

國立臺北大學電機工程學系專題報告

利用慣性測量單元開發人體步態之感測網路開發

**The network development of body gait analysis, using inertial
sensor-based methods unit (IMU)**

組員：何信昱、賴以昕

指導老師：楊棧雲 博士

執行期間：104 年 9 月至 105 年 6 月

1. 摘要

本專題志在設計一套可使多個感應器的感測值能同時進行蒐集與計算的系統，此外設計一個淺顯易懂的 UI 介面程式是另外一個重要的目標，本專題使用 Processing 設計電腦動畫呈現感測器所得到的感測值，藉由處理並顯示資料來進行更進階的實驗。

關鍵字：IMU、LinkIt、Processing、微處理機。

2. 簡介

在台灣越來越高齡化的趨勢下，專門開發給肢體不便者、帕金森氏症、老人等等的輔助器材是一大商機，但目前市面上都是使用木製柺杖或助行器，在這個物聯網與智慧化的時代，我們想要開發一個電子輔助系統來輔助行動不便者，安裝在行動不便者的腿上協調他們的步伐，未來更進階的開發出一套全自動的金屬人工腳給行動不變者使用，在設計助行器的前置作業中，得先取得使用者的步態數據，從眾多的樣本作分析，從而設計一套模擬人類行走的模型。

3. 專題進行方式

一、 合作對象

此專題與研究生合作開發，專題生的工作分配為設計前端 UI 與協助研究生將感測器與開發板系統最佳化以及設計與主機的通訊協定。

二、 專題人員配置

工作項目	工作分配
前端 UI、電腦動畫與網頁設計	賴以昕
IMU 校正、系統最佳化、網路傳輸	何信昱

三、 系統開發平台

A. Arduino/IDE

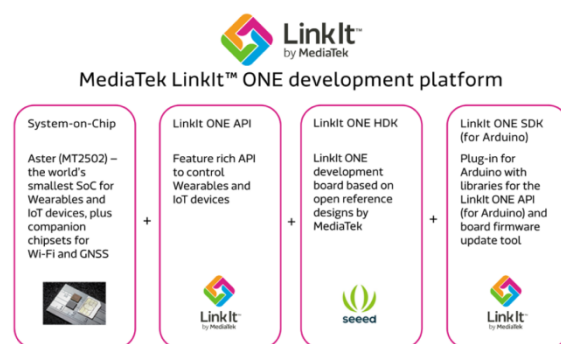
Arduino 是一個開放原始碼的單晶片微處理機，此硬體廠商開發的原始碼的名稱也是 Arduino，特別的是，由於 Arduino 有採用創用 CC，因此任何使用者或是其他廠商皆可免費利用 Arduino 的程式碼或是電路板架構，唯有需要在產品上註明原 Arduino 團隊對於此產品開發的貢獻。

Arduino 開發平台支援多種程式語言，例如：C/C++、Processing、MakeBlock、JAVA 等等，本身的指令在呼叫外部的硬體，例如：LED、感測器、馬達時也是相當的方便。

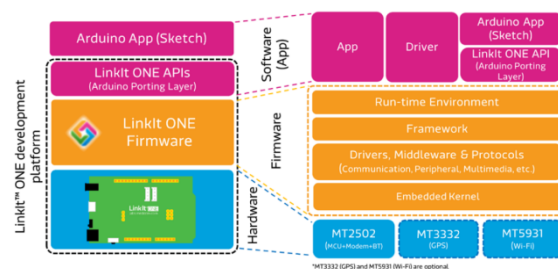
B. LinkIt-ONE

LinkIt-ONE 是聯發科(MediaTek)與 Seeed Studio 聯合設計的開發板，主要的目標是針對開發物聯網和穿戴式裝置所設計的平台，除了基本的軟硬體編輯以外，還提供聯發科自己的雲端服務(MediaTek cloud sandbox)。

