

SparkNavi InertiaX Core · Datasheet

IMU600-V2

GNSS/INS 核心 · 三 IMU 陣列慣性模組

GNSS/INS Core · Triple-IMU Array Inertial Module

**0.015 °/h**陀螺 ARW
Gyro ARW**0.35 °/h**陀螺零偏不穩定性
Gyro bias instability**12 μ g**加速度零偏不穩定性
Accel bias instability**1000 Hz**最高輸出率
Max output rate**3 × IMU**故障偵測與剔除
Fault detection & exclusion

產品概述 Overview

IMU600-V2 是 SparkNavi InertiaX 的 GNSS/INS 慣性核心，以三顆 6 軸 MEMS IMU 組成 IMU 陣列，輸出陣列融合的角速度、比力與 $\Delta\theta / \Delta v$ ，並內建 AHRS、氣壓計、GPS PPS 時間同步與外部觸發。三顆 IMU 即時互相比對，單顆異常時自動剔除，輸出不中斷。另有 SPI 從機介面，可作為 ArduPilot 飛控的外接 IMU。

IMU600-V2 is the GNSS/INS inertial core of SparkNavi InertiaX. It combines three 6-axis MEMS IMUs into an IMU array and outputs fused angular rate, specific force and $\Delta\theta / \Delta v$, with a built-in AHRS, barometer, GPS PPS time synchronization and external trigger. The three IMUs are cross-checked in real time; a faulty IMU is excluded automatically without interrupting the output. A SPI slave interface lets it serve as an external IMU for ArduPilot flight controllers.

主要特色 Key Features

- 三顆 IMU 陣列融合，雜訊較單顆降低約 1.7 倍 IMU-array fusion, $\sim 1.7\times$ lower noise than a single IMU
- 即時故障偵測與自動剔除 Real-time fault detection and exclusion
- $\Delta\theta / \Delta v$ 輸出 (含 coning / sculling 補償) $\Delta\theta / \Delta v$ output with coning / sculling compensation
- 內建 AHRS，靜止時自動陀螺零偏校正 Built-in AHRS with automatic gyro bias calibration when stationary
- 多方位陀螺尋北，不需磁力計或 GNSS Multi-position gyrocompassing, no magnetometer or GNSS
- GPS PPS 時間對齊、外部觸發輸出 GPS PPS time alignment and external-trigger output
- 雙 UART 輸出，ASCII / Binary 協定 Dual UART output, ASCII / binary protocol
- SPI 飛控介面，支援 ArduPilot SPI flight-controller interface with ArduPilot support
- 加密簽章韌體更新 Encrypted, signed firmware updates

1 陀螺儀 Gyroscope (IMU Array fused output)

項目 Parameter	典型值 Typ.	單位 Unit
量程 Measurement range	±300	°/s
角度隨機漫步 Angle random walk (ARW)	0.015	°/√h
雜訊密度 Noise density	0.00025	°/s/√Hz
零偏不穩定性 Bias instability	0.35	°/h

2 加速度計 Accelerometer (IMU Array fused output)

項目 Parameter	典型值 Typ.	單位 Unit
量程 Measurement range	±16	g
速度隨機漫步 (X / Y) Velocity random walk (X / Y)	0.02	m/s/√h
速度隨機漫步 (Z) Velocity random walk (Z)	0.1	m/s/√h
零偏不穩定性 Bias instability	12	μg

3 單顆 IMU 參考值 Single IMU Reference (Typ.)

IMU 陣列融合輸出相較單一 IMU，各項雜訊指標改善約 1.7 倍。The IMU Array fused output improves every noise figure by about 1.7× over a single IMU.

