國立台北大學電機工程學系專題報告

弦樂器學習系統

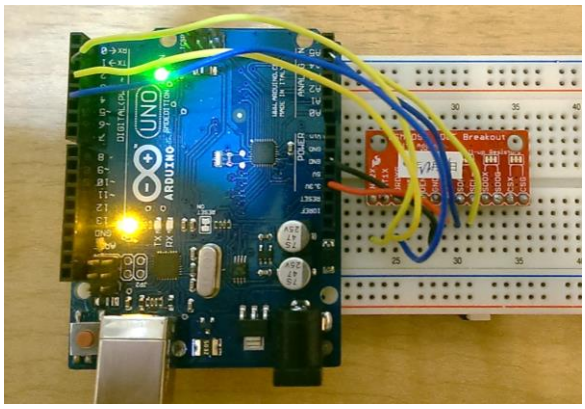
Stringed instrument Education System

專題組員:徐國維、彭伯銓
指導老師:詹景裕老師、林伯星老師
執行期間:103 年 09 月 至 104 年 05 月

1. 摘要

我們要製作的弦樂器學習系統，目的在於幫助剛開始接觸弦樂器的學習者，可以有一個比較明確、有效率的學習方式。我們都知道學音樂的學費都很高，而且請老師指導更是不容易。而我們的弦樂器學習系統，能讓初學者不用付出驚人的學費，就可以上手弦樂器，並且打破時間、空間上的限制。我們使用九軸 IMU，記錄專業老師拉弦弓的軌跡，並且記錄下來。學習者在拉弦弓時，經由 GUI 介面可以和專業老師的軌跡做比對，能夠明確的了解到自己應該怎麼做,和應該如何去做校正。

圖一 Arduino 連接 9 軸 IMU



關鍵詞:弦樂器、9 軸 IMU、距離與狀態量測

2. 簡介

我們都知道，學習音樂得花上很多的金錢與時間，而且必須時時刻刻的讓老師在旁邊指導，更加的耗費人力。我們的弦樂器學習系統，能夠打破時間、空間上的限制，更能節省人力。我們使用 9 軸 IMU，記錄專家在演奏時，弦弓的狀態和軌跡，並製做成資料庫。使用者要學習時，透過 GUI 介面可比對自己拉弓的軌跡和資料庫裡的軌跡。透過比較，可以得知自己拉弓錯在哪裡，應該往哪邊去做修正。

在弦弓的狀態與軌跡記錄方面，我們使用 ST 公司生產的 9 軸 IMU(inertial measurement unit)。因為 IMU 有以下幾種特性：1.小而且輕巧，方便附著於弓上，而不影響使用者拉弓。 2.對於移動與狀態的變化非常靈敏。 3.價格便宜。隨著 IMU 的技術日益的飛進，現在很多產品都裝設有 IMU，來掌握產品自身的狀態，尤其是一些穿戴式的裝置。

我們的學習裝置分成兩個部分，第一部分是記錄、觀測端，由微處理器 Arduino 連接我們的九軸 IMU 組合而成，第二部分是電腦的 GUI 介面與數據分析。

圖二 系統架構圖

我們使用的硬體如下：

1. Arduino uno 版

- Operating Voltage 5V
- Input Voltage (recommended) 7-12V
- Input Voltage (limits) 6-20V
- Digital I/O Pins 14 (of which 6 provide PWM output)

2. LSM9DS0 九軸 IMU

- 3 acceleration channels, 3 angular rate channels, 3 magnetic field channels
- ±2/±4/±6/±8/±16 g linear acceleration full scale
- ±2/±4/±8/±12 gauss magnetic full scale
- ±245/±500/±2000 dps angular rate full scale
- 16-bit data output
- SPI / I2C serial interfaces
- Analog supply voltage 2.4 V to 3.6 V

將觀測端繫在我們的弦弓上，我們的九軸 IMU 將不斷的觀測我們弦弓的狀態與移動，然後在透過 Arduino 進行即時的運算，將數據轉換成我們常見的姿態與位移,最後再將數據經由藍芽(或是有線傳輸)傳輸至我們的電腦，來進行統計分析，最後在經由 GUI 介面呈現給使用者。

