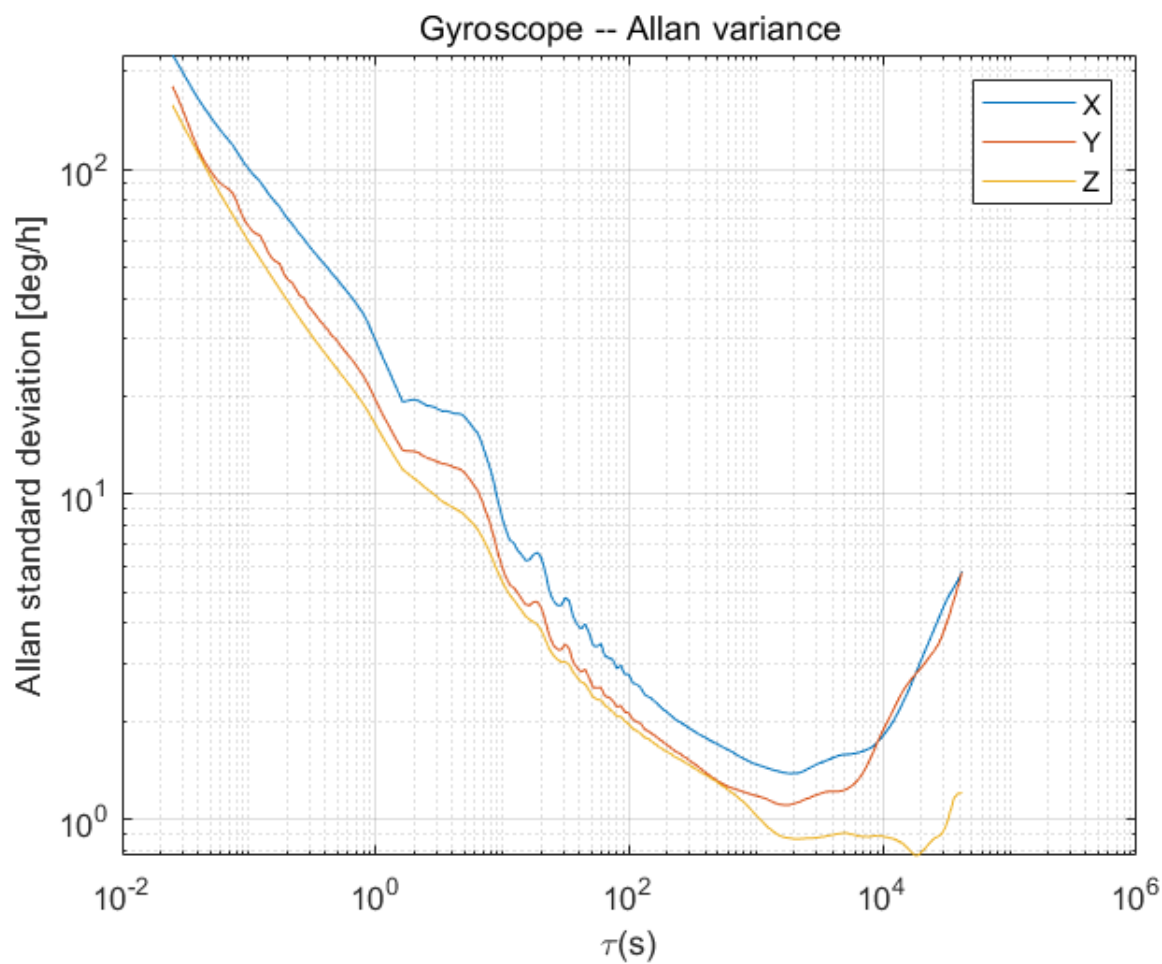
性能指標

姿態角輸出精度

姿態角	典型值	備註
橫滾角\俯仰角 - 靜態誤差	0.4°	載體低機動平穩運動
橫滾角\俯仰角 - 動態誤差	1.0°	載體低機動平穩運動
運動中航向角精度	4° @20min	載體水平平穩運動且上電後靜止3s