項目 Parameter	單顆 Single IMU	陣列融合 IMU Array	改善 Improvement
陀螺 ARW (Z) Gyro ARW (Z)	0.025 °/√h	0.015 °/√h	1.7×
陀螺零偏不穩定性 (Z) Gyro bias instability (Z)	0.56 °/h	0.33 °/h	1.7×
加速度 VRW (X) Accel VRW (X)	0.033 m/s/√h	0.019 m/s/√h	1.7×
加速度零偏不穩定性 (X) Accel bias instability (X)	19 μg	11 μg	1.7×

4 姿態 AHRS Attitude (Static)

項目 Parameter	典型值 Typ.	單位 Unit
姿態輸出 Attitude output	Roll / Pitch / Heading Quaternion & Euler	—
Roll / Pitch 靜態雜訊 (1 σ) Roll / pitch static noise (1 σ)	0.003	°
Roll / Pitch 靜態峰對峰 (1 h) Roll / pitch static peak-to-peak (1 h)	0.02	°
靜止航向保持 (1 h) Static heading hold (1 h)	< 0.02	°
陀螺零偏自動校正 Automatic gyro bias calibration	開機及每次靜止 10 s At power-up / when stationary, 10 s	—

航向為相對航向（不使用磁力計），可由指令設定初始航向。靜止航向保持為自動陀螺零偏校正開啟、機體靜止時的實測值；運動中的航向漂移由陀螺零偏不穩定性決定。

Heading is relative (no magnetometer); the initial heading can be set by command. Static heading hold is measured with automatic gyro bias calibration enabled while stationary; heading drift in motion is governed by gyro bias instability.

5 陀螺尋北 North Finding (Gyrocompassing)

項目 Parameter	典型值 Typ.	單位 Unit
尋北方式 Method	多方位靜態陀螺尋北 Multi-position static, no magnetometer / GNSS	—
尋北精度 (1 σ · 緯度 23°) Accuracy (1 σ , latitude 23°)	0.76	°
對準時間 Alignment time	約 25 (4~5 方位 × 5) approx. 25 (4~5 headings × 5)	min
對準後輸出 Output after alignment	AHRS 即時真航向 Real-time true heading	—

尋北利用地球自轉水平分量，精度約與 $1/\cos(\text{緯度})$ 成正比，高緯度地區會變差。對準期間機體需平放於穩固、無振動的平面，各方位間繞垂直軸轉約 90°（角度不需精確）；對準後以指令設定 AHRS 航向，之後即時輸出真航向。

North finding uses the horizontal component of Earth rotation; accuracy scales roughly with $1/\cos(\text{latitude})$. The unit rests on a rigid, vibration-free surface and is turned about 90° about the vertical axis between headings (the angle need not be exact). After alignment the AHRS heading is set by command and true heading is output in real time.

6 氣壓計 Barometer

項目 Parameter	典型值 Typ.	單位 Unit
量測範圍 Pressure range	300 ~ 1250	hPa
絕對精度 (300~1100 hPa · -5~65 °C) Absolute accuracy (300~1100 hPa, -5~65 °C)	±0.3	hPa
相對精度 (700~1100 hPa · 15~55 °C) Relative accuracy (700~1100 hPa, 15~55 °C)	±0.06 (≈ ±0.5 m) ±0.06 (≈ ±0.5 m)	hPa
溫度係數 Temperature coefficient of offset	±0.5	Pa/K
長期穩定性 (12 個月) Long-term stability (12 months)	±0.1	hPa
氣壓雜訊 (RMS · 50 Hz 輸出) Pressure noise (RMS, 50 Hz output)	0.15 (≈ 1.3 cm)	Pa
輸出率 (可設定) Output rate (configurable)	10 / 25 / 50 (預設) / 100 10 / 25 / 50 (default) / 100	Hz
輸出資料 Output data	氣壓、溫度、氣壓高度 (ISA) Pressure, temperature, barometric altitude (ISA)	hPa / °C / m

氣壓計輸出率與 IMU 輸出率各自獨立，可在 GUI 或以指令設定並寫入裝置保存。輸出率越低，內部過取樣越高、雜訊越低；100 Hz 適合需要低延遲的應用。

The barometer output rate is independent of the IMU output rate and can be set from the GUI or by command and saved to the device. Lower rates use more internal oversampling and give lower noise; 100 Hz suits low-latency applications.