LinkIt-ONE 開發板架構圖：



LinkIt-ONE 執行環境：

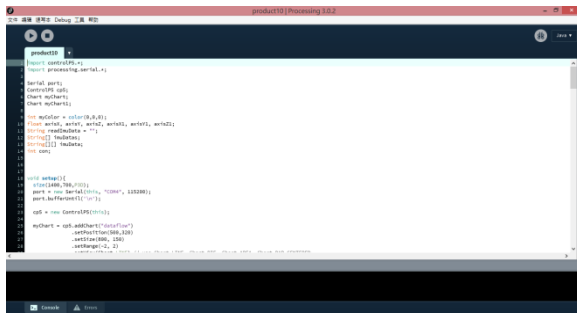


LinkIt-ONE 由聯發科負責硬體參考設計，由 Seeed Studio 開發製造，並

以 Arduino 語法為主要的開發語言，隨板子販賣的硬體有鋰電池、GPRS、GSM、GPS、藍芽、WIFI、MicroSD 記憶卡插槽、並支援現在最流行的 MicroUSB 傳輸線，可以依這開發板的硬體自行設計如 GPS 導航、行動電話也不為過。

C. Processing

Processing 為一種開源程式碼，專門用於電腦動畫或是互動設計，網路上有它專用的免費 IDE，此程式語言是建立在 JAVA 的基礎上，但使用的是簡化的語法跟圖形編成模型，IDE 本身也提供雲端伺服器讓開發者上傳自己撰寫的 Library 給其他開發者使用，在繪製 3D 圖形或是統計圖表都是不錯的選擇。

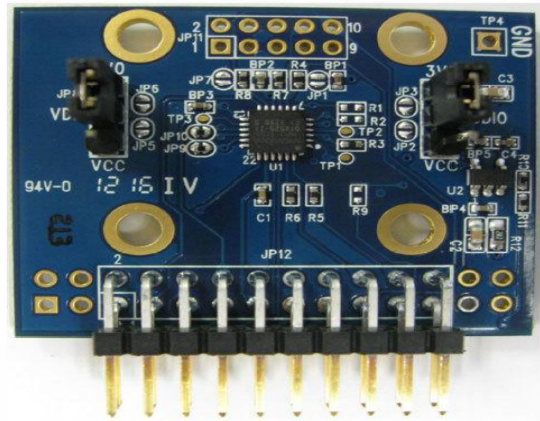


Processing-IDE

四、 Inertial Measurement Unit(IMU)

IMU 為慣性感測單位，通常裡面會有九軸的加速規、陀螺儀、磁針計三種感測單元，IMU 是現在市面上互動裝置所必不可少的元件，四旋翼、智慧型手機、機器人等等都有 IMU 的晶片在裡面，是未來人機互動必不可少的重要零件。

我們可藉由 IMU 的測試值分別取得 X、Y、Z 軸的加速度、角速度，再藉由程式計算將加速度與角速度轉換成姿態角 roll、pitch、yaw，IMU 晶片的使用上，我們用的是 InvenSense 的 MPU-9250

