對接式光纖端面感測器製作與檢測

學生姓名： 董昱人
指導老師： 許益誠 副教授

國立屏東科技大學
生物機電工程系

一、摘要

本實驗主要目的為光纖感測器的製作，利用機械加工方式對塑膠光纖進行端面研磨。並且分析不同的感測區距離與偵測靈敏度之間的關係。本實驗使用 Ø980/1000μm 的多模塑膠光纖，並且使用波長為 528nm 的綠光高功率二極體做為光源，最後實驗　結果發現，8° 1mm 有最好的偵測靈敏度，其值為 9.88×10^{-4}

二、前言

光纖感測器是利用光纖，將光源所產生的光波導引至感測區，感測區中物理量，如應力/應變、溫度、折射率…等的變化將造成光波特性的變化，分析光波特性的改變，即可推得待測區中物理量之變化。光纖具備以下優點: 重量輕、低成本、可靠度高、不受電磁波干擾、靈敏度高…等，因此而廣泛應用於感測、醫學、化學…等各領域。

光纖基本構造大致上可依折射率不同分成纖核（core）、纖衣（cladding）及外面作為保護的纖殼（coating）三層，如圖一所示。

光纖種類分為: 玻璃光纖（glass fiber）、塑膠光纖（plastic optical fiber）、其他新材質光纖。

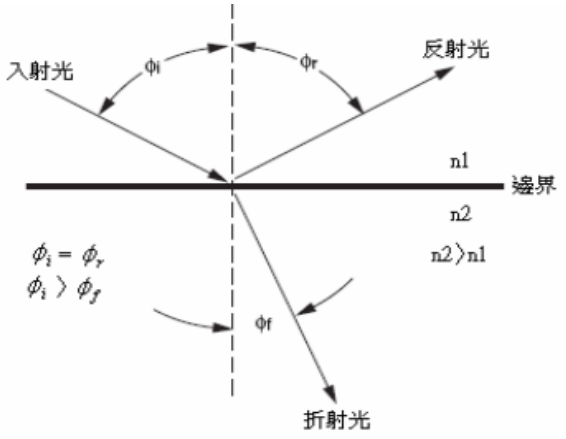
玻璃光纖由純化的二氧化矽（SiO_2）添加二氧化鍺（GeO_2）或氟（F）製作的即為石英系玻璃光纖，其中摻雜鍺（Ge）、鈉（Na）、鎂（Mg）及鋰（Li）等成分的多成分玻璃光纖是目前最佳的光波導材質，由於具有良好的機械性質、容易加工以及優良的傳輸特性（如低損失、頻帶寬及低色散等），為目前應用最廣及使用率最高的種類。

塑膠光纖纖核的材質主要是由聚甲基丙烯酸甲酯（Polymethylmethacrylate；PMMA）所構成，而纖殼的構成則是以氟聚合物為主。塑膠光纖雖然具有低成本且製作容易的優點，但是發展尚未如玻璃光纖般成熟，且仍有損失較大、機械性較差等缺點，故尚未能被普遍使用。

其他新材質光纖則是為了某些特殊之應用或是進一步改良光纖之特性，各種新材質的光纖陸續的被發展出來，如結合玻璃與塑膠材質所製作的光纖、以氟化物玻璃所作的中紅外線光纖以及含鉻（Cr）離子摻雜紅寶石為材質的光纖等，另一方面，也有利用內部形狀構成的(photonic crystal)光波導。

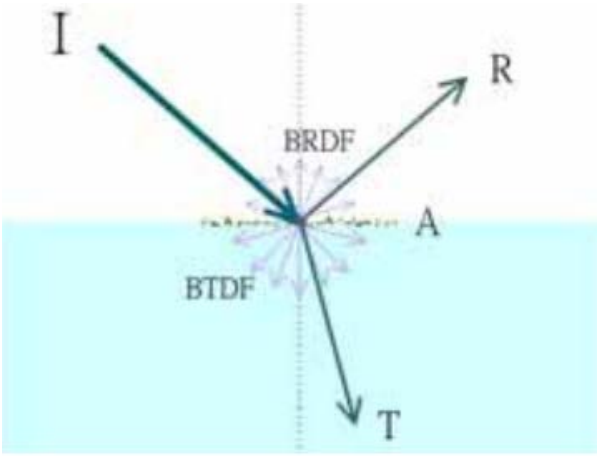
圖一 光纖基本構造

當光從一介質到另一介質時，除了有 Snell’s law 之外，電磁波反射的能量將會依照不同的入射角和波長有關係，入射的電磁波不一定能將能量完全的傳遞到另一介質裡面，這就是 Fresnel Loss。



光線在界面處所產生之反射及折射現象示意圖

圖二



圖三 界面散射示意圖

而在沒有吸收的理想情況下，反射係數T 為公式1，n1 為介質1 的折射率，n2 為介質2 的折射率，

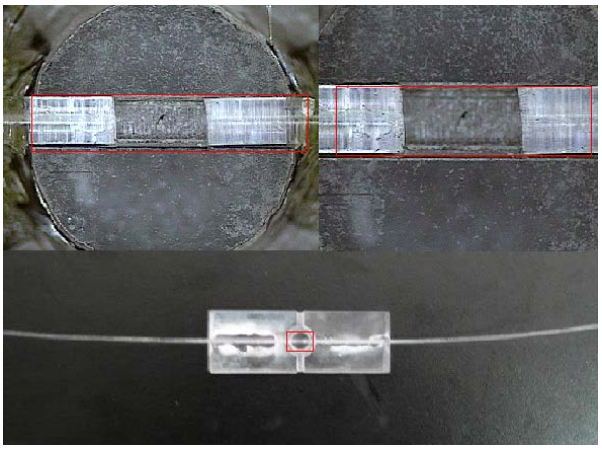
$$T = 1 - R = 1 - \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2 = \frac{4n_1 n_2}{n_2^2 + 2n_1 n_2 + n_1^2}$$

公式一

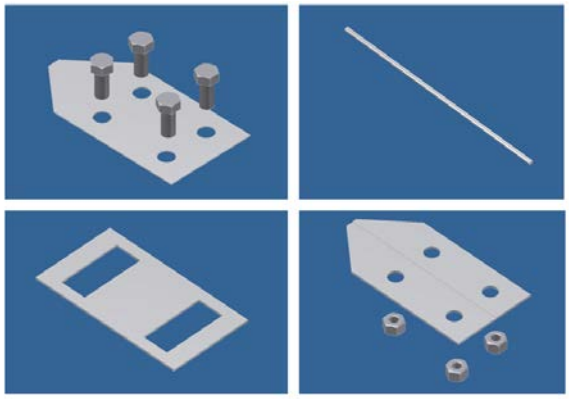
三、研究動機

本實驗自製的光纖感測器，是以機械加工的方式進行光纖端面研磨。所以本實驗的目的是探討光功率計所顯示之數值，為未來製作光纖感測器建立資料庫。利用同軸平行置放形成光感測區，使光通過光感測區，藉此找出哪個研磨的端面會有較好的穿透係數。

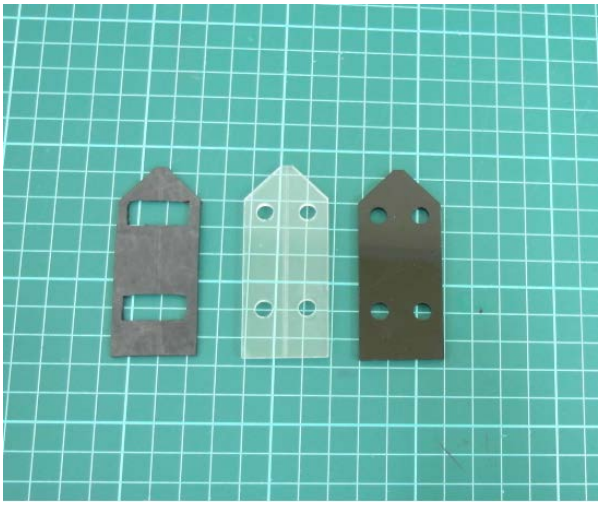
光纖感測架構示意圖



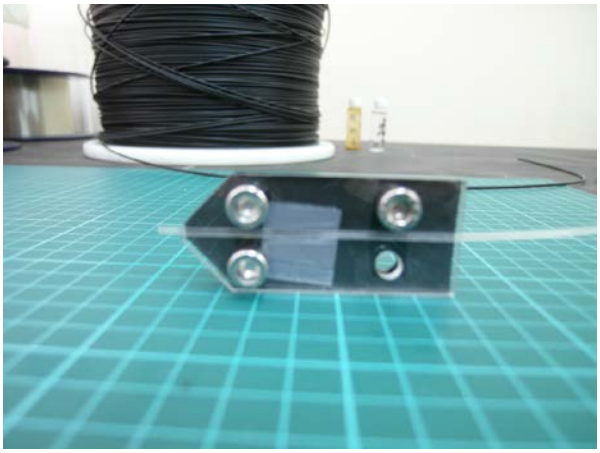
四、夾具的設計



圖四 光纖夾具分解圖



圖五 夾具分解實圖

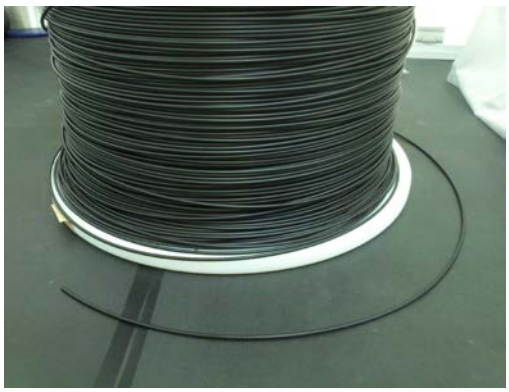


圖六 夾具組合圖

五、實驗過程

- 光纖前處理
- 將光纖固定於夾具上
- 進行光纖端面研磨
- 觀察與測量研磨的平整度
- 偵測靈敏度量測實驗
- 記錄、分析數值
- 結果討論

1. 取十段各 15 公分 Ø980/1000μm 的塑膠光纖，並且利用雙盤研磨機搭配端面研磨夾具，進行端面研磨。端面研磨的目的是為了讓光能夠順利的與光纖耦和。端面研磨完後，使用非接觸式影像量測儀進行觀察。觀察完畢後，使用美工刀將塑膠纖殼層剝除。



圖七 Ø980/1000μm 的多模塑膠光纖

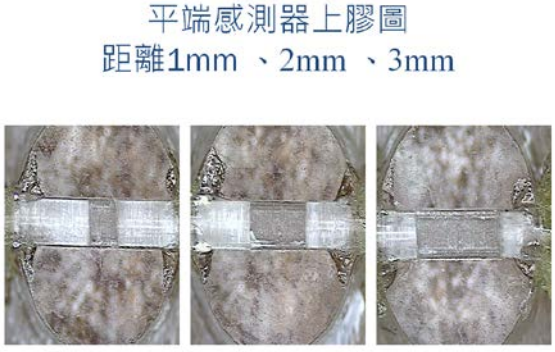
圖八 號數 100C-CW 及 2000C-CW 砂輪

圖九 光纖研磨的固定平台

圖十 雙盤研磨機、端面研磨夾具

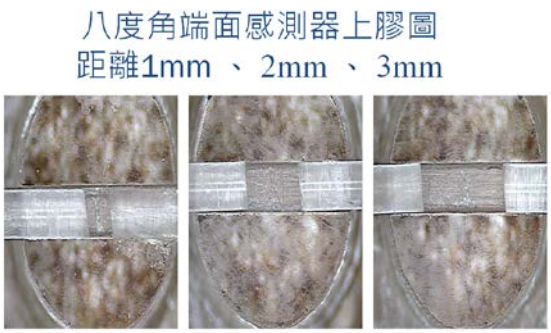
圖十一 非接觸式影像量測儀

2. 先將砂輪研磨片泡水軟化過後，將砂輪研磨片裝置於雙盤研磨機以 200rpm 號數 100c-cw 的砂輪研磨片粗磨加工，確定兩光纖以平整對齊後，在以號數 2000c-cw 的砂輪研磨片進行精加工，在以非接觸式影像量測儀進行量測與平整度的確認



圖十二

使用非接觸式影像量測儀進行上膠



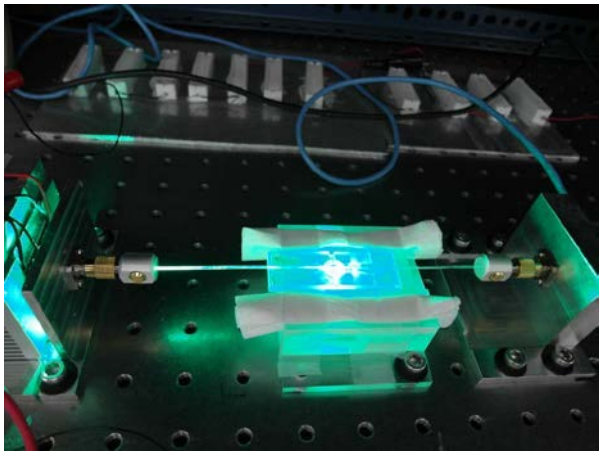
圖十三用非接觸式影像量測儀進行上膠

3. 首先將檢測光源開啟，並且先在感測區滴定去離子水，讓光纖吸水約 30 分鐘，待訊號穩定後再加入待測液進行量測。本實驗利用蔗糖水做為待測液進行測試，實驗時將室內燈光、機器關閉，以降低光和噪音對實驗的影響。每次實驗取 50μL 之蔗糖溶液體滴定於感測區上，並儲存完 3 次光強度訊號後將蔗糖溶液移除，移除的方式是以去離子水清洗 3 次。移除完畢後，換下一個不同濃度的蔗糖水進行量測。其蔗糖溶液折射率變化為 1.333 至 1.403，蔗糖溶液的折射率和濃度關係如下表一所示

折射率	濃度 (wt%)
1.333	0
1.343	6.80
1.353	13.25
1.363	19.45
1.373	25.40
1.383	31.05
1.393	36.55
1.403	41.70

表一 蔗糖溶液的折射率和濃度關係

圖十四 量測器材



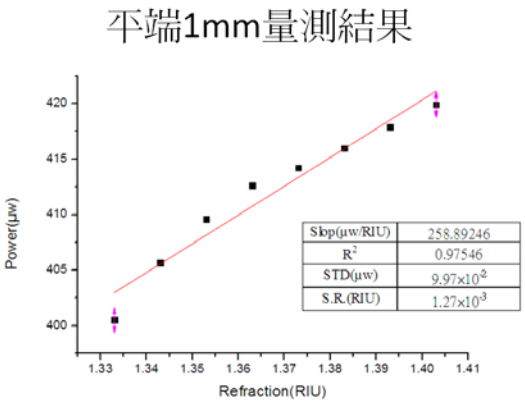
圖十五 量測系統

- 將量測出的 6 組光強度訊號平均，並且將不同濃度的蔗糖溶液的值算出來並製成表格。依此類推完成。整理完後以 Origin 軟體繪製出蔗糖溶液的折射率和光功率關係

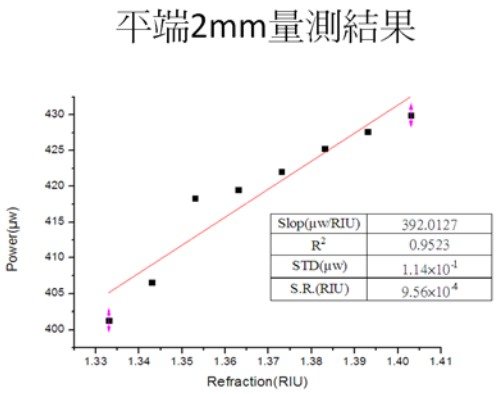
七、結論

1. 本實驗成功的利用光纖端面研磨系統製作出平端及8°的光纖端面感測器。
2. 量測折射率在1.333到1.403這個範圍內的蔗糖溶液，研磨端面為8° 1mm時有最佳的偵測靈敏度，因為其較平端比較不受反射干擾或散失，其值為9.88×10^{-4}。
3. 此實驗所製作的光纖感測器之數量不足以建立資料庫，日後可增加感測器研磨的數量，使實驗數據更為可靠。

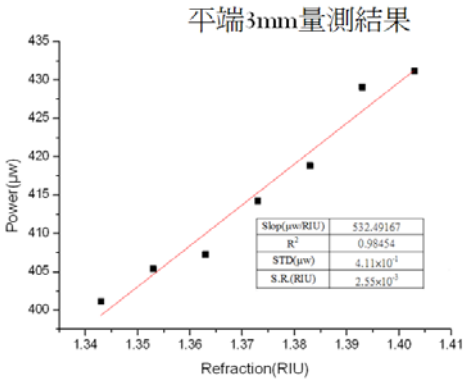
附錄



表二

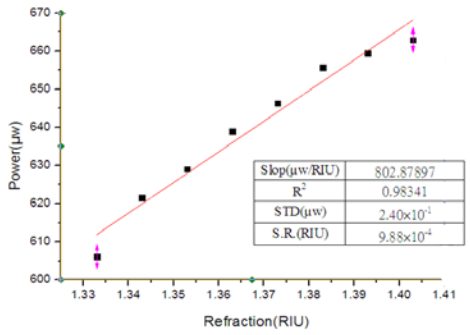


表三



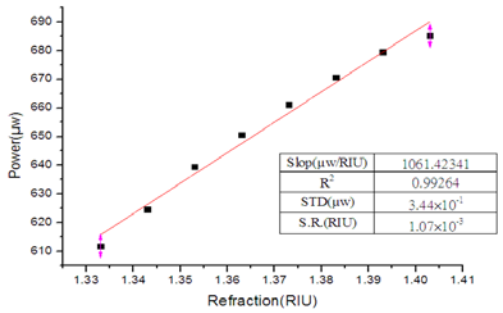
表四

斜8度1mm量測結果



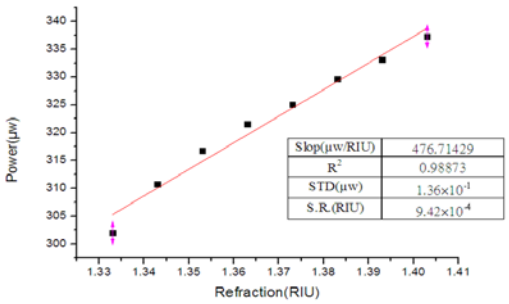
表五

斜8度2mm量測結果



表六

斜8度3mm量測結果



表七

七、致謝

感謝許益誠老師這段時間的指導,當我遇到瓶頸時總能提出解決的方法,並且讓我學習到了怎麼整理數據及統整資料,也感謝王信文學長、鄭惟仁學長,謝謝學長們在我做實驗的時候總是在旁幫助著我,有疑難雜症也可以第一時間得到解決,讓我的實驗順利不少,真的是萬分感謝。

參考文獻

[1]吳曜東，2001，「光纖原理與應用」，全華科技圖書股份有限公司，台北。

[2]洪明哲，2007，「以溶膠-凝膠法製作光纖感測器量測pH 值」，碩士論文，大同大學。

[3] 羅國卿，2007，「可電控制之Fresnel透鏡於聚合物-液晶合成物薄膜之研究」，碩士論文，成功大學。

Butt Fiber Sensor Fabricate Sensor Sensor And Detect

Author：Yu-jen Tung

Advisor：Yi-Cheng Hsu

Department of Biomechatronics Engineering, National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

In this study, the research purpose is fabricating fiber sensor. A side-grinding method and physical mechanical polishing is used to fabricate fiber And to analyze the relationship between the distance and the detection sensitivity of different sensing areaThis experiment used Ø980/1000μm multimode plastic optical fiber, and a wavelength of 528nm green high-power diode as a light source, the final experimental results show that 8°1mm best detection sensitivity, its value is 9.88 ×10-4study show us the best sensor resolution is 2.18×10^{-4} with grinding depth 428.5μm in the range 1.333 to 1.403.

教授問答

李文宗 老師:

為什麼會使用8°作為光纖研磨的實驗角度?

此角度是光纖方面實驗的參考角度，因為8°對光纖的干擾比較少。

蔡循恆 老師:

如果調配出折射率與數值相同的感測液，怎麼區分感測液是不是糖水?

只能夠判斷濃度與折射率的變化量，無法判別物種。

洪辰雄 老師:

糖有哪三大類?

有蔗糖、綿白砂糖、赤砂糖三大類，本次實驗使用的為$C_{12}H_{22}O_{11}$蔗糖。

微液滴 DNA 樣本的移動特徵對聚合酶連鎖反應的影響

學生姓名：楊富翔、林育民、王辰瑋
指導教授：陳志堅 副教授

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本研究主要是使用往復式熱循環機台，將反應槽往復移動於三個溫區間，並搭配瓦特龍加熱器加熱溫區鋁塊，以達到 PCR 反應所需條件。實驗目的為（1）測試平台的不同移動速度和在各溫區的停留時間分別對反應槽升降溫的影響；(2) 解決樣本在 PCR 實驗時的蒸發問題；(3) 完成 DNA 片段之擴增，再與商用 PCR 裝置的擴增樣本比較擴增效果；(4) 探討改變樣本 Extension 反應時間和 PCR 熱循環次數對 DNA 片段擴增的影響。本研究的 DNA 基因由狗的糞便中抽取出，再和聚合酶等混和，當作本研究的 PCR 樣本，DNA 擴增目標片段為 385 bp 和 420 bp。結果顯示，在加熱器溫度定值時，往行程（Denaturation 區加熱鋁塊往 Annealing 區加熱鋁塊的方向）以速度 6 mm/s 移動、復行程以速度 2.4 mm/s 移動的條件下，可以成功達到實驗所需的溫度條件。而以 PDMS 包覆樣本的方式則可以有效防止樣本蒸發。實際進行 PCR 實驗時，DNA 片段亦有成功擴增。

關鍵詞: 聚合酶連鎖反應、反應槽、往復式、熱循環反應器

一、 引言

聚合酶連鎖反應（Polymerase Chain Reaction，PCR）自發明以來，迅速發展成為基因研究的重要技術，它主要的功用為將目標的 DNA（核酸分子）片段的放大，到現在 PCR 仍然是基因研究的主要技術。近年來 PCR 技術已廣泛應用在學術和醫學上研究，例如 DNA 醫學（遺傳性疾病診斷）、癌症研究（致癌基因）、農業發展（基因選殖、基因重組）等生物技術。

1.1 PCR 原理

PCR 技術是仿照 DNA 在自然界的合成原理，這個技術主要包括三個步驟：DNA 變性（Denaturation）、引子黏合（Annealing）及延伸（Extension）作用。

a. DNA變性作用：雙股DNA在高溫時(約95 °C）會分開變為單股DNA。

b. 引子黏合作用：反應溫度約45-60 °C，PCR技術中所用的引子通常為寡核甘酸片段，引子序列會互補於欲擴增之DNA片段之兩端序列，隨著溫度降低，使引子更容易結合至單股DNA模板上。

c. 延伸作用：反應溫度約72 °C，是連鎖反應中的最後一個步驟，藉由DNA聚合酶進行合成，引子由3'到5'端方向，開始將其互補核甘酸序列接合到單股DNA上，便形成新的雙股DNA。

DNA 樣本經過熱循環，DNA 片段以 2^n的速率擴增（n 為熱循環次數），若 PCR 熱循環超過 35

次，則擴增效果則會開始降低。PCR 作用原理圖如圖 1 所示。

1.2 實驗動機

本實驗中的往復式 PCR 裝置加熱系統簡單。往復式裝置藉由移動 DNA 反應槽，可以避免流體式 PCR 晶片裝置所造成的 DNA 吸附問題。往復式裝置比起商用 PCR 裝置，少了複雜的溫控系統，亦可達到 DNA 的擴增。

往復式裝置與商用 PCR 裝置相比，商用 PCR 裝置所需樣本量為 20μl，執行 30 次熱循環的 PCR，所需時間約 1 個半小時至 2 小時，反應槽不移動，屬於固定式加熱。本實驗的裝置為「往復式聚合酶連鎖反應裝置」，所需樣本量為 20μl，執行 30 次熱循環的 PCR，所需時間約 2 小時，移動反應槽往復三個溫區，屬於移動式加熱。

本實驗中，DNA 樣本所需溫度範圍為：變性作用（Denaturation）為 94~95 °C（此範圍內 DNA 的氫鍵會自行打斷）、黏合作用（Annealing）為 50~60 °C、延伸作用（Extension）為 68~72 °C（此範圍為聚合酶的最佳作用溫度，實驗會以反應時間 10 秒、20 秒、30 秒作結果比較）。本實驗控制反應槽溫度在 58**±1** °C、71**±1** °C、94~95 °C 三個溫區，探討各種參數（往復速度、各溫區停留時間）對系統升降溫的影響。調整上述參數以得到最合適的數據，藉以縮短 PCR 實驗時間。