7 機構、電氣與環境 Mechanical, Electrical & Environmental

項目 Parameter	典型值 Typ.	單位 Unit
供電電壓 Supply voltage	+5.0	V
功耗 Power consumption	0.73	W
尺寸 (長 × 寬 × 高) Dimensions (L × W × H)	44.0 × 30.6 × 14.45	mm
重量 Weight	25	g
工作溫度 Operating temperature	-40 ~ +85	°C
儲存溫度 Storage temperature	-40 ~ +85	°C

8 輸出與介面 Output & Interface

項目 Parameter	規格 Specification
感測器 Sensors	3 × 6 軸 MEMS IMU + 1 × 氣壓計 3 × 6-axis MEMS IMU + 1 × barometer
內部取樣率 Internal sample rate	每顆 IMU 1475 Hz 1475 Hz per IMU
IMU 輸出率 IMU output rate	5 / 10 / 25 / 50 / 100 / 200 / 400 / 500 / 1000 Hz
氣壓計輸出率 Barometer output rate	10 / 25 / 50 / 100 Hz
外部觸發 External trigger	每個上升緣輸出一筆，建議 1 ~ 1000 Hz One output per rising edge, 1 ~ 1000 Hz recommended
輸出資料 Output data	角速度、比力、 $\Delta\theta$ 、 Δv 、溫度、姿態 (AHRS)、氣壓 Angular rate, specific force, $\Delta\theta$, Δv , temperature, attitude (AHRS), pressure
座標系 Coordinate frame	機體 FRD (前、右、下) Body FRD (Forward-Right-Down)
主介面 Primary interface	UART1 · 3.3 V TTL · 460800 ~ 2000000 bps · ASCII / Binary UART1, 3.3 V TTL, 460800 ~ 2000000 bps, ASCII / binary
第二輸出 Secondary output	UART2 · 3.3 V TTL · 115200 ~ 2000000 bps · 僅輸出 UART2, 3.3 V TTL, 115200 ~ 2000000 bps, output only
飛控介面 Flight-controller interface	SPI 從機 · 3.3 V · Mode 3 / Mode 0 · 建議 SCK 2 MHz；每次讀取 128 byte 封包 (CRC-16)，含合併與三顆 IMU 的 $\Delta\theta$ / Δv SPI slave, 3.3 V, Mode 3 / Mode 0, 2 MHz SCK recommended; one 128-byte CRC-16 packet per read with fused and per-IMU $\Delta\theta$ / Δv
飛控軟體支援 Flight-software support	ArduPilot (以 Copter 4.7.1 於 Blue2 飛控驗證)；使用時 IMU 輸出率須設為 1000 Hz；驅動由 SparkNavi 提供 ArduPilot (verified with Copter 4.7.1 on Blue2); IMU output rate must be set to 1000 Hz; driver supplied by SparkNavi
時間同步 Time synchronization	GPS PPS 輸入 (3.3 V · 上升緣 · 1 Hz ± 1000 ppm · 脈寬 ≥ 1 μs) · 輸出時間格對齊 PPS 上升緣 GPS PPS input (3.3 V, rising edge, 1 Hz ± 1000 ppm, pulse width ≥ 1 μs); output grid aligned to the PPS rising edge
時間戳解析度 Timestamp resolution	1 μs
冗餘 Redundancy	三顆 IMU 即時故障偵測與自動剔除 Real-time fault detection and exclusion across 3 IMUs

接 ArduPilot 時，請將 IMU600-V2 的 SPI 輸出設為 ardupilot 並把 IMU 輸出率設為 1000 Hz：ArduPilot 起飛前檢查要求陀螺後端速率不低於主迴圈速率的 1.8 倍 (400 Hz 迴圈需 720 Hz 以上)，200 / 400 / 500 Hz 無法通過檢查。200 / 400 / 500 Hz 適用於 UART 或其他主機；SPI 與 UART 輸出互相獨立。

For ArduPilot, set the SPI output to ardupilot mode and the IMU output rate to 1000 Hz: ArduPilot's pre-arm check requires the gyro backend rate to be at least 1.8× the main-loop rate (≥ 720 Hz for a 400 Hz loop), so 200 / 400 / 500 Hz cannot arm. 200 / 400 / 500 Hz are intended for UART and other hosts; the SPI and UART outputs are independent of each other.