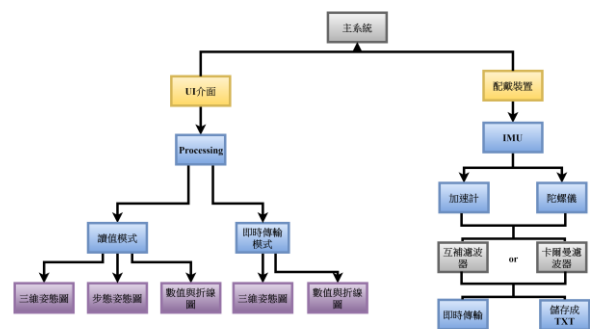


MPU-9250 晶片圖

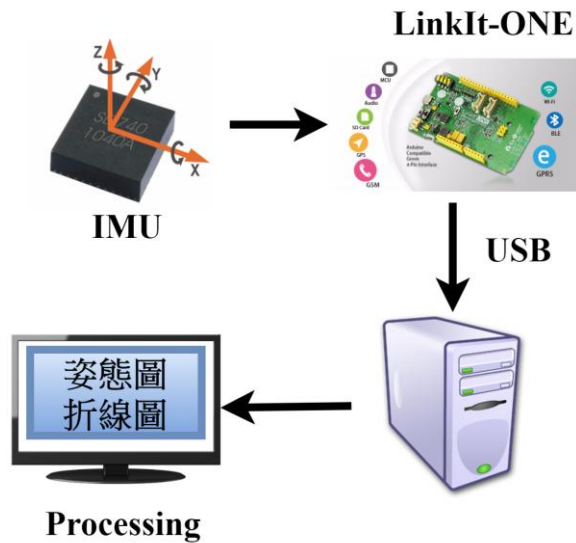
姿態角示意圖:



五、 系統設計摘要與簡介



六、 系統流程



七、資料處理

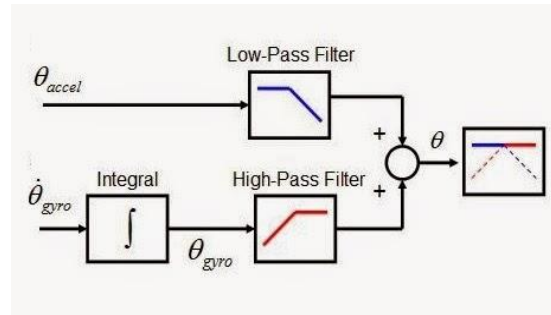


八、濾波處理

A. 互補濾波器 Complementary Filter

理想上將陀螺儀得到的角速度對時間積分就可以得到姿態角，或是利用矩陣計算三軸加速度得到姿態角，但感測器各有其限制，當角度變化過於快速時，屬於高頻的部分，陀螺儀積分得到的角度較為精確，但加速規的數值精準度就會下降，反之，當角度變化緩慢時，屬於低頻的部分，加速規可以得到精準的數值，但陀螺儀的 bias 與 drift 會不斷將 noise 放大產生誤差。

因此，互補濾波器就是將陀螺儀與加速規分別通過低通濾波器與高通濾波器的感測值總和來取得更為精準的姿態角，如此一來，既可以抑制加速規的干擾，也可以消除陀螺儀的 drift 誤差。(增加數學的 model)



互補濾波器流程圖

B. 卡爾曼濾波器 (Kalman filter)

卡爾曼濾波器是一個被公認最優、最有效率的濾波器，應用於導航、控制、感測器資料，甚至到電腦的圖像處理。

卡爾曼濾波器結合測量值與預測值來估算實際的數據，演算方式可簡單分為

五個公式：

- (a) $X(k|k-1) = A X(k-1|k-1) + B U(k)$
- (b) $P(k|k-1) = A P(k-1|k-1) A' + Q$
- (c) $X(k|k) = X(k|k-1) + K g(k) (Z(k) - H X(k|k-1))$
- (d) $K g(k) = P(k|k-1) H' / (H P(k|k-1) H' + R)$
- (e) $P(k|k) = (I - K g(k) H) P(k|k-1)$