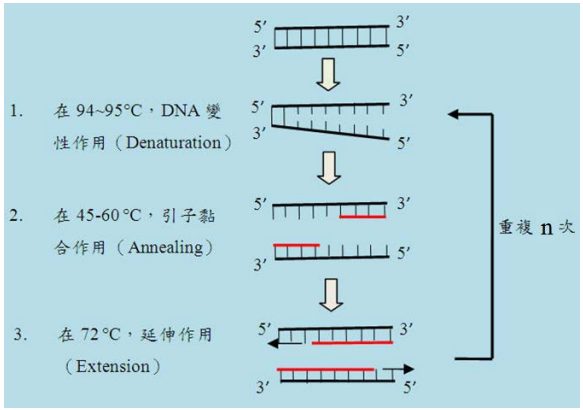


圖 1. PCR 的原理作用過程

1.3 文獻探討

2011 年，楊等人[1]以五種不同的材料（玻璃、銅、鋁、PC、PDMS）去探討在相同的邊界條件下，升降各種材料的反應槽的溫度所需要的時間以及溫度穩定況狀，經模擬後，在各種不同的狀況下發現銅以及鋁的時間及穩定度皆是最佳的，兩種材質的反應槽在相同的邊界條件設定下結果相差極小，故兩種材質皆適合做為反應槽製作之材料，基於材料取得便利與成本之考量下，選擇鋁材料來做為製作反應槽與加熱溫區之材料，即為本次實驗之加熱鋁塊與腔體鋁塊。

1991 年，Wittwer 和 Garling[2]發現，10μl 的 PCR 樣本的變性、黏合所需的反應時間皆約 1 秒即可完成，延伸作用時間需較長。2001 年，Chiou 等人[5]運用空氣泵及光學定位傳感器。首先將樣本置入 PTFE（聚四氟乙烯）管中，利用空氣泵控制流體流向並往復三個溫區。DNA 片段擴增目標為 500bp，進行 30 次熱循環，需要 23 分鐘，最後以瓊脂凝膠電泳方法檢測擴增效果，DNA 片段有 78%擴增效率。

連續流體聚合酶連鎖反應（Continuous Flow PCR，CFPCR）系統，相較平常的 PCR 系統，CFPCR 系統的升降溫效率高，且樣本量可控制，若將一個樣本置於流道內並來回三個溫區，往復一次則為一個熱循環，則稱此為往復式（Oscillatory）CFPCR 系統。2010 年，Polini 等人[7]以 PDMS 為基材，設計出兩種 CFPCR 裝置。第一種方法是將塊狀 PDMS 內部使用光學光刻技術刻出流道，經過內壁表面處理後，即完成 PDMS 微流體晶片。第二種方法是將塊狀 PDMS 內部嵌入玻璃毛細管，並在管內壁使用二甲基二氯矽烷清洗消除吸附作用。兩方法皆以 Ti/ Pt 加熱器加熱，兩種方法皆可有效防止 PCR 樣本蒸發，並成功擴增 PCR 產物。2007 年，Chen 等人[6]設計出可雙向傳輸的 CFPCR 裝置。將裝置放在 PDMS 之承載台上，DNA 樣本注入玻璃毛細管中，並利用空氣泵控制 DNA 樣本往返兩個溫區間，在樣本中加入二甲基二氯矽烷，可減少管內壁吸附情況，以提高樣本產量。將可提供即時檢測的水銀燈和光電探測器放置於兩個溫區中間，並利用螢光劑之發散亮度來檢測樣本擴增效

果，最後完成人類核糖核酸酶 P 基因之 77%擴增效率。2011 年，Liu 等人[4]將 PCR 樣本包覆在礦物油中，使礦物油在 PTFE 管內形成油膜，可防止高溫時 DNA 樣本蒸發。使用空氣泵推動樣本，此裝置可多管同時進行 PCR 實驗。將 Peltier 加熱片置於兩塊鋁塊間，可由電流控制加熱塊溫度，並搭配電腦以回饋機制操控各個實驗裝置。在樣本中加入 BSA 與 Tween 20 可以減少表面吸附作用並增加樣本產物。實驗最後以 12 分鐘運行 40 個熱循環完成 NDM-1（腸道菌） DNA 片段的複製，有 89.5 %的擴增效率。2011 年，Zhang 等人[3]利用空氣泵推動 PCR 樣本，使樣本可在 PTFE 管內往復三個溫區，設計出可多目標使用的 CFPCR 裝置，電腦運用回饋機制可控制加熱塊溫度，並可自由控制樣本在管內移動速度。DNA 片段擴增目標為：*S.enterica* 278 bp、*E. coli* 168 bp、*L. monocytogenes* 106 bp。體積 5 µl 的樣本以 100 µl/min 之速度運行 35 個熱循環，可在 13 分鐘內完成，最後將樣本進行瓊脂凝膠電泳檢測擴增效果。

二、 實驗裝置與方法

2.1 實驗設備

圖 2. 往復式聚合酶連鎖反應裝置整體架構圖（A：加熱系統，B：散熱系統，C：溫度量測與記錄系統，D：樣本反應槽，E：動力驅動系統）

2.1.1 加熱系統

a. 瓦特龍加熱器（*Watlow，93 control box*）與加熱棒（型號 *C1J6-L12*）：
將加熱棒插入溫區鋁塊，並透過加熱器把鋁塊溫度升高到預設溫度。

b. 加熱鋁塊：
A 塊為 Denaturation 區，B 塊為 Extension 區，C 塊為 Annealing 區

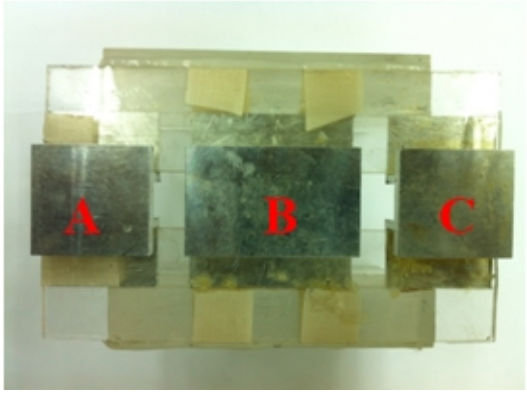


圖 3. 加熱鋁塊實體圖

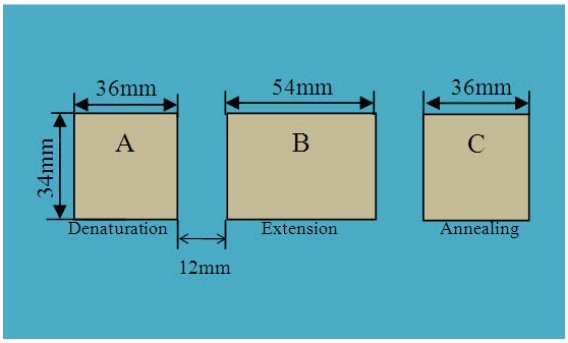


圖 4. 加熱鋁塊尺寸示意圖

尺寸：
加熱鋁塊 A（Denaturation）：長 36mm，寬 34mm
加熱鋁塊 B（Extension）：長 54mm，寬 34mm
加熱鋁塊 C（Annealing）：長 36mm，寬 34mm
鋁塊間相隔 12mm。

2.1.2 散熱系統

a. 電源供應器：（*Shenq，型號 3000*） ：
提供散熱風扇所需的電源。

b. 散熱風扇（電壓 12V，4x4 cm）：
置於低溫區之鋁塊上使低溫區達到所需溫

度。

2.1.3 溫度量測與記錄系統

a. K 型熱電偶：

量測腔體鋁塊與反應槽內溫度。

b. 單槽式 USB 機箱（型號 *CDAQ9171*）

資料擷取卡（*NI9211*）

c. LabView 即時溫度數據儲存軟體

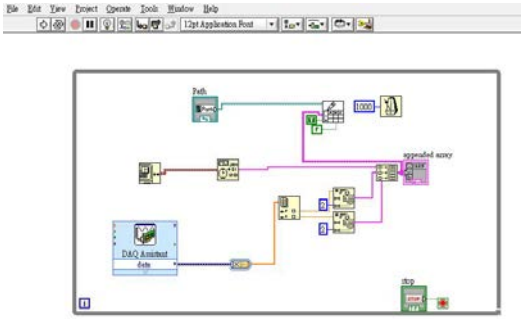


圖 5. LabView 程式示意圖

2.1.4 樣本反應槽

a. 腔體鋁塊：

將反應槽放置於腔體鋁塊內部圓槽，透過移動平台乘載腔體鋁塊，往復於三個溫區。

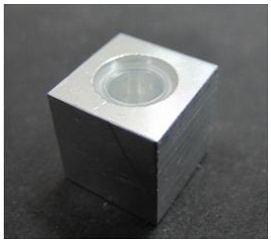


圖 6. 腔體鋁塊

尺寸：邊長 12mm 正立方體，

內圓直徑：6mm，內圓深：7mm。

b. 微量尖底離心管（*PCR Tube，Sorenson* 公司）：

Tube 為樣本的反應槽。

2.1.5 動力驅動系統

a. 機電整合定位模組（敏石系統有限公司 *SM23165D-C-AD1*）：

由控制馬達控制平台移動速度。

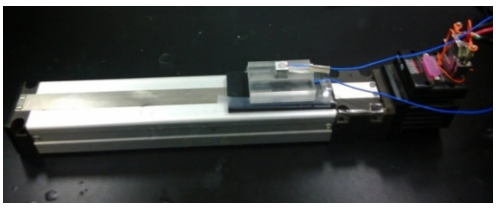


圖 7. 機電整合定位模組

b. SmartMotor 機電整合定位模組控制軟體（敏石系統有限公司）

控制平台往復次數、移動速度、停留時間和位置。

2.1.6 藥劑調配

a. PDMS 藥劑：

PDMS 學名為「聚二甲基矽氧烷」。液態的 PDMS 加熱可使其凝固，固態的 PDMS 為一種矽膠，無毒、疏水性，惰性物質，且為非易燃性、透明彈性體。

圖 8. PDMS 藥劑（喬越實業有限公司），圖左: PDMS 主劑（*SYLGARD 184 A*），圖右: 固化劑（*SYLGARD 184 B*）

b. 真空乾燥裝置（詠欣有限公司）：

將調製好的 PDMS 放入真空裝置內，將 PDMS 裡面的空氣抽出。

c. 礦物油（*SIGMA-ALDRICH*）：

礦物油沸點大於 260 ℃，故用來測試防止樣本蒸發。

2.2 實驗方法

本研究利用往復式 PCR 熱循環機，探討溫度和反應時間不同分別對樣本擴增的影響。

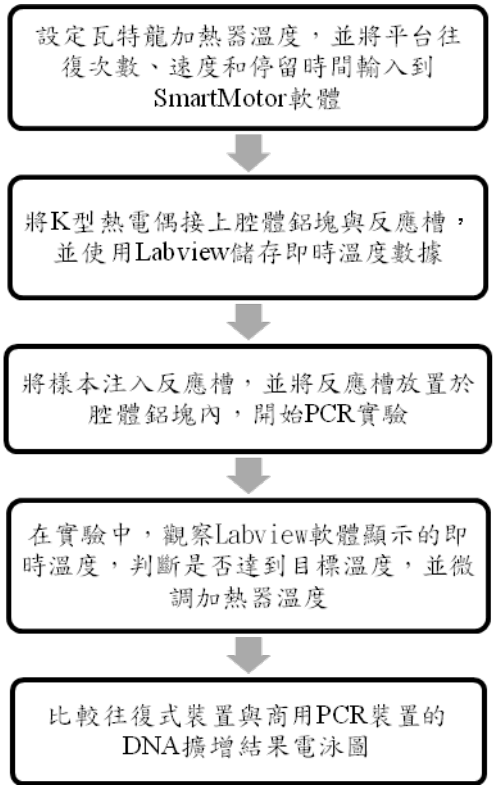


圖 9. 實驗流程圖

2.2.1 前置作業

2.2.1.1 反應槽製作

首先，在 Tube 裡注入液態 PDMS，注入容量約 Tube 容量的一半（圖 10），將 Tube 放入烘箱，以 65 °C 烘烤一小時，目的是將 PDMS 烤乾。再來把烤乾後的 Tube 切半，就完成 PCR 的反應槽（圖 11）。

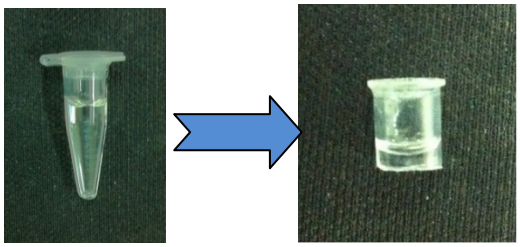


圖 10. Tube 示意圖　　圖 11. 反應槽

2.2.1.2 溫度調整

本實驗的 PCR 往復裝置屬於開迴路系統，實驗結果容易受到環境氣溫與濕度影響，因此在 PCR 實驗前須調整加熱器溫度、移動平台停留時間和平台移動速度，使腔體鋁塊內的反應槽能達到 PCR 的反應溫度。

利用兩台瓦特龍加熱器分別對應 PCR 反應區為 Denaturation、Extension 的鋁塊加熱，而 Annealing 反應區的鋁塊上則安裝風扇，風扇可以加速降溫。再將腔體鋁塊接上 K 型熱電偶，熱電偶另一端連接資料擷取卡擷取即時溫度數據，再以電腦軟體 Labview 紀錄成.txt 檔。為了確保在實驗中，放置於腔體鋁塊中的反應槽達到目標溫度，將第二條 K 型熱電偶插入反應槽中央，以 PDMS 固定（圖 12），以資料擷取卡和 Labview 進行多點溫度量測。

使用 SmartMotor 軟體控制線性馬達，輸入移動速度、位置、停留時間、熱循環次數等數據，控制平台移動。

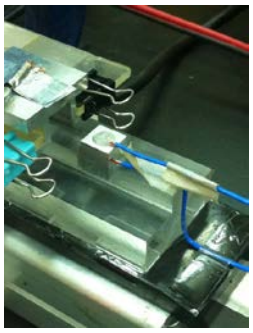


圖 12. 熱電偶量測點示意圖

將反應槽內溫度調整到 PCR 反應溫度後，將儲存的溫度資料繪製成溫度與時間的曲線圖。

2.2.1.3 PDMS 調製

PDMS 由主劑（A 劑）和固化劑（B 劑）所組成。A 劑和 B 劑調配比例為 10：1，將兩劑混和並均勻攪拌，放入抽真空機將液態 PDMS 內的氣泡抽出，以免氣泡受熱膨脹影響實驗。

2.2.2 PCR 實驗

經過系統溫度調整後，將液態 PDMS 注滿反應槽，再將 20μl 的 DNA 樣本以微量吸管（micropipet）注入反應槽內，最後把反應槽放置於腔體鋁塊內。接下來把預設之往復次數輸入到 SmartMotor 軟體裡，以 Labview 紀錄即時溫度數據，即可開始 PCR 實驗。反應槽內液態的 PDMS

遇到高溫時會凝固，可以封住內部的 DNA 樣本防止蒸發，此方法為較佳的防蒸發方法。

樣本經過 Denaturation、Annealing、Extension 三個溫區為一次熱循環，每經過一次熱循環，DNA 之片段數量會以 2^n之方式倍數增加，本實驗以 30、25、20 次熱循環做結果比較。理論上，變性作用與黏合作用反應時間均約一秒即可完成，延伸作用反應時間需較長。本實驗為了確保樣本在三個作用都有達到反應溫度，變性與接合作用時間設定為 10 秒，延伸時間以 10 秒、20 秒、30 秒做比較。

PCR 實驗結束後，以酒精消毒的針頭刺破固態 PDMS，使用 micropipet 吸出樣本。與商用 PCR 裝置做升降溫速率比較後，為了確保往復式裝置的可行性，會分別將商用裝置和往復式裝置的擴增樣本以 BtEr 染色，進行瓊脂凝膠電泳，並以 UV 光照射檢視反應結果，比較商用 PCR 裝置與往復式裝置是否有相同的擴增效果。

三、結果與討論

3.1 探討各種防止樣本蒸發方法之成效:

商用 PCR 裝置是以裝置的上蓋壓住 Tube 上蓋，防止樣本在高溫時蒸發洩出。由於往復式裝置無上蓋，則以下列四種方法測試防止蒸發之成效。表 1 為四種方法之成效比較圖

表 1. 各方法之成效比較圖

實驗方法	熱循環次數	內容物（20μl）		結論
		純水	樣本	
Tube 蓋緊蓋子	30 次	剩餘 16 μ	蒸發	樣本蒸發
Tube 蓋緊蓋子並塗抹 PDMS	30 次	剩餘 17 μl	蒸發	樣本蒸發
礦物油包覆（無蓋）	30 次	剩餘 13 μl	剩餘 5 μl	剩餘量不足
PDMS 包覆（無蓋）	30 次	剩餘 18 μl	剩餘 19 μl	成功防止蒸發

「Tube 蓋緊蓋子」和「Tube 蓋緊蓋子並塗抹 PDMS」兩種方法，使樣本在 Denaturation 的反應溫度（94~95 °C）時容易蒸發，因為樣本蒸發的壓力會撐開 Tube 蓋子。而塗抹在蓋子周圍的 PDMS 無法承受蓋子上掀壓力，故也無法解決蒸發問題。

「礦物油包覆」的方法是想利用礦物油的高沸點防止樣本蒸發，但由於礦物油的量太少（礦物油與樣本量比約 4：1），使樣本在高溫時容易蒸發流失。

由表 1 的四種結果判斷，「PDMS 包覆」（圖 13）的方法最穩定。此方法是利用 PDMS 遇熱會凝固的特性和不與樣本混和的疏水性，理論上可以完全封住樣本，但由於使用 micropipet 抽取樣本時，只能抽出 90%以上，剩餘樣本會殘留於反應槽，故無法百分之百取出。

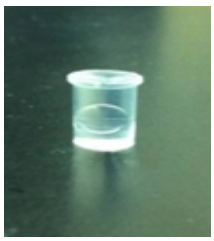


圖 13. PDMS 包覆純水

3.2 探討反應槽與腔體鋁塊溫度差異

實驗中，利用 PDMS 包覆樣本防止蒸發，由於 PDMS 導熱效果差，腔體鋁塊的溫度不易傳導到反應槽內部。實驗中，為了使樣本達到反應溫度，使用兩條 K 型熱電偶分別量測腔體鋁塊和反應槽內部的溫度，並搭配加熱系統，使反應槽內部達到 PCR 反應溫度。

由溫度曲線圖（圖 14）表示，黑色線條為腔體鋁塊的溫度曲線，橘色線條為反應槽的溫度曲線，由圖指出腔體鋁塊需達到更高或更低溫，反應槽內部才能達到目標溫度。當腔體鋁塊升溫到 100 °C 以上，反應槽才能達到 Denaturation 的反應溫度（94~95 °C）。而當腔體鋁塊降溫到約 55 °C，反應槽內部才能達到 Annealing 的反應溫度（58±**1** °C）。而在 Extension 的反應溫度（71±**1** °C），腔體鋁塊則需在 71 °C 維持 30 秒以上，反應槽內部

才能達到目標溫度。

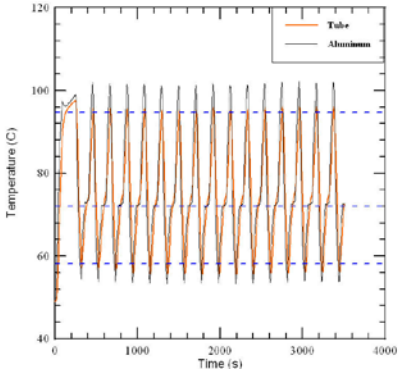


圖 14. 溫度曲線圖（藍色虛線代表 95 °C、72 °C、58 °C）

3.3 探討移動速度和停留時間對反應槽升降溫的影響

3.3.1 平台移動速度對反應槽升降溫的影響

針對復行程（Denaturation 區加熱鋁塊往 Annealing 區加熱鋁塊的方向）的速度為探討對象，以 2.4、3.6、4.8、6.0 mm/s 四種速度作比較，探討改變移動速度對升降溫的影響。圖 15 中所示，以單一熱循環來探討，平台以 2.4mm/s 的速度移動使反應槽有充足的時間達到目標溫度，而 3.6、4.8、6.0 mm/s 移動速度太快，使反應槽無法充分升降溫。

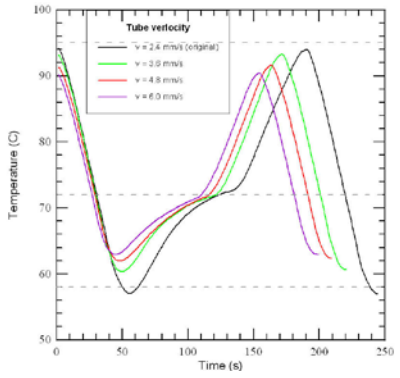


圖 15. 移動速度對溫度影響曲線圖（灰色虛線代表 95 °C、72 °C、58 °C）

由 Annealing 的溫度（58±1 °C）到 Denaturation 的溫度（94~95 °C）的曲線段落來探討。由表 2 所示，以 2.4 mm/s 的移動速度升溫效率最高，且皆能達到 PCR 反應目標溫度，符合實驗需求。

表 2. 移動速度與升溫效率的比較表

移動速度	由最低溫升溫至最高溫所需時間	溫度		升溫效率
		最低溫	最高溫	
2.4mm/s	130 s	57°C	94°C	0.285°C/s
3.6mm/s	120 s	60°C	93°C	0.275°C/s
4.8mm/s	115 s	62°C	92°C	0.261°C/s
6.0mm/s	110 s	63°C	90°C	0.245°C/s

3.3.2 探討移動平台在各溫區的停留時間對反應槽升降溫的影響

實驗中，平台總共停留四個地方：Denaturation 區鋁塊前端、Extension 區鋁塊前端、Annealing 區鋁塊尾端、Denaturation 區和 Extension 區鋁塊間的空氣區（圖 16）。分別探討這四個區域減少停留時間對反應槽升降溫的影響。

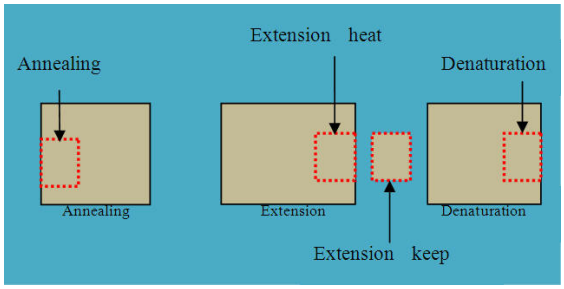


圖 16. 鋁塊停留位置示意圖

圖 17 所示以單一熱循環來探討，黑色實線為調整溫度後的標準溫度曲線，其他區域減少停留時間對升降溫均有影響，由以下（圖 18-21）依序討論。

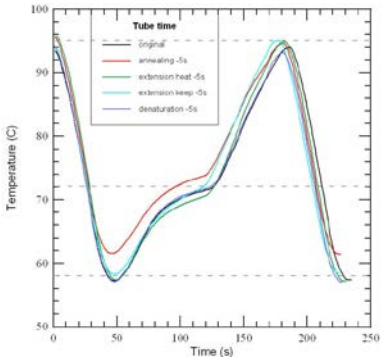


圖 17. 停留時間對溫度影響曲線圖（灰色虛線代表 95 °C、72 °C、58 °C）

3.3.2.1 Annealing 區停留時間減五秒

圖 18 所示黑色實線為標準溫度曲線，紅色實線為減五秒後的溫度曲線。由結果圖觀察，減少 Annealing 區的停留時間會使反應槽無法降溫到 58±1 °C 溫區內，間接造成後續區域溫度過高。

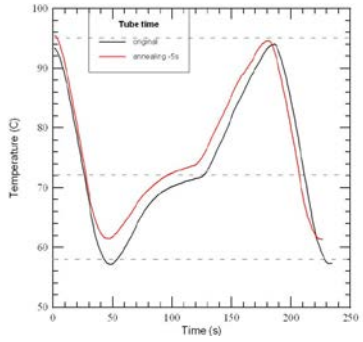


圖 18. Annealing 區停留時間減五秒對溫度影響曲線圖（灰色虛線代表 95 °C、72 °C、58 °C）

3.3.2.2 Extension heat 區停留時間減五秒

圖 19 所示黑色實線為標準溫度曲線，綠色實線為減五秒後的溫度曲線。由結果圖觀察，減少 Extension heat 區的停留時間會使反應槽無法升溫到 71±1 °C 溫區內，升溫時間不足。

