

# 最新 MEMS 慣性模組如何幫助克服應用開發挑戰

■作者： Jay Esfandyari/ 意法半導體

## 前言

採用微機電系統 (MEMS) 的慣性測量單元 (IMU)，其定義就是一種系統級封裝晶片 (SiP)。其中包含一個加速儀機械感測元件、一個陀螺儀機械感測元件，還有一個能把加速和角速度轉換成可讀取格式的電子電路系統 (也就是所謂的「腦部」)。MEMS 慘性測量單元已經發展了幾十年，已應用於部分利基市場。不過一直要到 MEMS 技術達到一定成熟度，能支援低成本小型裝置，這類慣性測量單元廣泛建置在各種應用的情況才得以大幅增加。

雖然對於簡單動作偵測、計步以及直式／橫式螢幕等需求沒那麼高的應用來說，這類慣性測量單元的效能表現已相當令人滿意，感測器應用在可攜式、穿戴式與物聯網裝置崛起後，市場急迫須要進一步提升效能並降低電流消耗。最新一代的 MEMS 慢性測量單元能滿足這些需求。

接下來我們將討論 MEMS 慢性測量單元的最新技術進展，介紹這類產品如何協助硬體與軟體工程師縮短開發時程，克服長期以來所面臨的挑戰。

現代慣性測量單元如何滿足新興應用充滿挑戰

性的需求？

新興 MEMS 感測器應用的要求極高。這代表現代的慣性測量單元必須盡量減少體積和耗電，同時還要提供高敏感度、卓越的準確度、高解析度和超低雜訊位準。下圖為一款  $2.5 \times 3 \times 0.8$  微型封裝現代慣性測量單元的結構圖。

除了上述要求，最新款慣性測量單元還提供嵌入式運算法以協助工程人員縮短設計與開發時間。表 1 列出一款現代慣性測量單元的主要參數及功能。

我們將討論以上表格裡的部分功能，解釋它們如何協助工程人員設計出適合他們產品的慣性測量單元，加速開發出各種應用。

## 裝置介面

有兩種介面 (SPI 和 I2C) 可提供設計人員更多彈性來讀取感測器資料。此外慣性測量單元也同時使用陀螺儀和加速儀，來支援光學防手震 (OIS) 和電子防手震 (EIS) 應用。因此，還有一個專用的輔助 SPI 介面來輸出光學防手震資料。