$X(k)$: k 時刻的系統狀態

$U(k)$: k 時刻對系統的控制量

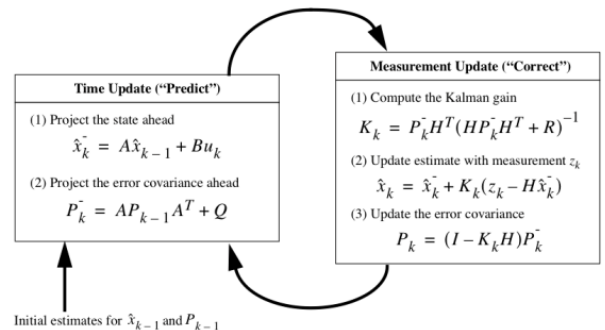
A 、 B : 系統參數，通常為矩陣

$Z(k)$: k 時刻的測量值

H : 測量系統參數，通常為矩陣

$W(k)$ 、 $V(k)$: 過程與測量白雜訊

Q 、 R : 高斯白雜訊共變異數，不隨時間變化

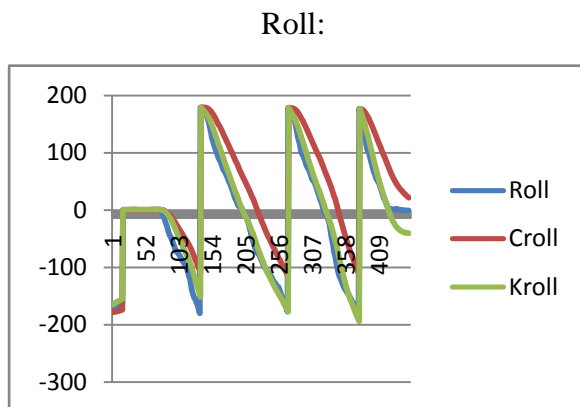
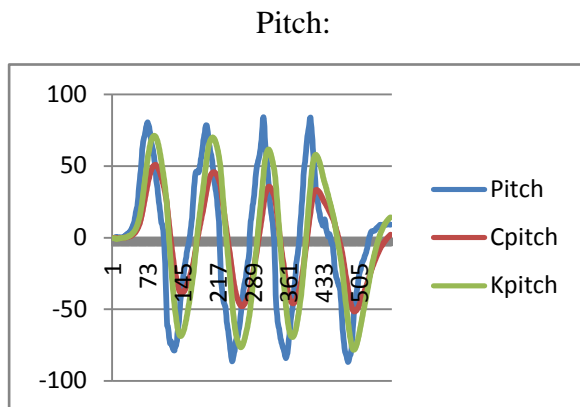
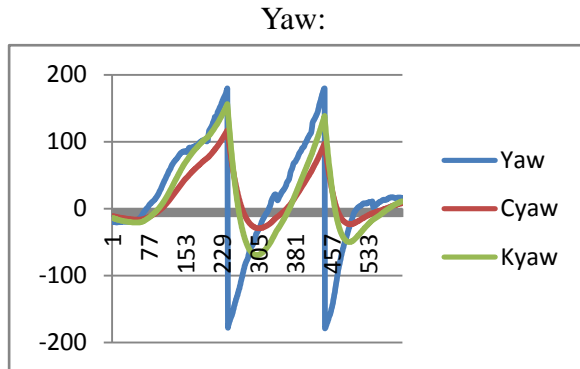


卡爾曼濾波器流程圖

4. 主要成果與評估

A. 濾波結果比較

上一章提到的互補濾波器與卡爾曼濾波器，我們將 IMU 晶片分別作姿態角 360 度的旋轉作來觀察角度變化。



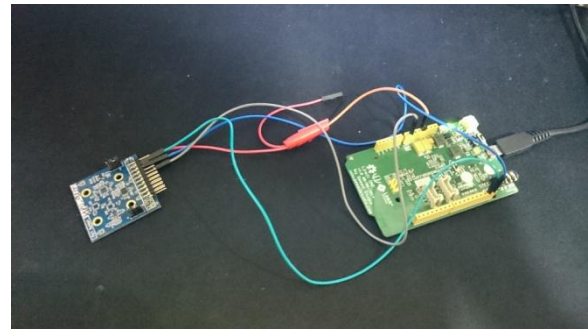
B. 三維動態模擬

本專題目標從 IMU 取得數值，並且從電腦模擬行走的步態，我們先從模擬一個 IMU 晶片開始，利用 Processing 將 3D 模擬圖繪製出來，並設計出了一套可以監控整體數值的 UI 介面。