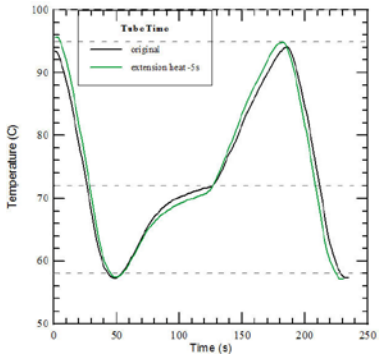


圖 19. Extension heat 區停留時間減五秒對溫度影響曲線圖（灰色虛線代表 95 °C、72 °C、58 °C）

3.3.2.3 Extension keep 區停留時間減五秒

圖 20 所示黑色實線為標準溫度曲線，藍色實線為減五秒後的溫度曲線。由結果圖觀察，減少 Extension keep 區的停留時間會使反應槽維持溫度在 71±1 °C 溫區內的時間減少五秒，此區域的停留時間可以控制 Extension 反應時間的長短。

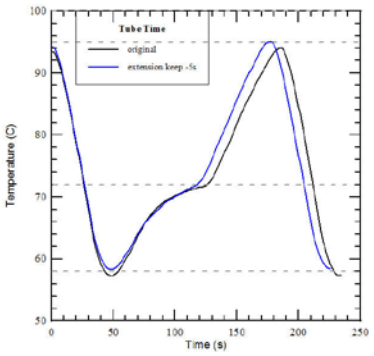


圖 20. Extension keep 區停留時間減五秒對溫度影響曲線圖（灰色虛線代表 95 °C、72 °C、58 °C）

3.3.2.4 Denaturation 區停留時間減五秒

圖 21 所示黑色實線為標準溫度曲線，紫色實線為減五秒後的溫度曲線。由結果圖觀察，減少 Denaturation 區的停留時間會使反應槽無法升溫到目標溫度 94~95 °C 溫區內，升溫時間不足。

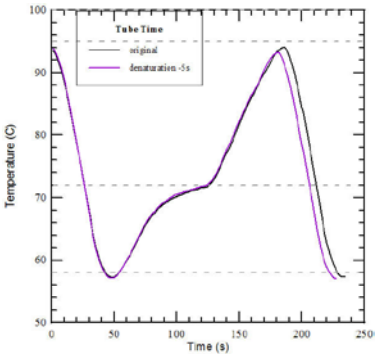


圖 21. Denaturation 區停留時間減五秒對溫度影響曲線圖（灰色虛線代表 95 °C、72 °C、58 °C）

3.4 探討改變樣本 Extension 反應時間和 PCR 熱循環次數對 DNA 擴增的影響。

3.4.1 改變樣本 Extension 反應時間對 DNA 擴增的影響

探討 Extension 反應時間為 30 秒、20 秒、10 秒的結果差異。熱循環次數皆為 30 次，樣本 Denaturation、Annealing 反應時間皆為 10 秒，擴增目標為 385bp 和 420bp 的 DNA 片段。由電泳圖（圖 22）所示，編號 M 為廠商提供之 DNA 片段位置階梯圖，編號 A 為商用 PCR 裝置擴增 DNA 片段的結果，編號 B 樣本的 Extension 反應時間為

30 秒，編號 C 的樣本 Extension 反應時間為 20 秒。結果顯示編號 A、B、C 在 385 bp 和 420 bp 的 DNA 片段上擴增結果幾乎相同。20 秒和 30 秒的 Extension 反應時間對樣本的擴增沒有明顯差異，兩個樣本皆能完整擴增，證實樣本 Extension 作用持續 20 秒就可以完成反應。

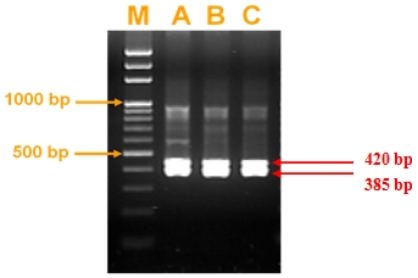


圖 22. 瓊脂凝膠電泳圖（樣本 Extension 反應時間 30 秒與 20 秒比較）

接著將探討樣本所需的最短反應時間可能小於 20 秒。由電泳圖（圖 23）所示，編號 1 為商用 PCR 裝置擴增 DNA 片段的結果，編號 2 樣本的 Extension 反應時間為 10 秒，編號 3 的樣本 Extension 反應時間為 20 秒。結果證實樣本 2 的擴增效果比樣本 3 好。研判造成此結果原因是樣本 2 的作用溫度控制在 70~72 °C 內（聚合酶的作用溫度為 68~72 °C），而樣本 3 的作用溫度約在 71~73 °C 間，若超過作用溫度則會使聚合酶作用減低，因此樣本 2 的擴增效果才會比樣本 3 好。10 秒的反應時間可以成功使樣本擴增，但由於反應時間較短造成擴增效果降低。由圖 22 和圖 23 說明樣本 Extension 反應所需的最短時間可能小於 20 秒。

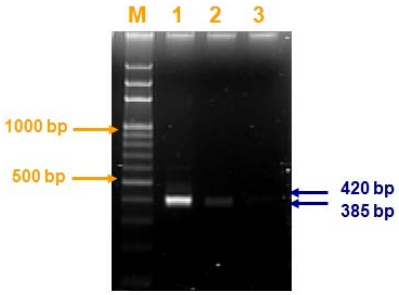


圖 23. 瓊脂凝膠電泳圖（樣本 Extension 反應時間 10 秒與 20 秒比較）

3.4.2 改變往復次數

電泳圖（圖 24）所示，編號 M 為廠商提供之 DNA 片段位置階梯圖，編號 1 和 2 為商用 PCR 裝置擴增 DNA 片段的結果，編號 3 和 4 為往復式裝置擴增 DNA 片段的結果。編號 1 和 3 的熱循環次數為 20 次，編號 2 和 4 的熱循環次數為 25 次。擴增目標皆為 385 bp 和 420 bp 的 DNA 片段，樣本 Denaturation、Annealing、Extension 反應時間皆為 10 秒。由電泳圖證實，熱循環次數為 20 次，編號 1、3 無明顯 DNA 片段擴增，表示熱循環次數太少，DNA 片段數無法擴增到檢測數量。編號 2、4 證實，熱循環次數為 25 次，商用 PCR 裝置可以順利擴增 DNA 片段，往復式裝置亦可成功擴增，但效果不比商用裝置明顯。385 bp 片段擴增效果較 420 bp 片段佳，說明較短的 DNA 片段相較於長片段更容易完成擴增。

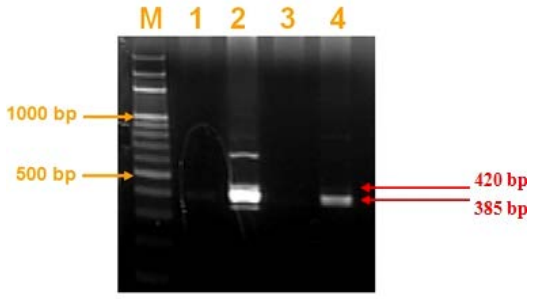


圖 24. 瓊脂凝膠電泳圖（比較往復次數不同）

四、結論

本研究希望利用簡單的加熱系統和移動裝置，控制 PCR 各反應的反應時間和熱循環次數以達到 DNA 片段的擴增效果，並與商用 PCR 裝置比較成效。本研究利用往復式 PCR 裝置擴增 DNA 片段。移動平台以 6 mm/s 和 2.4 mm/s 的往復速度對系統的升降溫最穩定，而過長或過短的停留時間則會使反應槽無法達到 PCR 所需的作用溫度。在防止樣本蒸發的試驗中，液態 PDMS 在樣本蒸發前就會凝固，可以完整將樣本包覆在其中。PDMS 具疏水性不會與樣本混合，對 PCR 實驗來說相當穩定。所以本實驗以 PDMS 包覆樣本的方法成效最好。從比較 Extension 反應時間和熱循環次數的結

果證實，較長的反應時間有助於樣本擴增，而樣本所需的最短反應時間可能小於 20 秒。精準控制反應溫度會使樣本擴增更為順利，若超過反應溫度則會使擴增效果降低。較少次的熱循環次數則會影響 DNA 片段的擴增數量。研究結果證實，若反應時間皆為十秒，熱循環次數低於 20 次，則 DNA 片段數無法達到檢測數量。熱循環次數達 25 次，則可以順利檢測成功，而較短的 DNA 片段相較於長片段更容易完成擴增。

五、 致謝

本次的研究非常感謝林宗宏學長和謝奕祥學長的提攜，還有熱流實驗室的學長們的建言與指導。感謝許益誠老師實驗室學長提供設備以及本校獸醫系廖明輝老師實驗室學長們的幫忙。更重要的是，由衷感謝指導教授陳志堅老師的啟發與教導，並為我們提供了良好的研究環境，讓我們學到了知識，掌握了研究的方法，也獲得了實踐鍛鍊的機會，因此讓我們在本次研究中受益良多，謹致謝忱。

六、 參考文獻

[1] 楊曜聰，2011，「往復式聚合酶連鎖反應系統之製作」，碩士論文，國立屏東科技大學，屏東。

[2] C. T. Wittwer, and D. J. Garling, 1991, “Rapid cycle DNA amplification: time and temperature optimization,” *Biotechniques*, Vol. 10, No. 1, pp. 76-83.

[3] C. Zhang, H. Wang, and D. Xing, 2011, “Multichannel oscillatory-flow multiplex PCR microfluidics for high-throughput and fast detection of foodborne bacterial pathogens,” *Biomed Microdevices*, Vol. 13, pp. 885-897.

[4] D. Liu, G. Liang, X. Lei, B. Chen, W. Wang, and X. Zhou, 2011, “High efficient capillary polymerase chain reaction using an oscillation droplet microreactor,” *Analytical Chemistry Acta*, Vol. 718, pp. 58-63.

[5] J. Chiou, P. Matsudaira, A. Sonin, and D. Ehrlich, 2001, “A closed-cycle capillary polymerase chain reaction machine,” *Analytical Chemistry*, Vol. 73, No. 9, pp. 2018-2021.

[6] L. Chen, J. West, P. A. Auroux, A. Manz, and P. J. R. Day, 2007, “Ultrasensitive PCR and real-time detection from human genomic samples using a bidirectional flow microreactor,” *Analytical Chemistry*, Vol. 79, No. 23, pp. 9185-9190.

[7] Polini, E. Mele, A. G. Sciancalepore, S. Girardo, A. Biasco, A. Camposeo, R. Cingolani, D. A. Weitz, and D. Pisignano, 2010, “Reduction of water evaporation in polymerase chain reaction microfluidic devices based on oscillating-flow,” *Biomicrofluidics*, Vol. 4.

The influence of the moving characteristics of micro-droplet DNA samples on polymerase chain reaction

Student: Fu -Hsiang Yang, Yu- Min Lin

Chen -Wei Wang

Teacher: Jyh-Jian Chen

Department of Biomechatronics Engineering

National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

The experiment’s target is to use reciprocate a reaction chamber among the three temperature range

by using the oscillatory thermal cycling machine, and we collocate Watlow heater to heat aluminum block in order to achieve PCR reaction conditions. The experiment objective: (1) To test the platform between different moving speed and time in each temperature zone for reaction chamber. (2) To solve the problem of the evaporation of samples in the PCR experiment. (3) Complete the DNA amplification of fragments, and then we compared oscillatory thermal cycling machine with Commercial PCR machine. (4) Discuss the effects of sample about the extension time and the PCR thermal cycling times on the effect of DNA amplification. The experiment's DNA gene is extracted from dog's excrement, and then we mix the Polymerase as our PCR samples of the experiment. The target fragments of the amplification are 385-bp and 420-bp. The results showed that when the Watlow heater output constant temperature, the forward speed is set at 6 mm/s and backward is 2.4 mm/s, then we can achieve the temperature required for the experiment. However, the sample is covered by PDMS. And we can prevent the sample from evaporating. It is successful to perform the amplification of DNA fragments when doing the PCR experiment.

Keywords: Polymerase Chain Reaction, Reaction chamber, thermal cycling machine, Oscillatory.

紙基材微流體晶片裝置之葡萄糖和蛋白質快速檢測

學生姓名：黃翔駿
指導老師：陳志堅 博士

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本研究運用簡單的紙和蠟筆製作出便攜式的微流體晶片裝置。其操作方法以疏水性聚合物劃定明確的輪廓，以將親水性測試區域隔開，去創造出一個界限清楚的渠道。由於毛細作用，可以引導待測的親水性流體進入所規劃的測試區域，經由此種方法能夠在一小張紙上做單次的多樣性檢測，並同時利用比色測試判別結果。這種實驗方法具有反應快速、判讀容易且不需複雜或昂貴儀器的優點。除此之外藉由檢測尿液中葡萄糖和蛋白質的濃度，可推斷人體腎臟功能是否出現問題。

關鍵字： 疏水性、親水性、毛細作用、比色測試。

一、引言

傳統中微流體晶片的操作方式是使用相對昂貴的矽或壓克力作為原料，一開始基底蝕刻液體渠道，待測微流體利用額外加裝微型幫浦和瓣膜來操控，實驗完成後使用化學試劑的清洗，以確保下次實驗的精確性。

相對而言紙的微流體裝置是一種很有前途的技術，應用中，低成本的紙張和蠟，簡單的使用方法不需要專門的實驗設備和實驗人員，及使用完畢即丟棄或燒毀，不會造成同傳統晶片因清洗不乾淨，而影響下次實驗的精確性[1-4]。本研究將為流體設備製造能有用在發展中的國家，以及在工業化國家，精密儀器不能到達的偏遠內地或貧瘠的地區；做監測慢性疾病，軍事應用，環境監測，農業，獸醫，醫藥等用途。

二、理論模式

2.1 模擬方法：

首先利用粉蠟筆繪製出設計好的圖形，再利用加熱攪拌器烘烤，使蠟融化到紙張纖維，接下來用透明膠帶黏貼至紙張背面做一防水層，避免待測溶液滲透超出紙張範圍，通過添加適當試劑的測試區，最後使用受檢測流體測試。

2.2 理論分析：

本研究觀察的目標為不同溫度、時間加熱烘烤對流體渠道的影響，微流體晶片裝置中做 pH 檢測與葡萄糖和蛋白質檢測。

酚酞 pH 檢測：當繪製圖形完成後，用調配好濃度的酚酞以移液器滴至檢測區，乾燥後再以氫氧化鈉（NaOH）溶液測試，觀察流體在流道和顏色變化。

葡萄糖和蛋白質檢測：圖形繪製完成後，分別以葡萄糖和蛋白質的指示劑滴製所屬指示區，再以不同濃度的葡萄糖和蛋白質溶液測定，如圖 1。控制檢測：要證明葡萄糖和蛋白質相互不干擾的測定，每種分析物單獨或兩種分析物結合的標準溶液，顏色亮度不會

改變。

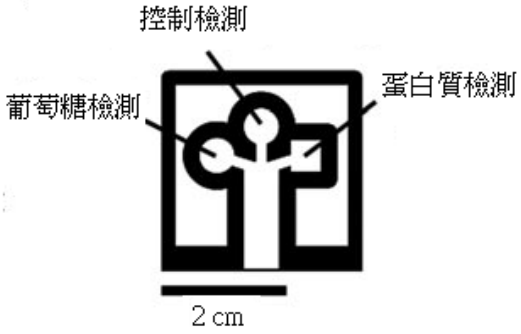


圖 1、葡萄糖和蛋白質檢測

三、實驗設備與方法

3.1 實驗設備

3.1.1 微流晶片製作材料

圖案紙張

1. 機器棉紙（我愛中華筆莊有限公司出品）。
2. A4 影印紙（Double A）。
3. 廚房捲筒紙巾（得意）。

繪製工具

1. 粉蠟筆（雄獅）。
2. 利用 25mm×40mm 橡皮擦所刻模型，讓手繪製渠道樣本大小近乎相同，如圖 2 所示。
3. 雙面膠帶 18mm，透明膠帶 36mm

圖 2、橡皮擦 25mm×40mm

3.1.2 微流晶片加工設備

圖 3 為加熱攪拌機，用於晶片烘烤，指示藥劑調配。

圖 3、加熱攪拌機

圖 4 為微量移液器，用於指示劑滴至晶片檢測區，待測溶液滴至晶片進行實驗。

圖 4、微量移液器 50μ*l*，0.2-2μ*l*

3.1.3 試劑

酚酞與調配用酒精（95%），用於配置微流晶片 pH 值測定實驗之指示劑，如圖 5。

圖 5、酚酞與酒精（95%）

氫氧化鈉 NaOH 與配好 0.02M NaOH 溶液，用於 pH 測定中之待測溶液，如圖 6。

圖 6、氫氧化鈉 NaOH

碘化鉀與配好 0.6M 碘化鉀溶液，用於晶片葡萄糖測定實驗中的指示劑，如圖 7。

圖 7、碘化鉀

葡萄糖氧化酶/過氧化物酶試劑，用於晶片葡萄糖測定實驗中的指示劑，如圖 8。

圖 8、葡萄糖氧化酶/過氧化物酶試劑

聚乙烯醇和調配用酒精(95%)還有已配好 2.5g/L 聚乙烯醇溶液，用於晶片蛋白質測定中的指示劑，如圖 9。

圖 9、聚乙烯醇和調配用酒精（95%）

檸檬酸緩衝液，用於晶片蛋白質測定中的指示劑，如圖 10。

圖 10、檸檬酸緩衝液

圖 11 為四溴酚藍與調配用酒精（95%）和已配好 3.3mM 四溴酚藍溶液，用於晶片蛋白質測定中的指示劑。

圖 11、四溴酚藍與調配用酒精（95%）

牛血清蛋白（BSA）與配好三種濃度的 BSA 溶液，分別為 0.38μM、1.5μM、50μM，用於晶片蛋白質測定中的待測溶液，如圖 12。

圖 12、牛血清蛋白（BSA）

3.2　實驗方法

在執行晶片製程前，必須先在橡皮擦上刻出所需要晶片的圖形流道，因為本實驗是手動繪製圖形，爲了確保手繪的樣本近乎相同，所以需要先刻製出模型，在用以蠟筆描繪模型製出樣本。圖 13 為微流晶片的流程圖，用紙張貼著所刻好的橡皮擦模型再以粉蠟筆描繪出圖案，接著用透明膠帶黏貼晶片背面做防水層，以防指示劑或待測流體滲透出晶片，然後在晶片所規劃的測定區域，用微量移液器把指示劑滴在檢測區，室溫乾燥至溶劑完全乾燥，最後再用微量移液器吸取待測流體，滴在圖形底部，藉由流體的毛細作用滲透至檢測區，與檢測區指示劑產生化學變化達到變色效果，利用比色測試判別流體成分濃度。

圖 13、紙微流晶片流程圖

3.2.1 不同紙張製作微流道晶片

觀察流體在紙張 x，y，z 方向上的滲透擴散效果，用以決定本研究製作微流晶片的紙張。所使用的三種類型紙張：機器棉紙、A4 影印紙、捲筒衛生紙。棉紙：以漂白構樹皮、雁皮、麻及木漿為主原料，縱橫紙力不平衡，且略呈單光。捲筒衛生紙：100%原生化學紙漿或摻用部分原生機械木漿，爲使吸水力增加，表面多有凹凸起皺設計，且有雙層。影印紙：紙張表面經紙張表面處理，爲使油墨不易脫落，紙張纖維密度較高，吸附墨水之後不易產生毛邊、暈染，而且墨水乾燥速度快。

3.2.2 微流體晶片烘烤加工

參考 Whitesides Research Group [5]製作微流體裝置步驟，微流體晶片製程完後進行烘烤的加工。做烘烤目的在於能讓紙張表面蠟溶化滲透至纖維中，實驗中使用加溫攪拌器烘烤不同溫度，及不同時間再以微量移液器吸取 7μl 的紅墨水溶液，滴至圖形下方觀察流道變化。

3.2.3 微流體裝置中 pH 值檢測

在微流體晶片繪製完成後，以濃度 0.03M 酚酞溶液（95%酒精，5%水），用微量移液器吸取 0.5μ*l* 滴至檢測區，室溫乾燥三分鐘後，以濃度 0.02M 氫氧化鈉，用微量移液器吸取 7μ*l* 滴至圖形下方，室溫乾燥 5 分鐘，如圖 14。

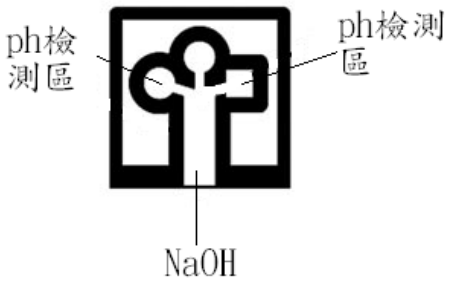


圖 14、pH 檢測示意圖

為了與傳統型晶片做一個比較，刻意將製作好用於 pH 值檢測的紙基材微流體晶片，放置在近馬路的窗台上數天，測試外界環境條件中，懸浮粒子是否會干擾渠道或測試結果。

3.2.4 微流體裝置中做葡萄糖與蛋白質的檢測

葡萄糖檢測：當晶片裝置繪製完成後，用微量移液器吸取(0.5μ*l*)0.6M 的碘化鉀溶液（100% DI water）滴至葡萄糖檢測區，並在室溫下使其乾燥。乾燥後，在取 5：1 葡萄糖氧化酶/過氧化物酶試劑（0.5μ*l*），滴至剛乾燥葡萄糖檢測區的頂部，並讓其乾燥。

蛋白質檢測：當晶片裝置繪製完成後，用微量移液器吸取 2.5g/L 聚乙烯醇溶液（92%水，8%乙醇），0.5μ*l*，滴至蛋白質檢測區頂部，使其乾燥。再吸取（0.5μ*l*）pH 1.8 的檸檬酸緩衝液，滴至蛋白質檢測區頂部，使其乾燥。再以微量移液器吸取（0.5μ*l*）3.3mM 的四溴酚藍溶液（95%乙醇，5%水），滴至蛋白質檢測區頂部，並在室溫下乾燥 3 分鐘。如圖 15 所示。

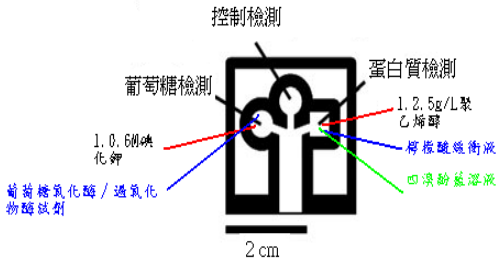


圖 15、葡萄糖與蛋白質檢測

本研究考慮到製作出的紙基材微流體晶片，是可能在室外環境條件中試驗，而取樣待測流體的器材，很難能像常規實驗室中有精密的器材，所以取樣可能會有過多的情形，因此本實驗設計出廢液回收的機制，利用雙面膠帶黏貼晶片與收集廢液的紙張，使其沒有空隙，圖 16 為製作示意圖。

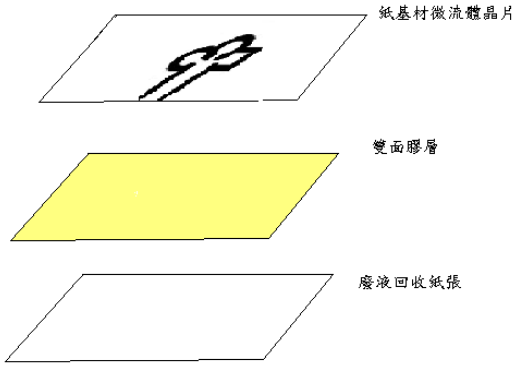


圖 16、廢液回收示意圖

四、結果與討論

4.1 不同紙張製作微流道晶片

圖 17 為三種紙張在滴入紅墨水後一分鐘變化；圖 18 為滴入紅墨水後十分鐘變化。結果顯示以機器棉紙最能達到 Whitesides 研究小組製作微流體裝置的效果；影印紙因為有做過表面處理，所以流體不易滲透；