圖 1：一款現代慣性測量單元的結構圖 (系統級封裝)；尺寸： $2.5 \times 3 \times 0.86$  mm；封裝：LGA-14

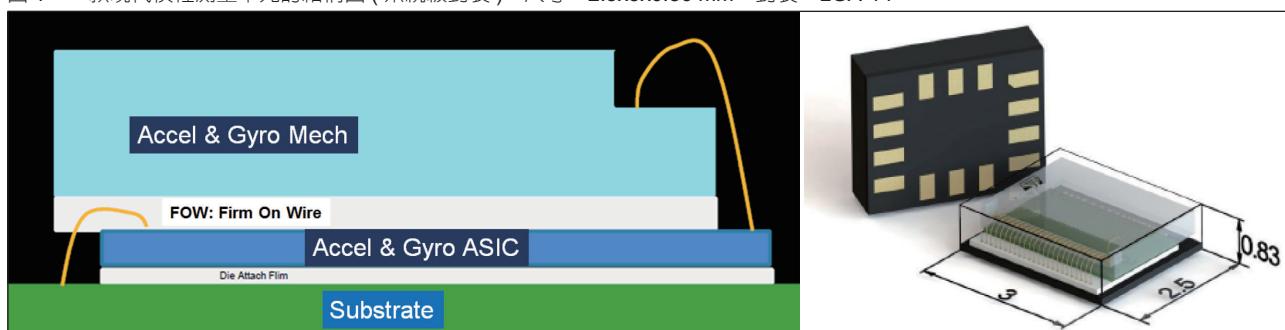


表 1：現代慣性測量單元的主要規格：mdps 指每秒毫度

參數	說明
輸出	1 輔助串列週邊介面 (SPI)，1 SPI/I2C
封裝 [mm3]	LGA, 2.5 x 3 x 0.83 14L
光學防手震 (OIS) 功能	全面支援 OIS/ EIS
溫度感測器	有
電子防手震 (EIS) / 光學防手震的輔助串列週邊介面	有
電流消耗總量 [mA]	0.65 ( 高效能模式 ) 0.45 ( 正常模式，輸出資料速率 =200Hz) 0.29 ( 低耗電模式，輸出資料速率 =50Hz)
線性加速敏感度 (mg/LSB)	0.061( 典型值 @ FS = ±2)
角速度敏感度 (mdps/LSB)	4.375( 典型值 @ FS = ±125)
高效能模式下加速雜訊密度 ( $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ )	90 ( 典型值 @ FS = ±2)
陀螺儀雜訊密度 (mdps/ $\sqrt{\text{Hz}}$ )	<4 ( 高效能模式下典型值 )
角速度典型零速率電平變化 vs.	±0.015( 典型值 )
溫度 (dps/oC)	
輸出資料速率 [Hz]	加速儀：1 to 6664 陀螺儀：13 to 6664
FIFO 深度 (Kbytes)	<4 ( 高效能模式下典型值 )
嵌入式數位功能	自由掉落、喚醒、6D 定向、單擊與雙擊、活動／無活動、計步器、感測器同步、資料收集、光學防手震

## 慣性測量單元提供低雜訊，可改善複雜應用程式的準確度

對很多應用來說，感測器資料的雜訊位準必須非常低。然而以下兩種極受歡迎應用所需要的慣性測量單元，則必須提供極低雜訊位準和高度的零偏穩定性 (bias stability)。

**擴增實境 (AR)：**由於近年來 MEMS 慢性測量單元技術有所進展，可攜式裝置開始對擴增實境功能產生濃厚興趣。擴增

## 影像穩定意：電子防手震和光學防手震

MEMS 慢性測量單元最主要的好處之一，就是它的效能表現適合用在挑戰度高的光學防手震和電子防手震應用。圖 2a 和 2b 解釋了光學防手震連線是如何作用。

在圖 2a 裡面，裝置可透過專用的 SPI 介面輸出光學防手震資料。它能為光學防手震應用提供專用的可組態訊號處理路徑。使用者介面 (UI) 訊號處理路徑完全獨立於光學防手震的部分之外，可透過嵌入裝置內部的 FIFO 功能加以讀取。

圖 2b 說明了慢性測量單元所提供的第二種解決方案。光學防手震應用的感測器資料，可直接傳送到主機板上的應用程式處理器 (AP)。它也可以將資料儲存在嵌入式 FIFO，然後從 FIFO 讀取所有資料表單再提供給應用程式處理器。

圖 2a：透過專用 SPI 介面輸出光學防手震資料

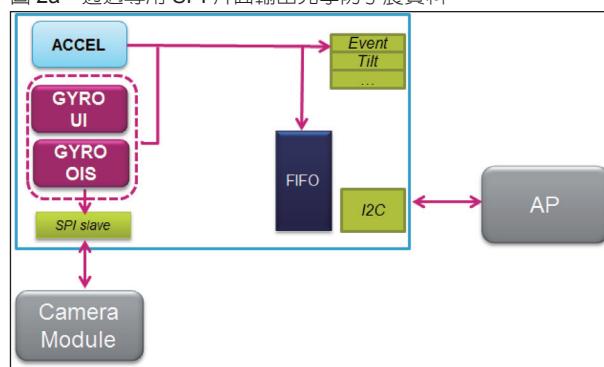
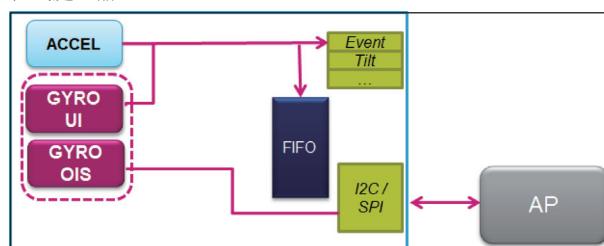