專題進行方式

a. 目的與分工狀況:

本專題之目標為利用9軸IMU之特性，藉由距離與狀態測量之功能，來實現製作弦樂器學習系統。我們分成兩組，一組負責觀測端，IMU接收的資料與處理，一組負責弦樂器時做上的可行性分析、操作與GUI。

b. 方法與步驟:

首先為方向釐清，並以所要達成之目的去搜尋相關學術文章，藉由前人的技術經驗與觀念，加上自己本身的新想法與概念，最後再以專業技術實踐想法，此系統便如期完成。

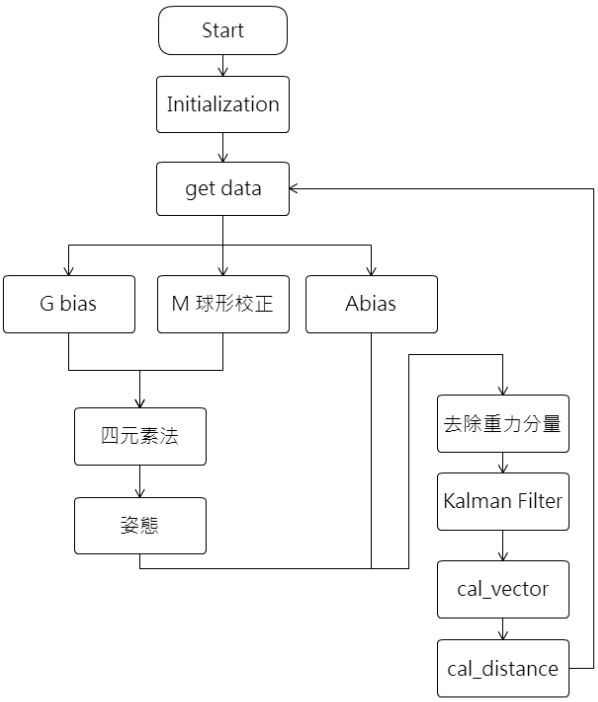
c. 預期之困難與阻礙:

於學術文章搜尋時需盡快了解該文章是否合乎此專題之需求，以免造成不必要之時間浪費。

對於 IMU 所收集到的資料處理上，有很大的難度，因為使用的是較為便宜的 IMU，在資料上有很多雜訊。在訊號的過濾上需要做大量的處理。

其餘技術實踐部分則要釐清方向，若不合乎效益則應盡速調整方向。若於技術實踐部分遇到瓶頸或發生困難，向師長請教或回顧以前所學，則有助於提升系統完成之進度。

總架構流程圖:



Start

啟動我們的裝置，從 IMU 中得到加速規、陀螺儀、磁力計的資料，透過 Arduino 傳資料回電腦運算。

Initialization

初始化我們的系統，我們需要先靜置裝置 10 秒，將開始的位置作為系統原點(0,0)，並將當下的狀態做為靜止的初始狀態。

Get data

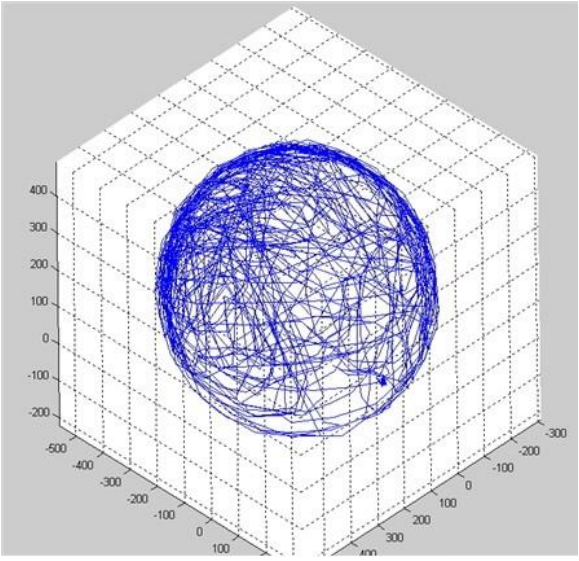
資料從 IMU 中傳送至 Arduino 中

G_bias、A_bias校正

Acceleration(加速規)與
Gyroscope(陀螺移)的偏壓校正

M_球型校正

Magnetometer(磁力計)的偏移校正，我們採用的是球型校正法。將磁力計得到的數據投影到狄卡爾做標上，我們將得到一個球型的圖案，但是它的圓心不一定在圓點，這是因為 IMU 的雜訊造成的偏移，因此需要做校正，使球心對到圓點。



