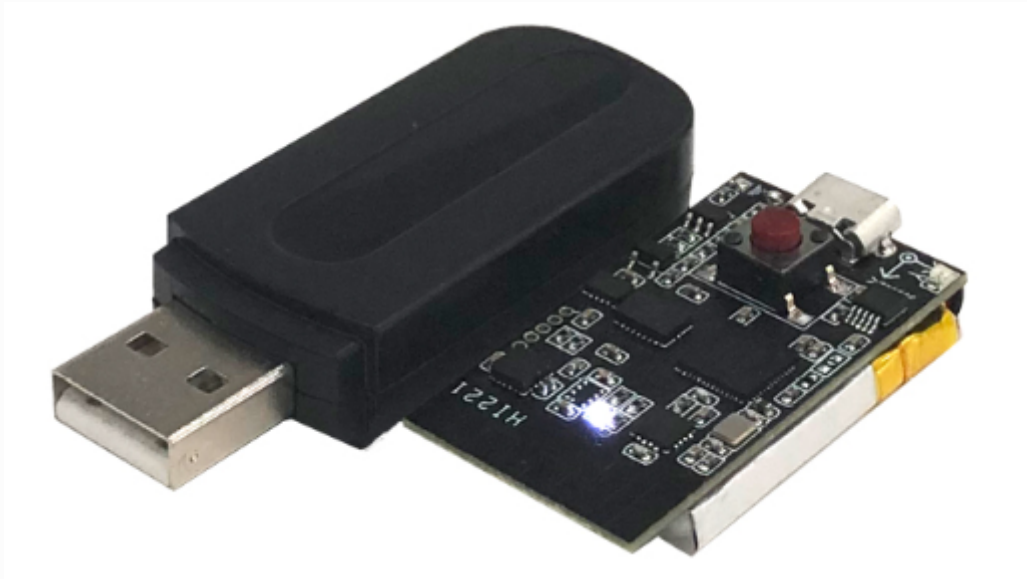


HI221/HI221GW 使用說明書

HI221 無線感測節點及 HI221GW接收器, Rev 1.0



HI221/HI221GW 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(節點)

硬體參數

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(UART)

模組數據接口參數(2.4G RF)

融合及校正算法

加速度陀螺儀校正

地磁校正

磁干擾分類

6軸和9軸模式區別

校正方法

參考系定義

序列埠通訊協議

數據包

數據包總覽

產品支持數據包列表

0X91(IMUSOL)

0x62(GWSOL)

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+URFR

AT+INFO

AT+ODR

AT+BAUD

AT+EOU

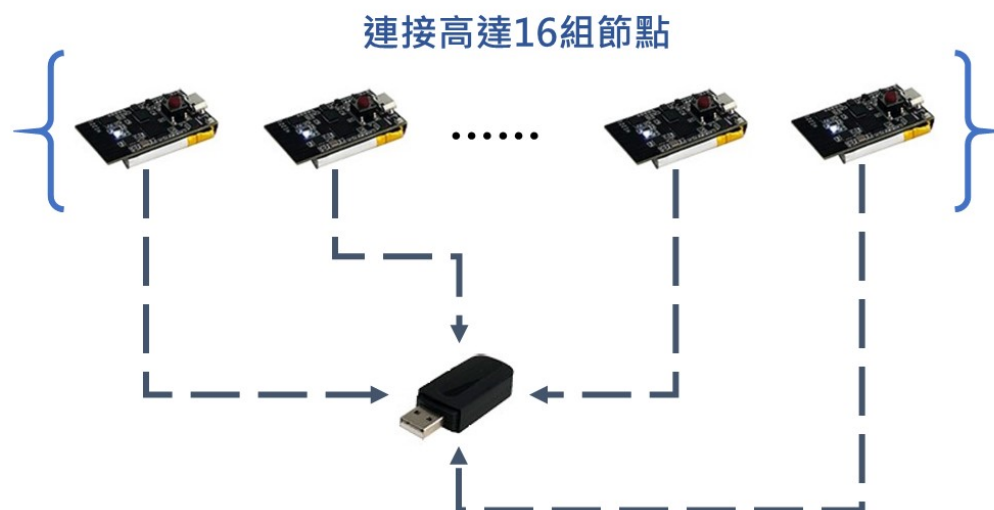
AT+RST

AT+GWID

附錄C - 韌體升級與恢復出廠設置

簡介

HI221是超核電子推出的一款低成本、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、三軸磁場感測器以及一款低功耗微處理器。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，包含橫滾角、俯仰角以及以相對的航向角。同時也可以輸出原始的感測器數據。HI221 由 和 組成。一個HI221GW可和最多16個HI221節點組成星形網絡結構。每個節點可輸出最高達100Hz的即時姿態數據。