圖 2b：光學防手震資料可直接或透過嵌入式 FIFO，傳送到應用程式處理器



實境功能，是將圖像、音訊和其他感測強化功能重疊在現實環境上以進行互動，並即時顯示在螢幕上以便互動與操縱。

室內定位：想在 GPS 資料不足或缺乏，無法提供正確及可靠定位資料的地方建置室內定位功能，這時 MEMS 慣性測量單元就會扮演重要角色。行人航位推算 (PDR) 是室內定位功能的主要構件，主要是靠感測器提供正確資料，才能計算新的位置和方位。慣性測量單元的效能和準確度，對行人航位推算解決方案的準確度來說是相當關鍵的。

最新型的慣性測量單元提供低雜訊陀螺儀與加速儀，藉此解決這方面的問題。從前面的表 1 可看出加速儀和陀螺儀的低雜訊位準。

## 嵌入式運算法有助於縮短設計開發時間

MEMS 慣性測量單元的嵌入式特性，讓部分應用可以免除程式碼開發的必要。有了這些功能，軟體工程師便不必為了嵌入應用撰寫程式碼，有助於縮短應用程式開發週期。舉例來說，過去計步器應用程式須要硬體和軟體工程師花上好幾個月、甚至數年開發程式碼並進行測試。然而現在只要利用嵌入了計步器運算法的 MEMS 慣性測量單元就能大幅減少這方面的工作，工程師只須在裝置暫存器中設定計步器應用程式相關參數即可。

現代 MEMS 慣性測量單元的設計，已完全適用於 Android 系統並提供以下晶載功能：

### 事件偵測中斷 (完全可組態)

慣性測量單元提供事件偵測中斷功能，可幫助工程師建置各種應用而無須開發任何程式碼。嵌入的事件偵測中斷如下：

1. 自由掉落：只利用加速儀資料。如果所有三個軸的加速都低於預先設定的臨界值，就會產生中斷。
2. 喚醒：當至少一個軸的加速超過預先設定的臨界值，就會產生中斷。
3. 6D 與 4D 定向偵測：只利用加速儀資料，而且有

能力偵測裝置在空間中的方位，讓節能程序實施起來更為簡易，手持裝置也能自動進行影像旋轉。當裝置從一個方位換到不同方位，就會產生中斷。為了辨識方位的變化，必須符合以下狀況：

- 有一軸高於臨界值，兩軸低於臨界值 (已知區域)
- 已知區域和先前不同。

可透過嵌入慣性測量單元的專用暫存器來配置臨界值。

**4. 單擊與雙擊：**裝置經過配置後，只要任何方向遭到敲擊 (單次或雙次) 就會在專用針腳上輸出中斷訊號。開發人員可自行配置臨界值和用來辨識雙擊的兩個事件間隔時間。建議的單擊和雙擊輸出速率 (ODR) 為 400Hz 和 800Hz。

**5. 喚醒到休眠：**利用狀態的變化辨識活動／休眠 (又稱作活動／無活動)。使用者設定輸出速率後，如果特定時間內所有三軸的加速資料都低於特定臨界值，裝置就會進入喚醒到休眠 (Wake-to-Sleep) 模式 (裝置最低輸出速率 12Hz)。如果裝置進入休眠 (無活動) 模式，且至少有一軸的加速超過臨界值，那麼裝置就會進入休眠到喚醒模式 (又稱為喚醒)。

以上所有功能均可在低於 1600Hz 的輸出速率下並行且正確運作。每個事件都可透過裝置的兩個中斷針腳 (INT1 和 INT2) 產生中斷訊號。

## 能耗可忽略且效能極高的特定 IP 區塊

為了近一步降低系統現有整體能耗，同時大幅節省開發人員所需時間，新款的慣性測量單元還包含部分嵌入式 IP 區塊。以下為兩種廣為使用的功能：

**計步器功能：**步伐偵測器和步伐計算器：嵌入的計步器只利用加速儀資料。它能在偵測到步伐時產生中斷。還會計算步伐事件，最多能儲存 65535 步 (16 位元)。步伐數目的重設和運算法重設是各自獨立的。最低臨界值和操作全規模範圍均可自行配置。