四元素法

四元數就代表著一個四維空間，相對於複數為二維空間。作為用於描述現實空間的座標表示方式，以方便我們坐姿態的轉換。

姿態

Roll	繞 x 軸、翻滾角
Pitch	繞 y 軸俯仰角
Yaw	繞 z 軸方向角

去除重力分量

我們都知道地球有一個向下的加速度，叫做地心引力。而這向下的加速度會嚴重的影響到我們對於系統狀態與移動的判斷，因此我們藉由姿態的轉換，求得當下個方向的重力分量，並加已去除。

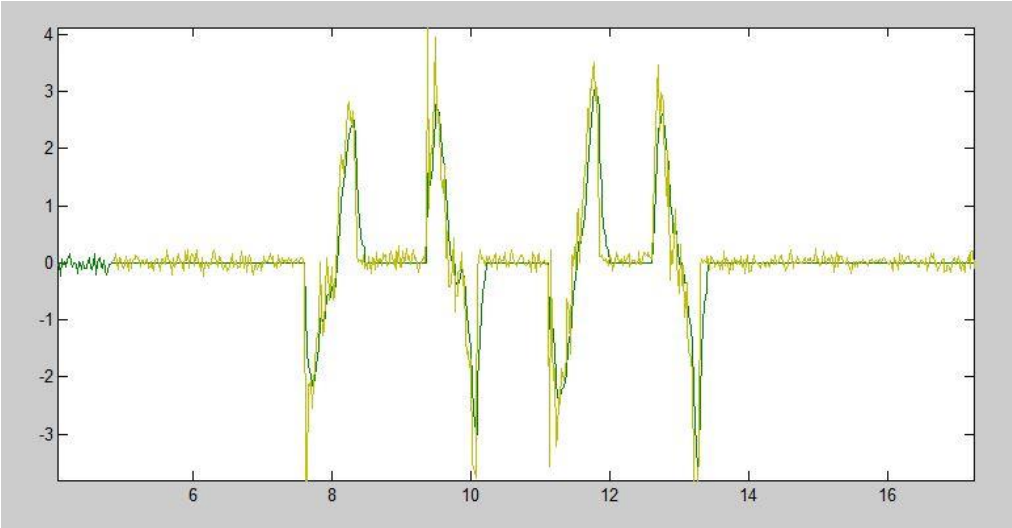
Kalman Filter

我們使用 Kalman 的方法來做及時的雜訊濾波處理。

卡爾曼濾波器(kalman filter)是一個“optimal recursive data processing algorithm（最優化自回歸資料處理演算法）”。對於解決很大部分的問題，他是最優，效率最高甚至是最有用的。他的廣泛應用已經超過 30 年，包括機器人導航，控制，感測器資料融合甚至在軍事方面的雷達系統以及導彈追蹤等等。近年來更被應用於電腦圖像處理。