捲筒衛生紙因液體的擴散在 x，y 平面比在 z 方向上快，這會引起擴散的圖案模糊，且有雙層設計，流體會因下層浸濕而回滲到上層未規劃的流道位置。

圖 17、紙張 1 分鐘變化

圖 18、紙張 10 分鐘變化

4.2 微流體晶片烘烤加工

圖 19 為在溫度 85℃，時間 90 秒、60 秒、30 秒的實驗，結果顯示溫度 85℃不論時間長短，蠟因溫度太高而融化到檢測區，而會造成設定的檢測區域變小，會影響結果判讀出現誤差。

圖 19、溫度 85℃，時間 90 秒、60 秒、30 秒

圖 20 為溫度 65℃，時間 90 秒、60 秒、30 秒的實驗，以烘烤時間 60 秒、30 秒較為接近 Whitesides 研究小組製作微流體裝置的研究成果。

圖 20、溫度 65℃，時間 90 秒、60 秒、30 秒

圖 21 為溫度 45℃，時間 90 秒、60 秒、30 秒的實驗，在 45℃下蠟並不會干擾到所規劃的檢測區域，對於檢測結果圖形的判讀較為精確；蠟的熔點為 55℃-65℃，所以此 45℃實驗，加溫未到蠟的熔點，而不影響到流道與測試區。

圖 21、溫度 45℃，時間 90 秒、60 秒、30 秒

圖 22 為未經烘烤加工，顯示沒經過烘烤也能達到 Whitesides 研究小組製作微流體裝置的成果；經由手出力描繪，所以蠟比較容易壓至紙張纖維中，也有因紙張厚度的關係，而讓本實驗所製作的微流體晶片不用進行晶片的加溫烘烤；Whitesides 研究小組製作是用列印出圖形所以有需要進行加溫烘烤，才能讓蠟滲到紙張纖維中。

圖 22、未經烘烤加工

4.3 微流體裝置中 pH 值檢測

利用酚酞在濃鹼液 pH 8.2-12 會呈現粉紫色的特性，以氫氧化鈉（NaOH）溶液做為測試，當氫氧化鈉溶液接觸到檢測區酚酞時，就立刻產生顏色變化，如圖 23 所示。

圖 23、pH 檢測結果

4.3 外界干擾對紙基材微流體晶片影響

傳統型用矽或壓克力材料所製作的微流體晶片，製作出的實驗樣品測量需在無菌條件下或專門製作微流體晶片的實驗室中，而外界的灰塵和汙垢可能會影響微流體晶片的檢測；而實驗結果遠高於我們所期望的，外界的粉塵不干擾渠道和試樣的測定，如圖 24 所示。

圖 24、外界環境對樣本影響

4.4 葡萄糖與蛋白質檢測

葡萄糖測定：

根據葡萄糖在葡萄糖氧化酶的催化作用下形成葡萄糖酸和過氧化氫，過氧化氫在過氧化氫酶的催化作用下形成水和原子氧，以及原子氧可以將無色的碘化物氧化成有色的化合物的原理，將上述兩種酶和碘化物固定在晶片測試區上，當與含有葡萄糖的流體相遇時，很快會因為流體中葡萄糖的含量的少到多而依次呈現棕或深棕色。圖 25 為使用濃度為 500mM 和 50mM 的葡萄糖標準液進行測試，結果顯示顏色變化不明顯，濃度為 500mM 相對於 50mM 的葡萄糖標準液，顏色較為深。

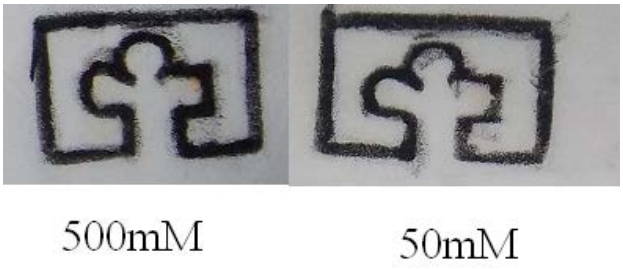


圖 25、500mM，50mM 葡萄糖標準液測試

蛋白質測定：

先以聚乙烯醇溶液作為穩定溶液，在滴入檸檬酸緩衝液減緩 pH 值改變，使 pH 值不會上升或下降太快，再利用四溴酚藍(TBPB)在低於 pH3.0 時會成黃色高於 pH4.6 會成藍色的特性，當和蛋白質結合時的顏色變化。圖 26 為使用 50μM 和 1.5μM 蛋白質標準液測試，濃度較高的蛋白質溶液顯現的顏色較深。

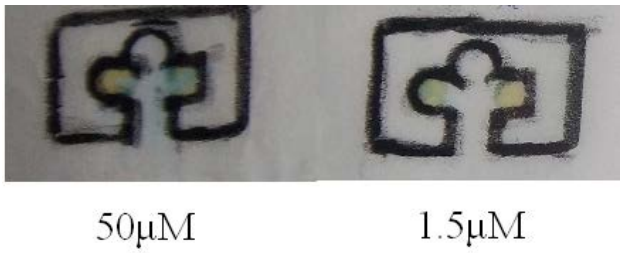


圖 26、50μM 和 1.5μM 蛋白質標準液測試

4.5 紙基材微流體晶片之廢液回收

利用流體運動的原理，流體在紙基材微流體晶片中做 x，y 平面上的運動，過多的廢液流體就會做 z 方向的向下運動，接著在第二層廢液回收紙上做 x，y 平面的運動，圖 27 為滴 500μ*l* 紅墨水實驗結果。

圖 27、廢液回收結果

五、結論與建議

在本研究中，透過在紙基材微流體晶片在 pH 測定和葡萄糖和蛋白質測定中，主要是以流體流入所規劃好的測試區域，經過測試區域的指示劑顏色變化，進而推斷出流體內單個或多個分析物的濃度；流體在晶片上的檢測時間，取決於晶片所設計的渠道大小或複雜性，而指示劑的濃度也是相當重要的，這關係到所製成的晶片，試驗後判定的顏色是否可以清楚判別。本研究在微流體晶片的渠道繪製上，大小粗細和蠟筆的量不夠精確，導致所製成的每一個樣品不能達到完全相同，針對此問題，在此也提出幾項建議；使用專門的噴蠟式印表機：透過使用噴蠟式印表機，能夠讓每個微流體晶片樣本達到相同，讓實驗的準確性更加精確；但若使用噴蠟式印表機，就有需要做晶片的烘烤加工，加熱至蠟的熔點 55℃至 65℃，讓蠟能溶化到紙張纖維，形成阻擋親水性流體的渠道。因本研究檢測葡萄糖和蛋白質部分，使用的紙張對於分析物濃度的顏色判別並不明顯，可參考文獻[4]中所使用的 whatman 色層分析紙，讓檢測分析物的顏色變化能更加明顯。

六、致謝

本專題能順利完成，由衷感謝陳志堅老師在實驗期間不厭其煩的指導我，並在我遇到困難時，適時給予方向與建議，也感謝實驗室學長在專題製作期間不斷的給予鼓勵及指導，讓我們在專題過程中獲益良多，最後對曾給予許多我寶貴意見的老師或同學，致上最深的謝意。

七、參考文獻

[1]. Martinez, A. W., Phillips, S. T. and Whitesides, G. M., Three-dimensional microfluidic devices fabricated in layered paper and tape, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2008, 105, 19606-19611.

[2]. Martinez, A. W., Phillips, S. T., Wiley, B. J., Gupta, M. and Whitesides, G. M., FLASH: a rapid method for prototyping paper-based microfluidic devices, Lab Chip, 2008, 8, 2146-2150.

[3]. Martinez, A. W., Phillips, S. T., Carrilho, E., Thomas, S. W. 3rd, Sindi, H. and Whitesides, G. M., Simple telemedicine for developing regions: camera phones and paper-based microfluidic devices for real-time, off-site diagnosis, Anal. Chem., 2008, 80, 3699-3707.

[4]. Martinez, A. W., Phillips, S. T., Butte, M. J. and Whitesides, G. M., Patterned paper as a platform for inexpensive, low-volume, portable bioassays, Angew. Chem. Int. Ed., 2007, 46, 1318-1320.

[5]. Derek A. ，Bruzewicz，Meital Reches，and George M. Whitesides，low-cost printing of poly barriers to Define microchannels in paper，Analytical Chemistry，Vol.80，No.9，May 1，2008 3387.

The microfluidic paper-based chip devices rapid detection of glucose and protein

Student: Xiang-Jun Huang

Teacher: Jyh-Jian Chen

Department of Biomechatronics Engineering

National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

This research of microfluidic devices refer to Harvard Whitesides Research Group. Herein we use simple paper and crayons to invent portable microfluidic chip devices. The method of operation is creating well-defined channels, defining areas of hydrophilic paper separated by hydrophobic lines or "wall"；Owing to capillary action, the tasted hydrophilic fluids enable flow into planned area,. According to this way, it is feasible to run disposable multiple diagnostic assays on one strip of paper while still using colorimetric test, so that we can easily determine result. This method is fast in reacting, easy to determine and requires no complicate or expensive equipment. Besides, we can confirm that concentration by the simultaneous detection of glucose and protein in urine is related to human kidney function.

Keyword: Hydrophobicity, hydrophilicity, wicking, colorimetric test.

自動化重力驅動之定量微流體晶片

專題學生：陳泰樺、卓虹君、張柏雅
指導教授：陳志堅博士

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本研究探討一種無動力源、無可動式閥件、無需額外機電系統支援的裝置，能夠完成檢體自動化分段、精確定量。晶片上設有微流道結構，以重力為驅動力，於該微流道結構之上游注入微流體後，藉由重力、吸附力和表面張力三種力交互作用，微流體朝向該微流道結構之下游流動，並可填滿設置於該微流道結構下游之各條一定長度之分支微流道內，如此達到將微流體自動定量分流之目的，並利用礦物油將流道封閉，使微流體在加熱過程中，因礦物油高沸點的特性，讓流體不易蒸發，得以檢測該微流體樣品，以進行分析反應。

關鍵字：自動化、微流體晶片、定量、重力、礦物油

一、引言

近年來，微流體控制技術吸引了許多領域的研究，包括了機械、電子、材料、控制、物理、生醫、化學、光學等多重技術整合的研發領域，其特色兼具微小化，對不同種類的檢體之各項生化檢驗工作日漸增加，使產品提升品質、性能以及可靠度，進而大幅提高人們的生活質量。

微流體功能主要發展的技術在於控制、感測、反應及分析微量流體。將微量體積（體積量介於微升至奈升）的液體導入微流道中，以機械或非機械式之微幫浦（micro pump）讓液體能夠在微流道中執行流體功能[1]，如混合、分離、加熱或聚合酶鏈反應（polymerase chain reaction，PCR）等實驗室所用之反應，且微流體的技術逐漸成熟並實際應用在許多地方，如臨床檢測、藥物傳送、定點照護檢測（point-of-care testing，POCT）[2]。

在微流體技術的發展中，如何讓流體在微管道中無誤地執行各種實驗流程，需要相當精密的技術與複雜的計算，目前所發展出的微流體操控技術大致可分為下述：毛細力，離心力、重力以及其他外部力量驅動等。而微流體系統中，利用毛細作用亦可用來當作使液體流動之驅動力，例如：漸縮管徑、局部加熱或改變管壁對於液體之潤濕性（wettability）等，皆可使液體產生自發性的流動，進而使微流體裝置能更有效率地運作。

運用流體本身衍生出來的能量或者是純粹表面影響，如表面張力、選擇性的親/疏水性控制等[3]，可進行微流體的操控。在附著力方面，當液體在固體表面上表面張力平衡時，可定義出液體與固體間之夾角為接觸角（contact angle）。親水性表面（hydrophilic surface）為液體與物體表面間的接觸角小於 90°，此物體表面吸引水滴，如在玻璃或金屬表面，水滴可以橫向擴展到相當大的面積，此時水的厚度極小，稱之為完全濕潤，定義此物體表面為親水性；疏水性表面（hydrophobic surface）為液體與物體表面間的接觸角大於 90°，此物體表面排斥水滴，在此物體表面的水滴無法向兩旁擴展，因此呈現水圓球形狀，稱之為部分濕潤，定義此物體表面為疏水性[4]。親水性對低流速的流動流體而言，可降低流體推動的驅動壓力，所代表的意義好比是驅動力；疏水性則是代表壁面存在

一個阻力的意義。

大多數被動式微流體裝置的控制是運用各式各樣的物理性質，如微流道形狀、流量控制及流動性質來達成所需的流體功能。2000 年，Wapner[5]即提出微流體若在尺寸小的管道中流動時，重力的影響已經不再佔有舉足輕重的角色，相反的，原本許多可被忽略的參數卻隨著尺寸的變小轉變成為決定因子，如表面張力，導致當微流體在微流道中流動時，流阻會隨著幾何形狀的改變而改變，因此必須考慮通道設計問題。根據 Bange 等人[6]，應用微流體技術於檢測時，有下列優點：減少篩選時間、降低試劑與樣品消耗量、程序自動化、整合步驟與攜帶方便。

B.Michel 等人[7]提出自動化微流體毛細管系統（autonomous microfluidic capillary system）的操作概念圖，其經由設計微流道不同深寬比的結構，探討微流體於結構內的壓力與阻力變化，並整合了以毛細管作用之微幫浦及微閥門等元件用於免疫分析（immunoassay）晶片。曾繁根等人[8]利用表面張力的驅動製作可拋式微流體生機檢測晶片，該晶片系以 SU-8 光阻為填充流道之基材，以 PDMS（polydimethylsiloxane）材料作為血液輸送流道，其晶片經由氧電漿處理後使表面成親水性，以 H 型微流道結構利用表面張力傳輸不同檢測試劑至感測器位置。

由於國際上微流體晶片的研究與發展相當迅速，微流體晶片被廣泛應用在生物醫療檢測、環境檢測等方面，而使用微流體晶片最明顯的好處是能處理小樣本量及節省試劑，與自動化功能的前端樣品處理用於檢測結果，對不同種類檢體之各項生化檢驗工作需日漸增加。由上述文獻回顧探討得知當微流體在微流道中流動時，可藉由管道表面的改質或結構設計來控制微流體運動的方向，並用此種表面張力效應來控制微流體的方法而不需外加驅動元件。因此本研究無需額外的驅動系統，僅利用幾何結構對微流體的影響，探討重力驅動自動分流及微流體精確定量的微流系統。

二、 研究設備與方法

2.1 實驗設備

利用 3D 繪圖軟體 SolidWorks，如圖 1 所示，建立其 3D 模型結構，存成 x_t 檔，以 VISI-Series Release 軟體將 x_t 檔匯出，並設定參數及材料位置校準原點。晶片的腔室可直接利用立式銑床做加工，如圖 2 所示。電腦數值控制 CNC，如圖 3 所示，將數值資料透過電腦輸入而直接控制機械達到切削的目地，CNC 數值控制雕刻機如圖 4 所示。

圖 1. SolidWorks 繪圖軟體

圖 2. 立式銑床

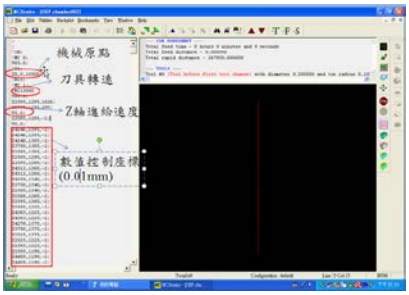


圖 3. NC Sentry 匯出數值控制程式

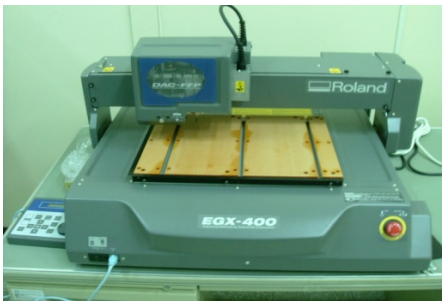


圖 4. CNC 數值控制雕刻機

圖 6. 礦物油

2.2 實驗材料

2.2.1 壓克力（polymethylmethacrylate，PMMA）

PMMA，又稱做壓克力或有機玻璃，具有高透明度、低價格、易於機械加工等優點，經常使用的玻璃為替代材料。而 PMMA 的密度低、重量輕、機械強度較高、熔點低、透光率高等幾項特點。

2.2.2 聚二甲基矽氧烷（PDMS）

聚二甲基矽氧烷，簡稱 PDMS，為疏水性高彈性矽膠類材料，廣泛運用於鑄模製造及微流體通道材質。其優點為材料溫度與成本遠低於矽晶圓、化學穩定性佳、透光性佳、良好生物相容性，以及具有較佳的可塑性。

2.2.3 凡士林

凡士林的特性安定不易變質，不易與水混合，具有十分良好的防水性（因是油狀物質），因此可以阻隔水分，並達到疏水的功用，如圖 5 所示。

圖 5. 凡士林

2.2.4 礦物油

礦物油是從石油中提煉出來的，並非真的油，不會因為與空氣接觸而氧化造成質變。礦物油的密封性佳，加熱時可以阻隔水分蒸發。如圖 6 所示。

2.3 實驗流程

本研究選擇較軟性的壓克力（PMMA）材料為基材，尺寸大小為 100mm×50mm×5mm（如圖 7 所示）。使用 3D 繪圖軟體 SolidWorks 建立其 3D 模型結構，設定加工的銑刀直徑、加工操作（環繞袋銑、往復袋銑）將銑刀與材料位置校準原點，其設定相關參數計算如公式（1）。

$$V = \frac{\pi DN}{1000} \quad (1)$$

其中 V 為切削速度（m/min）：每分鐘切削的表面速度；N 為刀具每分鐘回轉數（rpm）；D 為刀具直徑。設定完成並實體切削模擬後，經由程式輸出 NC（number control）程式，以 NC Sentry 匯出程式碼，即能以 CNC 數值控制雕刻（EGX-400；Engraving Machines Plus；USA）進行雕刻，為了製作微小精密的結構，其雕刻機精度最小為 0.01 mm，材料必須放置平行與平整。銑削深度依微流道設計決定。雕刻機銑削流程，如圖 8 所示。

將雕刻好的晶片進行實驗。均在晶片尾端圓孔加入棉花，達到流道上不殘留水的效果。再依不同的流道加入具有疏水性的 PDMS 或凡士林及具有親水性的黑棉線。使流體依序流入各流道內，再利用礦物油將各流道上下封閉，達到完全密封的效果，使流體不因加熱而蒸發。

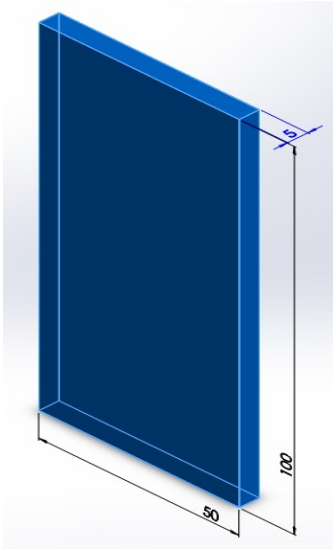


圖 7. 微流道晶片基底尺寸

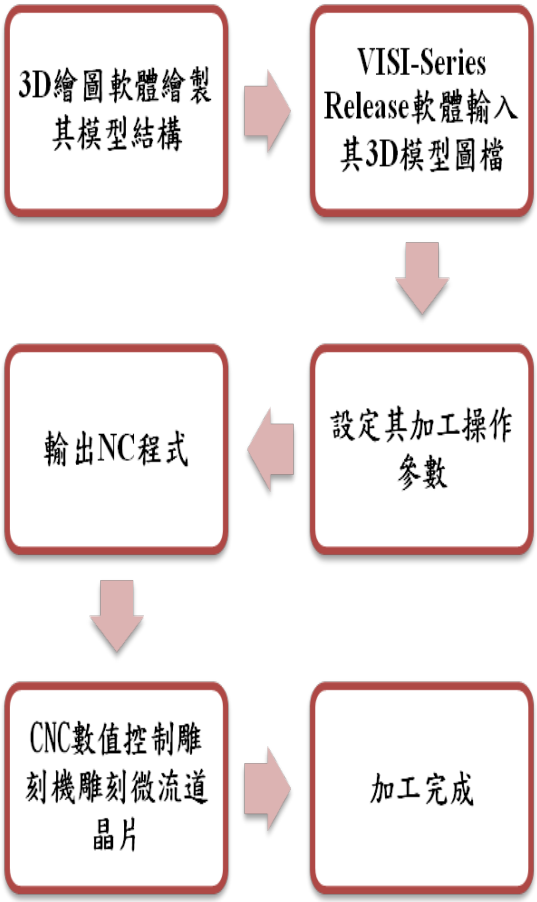


圖 8. 雕刻機銑削流程圖

三、結果與討論

本研究擬設計製作出微流體晶片，採自動化，無須外加動力，以重力為驅動力，驅使流體進入流道，藉由自然的重力效應使檢測樣品逐一進入微反應槽。

本實驗所設計之微流道材料為 PMMA，探討微流體晶片因放置角度產生之重力及毛細力流動之裝置。該流道主線之下游末端設置廢液收集區（Waste area），於該廢液收集區內設有具吸水性之棉花。流體會因毛細現象而流入各流道內，當流至疏水材質區域便停止流動，而多餘的液體則順著親水性流道吸至廢液收集區。其微流道導入的作法分為兩種，第一種：將晶片平行放置則以毛細力（沒有任何重力）為驅動力使流體前進；第二種：將晶片以傾斜角度為 90°放置，使之流體以重力及地心引力再加上毛細力，使流體前進。最後將微流道出入口以礦物油密封，讓礦物油能完全密封流體，使流體不因加熱而蒸發。

3.1 重力驅動之定量自動分流

在此各個分支管道間的微流體，彼此之間不互相干擾，製程簡單，變化彈性大，可相容於各式微流系統，可精確的定義出微流體分段後的體積大小，可同時批次化進行實驗，方便與後段測試做連接。快速微流體檢測晶片（重力式驅動），從晶片設定試劑和流序，皆配合微流重力設計，短時間即可快速、有效的檢驗效果。

此晶片的應用不僅能為疾病檢測與防治帶來便利和好處，更可減少因檢測產生污染廢棄物的數量，相當符合環保和實用醫材的趨勢。能在單一塑膠晶片內，以自動化方式完成生化反應檢測流程。完全閉鎖的設計也不會造成污染，適合對高危險性的感染檢體進行即時檢驗。實驗流程圖，如圖 9 所示。

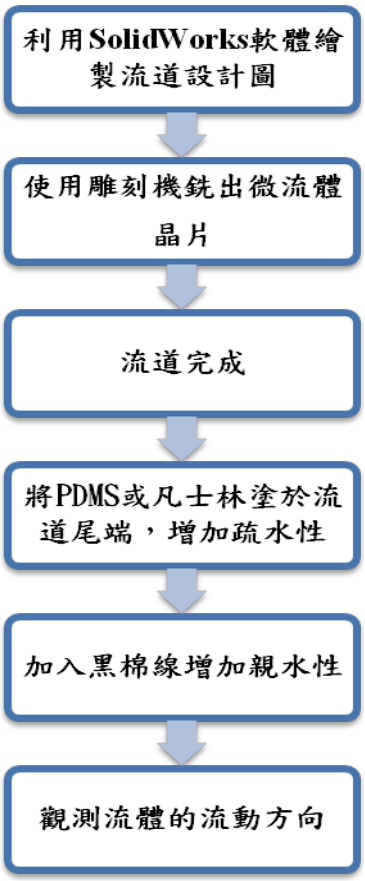


圖 9. 實驗流程圖

3.1.1 SolidWorks 繪製流道設計圖

此實驗採用兩種微流道來進行實驗，分別為流道不等長的晶片（如圖 10 所示）與流道等長的晶片（如圖 11 所示），兩者差別在於檢測樣品的需求量不同。流道不等長的微流體晶片，可同時用來檢測兩種不同需求量的樣品，減少檢測各種不同樣品所耗費的時間。流道等長的微流體晶片，可針對一種樣品同時進行多個實驗分析，能得到較精確的檢測數據。此實驗的兩種晶片，需使該檢測的流體樣本，停留於各流道內，得以獨立分開檢測流體樣本進行分析，均以重力驅動，採垂直於桌面角度成 90˚放置。

水平方向的反應槽（如圖 10 所示）重力影響較小，使得流體流入反應槽後較不易流出，而反應槽內流體產生的毛細力較無法克服棉花的吸力，因此使流體易被吸至廢液收集區，較無法停留於反應槽內；而垂直方向的反應槽（如圖 11 所示）重力影響較大，使得流體較易流出，而棉花的吸力無法克服反應槽內流體產生的毛細力，因此無法吸走流體，使得流體易停留於反應槽內。