特性

板載感測器

- 三軸陀螺儀, 最大量程: $\pm 2000^\circ/\text{s}$ 輸出速率 2000Hz
- 三軸加速度計, 最大量程: $\pm 8g$ 輸出速率 125Hz
- 三軸地磁場感測器, 最大量程: 800mG 內部採樣率 100Hz

數據處理

- 加速度出廠前經過校正
- 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

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: 120mA(RF Tx發射)

其他

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

硬體及尺寸(節點)

硬體參數

參數	值
輸出數據接口	UART(TTL 1.8V - 3.3V) 或者 2.4RF Radio
工作電壓	3.3V (± 100mV)
工作電流	30mA
待機電流	20uA
充電後平均工作時長	8h
溫度範圍	-20°C - 85 °C
最大線性加速度	0 - 115 \$m/s^2\$
尺寸	20 x 38 x 8.5mm (W x L x H)
板載感測器	三軸加速度計 三軸陀螺儀 三軸地磁場感測器

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	0.8°
橫滾角\俯仰角 - 動態	2.5°
運動中航向角精度(9軸模式下,無磁干擾,校正後)	3°

陀螺儀

參數	值
測量範圍	±2000°/s
非線性度	±0.1% (25°最佳)
噪聲密度	0.08°/s/ $\sqrt{\text{Hz}}$
採樣率	2000Hz

加速度計

參數	值
測量範圍	±8G
非線性度	±0.5% (25°最佳)
最大零點偏移	30mG
噪聲密度	250 $\mu\text{G}\sqrt{\text{Hz}}$
採樣率	125Hz

磁感測器參數

參數	值
測量範圍	±8Gauss
非線性度	±0.1%
採樣率	100Hz

模組數據接口參數(UART)

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

模組數據接口參數(2.4G RF)

參數	值
空中波特率	2Mbps
幀速率(每個節點均可達到)	100Hz
接收器最大連接節點數	16

融合及校正算法

加速度陀螺儀校正

每一個姿態感測器都單獨進行過全測量範圍內的校正和測試。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。

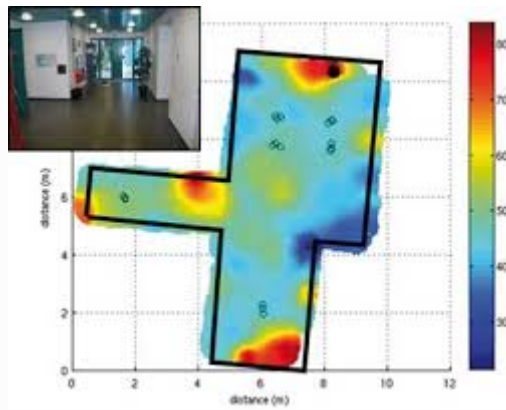
1. 陀螺儀自動校正需要在上電後靜止模組5s 左右以獲得最好的校正效果。如果上電5s內模組處於非靜止狀態或者緩慢轉動狀態則會陀螺零偏性能下降。
2. 姿態感測器內建陀螺零速檢測機制，當檢測到長時間內三軸陀螺速度均小於 $1^{\circ}/s$ 時，模組認為當前為靜止狀態，陀螺輸出為零偏，此時模組會將此時的陀螺讀數記錄下來作為零偏補償。所以
(既旋轉速度低於秒針平均轉速的 $1/6$)

地磁校正

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正的好，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。這種干擾不能被校正，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正算法加以很好的消除。	地磁校正

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正來消除。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)，即使校正後，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。	首次使用前需要校正地磁感測器

模組的自動地磁校正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正，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正。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，這種干擾是無法校正，即使校正成功，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)。