圖三

深綠色為經過Kalman處理後的訊號，明顯比淺綠色(還未處理的訊號)還要清楚，能夠明顯得看出主要的波行，並且去除了微小的雜訊，在靜止的狀態更加的平穩。



Cal_vector、Cal_distance

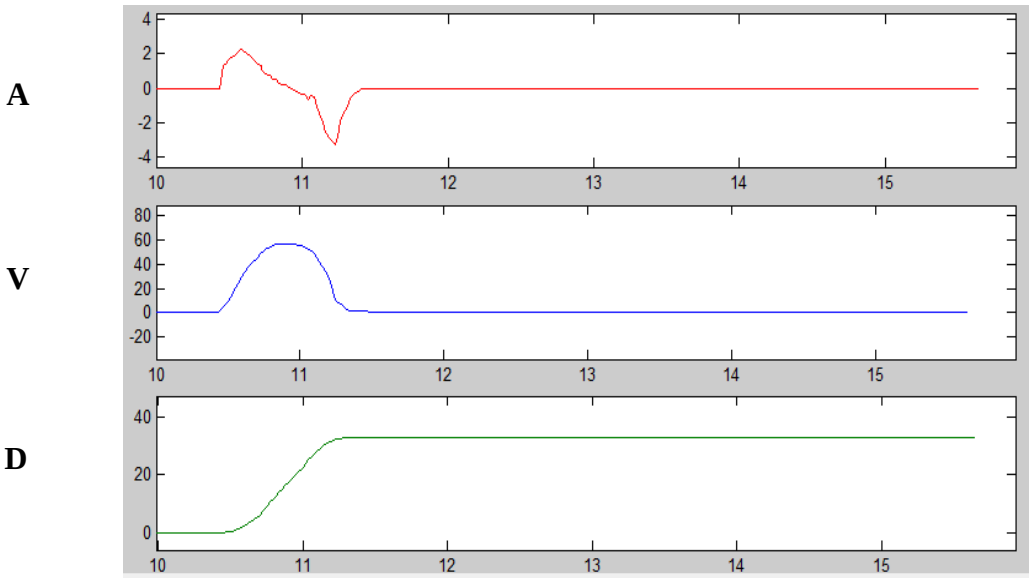
從IMU中，我們可以得到弦弓最基本的加速度值(Acceleration，下面簡寫為A)，透過積分，我們分別可以得到速度值(Vector，下面簡寫為V)，與距離值(Distance，下面簡寫為D)。下圖為我們弦弓拉一基音所得到的波型圖，弦弓的位移為38公分。

圖四 弦弓拉基音所得到的波型圖。

下圖分別為 A 加速度

V 速度值

D 距離值



專題甘特圖

月 次 工作項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
資料及文獻收集	V	V										
文獻理解與篩選	V	V										
軟體環境架設			V									
硬體環境架設				V								
程式撰寫					V	V	V					
發現錯誤與修改						V		V			V	
結果測試與統計					V	V	V	V	V	V	V	
報告撰寫與統整											V	V
進度累計百分比(%)	0%	10%	20%	25%	40%	60%	80%	90%	95%	98%	100%	100%

3. 結語與展望

透過本實驗之實踐與結果分析，IMU其精準度與以往距離判別方式相較之下，略顯提升，相信對於弦樂器的學習著，能夠透過我們的系統，能更有效率的學習。

經歷過此專題之磨練，盼以後能以這些技術加上一些巧思，創造出能對社會做出貢獻之產品。

4. 銘謝

感謝本專題指導教授:林柏星老師細心指導與監督，使得本專題能如期完成。

感謝嵌入式系統領域實驗室之研究生學長:蘇哲士學長以及李依蓉學姐及其它同實驗室之研究生學長熱情給與指導與教誨，使得此專題進行過程中能順利朝正確的方向進行。

5. 參考文獻

[1] 馮智勇、曾瀚、張力、趙亦欣、黃偉著，2011，”基于陀螺仪及加速度计信号融合的姿态角度测量。”

[2] 楊郁莉 著，2012，” 9-Axis Motion Sensor Fusion and Its Applications”

[3] Angelo M. Sabatini , 2004, “Wearable Sensor Systems in Biomechanics:Assessment of Unrestrained Walking Features”

[4] Louis Atallah, *Member*, *IEEE*, Benny Lo, Rachel King, and Guang-Zhong Yang, 2011, “Sensor Positioning for Activity RecognitionUsing Wearable Accelerometers”

[5] Md. Galib Hasan, Md. Kamrul Hasan, Ragib Ahsan, Tania Sultana, R. C. Bhowmik , 2013, “Evaluation of a Low-Cost MEMS IMU for Indoor Positioning System”

[6] Hugh Liu, Grantham Pang , “Evaluation of a Low Cost Solid-State Accelerometer as a Distance Measuring Sensor for Vehicle Positioning System”

[7] Sebastian O.H. Madgwick, Andrew J.L. Harrison, Ravi Vaidyanathan, 2011, " Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm”

[8] Norhafizan Ahmad, Raja Ariffin Raja Ghazilla, and Nazirah M. Khairi , 2013, “Reviews on Various Inertial Measurement Unit (IMU) Sensor Applications”