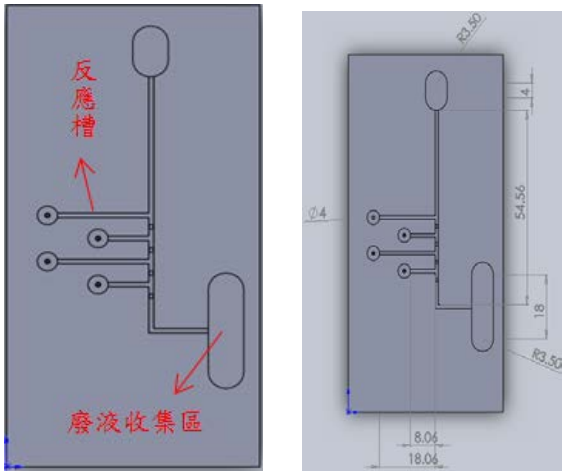


圖 10. SolidWorks 尺寸對照圖

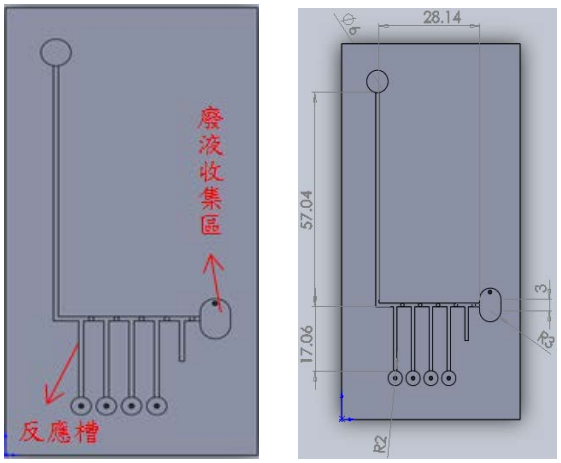


圖 11. SolidWorks 尺寸對照圖

3.1.2 流體流動之探討

與水平面成一定夾角傾斜延伸方向之微流道結構之上游注入流體，流體因重力作用而朝向該微流道結構之下游流動，流體填滿該流道結構下游之各條一定長度之流道支線內。

下圖晶片為流道尾端加入 PDMS 以達到疏水效果，並於第四條流道尾端加黑棉線，利於流體清空。由於 PDMS 的疏水效果並不顯著，流體易流出，因此還需 NJI3G4 藉由棉花的吸力防止流體流出，如圖 12 所示。

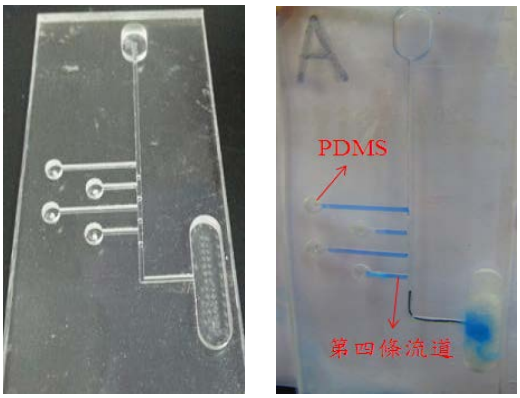


圖 12. 雕刻成品及流體流入之示意圖

下圖晶片於流道尾端加入凡士林以達更好的疏水效果，並於第四條流道尾端加入黑棉線，利於流體清空。將凡士林與 PDMS 做比對，發現凡士林的疏水性大於 PDMS。由於凡士林為油狀物質，因此能阻絕水分的效果較佳，如圖 13 所示。

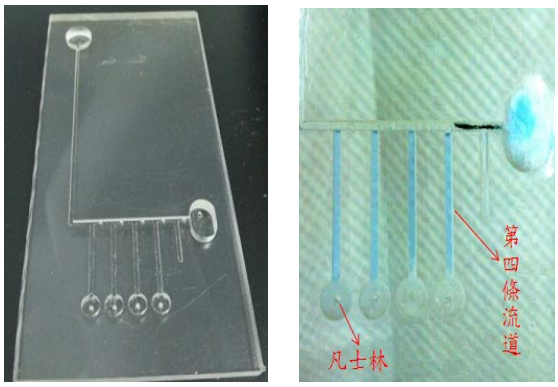


圖 13. 雕刻成品及流體流入之示意圖

3.2 定量連續流動

無需主動閥件，僅重力場、吸力與幾何結構即可完成微流體自動排開，可成功的將微流體分成數段、精確定義出微流體分段後的體積大小、不需任何主動元件或驅動元件，方便與後段測試做連接。

晶片存放於不同的製造過程中，不同的微反應器用於檢測多個不同的流體樣品和定量的樣品控制。此晶片可應用於生物晶片，需要快速且同時檢測多個病原微生物，包括細菌、病毒及原生動物。隨著近年來 PCR 方法和基因芯片檢測方法快速的進步，水性病原體群落組成和定量分析病原體負荷得以實現。實驗流程圖，如圖 14 所示。

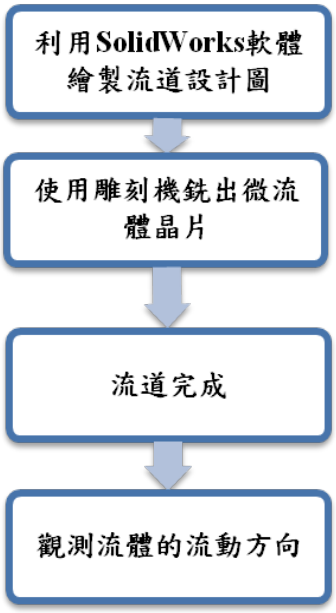


圖 14. 實驗流程圖

3.2.1 SolidWorks 繪製流道設計圖

此微流體裝置，是預加載同時（並行）基於即時 PCR 檢測多個不同的樣品，操作過程中，大大降低了複雜性細微加工和流體的情況。由於需要定量的樣品，因此將三個注水孔用銑床機做加工擴大（如圖 16 所示）。因此只需注入所需的定量流體，可避免過於浪費樣品的情形發生。

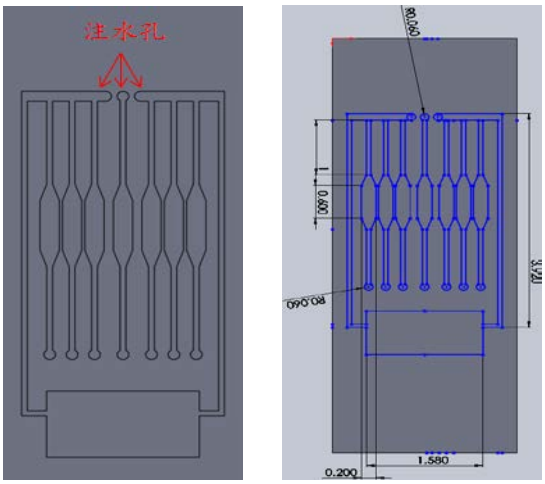


圖 15. SolidWorks 尺寸對照圖

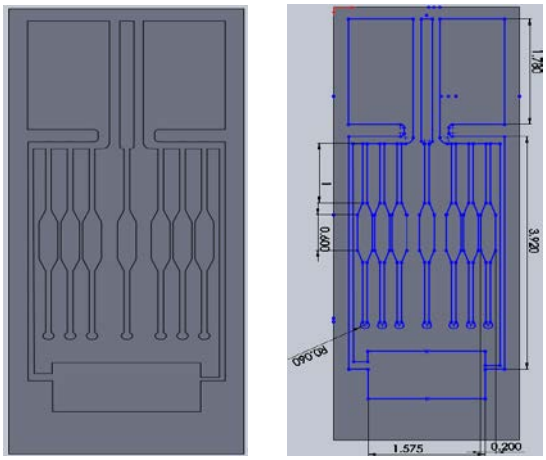


圖 16. SolidWorks 尺寸對照圖

3.2.2 流體流動之探討

在同一片晶片上對多種檢體同時做大量且多樣的實驗，勢必要將單一微流體做多管分流，並且彼此分流之後的微流體，仍能保持其穩定性不互相混合，在切換二種以上之不同檢體的同時還必須保持極低的互相混合程度。以下的實驗方法，僅藉由針筒的推力及重力使流體流動，不借助黑棉線、PDMS 和凡士林，即能以自然流動的方式進行實驗。

下圖晶片為平放桌面，採針筒持續注水的方式，並在廢液收集區加入棉花，利於兩側剩餘的流體清空。由於是採持續注入流體的方式，易造成注入的流體過於浪費的情形發生且不是自動化流入，如圖 17 所示。

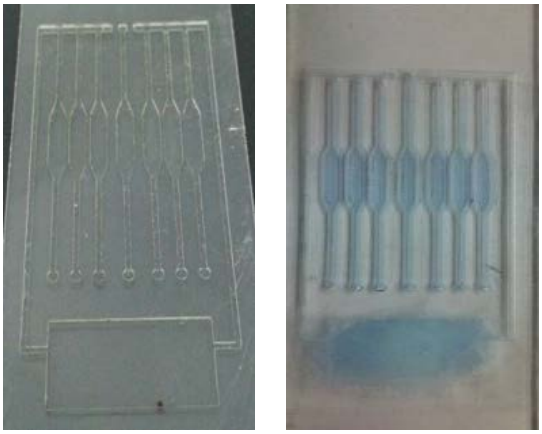


圖 17. 雕刻成品及流體流入之示意圖

下圖晶片為先注入流體，採垂直於桌面的方式進行實驗。並在尾端加入棉花，利於兩側剩餘的流體清空。此方法可控制注入流體的量，避免流體過剩的情形發生且為自動化流入，如圖 18 所示。

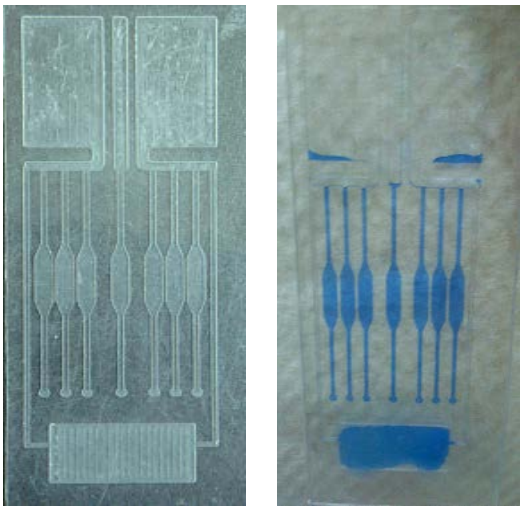


圖 18. 雕刻成品及流體流入之示意圖

3.3 密閉式定量連續流動

當微流體晶片以直立或傾斜角度擺放時，因重力的關係，流體物質循管道向下流。因重力驅動，此流體物質流動所釋放的位能，提供導引動力導引樣品流入微流體晶片的反應室，同時 S 型管道內的油狀流體依較緩慢的流速，密封反應室外的流道，已達完整的封閉性。

本裝置係利用重力驅動流序控制，無須外加任何動力源、無需周邊機電設備支援，可內建於一微流體晶片無需移動之試劑槽。一迂迴管道（S 型管道），具備了下列優點：（1）逐步釋放位能，（2）延長流動路徑（flow path），（3）利用迴轉點（turning point）作為緩衝，由此來控制流體物質的流率。此一晶片設計具有低能量消耗、低生產成本與無汙染的優點。實驗流程圖，如圖 9 所示。

圖 19. 實驗流程圖

3.3.1 SolidWorks 繪製流道設計圖

以下是微流道設計改善流程及 SolidWorks 尺寸對照圖。

一、此圖流道皆為 1mm，但由於重力問題，流體僅往下流而不往右流入各流道內，如圖 20-1 所示。

二、改善圖 20-1 的設計，將右方流入的流道改為 1.5mm，並將右側流入角改為圓角，使得水較能流入各流道內，根據 Ramalinga 等人[9]文獻中得知流道流出口小於流入口，可降低流體從流道流出的機率，但未能克服重力問題，如圖 20-2 所示。

三、改善圖 20-2 的設計，為避免重力影響，又需藉由重力當流體流動的動力，因此將流入的位置改至右方，使流體僅往一條通道流入，此處將各流道的流出角均改為 90°，係利用角度越小越能將流體留住的原理，如圖 20-3 所示。

四、為了使流體能依序流入各流道，將圖 20-3 各流道的流入角，均改為圓角，使流體能一接觸到圓角就流入，即能達成依序流入的目的，並增加注入礦物油的圓孔，更能達到全自動化流入，而非手動注入礦物油的缺點，如圖 20-4 所示。

五、由於實驗過程中注水孔處與外界空氣接觸，因此壓力較小，以至於礦物油會往上方流動，為了改善圖 20-4 的設計，將注油孔出口設置流道下方，注油孔往上放置利用重力驅動礦物油，並且設計 S 型流道，減緩礦物油流速，防止流體還未依序流入各流道前，礦物油就填滿流道而造成阻塞，如圖 20-5 所示。

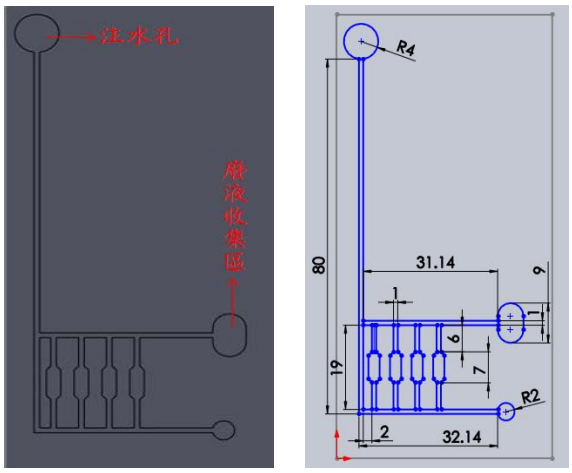


圖 20-1. SolidWorks 尺寸對照圖

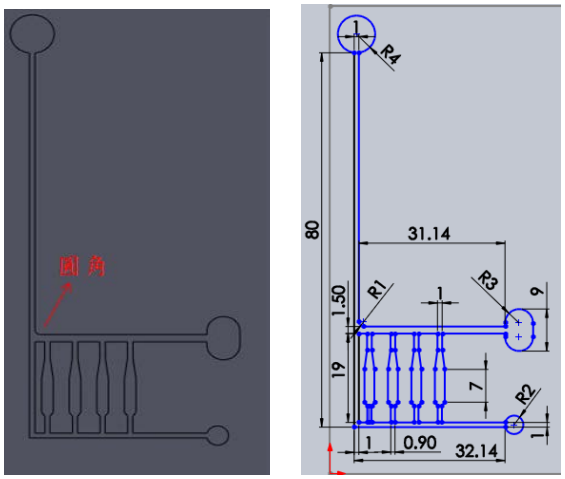


圖 20-2. SolidWorks 尺寸對照圖

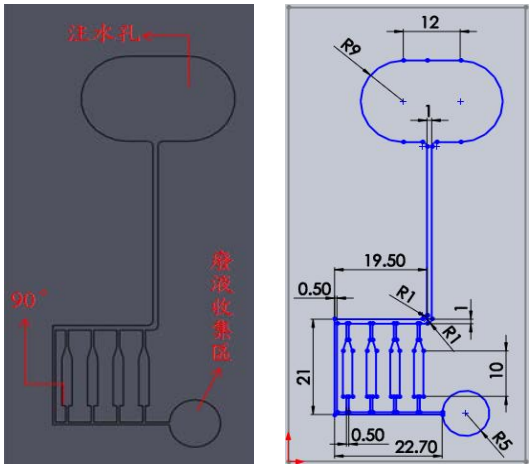


圖 20-3. SolidWorks 尺寸對照圖

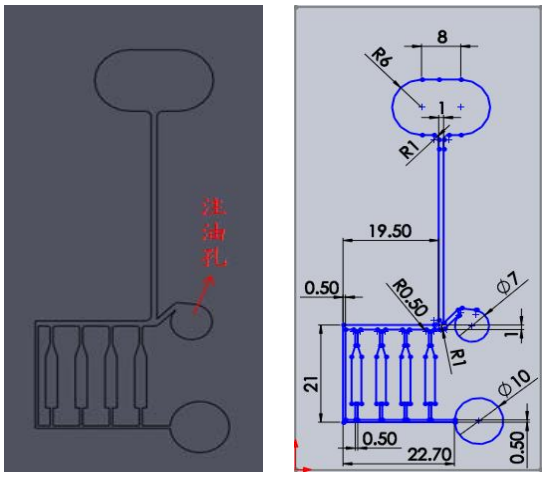


圖 20-4. SolidWorks 尺寸對照圖

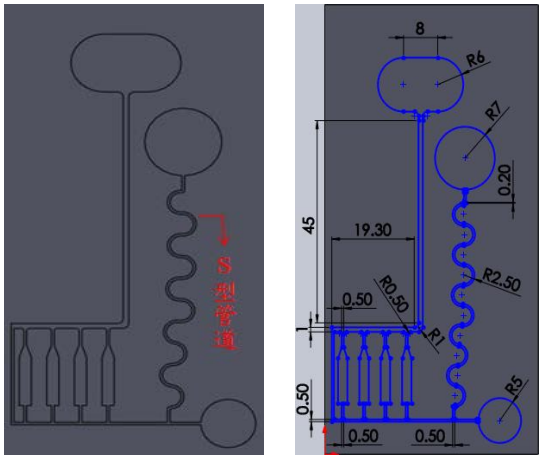


圖 20-5. SolidWorks 尺寸對照圖

3.3.2 流體流動之探討

如圖 20-5 的設計圖，由於此實驗需將各流道用礦物油封閉，因此先將各流道尾端塗凡士林，藉由凡士林的疏水性，使流體不易流出各流道。再利用棉花的吸力，使流道上剩餘的流體吸至棉花處，達到流道清空的目的。並依序注入水及礦物油，再使用膠帶封閉。將晶片垂直放置，利用重力驅動，使水及礦物油自動並且同步流動，如圖 21 所示。

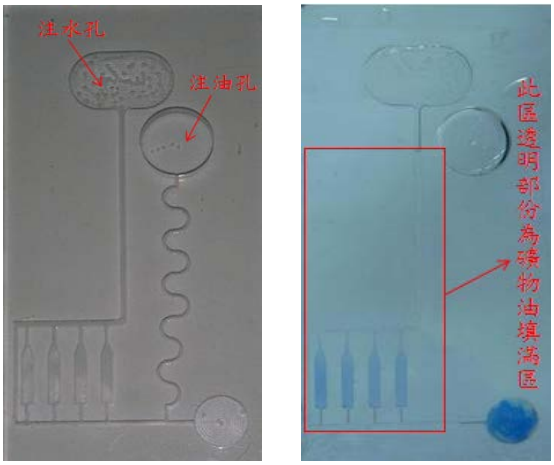


圖 21. 雕刻成品及流體流入之示意圖

四、結論

本實驗研究重力驅動，使流體自動定量、分流，及利用毛細力與表面張力使流體流動，針對此兩部份做探討，結合運用於密封式定量連續流動的裝置上。並歸納出以下結論：

一、重力是使流體流動之重要驅動力，利用重力作用驅使流體達到自動化分流的目地。並從實驗過程中，得知 PDMS 及凡士林具有疏水性，能阻擋流體通過，而黑棉線則具有吸水性（可取代流道親水性），使流體易於流動。

二、當流道設計隨著尺寸的變小及形狀的改變，重力的因素也隨著尺寸的變小而失去絕對的重要性；而毛細力、表面張力、內聚力及流體所接觸之浸潤現象卻隨著尺寸的變小而逐漸變得重要。

三、結合上述之結論並運用於密封式定量連續流動的裝置上，得知 S 型管道，能使礦物油逐步釋放位能及延長流動路徑，並控制礦物油的流速，使得流體與礦

物油能同時流動且以自動化方式達到密封的作用。微流體晶片的研發初期，往往需要不斷設計、測試及修改以達到最佳的功能性。本研究在微流體領域中，係將檢體分量以完成後續各種不同的檢測步驟，並利用重力驅動定量分流的方法及裝置，探討一種無需可動閥件，僅改變幾何結構對流體的影響，即可完成流體精確定量且彼此之間不互相干擾之機制，該裝置之製程簡單，變化彈性大，可相容於各式微流系統，並應用於任何需要微流體之領域。

五、致謝

首先特別感謝本專題的指導老師陳志堅老師，老師能夠適時提醒我們研究的方向，並且在我們困惑時給予提攜及指導，提供我們解決的方法；另外還要感謝吳志文博士，給予我們許多實驗及技術上的幫助。最後也謝謝陳信志學長與實驗室學長們和陳弘晟同學的大力幫忙以及所有幫助及鼓勵我們的同學們，使我們能夠在專題上體認並學習從無到有的研究歷程。

六、參考文獻

[1] 林婉如，「在旋轉系統平台上進行微量流體定量等分的方法」，碩士論文，逢甲大學，台中，2009。

[2] Yager, P. Etal, “Microfluidic diagnostic technologies for global public health”. Nature, 2006.

[3] 吳志文，楊宏仁，姚光南，「重力驅動自動分流與定量裝置及方法」，發明專利說明書，2006。

[4] 張珮郁，「微流元件內表面張力驅動之流體流動現象的實驗探討」，碩士論文，國立成功大學，台南，2003。

[5] Phillip G. Wapnera, “Wesley P. Hoffmanb, Utilization of surface tension and wettability in the design and operation of microsensors”. Sensors and Actuators, 2000.

[6] Bange, H.B. Halsall, and W.R. Heineman, “Microfluidic immunosensor systems”. Biosensors and Bioelectronics, 2005.

[7] David Juncker, Heinz Schmid, Ute Drechsler, Heiko Wolf, Marc Wolf, Bruno Michel, “Autonomous Microfluidic Capillary System” . Chem, 2002.

[8] Fan-Gang Tseng, Kung-Hua Lin, Hui-Ting Hsu, Ching-Chang Chieng, “A surface-tension-driven fluidic network for precise enzyme batch-dispensing and glucose detection”. Sensors and ActuatorsA 111,2004.

[9] Naveen Ramalingam, Hao-Bing Liu, Chang-Chun Dai, Yu Jiang, Hui Wang, Qinghui Wang, Kam M Hui, Hai-Qing Gong, “Real-time PCR array chip with capillary-driven sample loading and reactor sealing for point-of-care applications”. Biomed Microdevices ,2009.

Automated gravity-driven of quantitative microfluidic chip

Student: Tai -Hua Chen,Hung- Chun Cho

Po -Ya Jhang

Teacher: Jyh-Jian Chen

Department of Biomechatronics Engineering

National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

The topic of a free source of power, no moving valves, support device without additional mechanical and electrical systems, able to complete the automation section of the specimen, precise quantification of the experiment for the body of a chip, the chip has a micro-flow channel structure, fiction to make automated microfluidic chip as the driving force, gravity, microfluidic injection upstream of the microfluidic channel structure, by gravity, the adsorption force and surface tension three forces interaction microfluidic toward the micro-flow channel structure downstream

flow, and fill set to branch microchannels in the microfluidic channel structure downstream of a certain length so as to achieve the purpose of the microfluidic automated quantitative shunt, and the use of mineral oil flow channel closed, microfluidicduring heating, due to the characteristics of the high-boiling mineral oil, the fluid does not evaporate readily able to detect the micro-fluid sample for analysis of the reaction. The method is simple, simple structure and low cost platform or device are significant.

Keywords：Automated, Microfluidic chip, Quantitative, Gravity, Mineral oil.