9 性能數據 Performance Data

IMU600-V2 Allan Deviation — IMU Array

Static at room temperature · 25.2 h record · 5 Hz $\Delta\theta / \Delta v$ · overlapping Allan deviation

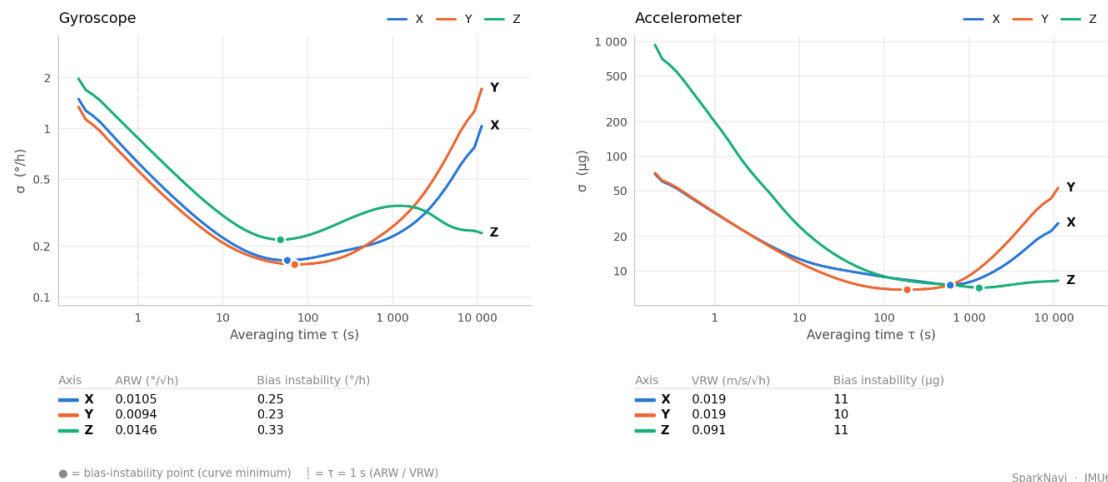


圖 1 IMU 陣列融合輸出 Allan deviation (室溫靜置 25 h) Figure 1 IMU Array Allan deviation (25 h static, room temperature)

IMU600-V2 Allan Deviation — Individual IMUs vs IMU Array

Static at room temperature · 25.2 h record · 5 Hz $\Delta\theta / \Delta v$ · overlapping Allan deviation