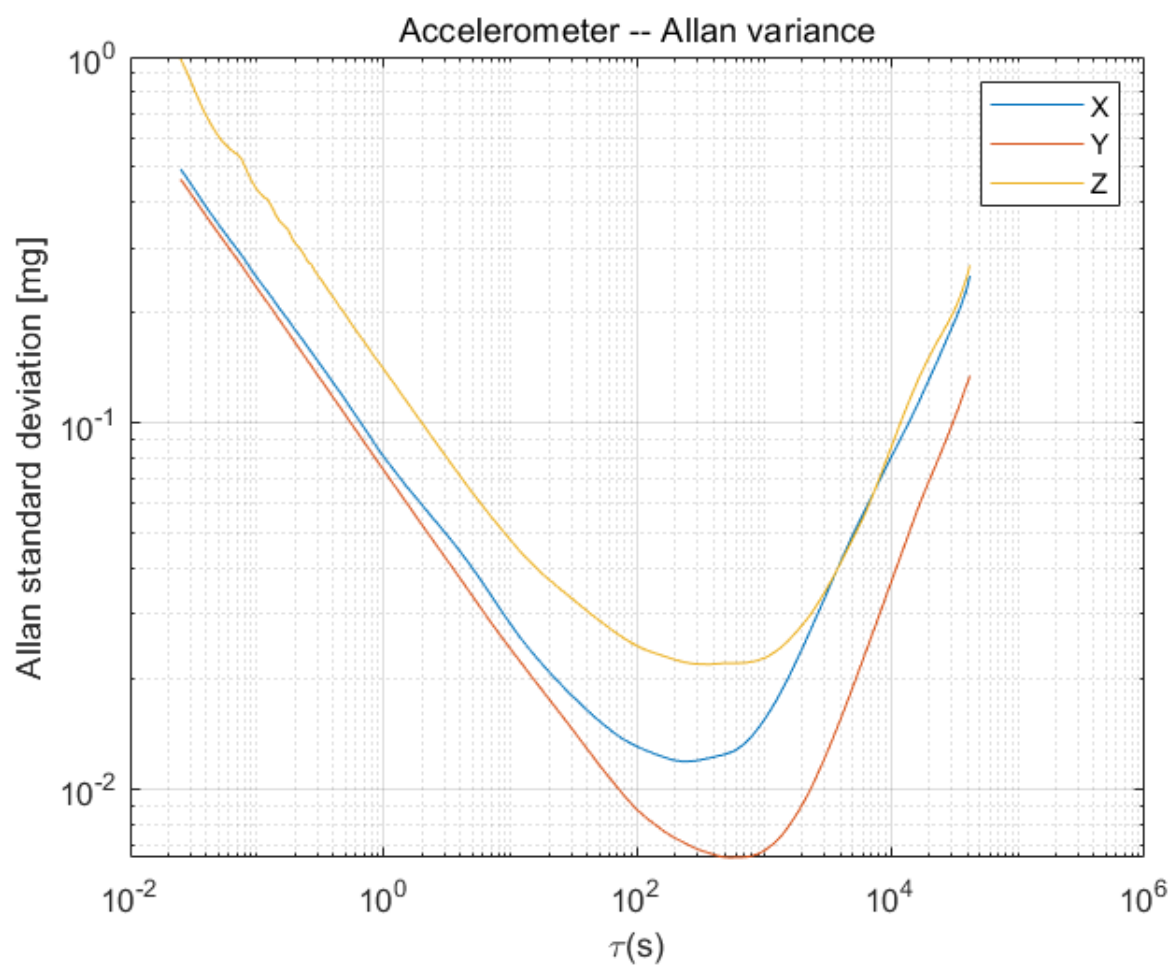
陀螺儀

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	$\pm 0.1\%$	
隨機游走X軸	$0.3^{\circ}/s\sqrt{h}$	@25°, 1 σ
隨機游走Y軸	$0.3^{\circ}/s\sqrt{h}$	@25°, 1 σ
隨機游走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	±8G (1G = 1x 重力加速度)	
零偏穩定性X軸	30uG	@25°,1σ
零偏穩定性Y軸	30uG	@25°,1σ
零偏穩定性Z軸	40uG	@25°,1σ
零偏重複性	1.8mG	@25°,1σ
非正交誤差	±0.1%	±0.1%
隨機遊走X軸	$0.04m/s\sqrt{h}$	@25°,1σ
隨機遊走Y軸	$0.04m/s\sqrt{h}$	@25°,1σ
隨機遊走Z軸	$0.06m/s\sqrt{h}$	@25°,1σ
刻度係數誤差	±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

氣壓計參數

參數	值
測量範圍	300 – 1200 hPa
分辨率	± 0.006 hPa (or ±5 cm)
精度	± 0.06 hPa (or ±50 cm)
輸出頻率	64Hz

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的零偏(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(任意角度靜止即可，無需水平靜止)。
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，該系統不需要用戶發送任何指令，該系統在後台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**。但是模組仍然提供接口來讓用戶檢查當前校準狀態。