連續微流體晶片於聚合酶連鎖反應之應用

學生姓名：梁又晨、翁紹軒、蘇詠廷
指導老師：陳志堅 博士

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本實驗探討以兩組加熱器及一個冷卻流道，來完成一套聚合酶連鎖反應裝置；此裝置分為三部分，加熱模組、冷卻裝置及晶片本體。晶片上具有供檢測樣本流動的微流道，晶片兩側的加熱模組則是兩條可被溫度控制的加熱鋁塊，兩加熱器間放置冷卻水道可使流體流動。當加熱器在兩側形成兩個不同溫度恆溫區時，利用流體在冷卻水道中流動達到冷卻效果，使晶片表面呈現三個不同溫度的大面積恆溫區。

關鍵字：微流體晶片、聚合酶連鎖反應、加熱器。

一、 引言

1990 年時，美國能源部（Department of Energy，DOE）與美國國家衛生研究院（National Institutes of Health，NIH）成立人類基因體組織（Human Genome Organization，HUGO）並邀請 DNA 雙螺旋結構的發現者華生（James D. Watson）來擔任該單位第一任中心主任，至此揭開基因體的解讀計畫序幕，此計畫預期花費三十億美金的研究經費，其最終目的在於解讀基因體核甘酸序列，並鑑別所有人類基因之功能，預訂以十五年的時間完成。基因體計劃（Human Genome Project，HGP）是一個生物學界可以與曼哈坦原子彈計劃（Manhattan Project）和阿波羅登月計劃（Apollo Project）媲美的一個計畫。在研究基因圖譜中，聚合酶連鎖反應（Polymerase Chain Reaction，PCR）是一項重要的技術。

PCR 於 1983 年由美國生物化學家 Kary Banks Mullis 博士發明[6]，此技術給基因的分析和研究帶來了革命性的大轉變。以往基因分析的困難在於必需在複雜而多達 10 萬個基因的基因組中去尋找極為稀少的標的基因，所用的方法頗為費事，包括基因選殖和測定特殊的 DNA 順序等。PCR 技術使使用者不必再藉著基因選殖，也不必將某段的 DNA 順序分離出來，即可以將某段極少量而俱特殊順序的 DNA，依指數倍數快速複製出較多數量的複本。此發明突破 DNA 現有之研究方法，此法可在生物體外進行，不必依賴大腸桿菌或酵母菌等生物體。

現今的PCR晶片一般分為兩種類型，一為微腔體PCR晶片，PCR的混合物固定在一個空間中，重複改變系統的溫度，而完成PCR過程，它可視為傳統熱循環系統的微小化。1993年，Nothrup等人[5]是最早利用微機電製程技術，以矽晶圓當基材，摻合硼的多晶矽作為加熱器，成功製作PCR系統。微腔體聚合酶連鎖反應晶片的優點是熱控過程可以且容易調整、樣本量少；缺點則是樣本體積受限、溫控系統較大。另一種為連續流體PCR晶片（Continuous Flow PCR，簡稱CFPCR），是PCR的混合物在管道中移動，重複經過不同的溫度區，而完成PCR過程。1998年由Kopp等人[4]首先發表，其晶片是以玻璃蝕刻微流道製作而成，放置在三塊銅塊進行加熱，並利用微電動幫浦，使DNA樣品以反覆的連續流動方式通過三個不同溫度的恆溫

區。2002年Sun等人[7]使用石英玻璃製作出第一個二段式熱循環的PCR晶片，簡化微流道的設計。使用透明材質的氧化銦錫作為加熱電阻，且讓含有1-pyrenesulfonic acid sodium salt(隨溫度提高而降低螢光強度的染料）的溶液進入流道中並進行加熱，使流道內的液體溫度可藉由光學儀器進行偵測，結果證明液體進入加熱區後，能夠快速達到與晶片相同的溫度。2008年，Joung等人[3]運用PDMS製作了CFPCR晶片，流道寬與深分別為250μm與200μm，整體流道長為1340mm，並結合ITO薄膜製程微加熱器。反應物在流道內經過20次循環，花費15分鐘即可完成PCR。此類型晶片的特徵為樣本流經一條長度相當長的流道，流道的前後端即為樣本的入出口，微流道的佈局為重複地繞行不同的溫度區，樣本每次繞行完成所有溫度區，則完成一次反應，所以至少會繞行二十五至三十五次，最後完成全部的過程；此晶片設計容易、製作簡單，多數的CFPCR晶片，皆採用此類設計，本實驗之流道便是此種設計。

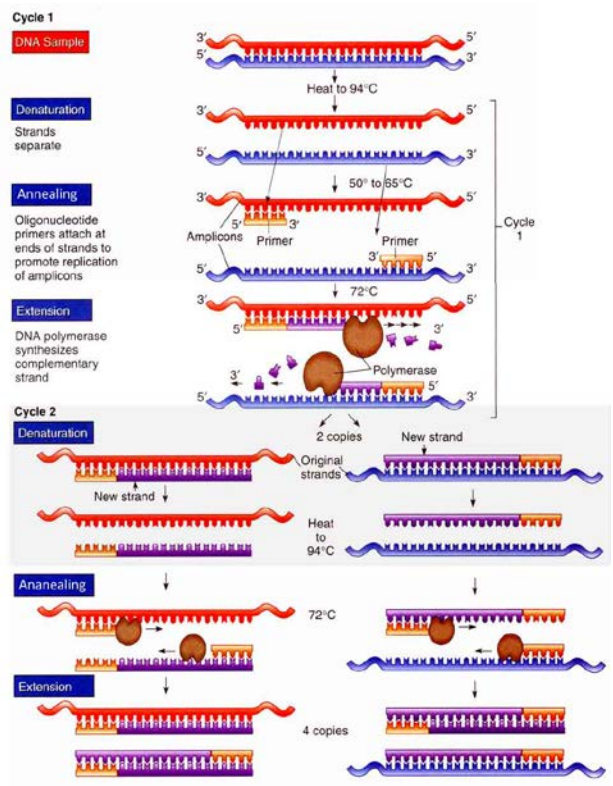
由上述的文獻回顧可知，溫度控制對PCR晶片技術之效率影響重大，故本研究在以單一加熱系統使微流體晶片產生二個恆溫區域之系統裝置，並搭配一冷卻水道呈現晶片低溫區，使連續流體式PCR晶片上能呈現反應所需的恆溫區。

目前 PCR 被運用在多種領域中學術研究上。如從臨床檢體等樣本的快速檢測工作、在癌症的診斷和治療效果的偵測、遺傳疾病的診斷方面及刑事案件上的樣本檢定等學術及醫學上的應用。當前市面上已有被廣泛使用之 PCR 裝置，擁有很高的可靠性、操作方便、且效率極高。相較之下，微流體晶片則可以在 PCR 結束後，直接接續後面的作業工作，使 PCR 能做為一連貫作業系統的一部分，更有利於生產線上的作業與學術上的研究，未來如果可以朝全自動化發展，更可減少許多人力成本與時間，這也是我們所期待的實驗成果。

二、研究方法與內容

2-1 PCR原理分析

PCR的原理係仿造自然界DNA合成之步驟，PCR可以在短時間內，準確地將試管中某一段特定的核酸序列進行量的放大。PCR是一個利用酵素對特定基因做體外或試管內大量合成的技術，主要是由下列三個步驟所組成：變性反應（Denaturation），將雙股螺旋DNA加熱到94°C~96°C高溫，利用高溫破壞氫鍵的原理將其雙股螺旋DNA變成為單股DNA，以作為複製的模板；黏合作用（Annealing），降低溫度至50~65°C間，使引子附著於單股的模板DNA上做配對結合；延伸作用（Extension），再將DNA加熱至72°C，使預先置入反應器內含有A、T、G、C四種核甘酸的DNA酵素，藉由單股DNA為模板，利用煉和作用時所結合的引子為起點，催化聚合成一股互補的DNA。如此便將一段雙股螺旋DNA分子，複製成兩段雙股螺旋DNA分子。上述三個步驟為一個熱循環，並經過約三十次的熱循環便可獲得所需的DNA檢體量。PCR已從純粹研究技術轉化為DNA分析工具的利器，並在業界上被廣泛使用。理論上每一熱循環將產生一倍的樣本DNA。引子與DNA接合的溫度非常重要，會影響反應的專一性。當溫度太高時，引子與DNA模板之鹼基對的作用力無法形成，兩者會呈現持續分離的狀態；而溫度太低時，引子會與不完全相符的區域接合，造成穩定但錯誤的配對，導致錯誤的片段產生。實驗上可藉由計算引子與模板的解鏈溫度來決定適合的引子接合溫度，解鏈溫度為引子與模板分開時的溫度，故低於此溫度1~2°C的溫度可以使兩者正確接合，又不致產生錯誤配對[2]。此外，用於同一反應的兩個引子，所計算出的解鏈溫度要盡可能相似。



聚合酶連鎖反應示意圖[1]

2-2 系統概述

本系統實驗裝置主要由六個次系統所構成，分別為加熱系統、微流體晶片、冷卻系統、溫度監控系統、注入系統及聚合酶連鎖反應裝置。系統架構如圖1所示。

圖 1　系統架構圖

2-3 微流體晶片

在微流體晶片的部分，先用微機電製程製作出模板，再使用聚二甲基矽氧烷（Polydimethylsiloxane，PDMS）凝固形成流道後，利用氧離子處理 PDMS 與玻璃基片表面，使表面的附著力增加，最後將 PDMS 與玻璃基片黏附後再加熱一段時間，使 PDMS 與玻璃基片可以緊密接合，防止 PCR 反應過程時出現流道毀損的現象，完成微流體晶片，晶片尺寸為 65.8mm×25.3mm×0.15mm，流道尺寸為 1771.73mm×0.15mm×0.05mm，總容積為 13.28μl，共 30 個循環。圖 2 為晶片製作流程圖；圖 3 為晶片示意圖。

圖 2　晶片製作流程圖

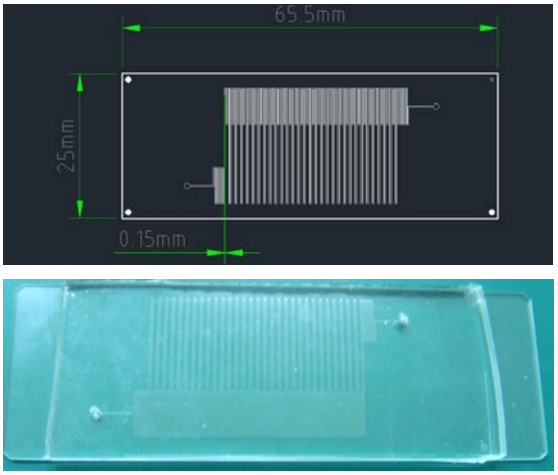


圖 3　晶片設計圖及成品圖

2-4　加熱系統

此系統採用瓦特龍（Watlow）加熱器對鋁塊加熱，使其達到95℃（高溫區）和72℃（中溫區），並在晶片兩側形成兩個恆定溫區。瓦特龍如圖4所示。

圖 4　瓦特龍加熱器

2-5　冷卻系統

此系統使用蠕動幫浦並搭配一冷卻水道所構成，可藉由調整冷卻水道之流量，並將PCR之低溫區（58℃）控制於適當範圍。蠕動幫浦如圖5所示。

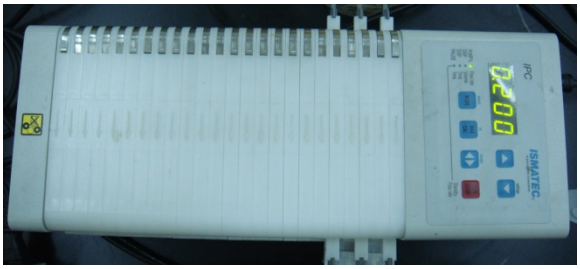


圖 5　蠕動幫浦

2-5　溫度監控系統

PCR 必須在 3 個穩定的溫區進行循環，而溫度是 PCR 成功的關鍵因素之一，本實驗使用紅外線熱像儀（Avio TVS-100，NEC，Japan）來測量晶片的表面溫度，其為非接觸溫度量測設備，晶片表面和內部溫度約差八度，也可透過 RS-232 和電腦進行連接，並使用軟體 TAS95 對熱像儀所攝取的影像資料進行數值分析。紅外線熱像儀如圖 6 所示；圖 7 為晶片加熱示意圖。

圖 6　紅外線熱像儀

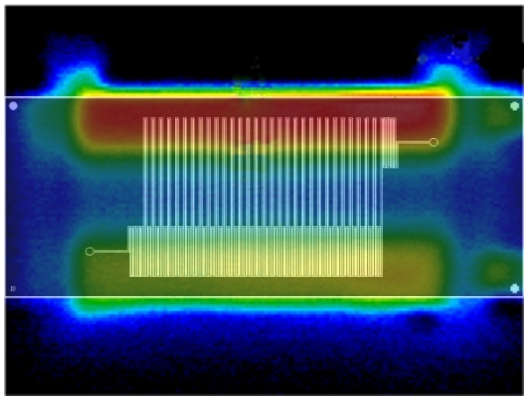


圖 7　晶片加熱示意圖

2-6　注入系統

本實驗以雙管式微型注射幫浦(KDS101，KDScientific，UK)來驅動樣品進入微流道內，將注入針筒的參數（廠牌、總容量及需要注入的容積）輸入微流體注入幫浦後，便可調整輸入樣本之流量，為輸入樣本的設備。本系統採用 TERUMO 牌 1c.c.之針筒吸取樣本，作為樣本輸入之器具。雙管式微型注入幫浦如圖 8 所示，針筒如圖 9 所示。

圖 8　雙管式微型注入幫浦

圖 9　注入針筒

2-7　聚合酶連鎖反應裝置

聚合酶連鎖反應裝置由兩塊加熱鋁塊和一冷卻水道所構成，並由兩塊壓克力模具將其和微流體晶片固定。裝置實體如圖 10 所示；裝置機構如圖 11 所示；機構剖面圖如圖 12 所示。

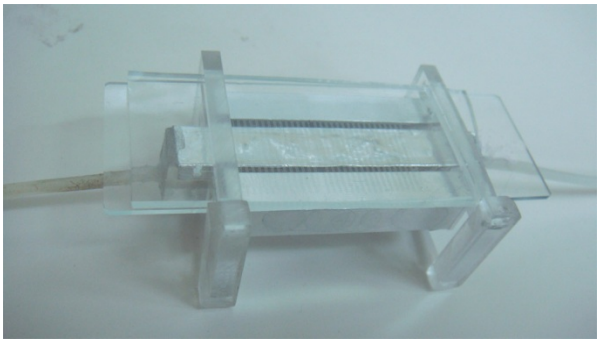


圖 10　裝置實體圖

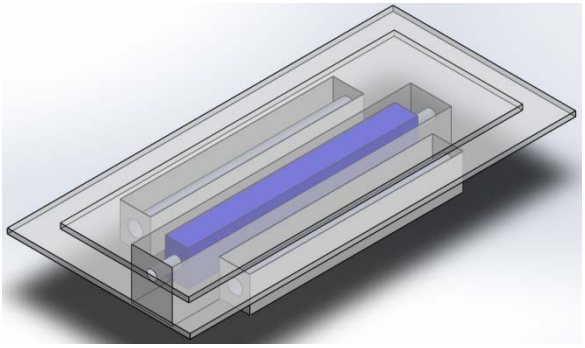


圖 11　裝置機構圖

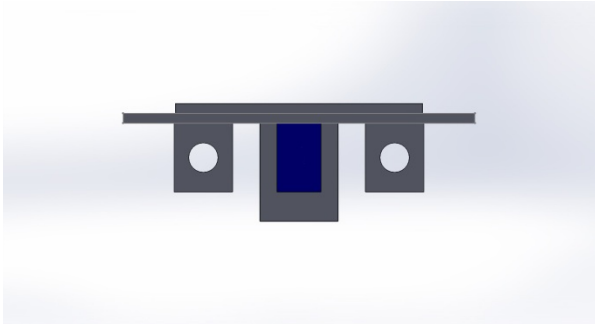


圖 12　裝置機構剖面圖

2-8　PCR 流程

Step1　晶片前置處理：

此處理之目的是將 PDMS 所製成之流道上形成一薄膜包覆，進而讓樣本在反應時防止蒸發現象。進行 PCR 前，將晶片出入口上粘接導管以方便樣本的輸入與收集。先將 PCR 流體晶片利用針筒將 20%濃度的聚山梨醇 20（Polysorbate 20，Tween 20）填滿流道後靜置 1 小時，接著再使用 5%濃度的 Tween 20 將先前的 20%濃度沖洗掉，並再次填滿流道，最後再以空氣將晶片的流道排空，完成前置處理。

Step2　樣本準備：

樣本部分，使用 TERUMO 之針筒接上塑膠接管，作為 PCR 裝置的樣本輸入器材。針筒裡依序填充礦物油（推動整體樣本）、水（樣本結束分界）、礦物油 （使 DNA 樣本排出）、樣本（DNA）、礦物油（防止蒸發），如圖 13 所示。

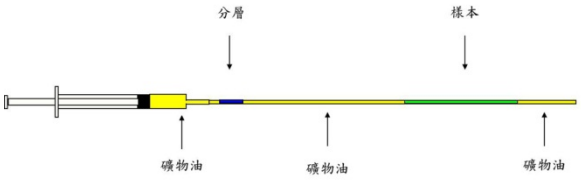


圖 13　注入樣本示意圖

Step3　執行 PCR：

將聚合酶連鎖反應裝置組裝完成後，利用瓦特龍連接加熱棒，插入加熱鋁塊中將晶片加熱，同時冷卻水道使用蠕動幫浦降溫使晶片能至指定溫區（95℃、58℃、72℃），加溫中利用紅外線熱像儀來監控的溫度

變化，當溫度就緒後，使用注入幫浦推動針筒，流量設定為 1μl/min 將樣本輸入晶片，開始 PCR 反應，等待反應結果。

三、結果與討論

本實驗一開始所取得的加熱模組有諸多問題如加熱時間過長、溫區分佈不均等。其溫區分佈如圖 14 所示。由圖 14 可得知，其高溫區和中溫區溫度分佈過於不均，而溫度是 PCR 反應是否成功的重要因素之一，且其高溫區高低溫差距過大，高溫區前半段溫度過高，容易導致樣本蒸發，而 PCR 的第一步驟 Denaturation 對溫度的要求極為嚴苛，只能容許在 92℃~95℃，不像 Annealing 只要求 50℃~65℃內即可，綜以上所述，其溫區分佈並不適合進行 PCR，因此，對可能導致此結果的原因進行探討，發現其原因皆出於加熱模組中的鋁塊加工精密度不足所造成的，其鋁塊和瓦特龍加熱棒之間的間隙過大，這會使加熱棒與鋁塊無法緊密接合，進而導致加熱不均勻及溫區分佈不均的現象。

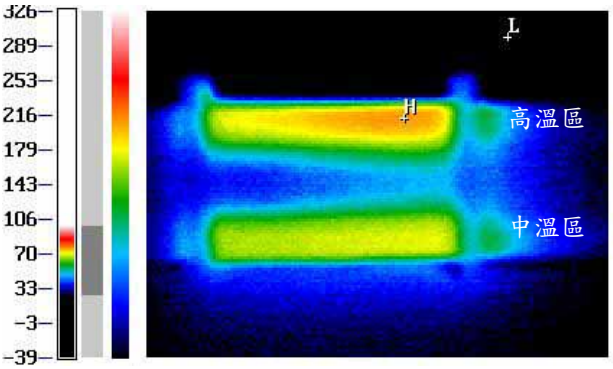


圖 14　溫度成像圖

為了改善溫區分佈問題，嘗試讓鋁塊和玻璃基片密合並塗上導熱膏，希望能改善溫度分佈不均的現象，但其成效有限，後來嘗試使用加工精度較高的鋁塊，其溫區分佈如圖 15 所示。由圖 15 可明顯看出，其溫區分佈和之前的鋁塊相比更加均勻，其高低溫落差也沒像之前差距過大，也更加適合進行 Denaturation，而其中溫區由於水道和玻璃基片的密合度提高而使水道的溫度降低，進而使中溫區的溫度也跟著下降。之後同時對新舊加熱鋁塊的溫度上升時間進行測試。結果如表一所示。由表一可得知，新加熱鋁塊在高溫區和中溫區中的加熱時間皆優於舊加熱鋁塊，若使用新加熱鋁塊進行實驗，約可以節省約 66%的加熱時間。

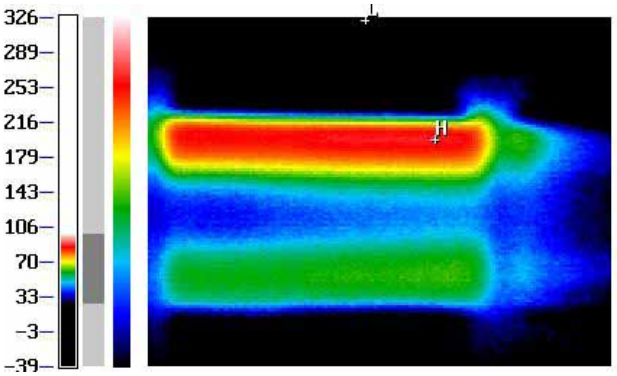


圖 15　溫度成像圖

表一、加熱時間對照

	舊加熱鋁塊	新加熱鋁塊
高溫區至穩定時間	6 分 32 秒	2 分 18 秒
中溫區至穩定時間	7 分 12 秒	2 分 28 秒

鑑於新加熱鋁塊在各方面皆優於舊型 ，於是使用新加熱鋁塊進行接下來的實驗。首先先探討導熱膏對溫區分佈的影響，將熱膏均勻塗抹於鋁塊與玻璃基片接觸面，導熱膏其導熱率為 3w/mk。實驗結果如圖 16 及圖 17 所示。將圖 16 與圖 17 相互比較後，兩者在溫區的分佈上並無明顯差異，但在溫度上，有塗導熱膏會比較高，此現象在高溫區不明顯，但中溫區卻可提升約 5℃，這代表可以用比沒塗導熱膏的情況下用較低的溫度來達到 PCR 所需的溫度。

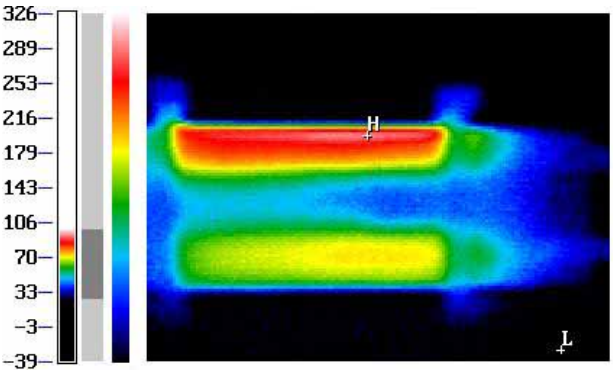


圖 16　溫度成像圖（有導熱膏）

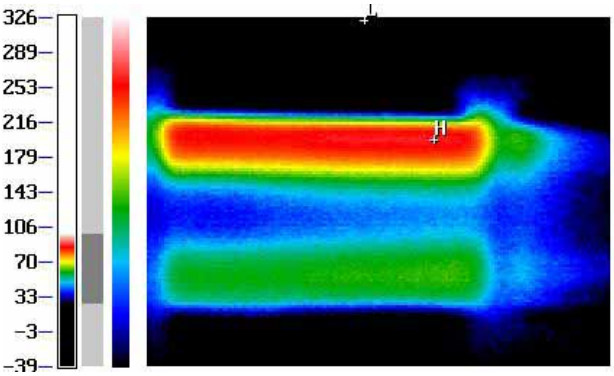


圖 17　溫度成像圖（無導熱膏）

接著對冷卻水道的散熱能力進行測試，在不同的方向注入冷卻水及不同的流量下對晶片表面溫度的影響，流量則由 0.6 ml/min 到 5.1 ml/min，結果如圖 18 及圖 19 所示。將圖 18 及圖 19 比較後可得知，在中溫區及高溫區中並無明顯差異，但在低溫區中卻差將近 10℃的差值。只要將冷卻水的注入方向對調，便可大幅降低低溫區的溫度，這代表可以用更低的流量來達到 PCR 所需的溫度。