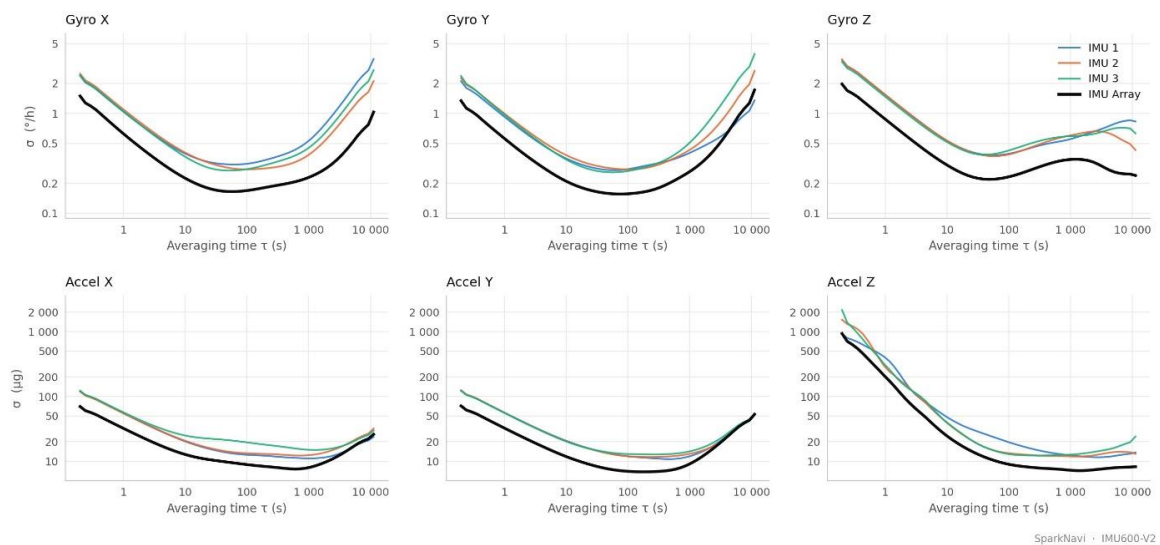


圖 2 單顆 IMU 與 IMU 陣列比較 Figure 2 Individual IMUs vs IMU Array

SparkNavi IMU600 — AHRS static stability

Static on a bench · 59.5 min record (first 60 s after AHRS reset excluded) · IMU-only AHRS, no magnetometer

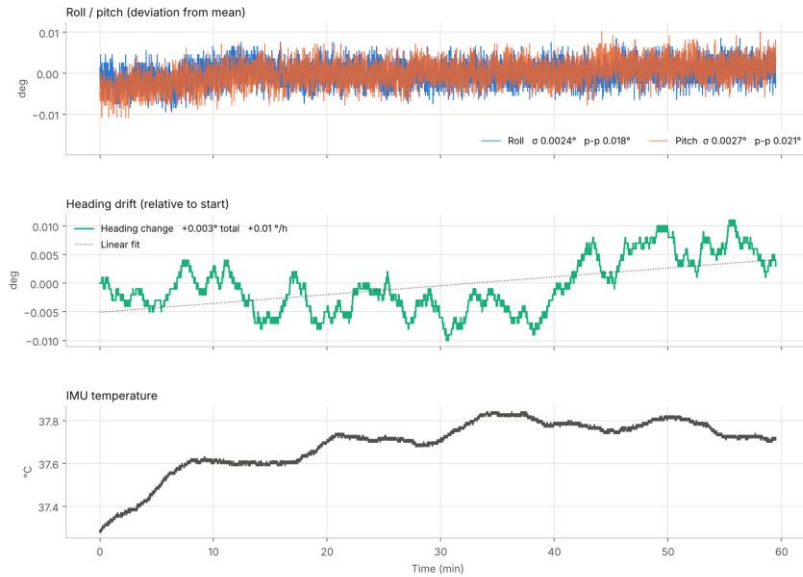


圖 3 AHRS 靜態穩定度 (室溫靜置 1 h) Figure 3 AHRS static stability (1 h static, room temperature)

10 測試條件與說明 Test Conditions & Notes

- Allan deviation：室溫靜置 25 小時，輸出 5 Hz $\Delta\theta / \Delta v$ ，IMU 陣列融合輸出。ARW / VRW 取 $\tau = 1$ s；零偏不穩定性 = Allan deviation 最小值 $\div 0.664$ 。

Allan deviation: 25 h static at room temperature, 5 Hz $\Delta\theta / \Delta v$ output, IMU Array fused output. ARW / VRW at $\tau = 1$ s; bias instability = Allan deviation minimum $\div 0.664$.

- 陀螺 Z 軸在 $\tau \approx 10^3$ s 的起伏為 MEMS 陀螺常見的相關零偏雜訊，不影響零偏不穩定性；三顆 IMU 各自獨立，陣列融合後已降低約 $\sqrt{3}$ 倍。長 τ 段 ($> 10^3$ s) 包含室溫日夜變化的影響。

The bump in the gyro Z curve around $\tau \approx 10^3$ s is correlated bias noise typical of MEMS gyros and does not affect bias instability; it is independent in each IMU and reduced by about $\sqrt{3}$ in the IMU Array output. The long- τ region ($> 10^3$ s) includes day/night room-temperature variation.

- AHRS：室溫靜置 1 小時，輸出 5 Hz，排除 AHRS 重置後前 60 s 收斂時間；實測 roll / pitch σ 0.0024° / 0.0027°，航向 1 小時變化 0.003° (最大偏離 0.011°)。

AHRS: 1 h static at room temperature, 5 Hz output, first 60 s after AHRS reset excluded; measured roll / pitch σ 0.0024° / 0.0027°, heading change 0.003° over 1 h (max deviation 0.011°).