**傾斜：**傾斜功能已建置於硬體中，只利用加速

儀資料以同時達到超低能耗和穩健度的目標。它的根據是，每次裝置傾斜度改變就會觸發事件。若要客製化使用者體驗，可透過下列方式配置傾斜功能：

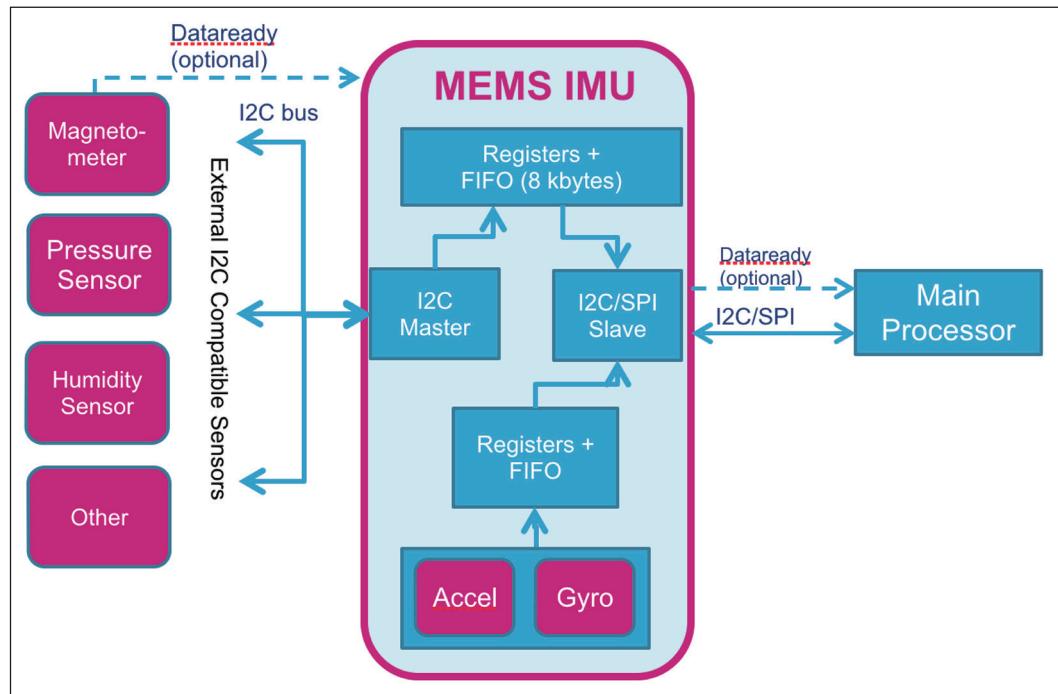
- 可程式的平均視窗／事件時間。
- 可程式的中斷事件產生角度臨界值（預設為35°）。

當裝置啟動至少兩秒後，傾斜度改變35度以上，事件就會產生中斷。傾斜功能可用在不同情境。舉例來說，當手機放在口袋裡，且使用者由坐姿改為站姿，或從站姿改為坐姿時，就會觸動中斷功能。不過當手機放在口袋中而使用者正在行走、跑步或爬樓梯，則不致觸動中斷功能。

## 以慣性測量單元做為感測器中樞

最新型慣性測量單元最主要的優點之一，就是嵌入式的感測器中樞功能。慣性測量單元提供硬體彈性空間，能以不同模式連結針腳和外部感測器，藉此擴充慣性測量單元的功能性。感測器中樞最多可提供6個感測器使用：2個內部感測器（加速儀和陀螺儀）和4個外部感測器。上圖是以慣性測量單位做為感測器中樞的圖解。慣性測量單元提供主要的I<sup>2</sup>C組態，以連結外部感測器並收集資料。兩個內部感測器所收集到的資料，可同時儲存在嵌入式FIFO裡。有兩種選項可觸動主要的I<sup>2</sup>C，從外部感測器收集資料：

- 和內部資料備妥（data-ready）訊號（加速儀或陀螺儀）達成同步。



- 跟來自其中一個感測器的外部訊號達成同步（專用PAD）。

這種感測器中樞的優點包括資料連貫、資料同步、佈局與選路更為簡易，而且能降低整體系統能耗。

## 結論

採用MEMS的最新型慣性測量單元，不但功能大為提升，還能幫助系統設計和應用程式開發人員大幅縮短設計和開發時間。這類慣性測量單元的價格已大幅降低，效能和嵌入式功能卻大大提升。新型的慣性測量單元已協助硬體和軟體工程師實現新的應用概念。新一代的MEMS慣性測量單元將繼續提供新增功能並提升效能，以滿足系統工程師和應用程式開發人員越來越高的期待。CTA