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，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，持續約30s，讓模組經歷盡量多的姿態。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

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。

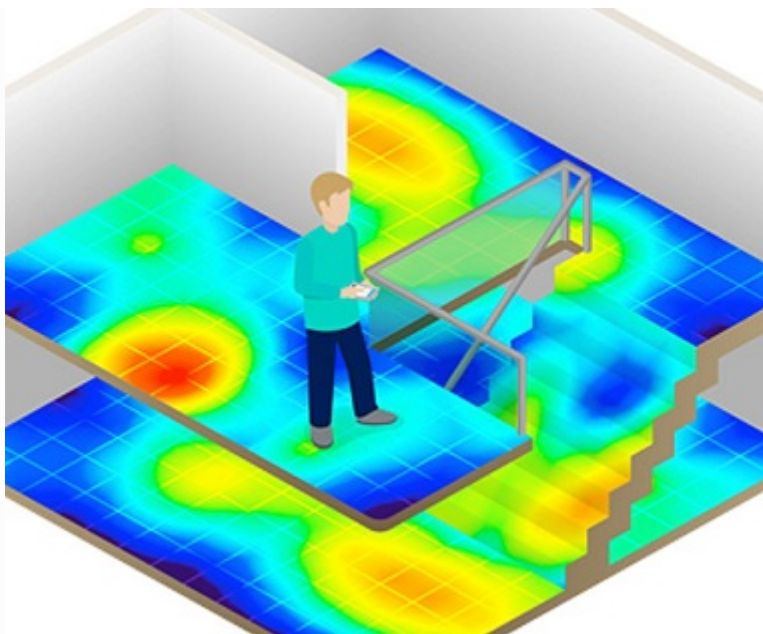
4. 雖然地磁參數估計可以在線自動採集數據，自動的動態擬合地磁校準參數。但是如果周圍地磁環境改變(比如需要到另外房間或者室內室外切換，或者是模組被安裝/焊接到了新的環境中)，還需重複執行1-3.

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，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。	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準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"> • 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

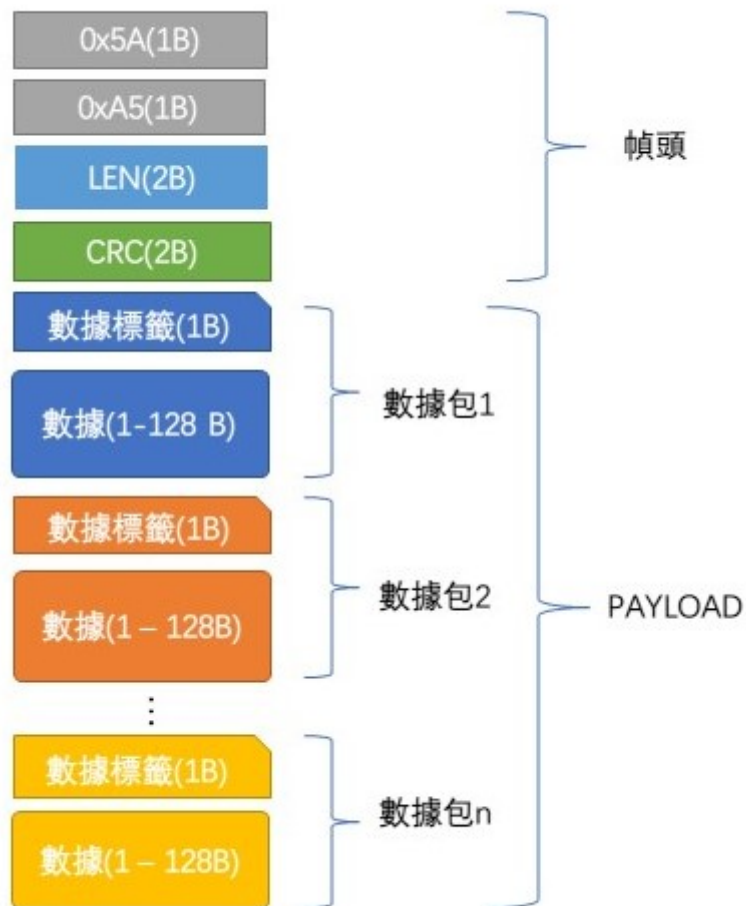
模組的自動地磁校準系統只能處理和模組安裝在一起的，固定的磁場干擾。安裝環境如果有磁場干擾，這種干擾必須是固定的，並且這個干擾磁場與模組 安裝之後不會再發生距離變化(例：模組安裝在一個鐵材料之上，因為鐵會有磁場干擾，這時就需要把鐵與模組一起旋轉校準，並且這個鐵在使用當中是不會和羅盤再分開的(發生相對位移)，一旦分開是需要再重新校準。如果這個鐵大小是不固定的，或與羅盤的距離變化也不是固定 的，這種干擾是無法校準，即使校準成功，也會精度非常差，只能避而遠之安裝。安全距離控制在 40CM 以上)。