- 尋北：台南 (緯度 23.0°) 室內桌面，5 個方位各約 5 分鐘，輸出 50 Hz，共 29 分鐘；估計誤差 1σ 0.76°，實測地球自轉水平分量 13.81 °/h (理論 13.84 °/h)。

North finding: indoor bench in Tainan (latitude 23.0°), 5 headings of about 5 min each at 50 Hz, 29 min total; estimated 1σ error 0.76°, measured horizontal Earth rate 13.81 °/h (theory 13.84 °/h).

- ArduPilot：SparkNavi Blue2 飛控 + ArduPilot Copter 4.7.1，IMU600-V2 為第三顆 SPI IMU，輸出率 1000 Hz、SPI 2 MHz；EKF3 三顆 IMU 同時使用，通過起飛前檢查。

ArduPilot: SparkNavi Blue2 flight controller with ArduPilot Copter 4.7.1; IMU600-V2 as the third SPI IMU at 1000 Hz output and 2 MHz SPI clock; EKF3 uses all three IMUs and the pre-arm checks pass.

- 氣壓計：量測範圍、精度、溫度係數與長期穩定性為氣壓感測元件規格，絕對精度不含組裝焊接後的偏移；氣壓雜訊為室內靜置、50 Hz 輸出實測值。氣壓高度以國際標準大氣 (ISA，海平面 1013.25 hPa) 換算。

Barometer: range, accuracy, temperature coefficient and long-term stability are pressure-sensor element specifications; absolute accuracy excludes post-assembly soldering offset. Pressure noise is measured indoors, static, at 50 Hz output. Barometric altitude is computed with the International Standard Atmosphere (ISA, 1013.25 hPa at sea level).

- Typ. 為典型值，非保證值；規格如有變更，恕不另行通知。

Typ. = typical value, not guaranteed. Specifications are subject to change without notice.

11 設定與監看軟體 Configuration & Monitoring Software

SparkNavi IMU600 GUI (Windows) 提供即時監看、參數設定與校正工具，不需撰寫程式即可完成設定與驗證。

The SparkNavi IMU600 GUI (Windows) provides live monitoring, configuration and calibration tools, so the unit can be set up and verified without writing code.

- 即時儀表板：AHRS 姿態、3D 模型、三顆 IMU 狀態、角速度 / 加速度 / 氣壓曲線 Live dashboard: AHRS attitude, 3D model, per-IMU status, rate / acceleration / pressure plots
- 參數設定：輸出率、輸出內容、格式、鮑率、UART2、SPI 飛控輸出，寫入裝置保存 Configuration: output rate, content, format, baud rate, UART2, SPI flight-controller output; saved to the device
- 陀螺尋北精靈：逐步提示轉向與靜置，完成後一鍵設定真航向 Gyrocompass wizard: step-by-step guidance, one click to set true heading
- 加速度六面校正、原始資料錄製、加密韌體更新 Accelerometer six-face calibration, raw data recording, encrypted firmware update