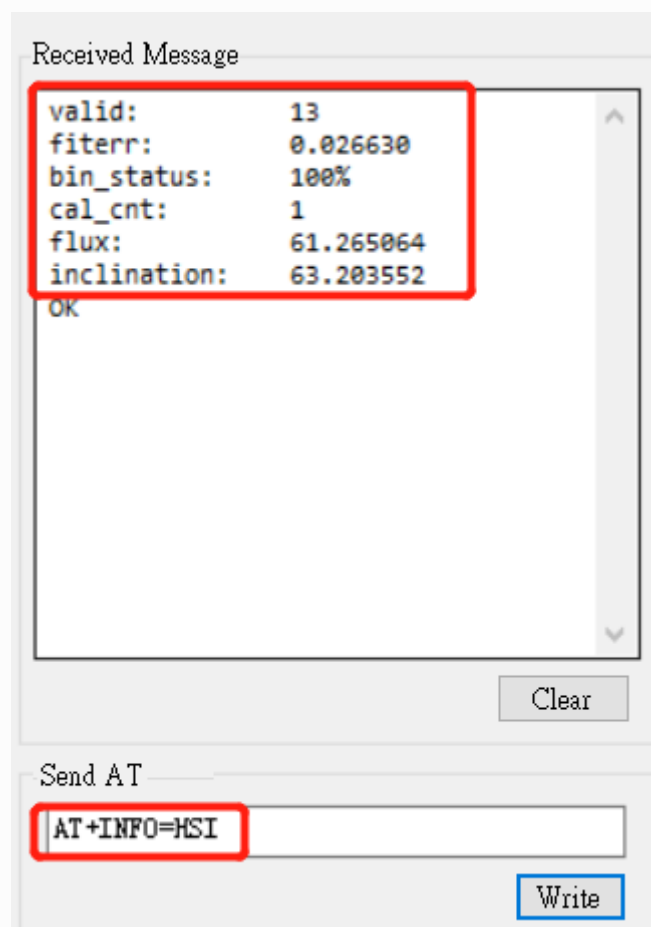
校正方法

本模組整合了主動無干預地磁校正算法,模組會自動收集地磁場資訊並進行硬磁軟磁校正參數估計,校正成功後校正資訊會保存在模組Flash上。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正參數。當首次使用模組並且需要使用9軸模式時,應進行如下校正操作:

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,即可完成校正。如果後面在同樣地磁環境下(同地點),則無需再次校正。如果始終沒能成功校正模組,說明周圍地磁場干擾比較大。

地磁校正狀態可以使用AT指令來查看:

發送 `AT+INFO=HSI` 指令,模組會打印當前地磁校正系統狀態:



參數顯示	意義	說明
valid	有效標誌	0: 不存在有效校正參數(沒有校正或者從來沒有校正成功過)。非0：地磁校正完成
fiterr	擬合殘差	殘差越小，說明參數擬合效果越好，通常在0.03以下說明校正結果已經足夠好。如果擬合結果始終>0.1，說明地磁干擾很大，最好再次校正以期得到更好的校正結果。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正參數。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正操作。

參考系定義

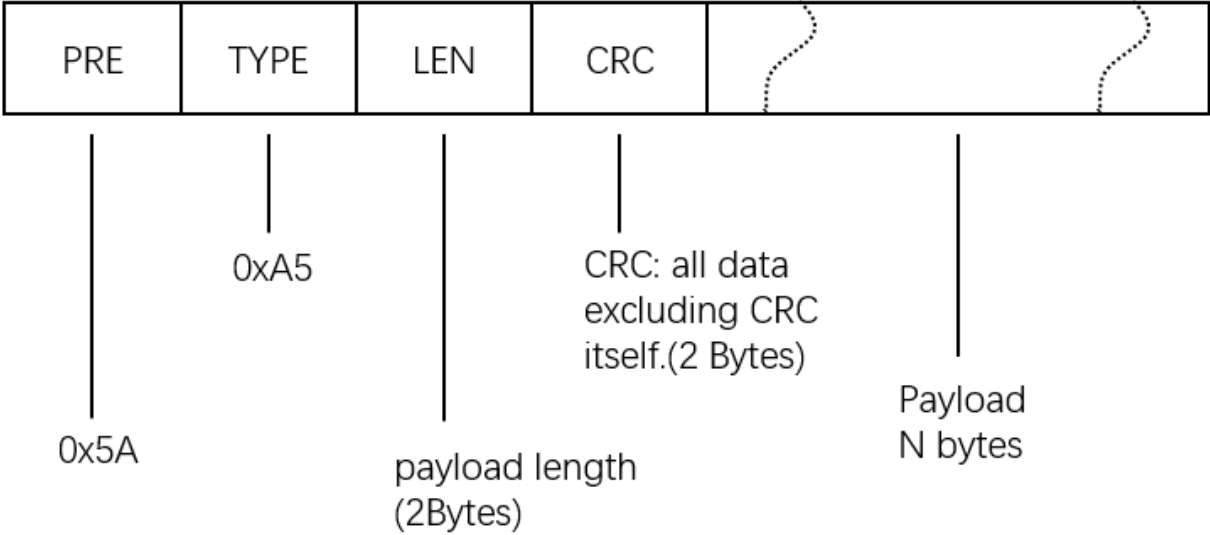
載體系使用 前-左-上(FLU)右手坐標系，地理坐標系使用 北-西-天(NWU)坐標系。其中歐拉角旋轉順序為ZYX(先轉Z軸，再轉Y軸，最後轉X軸)旋轉順序。具體定義如下：