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：

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(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    }
    *currentCrc = crc;

```


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
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	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	91
CH110	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 : $(0x00 \ll 8) + 0x4C = 76$

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

- 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, 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:

```
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。可使用序列埠調試助手進行測試：

The screenshot shows a serial terminal application with a left sidebar for configuration and a main window for command execution. The sidebar includes sections for 'Mode' (6-axis or 9-axis), 'Quick Buttons' (Module Info, Reset, Set Output Rate to 50Hz, Toggle Data Output), 'Protocol Configuration' (Old protocols like User ID, Acceleration, etc., and New protocols like IMU data collection), and a 'Write Configuration' button. The main window has a 'Receive Area' showing the device's response to the AT command, including version, copyright, and current settings. Below this is a 'Send AT Command' section with a text input field containing 'AT+MODE=1' and a 'Write' button. A 'Clear' button is also present next to the receive area. At the bottom right is a 'Exit Configuration Mode' button.

模式
<input type="radio"/> 6軸模式
<input checked="" type="radio"/> 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
```

發送AT指令

AT+MODE=1

寫入

清除

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+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`

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。

`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`
- 恢復出廠默認值：`AT+URFR=1,0,0,0,1,0,0,0,1`

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
- 所有PTO採用異步定時觸發模式。

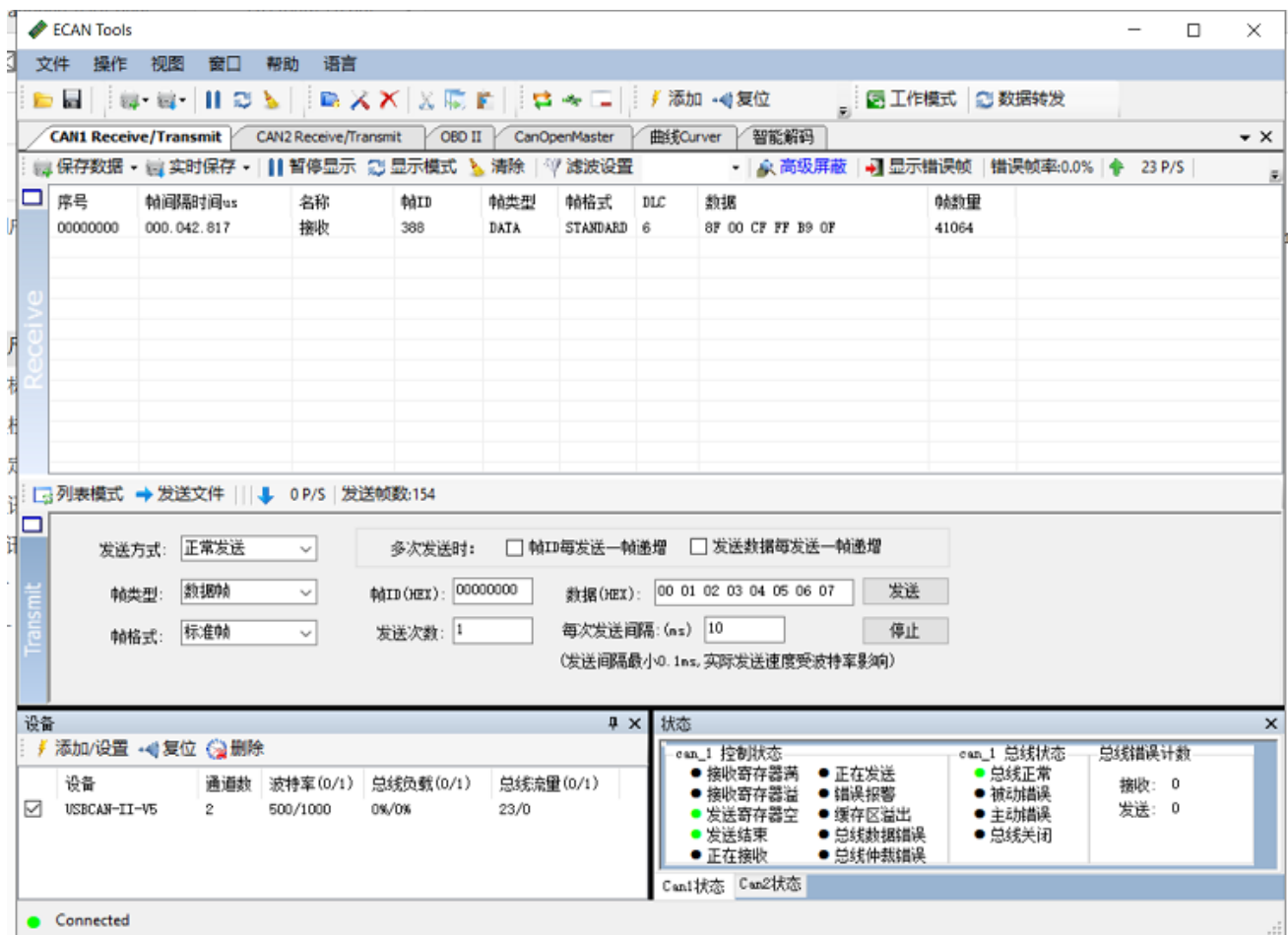
CANopen 默認設置

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

CANopen TPTO

PTO通道	PTO 幀ID	長度	PTO 傳輸方式	異步輸出頻率 (Hz)	發送數據	說明
TPDO1	0x180+ID	6	異步定時 (0xFE)	100	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)	100	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)	100	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	異步定時 (0xFE)	100	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.