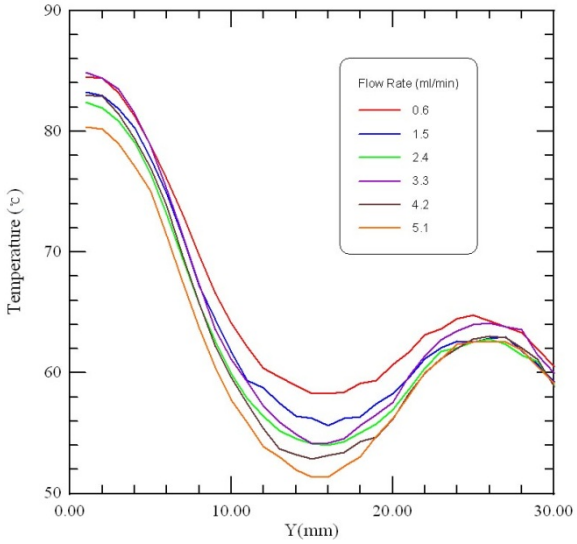


圖 18　晶片表面溫區分布曲線
（冷卻水注入方向與加熱棒插入方向相反）

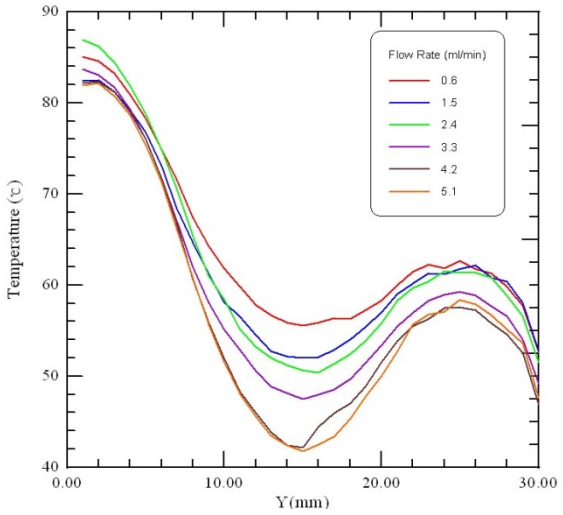


圖 19　晶片表面溫區分布曲線
（冷卻水注入方向與加熱棒插入方向相同）

基於紅外線熱像儀所偵測得的溫度是晶片表面的溫度，並非流體實際的溫度，為了求得流體實際的溫度並驗證前述實驗結果，使用溫度染劑對流體溫度進行測量。溫度染劑會隨外在溫度變色，在常溫下呈現黑色，若環境溫度高於 70℃時，溫度染劑的顏色會由黑色轉為白色，當溫度回復回 70℃以下時，染劑則會再變回黑色。將其稀釋為 30%濃度的染劑注入流道寬為 540μm 之晶片，加溫後驗證晶片的溫度分佈。圖

20 為溫度染劑變色情形；圖 21、圖 22 及圖 23 分別為當時紅外線熱像儀所偵測之高、中、低溫區的溫度成像圖。從圖 20 的變色情形及圖 21、圖 22、圖 23 的偵測溫度得知；高溫區及中溫區都有達到目標溫度且溫度染劑也轉變為白色，中溫區則是呈現黑色也證明溫度並沒有過高。

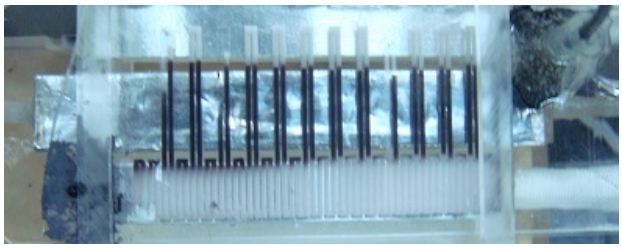


圖 20　溫度染劑變色情形

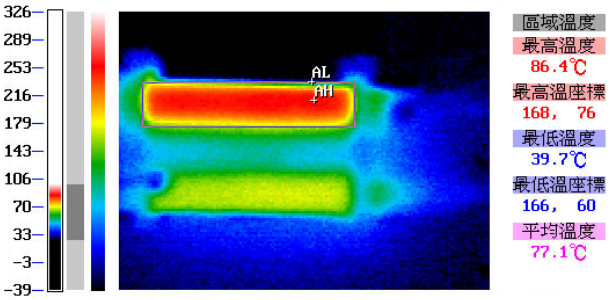


圖 21　溫度成像圖（高溫區）

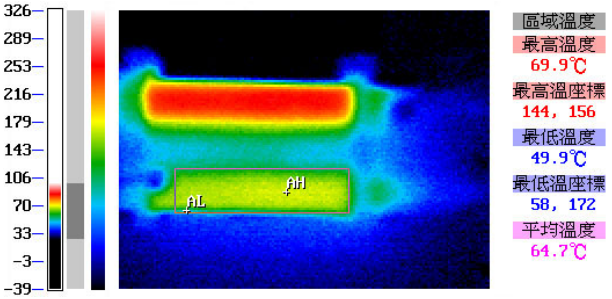


圖 22　溫度成像圖（中溫區）

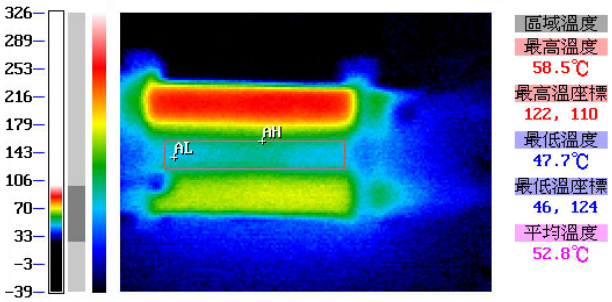


圖 23　溫度成像圖（低溫區）

微流體注入幫浦的注入流量及注入樣本的多寡對採集量的影響進行探討。其結果如表二所示。注入針筒示意圖請參照圖 12，表二中的礦物油注入量為第三段的礦物油量，第一段的礦物油注入量皆為 15μl，注入樣本（DNA）皆為 30μl，從表二可得知，當礦物油注入量為 15μl 及 30μl 時，樣本（DNA）的採集率分別為 40%及 50%，但若將礦物油加至 60μl 時，樣本的採集量可達到 83.33%，可見礦物油對樣本採集量有重大影響，當礦物油注入量固定在 60μl 時，流量從 1μl/min 降至 0.6μl/min，其採集量並無太大變化，但若流量降至 0.5μl/min，其採集量僅剩 10μl，研判採集量驟降原因為樣本在高溫區停留時間過長導致樣本蒸發，因此 PCR 應避免流量低於 0.5μl/min，以免導致樣本蒸發。

表二、注入量及流量對採集量的影響

總注入量（μl）	60	75	105	105	105	105	105
礦物油注入量（μl）	15	30	60	60	60	60	60
流量（μl/min）	1	1	1	0.8	0.7	0.6	0.5
樣本採集量（μl）	12	15	25	25	25	25	10

至於 PCR 最重要的 DNA 擴增，最後電泳報告的結果是並沒有順利擴增，推斷可能原因是由於在溫度控制的部分，先從 PCR 的原理對實驗進行分析，

PCR 的第一步驟 Denaturation 的要求溫度為 93℃～95℃，若高於 95℃容易導致樣本蒸發，然而若低於 93℃，則樣本無法順利反應，在實際實驗中，要將加熱鋁塊的溫度控制在這 2℃的範圍內並非易事，若使用精準度不足的加熱系統很難將溫控制這 2℃的範圍內，而紅外線熱像儀只能在單一時間下偵測，並無法紀錄整個 PCR 過程中的溫度參數。無法得知在整個 PCR 過程中，其高溫區的範圍是否有超過或者是低於需求溫度，目前只能推測溫度是影響實驗失敗的可能原因；另一個可能原因為時間，目前整過 PCR 流程需耗時約 2 小時，在這段期間中，樣本（DNA）必須在前面防止蒸發的礦物油（約 15μl）流滿流道後才能進入晶片中進行反應，若以流量 1μl/min 來計算，約 15 分鐘後樣本才能進入晶片，這代表樣本需放置在常溫下 15 分鐘，這一過程有可能導致樣本活性降低以致於無法順利達成反應。

四、結論

最後實驗結果來看，本實驗裝置並沒有成功達到當初設計時所預期的要求，但原因也許並非出於裝置，加熱系統對溫度穩定度的影響會比裝置更大，若使用精度更加的加熱系統進行實驗，也許能達到不一樣的結果。最後，建議往後要進行 PCR 實驗時必須對溫度進行精準的控制及測量，若能使用精確度較高的加熱及溫度監控設備應會提升 PCR 的成功率，至於時間則是希望盡可能地縮短，避免樣本放置在常溫下所造成的活性降低，或許能改系統的注入方式，避免樣本暴露在常溫之下。

五、致謝

專題感謝陳志堅老師提供我們專題的方向及專業知識上的指導，並提供相關專業儀器讓專題能順利進行，並感謝實驗室諸位學長在繁忙之餘還不時被我們打擾，特別感謝家銘學長、顯丞學長及宗宏學長三位，家銘學長在我們專題上遇到困難提供許多專業見解；顯丞學長總是能提供實驗所需要的晶片及諸多建議；而每次要進行實驗時，宗宏學長都必須前往獸醫系拿取實驗所需的樣本；若沒有三位學長的鼎力相助，這份專題不可能順利完成。

六、參考文獻

[1] Boyer, R. 2003. Biochemistry, John Wiley & Sons Publishers, Inc.

[2] Brown, T. A. 2001. Gene cloning and DNA analysis: an introduction, 4th ed., Blackwell Publishing.

[3] Joung, S. R., Kang, C. J. and Kim, Y. S. 2008. “Series DNA amplification using the continuous-flow polymerase chain reaction chip,” Japanese Journal of Applied Physics. Vol. 47, pp. 1342-1345.

[4] Kopp, M. U., de Mello, A. J., and Manz, A. 1998. “Chemical amplification: continuous-flow PCR on a chip,” Science, Vol. 280, pp. 1046-1048.

[5] Northrup, M. A., Ching, M. T., White, R. M. and Wltson, R. T. 1993. “DNA amplification with a microfabricated reaction chamber,” Proceedings of Transducers, Chicago, USA, Vol. 20, pp. 924-926.

[6]Saiki, R., Scharf, S., Faloona, F., Mullis, K., Horn, G., and Erlich, H., 1985, “Enzymatic amplification of beta-globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia,” Science, 230, pp: 1350-1354.

[7] Sun, K., Yamaguchi, A., Ishida, Y., Matsuo, S. and Misawa, H. 2002. “A heater-integrated transparent microchannel chip for continuous-flow PCR,” Sensors and Actuators B: Chemical. Vol. 84, pp. 283-289.

Applications of Continuous Microfluidic Chip on Polymerase Chain Reaction

Student: You-Chen Liang, Shao-Xuan Weng
Yong-Ting Su
Teacher: Jyh-Jian Chen

Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

This research is use two heaters and a cooling flow channel to complete a PCR device. This device includes three parts, heating module, cooling flow channel and PCR chips. This chip have a PDMS channel to offer sample flowing. The heating module on chip both side is two heated aluminum block controlled by heater, a cooling flow channel where between two heater can pass through fluid. It's can form three large thermostatic zones with different temperature on the chip surface when heater form two large thermostatic zones with different temperature and using flow fluid in cooling flow channel to reach cooling effect.

Keyword: Microfluidic chip, Polymerase chain reaction, Heater.

具無線操控之微型機器人設計與製作

學生姓名:葉亦宸、李明軒
指導老師: 張仲良老師

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

現今微機電技術越來越發達，造成微控制模組越做越小，本研究擬設計一台尺寸控制 20㎜×30㎜×30㎜以內的微小機器人，擁有行走能力和穿越障礙進行攀爬的微型機器人，機構為一體成型，機構材質為鋁合金增加堅固性內設電池增加續航力,控制採 rf 無線控制模組以達到遠端遙控功能，未來將加裝 CCD 配合 rf 無線控制模組達到遠端偵測探查目的。

1、引言

現今國內外皆有許許多多相關之微型機器人，從小型、超小型，都有，各式各樣不同種類的微型機器人，超小型尺寸之機器人在學術上常稱為微型機器人近年所知的微型機器人，由美國的加州大學機器人專家開發出來的一種微型蟑螂機器人，重量大約只有 30 克，速度目前已經能保持在每秒 3.2 米參考文獻[8]、費斯托公司最新設計一款蜻蜓機器人，它具有 4 個翅膀，能夠像真實蜻蜓一樣在空中自由飛行，體長達到44釐米，重量爲175克，與真實蜻蜓相似之處在於，它能夠以任何方向飛行，並執行最複雜的飛行策略參考文獻[9]、美國哈佛大學微型機器人實驗室設計了一種能撲打翅膀飛行的微型機器飛蟲，主要用於監測環境危險，比如倒塌建築、洞穴探測和化學藥品等參考文獻[10]、iRobot 公司和芝加哥大學設計一款清潔機器人原型機尺寸可以由一個乒乓球變化到一個籃球大小，能改變外形，適合從狹小的空間通過參考文獻[11]。

參考文獻[3]所做出來的微型機器人都有些缺點，像是過迷宮機器人 ，履帶傳動上因接觸面積過小，造成常常出現打滑的狀況 ，穿越障礙的能力有限，第二代就是改良第一代尺寸過於緊迫的問題，以及履帶傳動的問題，行走機構改成蝸桿蝸輪轉動大輪子後面加裝兩個輔助輪，爬過坑洞及障礙物，，第三代，全部利用正齒輪來傳動，以輪子來爬陂及突破障礙物，可是利用正齒輪傳動的方式，孔與孔之間的距離要很準，不然會導致齒輪間卡住。

本研究擬設計一台尺寸控制 20㎜×30㎜×30㎜ 以內的微小機器人，擁有行走能力和穿越障礙進行攀爬的微型機器人，機構為一體成型，機構材質為鋁合金增加堅固性內設電池增加續航力,控制採 rf 無線控制模組以達到遠端遙控功能。

2、研究內容與方法

2.1、機構設計與規劃

微型機器人以穿越越野地形為設計需求，設計上以迷你輕巧為目標，因成本與功能設計，規格設定在 20㎜×30㎜×30㎜ 的範圍內，具前進、後退、左轉、右轉、行走基本應有的功能且具跑一直線的功能和爬坡、攀爬、穿越障礙物，以附錄 A 兩顆微型馬達做驅動達到符合實際需求變得快速又有效率,配合 rf 無線

控制模組達到遠端偵測探查目的，整體微型機器人分為兩部分，製作流程分為微型機器人機構與控制系統。本微型機器人機構分為車體、齒輪組與控制板三部分。材料選用鋁合金以達到堅固輕巧輕量化。設計時已 Pro/E 3D 繪圖軟體做模擬設計，包含組裝及動作模擬，機構設計步驟如下。

步驟一:手繪初步的形狀，規劃總尺寸與具備功能，如圖 1(a)所示。
步驟二:利用 ProE 繪圖軟體繪出機構，如圖 1(b)所示 。
步驟三:繪出機構，模擬動作，是否符合預期，如圖 1(c) 所示 。
步驟四:若失敗重覆修改尺寸.模擬動作 。
步驟五:轉換成 CAD 檔並進工廠加工，如圖 1(d)所示。
步驟六:組裝與測試-成功-完成 ，如圖 1(d)所示。

2.2 微型機器人本體機構

機構方面，設計一體成形的車體，規格設定在 20mm×30mm×30mm 的範圍內，齒輪外露。特地設置一個地方放置電池與電路板，方便之後整理，鐵桿接觸的部分要考慮到接觸時的狀態，鐵杆接觸部份特地用銑床加工出溝槽，讓凹槽擁有容納鐵杆的空間，如圖 2(a)，為了充分使用機構空間，所以動力部分要找出節省空間的擺放方式，如圖 2(b)，這部分採兩顆微型震動馬達堆疊，如圖 2(c)，透過一顆齒輪傳給輪子，藉此驅動，這樣的結構配置省空間且在範圍內，機構完成圖，如圖 2(d)，機構完成爆炸圖，如圖 2(e)。

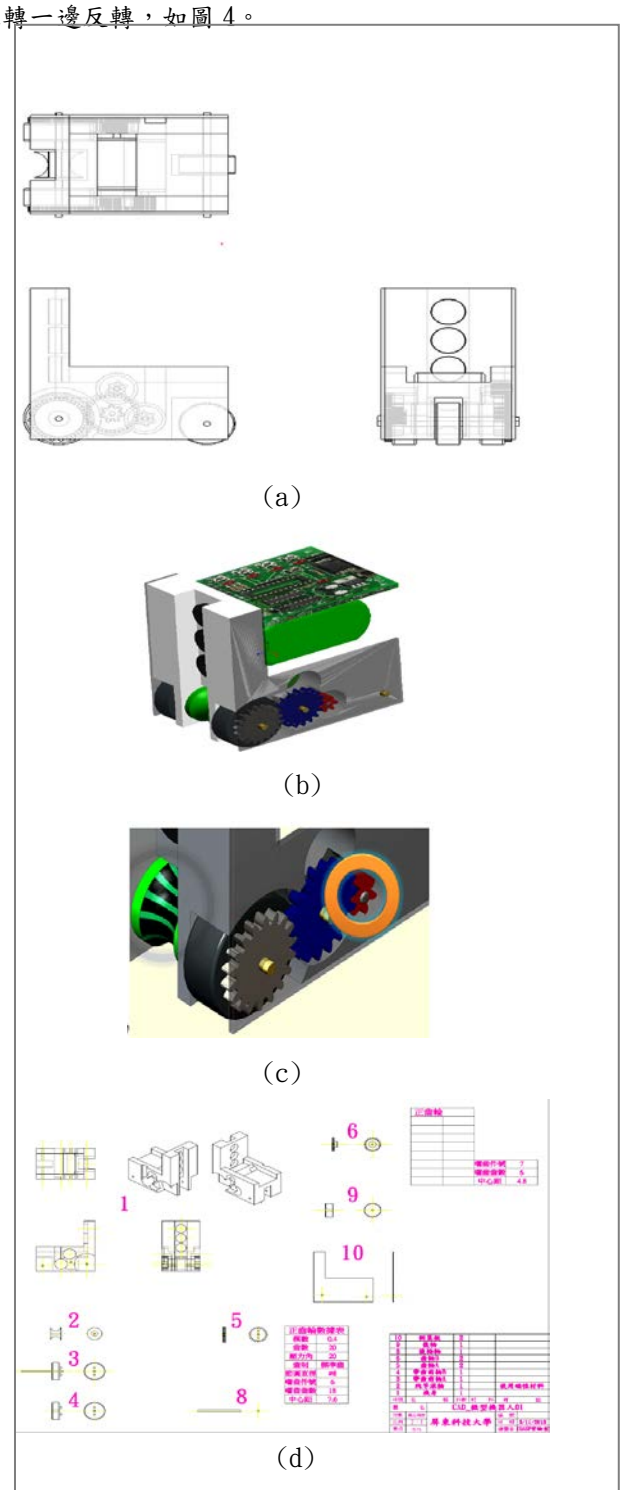
控制方面，控制系統用無線控制，電路板功能為兩顆馬達正反轉電路，來使車子前進、後退、轉向也 可達到最小幅度的轉彎，由於雙層的電路板在配上 MSD 元件所做出來的自製電路板，體積還是會大於遙控車。

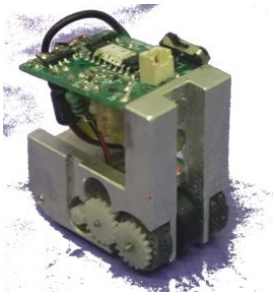
2.3、電路設計

電路說明

開關打開後，透過馬達控制器，直接傳輸給馬達，前進:兩顆馬達正轉、後退:兩顆馬達反轉、左右轉:一邊正轉一邊反轉，如圖 4。

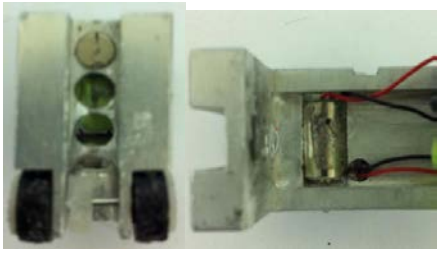
。





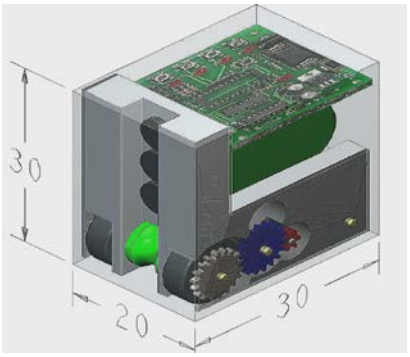
(e)

圖 1、機構流程圖

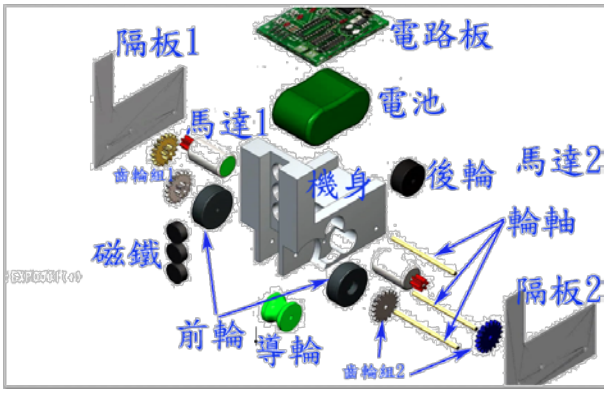


(a) (b)

(c)



(d)



(e)

圖 2、機構示意圖

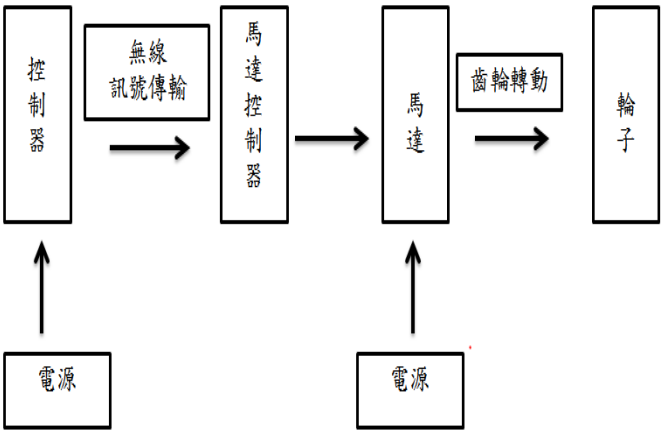


圖 3、系統架構圖

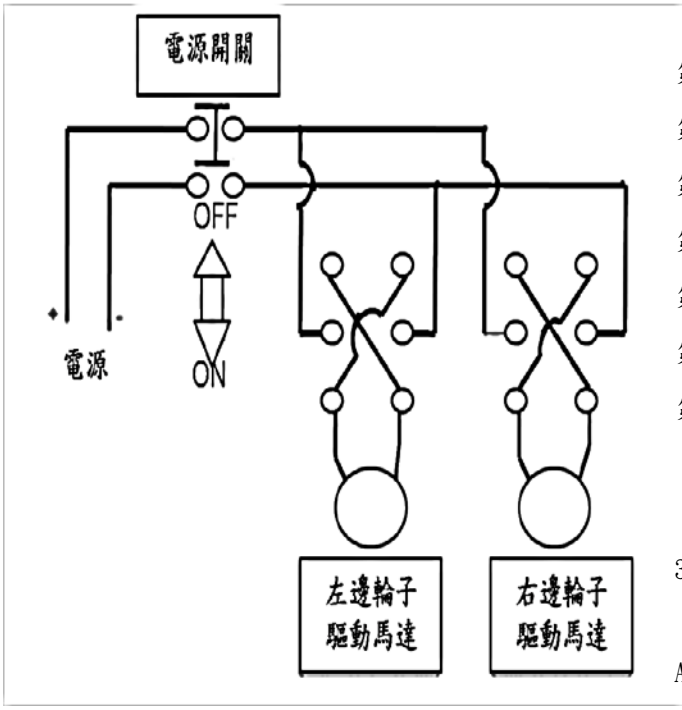


圖 4、微型震動馬達驅動電路

2.4 行為規劃

(1) 穿越行為規劃分為以下步驟：

第一步：機器人架立於操作場地上。

第二步：由手動遙控輸入指令(無線傳輸)。

第三步：電路板-控制器(接收指令)。

第四步：馬達開始作動，帶動齒輪。

第五步：透過齒輪轉動帶動輪子作動。

第六步：碰到障礙物時，可利用遙控以一邊正轉另一邊反轉，進行轉向的動作，好讓機構避免直接撞擊障礙物。

第七步：繼續前進，到達定點後，重複上述動作。

(2) 爬竿行為規劃分為以下步驟：

第一步：機器人架立於操作場地上。

第二步：由手動遙控輸入指令(無線傳輸)。

第三步：電路板-控制器(接收指令)。

第四步：馬達開始作動，帶動齒輪。

第五步：透過齒輪轉動帶動輪子作動。

第六步：攀爬輪對準鐵杆繼續前進，磁鐵吸附鐵杆。

第七步：機器人往上爬，到達定點後，維持住 5 秒。

3、結果與討論

3.1 行進測試

本實驗為了測試移動時是否有穩定，因此假設走 A 點到 B 點的直線距離為 20CM，計算在行走時的誤差如圖 5 所示。

經過測試得知前進後退無大礙，轉向因為齒輪契合問題造成轉向困難和停擺。

3.2 穿越測試

本實驗主要測試進入迷宮後是否能穿越沙地，沒有達到準確的穿越，則在進行修改實驗場地為 20CM*30CM 的長方形，在轉彎部分使用兩顆馬達正逆轉 使其能夠原地打轉，測量不同胎紋從 a 點行走到 e 點的進度如圖 6 和圖 7 所示。