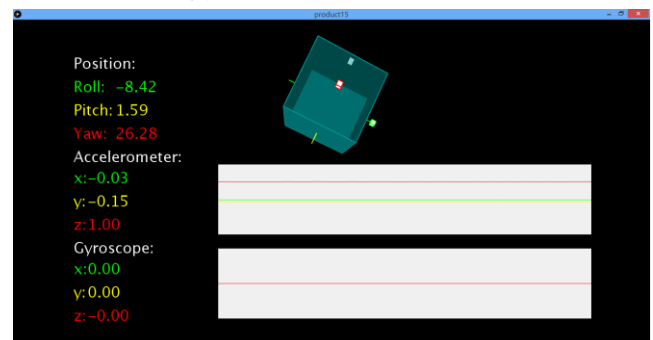
I. Stream 模式

將開發版得到的感測值即時傳送到主

機，將模擬結果顯示在 UI 介面上



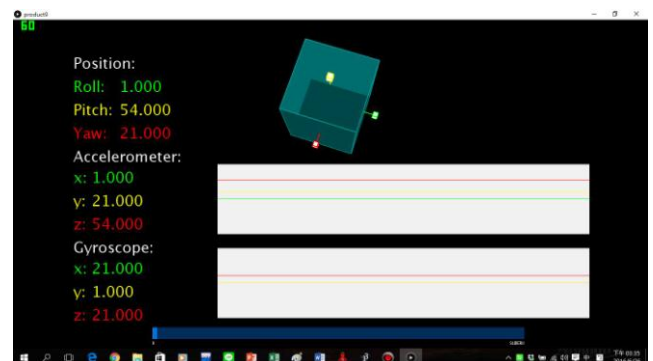
實際電路圖



UI 介面圖

II. 讀值模式

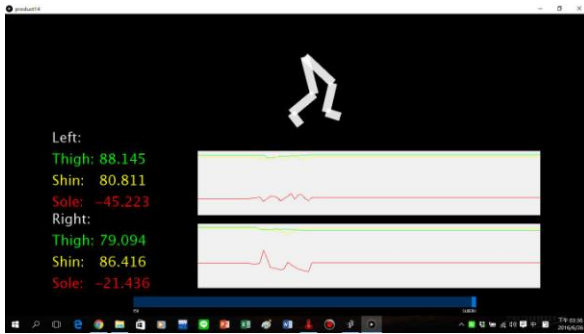
讀取儲存在主機，事先用特定格式的錄製的測試值，並且將模擬結果顯示在 UI 介面上，UI 下方多的 Slider 方便使用者觀察每一組資料的狀態與詳細數據。



III. 步態模擬模式

將事先測好的六個感測器得到的感測值用文件模式讀取，六個感測器分別位於左右大腿、小腿、腳掌。

步態模擬概念示意圖



實際結果圖

C. 未來可能之擴展方向

I. 無線傳輸技術

使用無線傳輸技術(例如:WiFi、藍芽),將感測值傳入主機,取代使用有線傳輸的限制,如此一來有更大的移動旋轉空間來活動。

II. 三維步態模擬

將二維的步態模擬轉換成三維的,現今的電腦動畫需求高,我們可以期望使用IMU感測模式取代需要大空間的攝影擷取模式,這樣不僅成本較低、管道取得容易,也不需要空曠的空間來架設攝影機與燈光。

5. 結語與展望

這是我們大學生活第一份長期的合作計畫,難免會有對於研究的忽略與不嚴謹,還請後人多指教,本專題利用IMU模擬每個關節的狀態,然而IMU本身在雜訊使結

果並非理想,還需要更高階的技術來修正,UI介面的優化也有很大的空間,在製作的過程中,我們學習了IMU的性質、原理,JAVA軟體的編譯設計,製作過程中,我們遇到很多困難,也都試著一一去克服它們,總結來說,我們還是試著完成一份很酷的題目。

6. 銘謝

感謝指導老師楊棧雲教授時時關心、鼓勵我們的專題進度,適時地給予專題大方向的提點,謝謝研究生鄭蕙娟、鄭義文以及其他同實驗室的學長姊,在我們遇到困難或挫折時,除了給予我們詳細的技術指導,也給我們建言與鼓勵,讓我們能度過一次又一次的難關。

7. 參考文獻

- [1] Gait analysis using gravitational acceleration measured by wearable sensors。
- [2] Three Dimensional Gait Analysis Using Wearable Acceleration and Gyro Sensors Based on Quaternion Calculations。
- [3] A Real-Time Articulated Human Motion Tracking Using Tri-Axis InertialMagnetic Sensors Package。