TPDO5	0x680+ID	4	異步定時 (0xFE)	20	氣壓	單位Pa

使用USB-CAN工具抓取默認CAN輸出包截圖如下：



CAN接口编程示例

1. 使能数据输出(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速率，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總線速率
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
TPDO5	0x680+ID	0x1804

示例1: 修改CAN鮑率

將CAN鮑率修改為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)

- 0x23為SDO寫四個字節指令
- 0x00, 0x21為寫0x2100索引
- $0x00, 0x01, 0xE8, 0x48 = (0x00 \ll 24) + (0x01 \ll 16) + (0xE8 \ll 8) + 0x48 = 125000$

將CAN鮑率修改為250K, 發送:

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

將CAN鮑率修改為1M,發送:

`23 00 21 00 40 42 0F 00`

示例2: 修改節點ID

如將設備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寫四個字節指令
- 0x01, 0x21為寫0x2101索引
- $0x09, 0x00, 0x00, 0x00 = (0x00 \ll 24) + (0x00 \ll 16) + (0x00 \ll 8) + 0x09 = 9$

注意, 修改節點ID後重新上電生效, 且生效後發送啟動節點命令(比如節點啟動命令數據變為01 09)和SDO指令(發送CAN幀ID變為0x609)時注意為新的地址

示例3: (開啟)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:(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):

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

其中

- 0x2B為SDO寫兩個字節指令
- 0x02, 0x18為寫0x1802索引,
- 0x05為子索引
- $0x00, 0x32 = (0x00 \ll 8) + 0x32 = 50$ (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):

```
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):

```
2B 01 18 05 C8 00 00 00
```

示例4: 關閉TPDO輸出

關閉TPDO和修改輸出速率一樣，只需要將對應的輸出速率設置為0即可

例：將TPDO2(角速度)定時輸出為0(關閉)，則需要寫0x1801索引，子索引為0x05，寫入值為0:

```
ID=0x608 ,DLC=8,DATA=2B,01,18,05,00,00,00,00
```

其中

- 0x2B為SDO寫兩個字節指令
- 0x01, 0x18為寫0x1801索引
- 0x05子索引
- 0x00, 0x00= (0x00<<8) + 0x00 = 0，後面不足補0.

將TPDO1(加速度)輸出速率為0

```
2B 00 18 05 00 00 00 00
```

將TPDO2(角速度)輸出速率為0

```
2B 01 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
```

示例5: 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(出廠默認為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(出廠默認為8)

示例6: 配置TPDO為同步模式

先按示例4 中關閉所有TPDO(設置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置

本產品支援升級韌體。

韌體升級步驟：

- 連接模組，打開 CH-Center 軟體，將模組和 CH-Center 軟體鮑率都設置為115200. 打開韌體升級窗口
- 點擊連接按鈕，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(...)選擇附檔名為.hex 的韌體，然後點擊開始編程。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。