- 繞 Z 軸方向旋轉: 航向角\Yaw\phi(ψ) 範圍: -180° - 180°
- 繞 Y 軸方向旋轉: 俯仰角\Pitch\theta(θ) 範圍: -90°-90°
- 繞 X 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。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°

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 PRE，TYPE，LEN，CRC 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 由若干個子數據包組成。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：

```
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 (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)	HI221輸出數據包
0x62	變長	GWSOL(無線節點數據集 合)	HI221GW輸出數據 包

產品支持數據包列表

下表列出所有產品支持的數據包, * 表示支持 -表示不支持

型號	91	62
HI221	*	-
HI221GW	*	*

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	-	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
24	float	12	deg/s	X,Y,Z軸的角速度
36	float	12	uT	X,Y,Z軸的磁場強度
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

0x62(GWSOL)

無線接收機支持此數據包。數據包前8個字節為接收機資訊。後面分為N個數據塊。每個數據塊描述一個節點的姿態數據(最大支持16個節點)。每個數據塊大小為76字節，數據結構同0x91。

此協議包數據量較大，建議將波特率調整至921600以獲得最高的幀率輸出。格式如下：

字節偏移	大小	類型	單位	說明
0	1	uint8_t	-	數據包標籤:0x62
1	1	uint8_t	-	GWID, 接收機網絡ID
2	1	uint8_t	-	N, 此幀包含節點數據塊個數
3	5	-	-	保留
----節點數據塊開始----	-	-	-	數據結構同0x91
8+76*N(N=0-15)	1	uint8_t	-	數據包標籤:0x91
9+76*N(N=0-15)	1	uint8_t	-	節點N的ID
10+76*N	10	-	-	保留
20+76*N	12	float	-	節點N三軸加速度
32+76*N	12	float	-	節點N三軸角速度
44+76*N	12	float	-	節點N軸磁場強度
56+76*N	12	float	-	節點N歐拉角
68+76*N	16	float	-	節點N四元數
----節點數據塊結束----	-	-	-	-----

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
HI221	0x91(IMUSOL)
HI221GW	0x62

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

```
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;                /* data packet tag */
4      uint8_t    id;
5      uint8_t    rev[6];            /* reserved */
6      uint32_t    ts;                /* timestamp */
7      float      acc[3];
8      float      gyr[3];
9      float      mag[3];
10     float      eul[3];            /* euler angles: Roll,Pitch,Yaw */
11     float      quat[4];           /* quaternion */
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。

```

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：

AT+ID

設置模組用戶ID

```
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

其中 $\left[\begin{array}{l} X \\ Y \\ Z \end{array}\right]_U$ 為旋轉後的 感測器坐標系下 感測器數據， $\left[\begin{array}{l} X \\ Y \\ Z \end{array}\right]_B$ 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+GWID

可通過AT+GWID指令配置，GWID屬性決定了接收器和節點的RF頻率，只有節點的GWID 和接收器的GWID相同時模組和接收器才能通訊。GWID相當於無線網段，當在同一地點使用多個接收機組成多個星形網絡時，必須保證每個接收器的GWID(網段)不同。

例 三個HI221節點和一個HI221GW接收機。 將HI221GW網段設置為GWID=3， 將3個HI221節點的自身ID分別設置為 0,1,2 並連接到HI221GW上：

接收機配置：

`AT+GWID=3`

節點0配置：

`AT+GWID=3`

`AT+ID=0`

節點1配置：

`AT+GWID=3`

`AT+ID=1`

節點2配置：

`AT+GWID=3`

`AT+ID=2`

最後所有接收機節點復位/重新上電生效。

附錄C - 韌體升級與恢復出廠設置

本產品支持升級韌體。

韌體升級步驟:

- 連接模組，打開上位機，將模組和上位機波特率都設置為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(...)選擇拓展名為.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。

Hi Firmware Updater



File

ch100\mdk\ch100\ch100.hex

..

Connect

Action

Write

Reset

Message

Protocol version: P1.2.0
Program Version:K1.4.0
Maximum packet length:256
Flash size: 480KB
DeviceID: 0x52832
Flash sector: 32768
connect successfully