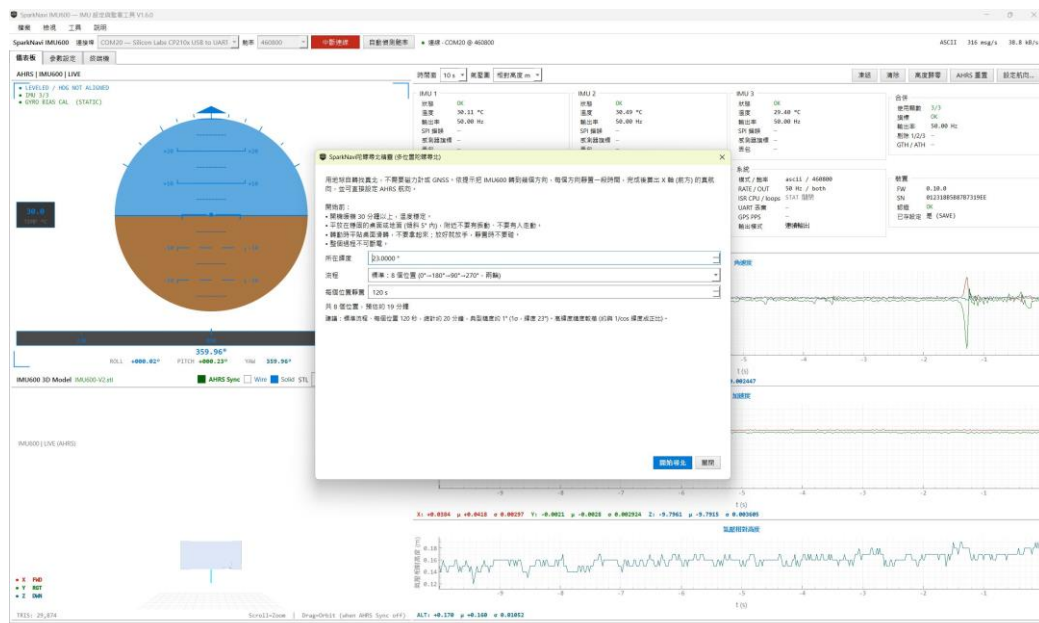


圖 4 即時儀表板與陀螺尋北精靈 Figure 4 Live dashboard and gyrocompass wizard

SparkNavi IMU600 — IMU 設定與監控工具 V1.6.0

檔案檢視工具說明

SparkNavi IMU600 連接埠 COM20 — Silicon Labs CP210x USB to UART 波特率 460800 自動偵測波特率 連接 COM20 @ 460800

儀表板參數設定終端機 讀取裝置設定 套用變更 還原預設 寫入裝置 (SAVE) 恢復出廠 (FACTORY)

通訊

參數指令設定值裝置目前值說明

傳輸格式 MODE ASCII ascii 說明: ascii = \$SPNV* 文字 (XOR-8); binary = D6 44 二進位 (CRC-16) · 指令一律用 ASCII 送

波特率 BAUD 460800 460800 說明: 裝置回 ACK 後切換 · GUI 自動調整切 · 開機點半要 SAVE 才會保留

輸出

參數指令設定值裝置目前值說明

IMU 輸出率 RATE 50 Hz 50 RAW / 合併 / AHRS 的輸出頻率 (Hz)

IMU 輸出內容 OUT both both raw = 三軸原始 \$SPNVIMURAW; fused = 合併 \$SPNVIMU; both = 兩者; none = 不輸出

AHRS 輸出 AHRS 開啟 1 \$SPNVAHRS 姿態 (Mahony) · 頻率同 IMU 輸出率

氣壓計輸出 BARO 開啟 1 \$SPNVBARO (hPa / °C / m)

氣壓計輸出率 BRATE 50 Hz 50 BMP581 ODR

統計輸出 (1 Hz) STAT 關閉 0 \$SPNVSTAT <3 / \$SPNVFLUS / \$SPNVSYS — 儀表板的錯誤統計數與系統卡需要它

心跳輸出 (1 Hz) HB 關閉 0 \$SPNVHB 跳鐘用

UART2 第二輸出埠 (fw 0.8.0)

參數指令設定值裝置目前值說明

UART2 輸出內容 U2OUT ☒ raw ☐ fused ☐ ahrs ☐ baro ☐ stat raw 可選擇 · raw = 三軸 IMU · fused = 合併 · ahrs = 姿態 · baro = 氣壓計 · stat = 1 Hz 統計 + PPS · 全不勾 = 不輸出

UART2 格式 U2MODE Binary (D6 44) binary 接收 binary (D6 44); 格式與 UART1 相同

UART2 波特率 U2BAUD 460800 460800 UART2 只輸出 · 不收指令; 設定都從 UART1 (透過 GUI) 下

圖 5 參數設定畫面 Figure 5 Configuration page

聯絡資訊 Contact

Company	SparkNavi · XIANG CHENG Electronic Co., Ltd. (向成電子有限公司)
Address	No. 41, Wenxian 1st Rd., North Dist., Tainan City 704, Taiwan (R.O.C.)
Tel	+886-6-3586207
Fax	+886-6-3581363
Email	ethan@robotlab.com.tw