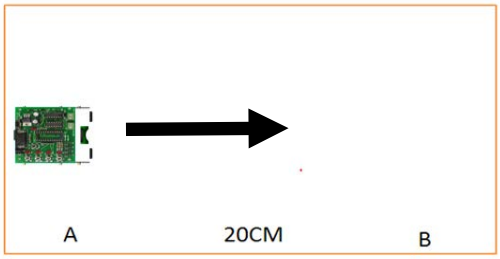


圖 5、行進測試示意圖

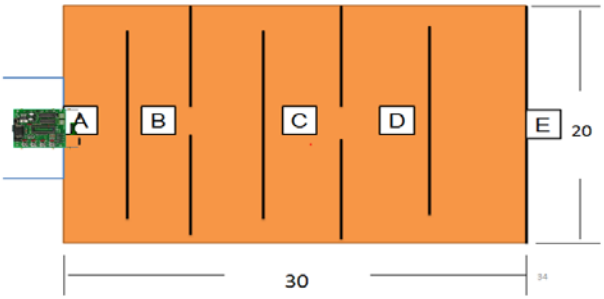


圖 6、穿越測試示意圖

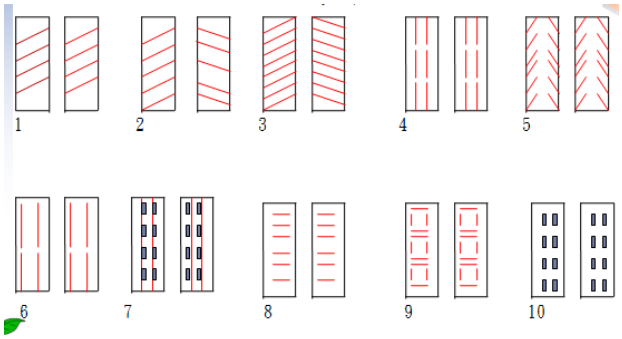


圖 7、胎紋測試示意圖

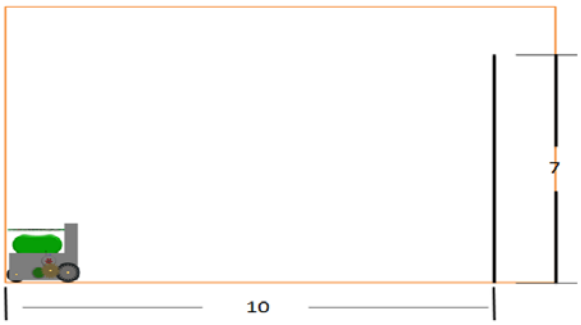


圖 8、爬竿測試示意圖

次數	行走距離(cm)	攀爬高度
1	10	0.0
2	10	1.0
3	10	3.0
4	10	3.0
5	10	5.0
平均	10	2.4

表 9、爬竿測試數值

第一次測試時因車輪小摩擦力過小導致打滑無法前進，第二~三次測試時增加胎紋改善摩擦力，能勉強到達 B 點，第三~五次測試時改變胎紋形狀能前行到 D 點後停止，第六次測試時改變胎紋密度和形狀，能順利到達 E 點。

3.3 爬竿測試

本實驗主要測試前進後能不能爬竿，沒有達到目標，則在進行修改實驗場地為距離為 10CM，在爬竿部分使用磁鐵吸附竿子利用馬達轉動帶動攀爬輪攀爬如圖 8 所示。

第一次的攀爬高度為 0CM，因磁鐵吸力過強無法攀爬，第二次的攀爬高度為 1CM，嘗試拿掉一顆磁鐵後，有緩緩向上攀爬，第三次的距離為 3CM，嘗試再拿掉一顆磁鐵後，攀爬速度有增快，第四次的距離為 3CM 第五次的距離為 5CM，嘗試改變攀爬輪材質改用橡膠後攀爬速度更快，實驗結果如表 9 所示。

3.4 實驗結果

實際測試後發現輪胎過小和齒輪運轉不契合造成轉向和過沙困難，這邊我們嘗試改變胎紋增加摩擦力，移動時會因檔板過緊將齒輪夾住造成停擺，拿掉檔板後齒輪則運轉則會飛出，這裡我們利用馬達齒輪反面的圓邊將齒輪返裝後成功解決齒輪飛出的問題，爬竿測試後發現磁鐵磁力過強，導致吸附定住無法攀爬，這邊嘗試把磁鐵數目降低降低磁力和改變攀爬輪材質，測試後發現攀爬速度明顯變快和穩定。

4、結論

起初設計機構是參考以往幾屆機器人，發覺爬竿子蜘蛛機器人與過迷宮機器人，兩者機構並無太大差異，藉由參 考過去參賽者們的機器人，突發奇想的想把過迷宮機器人和爬竿子機器人兩者結合各取其長處，構想出擁有穿越障礙物和爬竿子的機器人，在這製造過程中因為加工誤差導致齒輪與齒輪之間不平行且不順暢，些許誤差造成齒輪磨損加快，嘗試使用墊

片讓齒輪之間保持平行降低磨損速度與增加契合，調整後齒輪間的輪轉比較順暢，起初設計檔板是為了擋住齒輪不讓齒輪飛出，測試後發現齒輪被擋板夾太緊運轉不順暢且會卡住，拿掉擋板後齒輪則會飛出，這邊嘗試把馬達齒輪裝反，利用反面圓邊充當擋板，測試後齒輪運轉順暢許多也不會飛出，爬竿測試後發現磁鐵磁力過強，導致吸附定住無法攀爬，這邊嘗試把磁鐵數目降低降低磁力和改變攀爬輪材質，測試後發現攀爬速度明顯變快和穩定，雖然過程中遇到許多問題，但有老師和同學的意見與幫助，所有問題都一一迎刃而解。

未來展望

設計出更小更精密更靈活的機器人，要讓速度更快更穩定，嘗試更多元件讓一台機器人擁有更多能力，做出更小型且靈敏動作款式，並且能通過各種地形，並能多方控制和整合，和加裝 CCD 利用遠端遙控達到偵測與觀測的功能。

5、致謝

感謝指導教授張仲良老師在專業知識領域的教導，讓從沒有題目的我們到確定題目與參加比賽，兩周一次的 Metting 讓專題生們互相交換心得提供意見，讓我們了解到組員之間的合作與其他人之間的相處，並感謝賴柏瑞同學教導我們繪圖的技巧與構思的建議、感謝許多學長、同學的指導、建議、幫忙，謝謝這些同學的幫忙使我們能將這次的專題做出來，非常感謝張仲良老師這段期間的指導和建議與敦敦教誨讓我們受益良多，謝謝張仲良老師的建議與指導和同學間的幫忙，使得本次專題能更成功更有效率更快的完成。

6、參考文獻

[1] 101 學年度科普活動全國微型機器人競賽 http://www.me.ncut.edu.tw/2010web/index.htm

[2]機器人世界情報網，網址來源: http://www.robotworld.org.tw/index.htm?pid=10&News_ID=5420

[3]微小機器人，南榮技術學院機械工程系，網址來源: http://www.njme.njtc.edu.tw/njme/%E5%AD%B8%E7%94%9F%E5%9C%92%E5%9C%B0/%E5%B0%88%E9%A1%8C%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8/95/003-%E5%BE%AE%E5%B0%8F%E6%A9%9F%E5%99%A8%E4%BA%BA.pdf

[4] 全國微型機器人大賽過迷宮組參賽機器之製作: http://wwwme.nchu.edu.tw/Enter/html/advert/temp/reward.htm

[5] [日]福田 務 ，2003 年，電子電路入門：微型機器人手工制作（第二版）科學出版社

[6] 第三屆全國微型機器人競賽結案報告，2005 年http://blog.ncut.edu.tw/userfile/2800/2005%E7%AC%AC%E4%B8%89%E5%B1%86%E5%85%A8%E5%9C%8B%E5%BE%AE%E5%9E%8B%E6%A9%9F%E5%99%A8%E4%BA%BA%E7%AB%B6%E8%B3%BD%E7%B5%90%E6%A1%88%E5%A0%B1%E5%91%8A.pdf

[7]優益系統科技股份有限公司 http://www.sipro.com.tw/doc/motordm6.pdf

[8] 微型蟑螂機器人，2013 年 http://news.gamme.com.tw/430217

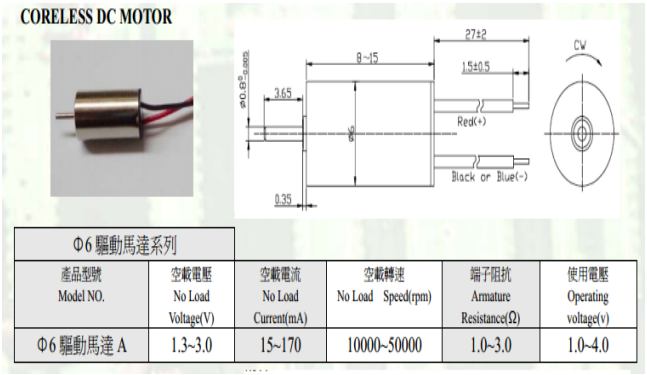
[9] 蜻蜓機器人四翼翅膀，2013 年 http://tech.qq.com/a/20130403/000042.htm

[10] 高效微型機器飛蟲能探測危險環境，2010 年 http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhu

anet.com/tech/2010-09/25/c_12603880.htm

[11] 全球最先進的機器人大集合，2010 年 http://autumnson-nwo.blogspot.tw/2010/12/blog-post_6938.html#bn-forum-1-1-3202415878/7773/0/show/blog-post_6938.html

附錄 A、微型振動馬達



Φ6 驅動馬達系列					
產品型號 Model NO.	空載電壓 No Load Voltage(V)	空載電流 No Load Current(mA)	空載轉速 No Load Speed(rpm)	端子阻抗 Armature Resistance(Ω)	使用電壓 Operating voltage(v)
Φ6 驅動馬達 A	1.3~3.0	15~170	10000~50000	1.0~3.0	1.0~4.0

附錄 B、設備與材料表

設　備		
控制器		1 台
銑床		1 台
車床		1 台
材　料		
電路板		1 個
微型振動馬達	型號:Model NO	2 個
機身		1 個
軸		3 個
後輪		1 個
帶齒前輪		2 個
齒輪		4 個
攀爬輪		1 個
側蓋板		2 個
電鑽		1 個
尖嘴鉗		1 個
斜口鉗		1 個
單芯線		1 綑
木板	9mm 密迪板 2X4m	1 個
銲槍		1 個

附錄 C、自製場地

補充

本組今年參加全國微型機器人競賽，獲得最佳實作獎，感謝張仲良老師的指導與意見，本組獲得全國微型機器人最佳實作獎，謝謝老師的建議與支持和鼓勵。

Summary

Nowadays,MEMS technology gets more and more developed,resulting in smaller micro-control module, this reaserch intends to design an unibody, micro-robot in size within 20mm×30mm×30mm , with walking and climbing ability to pass through obstacles. To enhance its sturdiness and durability, it will be made of alluminum alloy. And the built-in battery could provide more time for usage. The rf wireless control module is used for the remote control , and the CCD will go with it to achieve remote detection function in the future.

應用熱電致冷晶片於養液槽溫度調控分析與研究

學生姓名：林芳議
指導老師：張仲良

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

製作本次專題的靈感來自於現在因為台灣一年四季有梅雨季以及颱風肆虐，常常造成台灣農作物損失高達上億元，所以愈來愈多的植物工場陸續出現，而植物工場所種植的農產作物中也包含的水耕植物，水耕植物需要靠養液來提供養份幫助成長，所以養液的保存非常重要。

本專題製作一個小型的溫控型養液槽，利用簡單的材料以及市面上常看到的致冷晶片和養液槽結合，利用單晶片 PIC18f4520 製作微控制器來驅動致冷晶片達到養液槽的溫度控制，並且搭配由 Visual Basic 所寫的人機介面讀取溫度值；那也因為經費預算的問題，採用電阻式溫度感測器 PT100 製作養液槽中的溫度感測器，材料費用較便宜且較容易取得，最後分析致冷晶片在養液槽中所釋放出來的效率。

一、引言

製作小型溫控養液槽是為了將致冷晶片結合控制養液槽溫度，在我的參考文獻中，種植浮根式葉菜類時，養液最適合的溫度為17℃~25℃（高德錚，1986)，而使用致冷晶片的原因是因為致冷晶片具有透過電流即可控制溫度，不像一般壓縮機需要利用冷煤在壓縮機的作用下才能工作，致冷晶片有零汙染、零噪音的優點，可是缺點卻是能源轉換效率低，一般致冷晶片的能源轉換為40%～50%之間，所以無法應用在大範圍的空間中（邱偉豪，2007)；感測器部分參考了電阻式溫感器，主要感測原理是利用PT100感測元件在溫度不同時會改變其電阻大小，而且在市面上容易取得，算是較常見的電阻式溫感器之一（呂傑文，2009）。

二、實驗材料與架構

本研究使用的實驗材料有致冷晶片（12706），該晶片具有只要一通電就會產生一面冷一面熱的特性，規格如下列表格1.以及下圖(a).。

表格1.致冷晶片規格

最大電壓	15VDC
最大電流	6A
功率	65W
溫差	67℃
尺寸	40mm＊40mm
厚度	3.8mm
阻值	1.95Ω~2.15Ω

2.1
溫感器-PT100

白金感溫電阻具有高精確度及高安定性，在-200℃~600℃之間亦有很好的線性度。一般而言，白金 pt100 感溫電阻在低溫-200℃~-100℃間其溫度係數較大；在中溫 100℃~300℃間有相當良好的線性特性；而在高溫 300℃~500℃間其溫度係數則變小。由於在 0℃時，白金 pt100 電阻值為 100Ω，已被視為金屬感溫電阻的標準規格，PT100 圖片如下圖(b)。

金屬導體的電阻隨溫度的升高而增加；隨溫度之降低而減少，測量此金屬導體之電阻值，即能間接求得其溫度。
此種溫度與電阻之關係可由下列算式代表：
Rt = Ro(1 + at + bt2)
其中 Rt：在溫度 t 時的電阻，歐姆
Ro：溫度，℃
t ：0℃時的電阻，歐姆
a ：電阻的溫度係數
b ：校正係數

2.2 沉水馬達

沉水馬達最常運用在魚缸內的馬達之一，可完全沉在水中並且吸水過濾，在此專題中當成抽水馬達，搭配水冷頭製作水冷式散熱系統，如下圖(c)。

2.3 冷水頭

水冷頭是搭配本次專題水冷散熱的重要角色之一，散熱的水要經過水冷頭上的銅片才可將制冷晶片所製造出來的熱能帶走 ，如下圖(d)。

(a)致冷晶片　　(b)PT100 溫度感測器

(C)製作水冷散熱的沉水馬達　　(d)冷水頭

2.4 Ｐｉｃ發展板

此發展版搭配單晶片PIC 18f4520為微控制器，發展版上整合了可變電阻、溫感器、蜂鳴器，以及LCD顯示器等等電子元件，發展版功能多樣，可搭配C語言或是C++程式語言等等撰寫程式。

圖1. 以PIC 18f4520單晶片之發展板

2.5 電源供應器

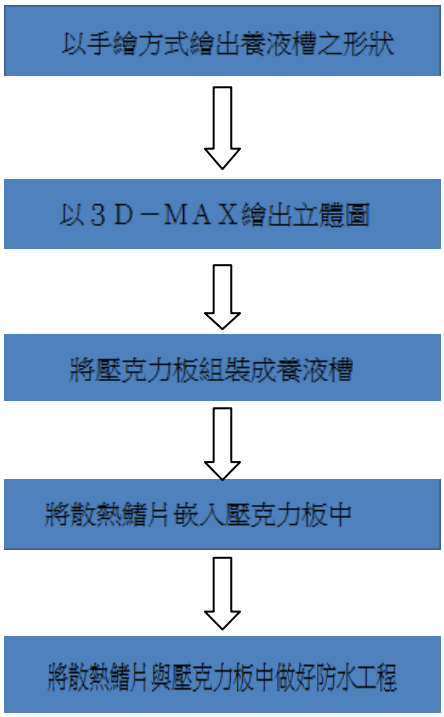
此電源供應器可輸出0~30伏特以及0~5安培電流，此機種操作簡單且小型輕巧不占空間。

圖2. 電源供應器

三、研究方法與內容

3.1 機構設計與規劃

3.1.1 機構設計流程



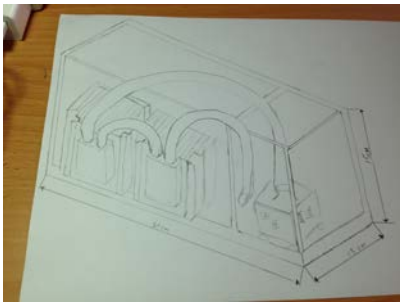


圖 3. 養液槽手繪圖

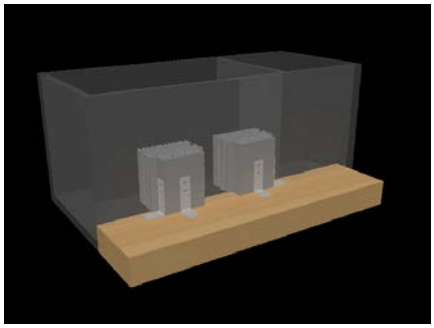


圖 4. 養液槽 3D 電繪圖

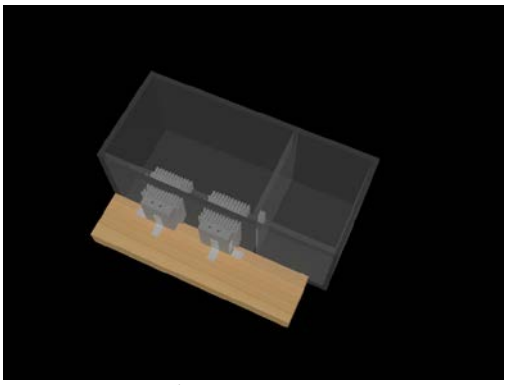


圖 5. 養液槽 3D 電繪俯視圖

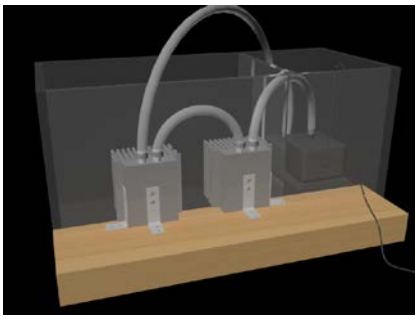


圖 6.完整養液槽 3D 電繪圖

3.1.2 主機構

硬體設計規劃為養液槽，所以選用壓克力板為製作養液槽之材料，壓克力板厚度為５ｍｍ，製做出一大一小的空間，空間規格如下列表格 2。

表格 2.養液槽大小空間規格

大空間	小空間
30cm*20cm*20cm	15cm*20cm*20cm

大空間為養液存放空間，小空間為致冷晶片散熱用之常溫水。

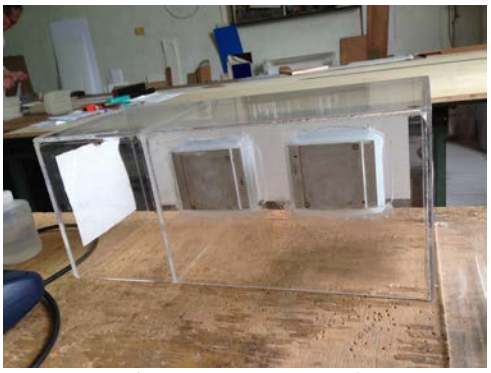


圖 7.製作完成之壓克力養液槽

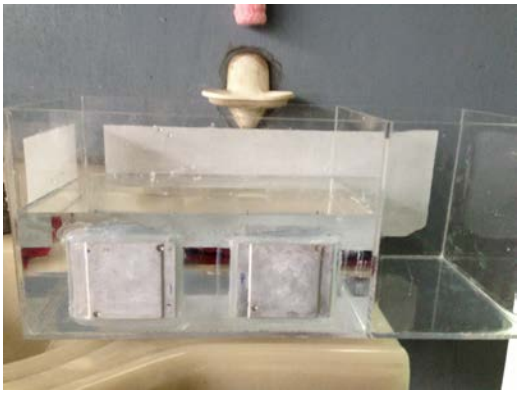


圖 8.將防水工程做好避免水從散熱鰭片旁溢出

3.2 系統架構

3.2.1 系統架構流程

本專題以 PT100 當作養液槽溫感器，當 PT100 感測養液槽溫度時，此時是類比訊號，透過 ADC 類比數位轉換成數位訊號再將訊號傳送給單晶片 PIC 18f4520，並且透過 RS232 傳輸到由 Visual Basic 開發出的人機介面上顯示養液槽當時溫度，並且再回傳給單晶片 PIC 18f4520 判斷是否需要啟動制冷晶片使養液降溫。

3.2.2 控制系統

本實驗室採用由 Microchip 開發的 Pic 發展板，發展板上是由單晶片 Pic 18f4520 為控制器，透過 MPLAB 撰寫溫度控制程式，經由 ICD3 燒錄進 18f4520

完成控制溫度的部分。

本實驗將溫度顯示於 Visual Basic 上，透過人機介面可以選擇手動控制致冷晶片開關或是自動控制致冷晶片開關。

圖 9. 感測溫度後可顯示於人機介面上

3.2.3 控制系統與主機構

最後將控制系統與主機構架設起來就完成了本次專題以熱電制冷晶片於養液槽溫度調控分析與研究的硬體設施，請見圖 14.15.16。

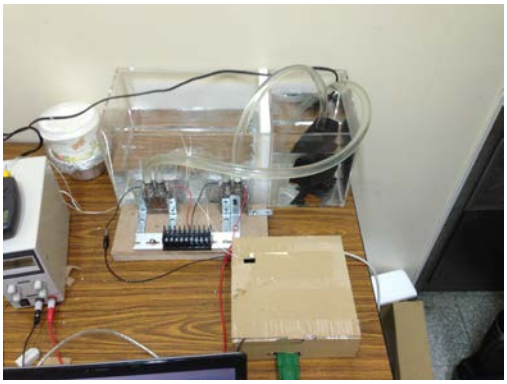


圖 10. 控制器外殼與壓克力養液槽

圖 11. 用電腦螢幕顯示溫感器讀取之溫度

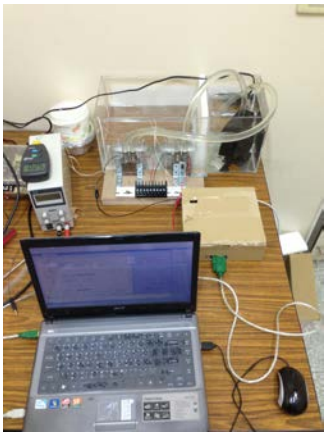


圖 12. 完整硬體架構

3.3 實驗方法

我們將溫感器 PT100 放入養液槽中測試水溫，程式設計當溫度高於設定溫度時起動致冷晶片，將養液冷卻至設定溫度後自動停止運作致冷晶片，來達到致冷晶片調控養液溫度的目的。

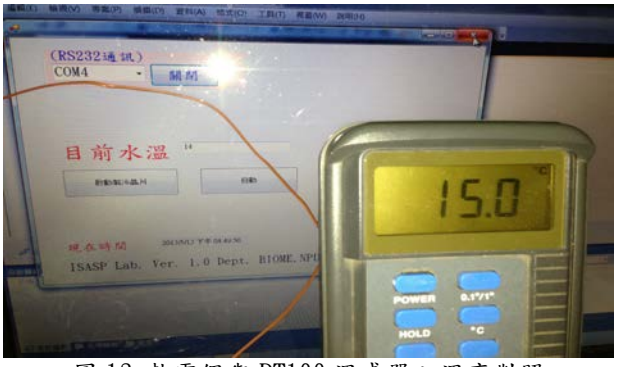


圖 13. 熱電偶與 PT100 溫感器之溫度對照

四、實驗結果與討論

4.1 電流與溫度的變化

4.1.1 第一次實驗數據

此次專題實驗先以 2A 的電流驅動兩顆致冷晶片。大小空間中並無絕熱材質，僅有一 5mm 後的壓克力板隔絕而已，實驗數據如下表格 3. 以及圖 14. 。

表格 3. 電流與養液槽溫度實驗數據

	養液槽	散熱水	備註
1 分鐘	23.3℃	24.1℃	
2 分鐘	23.1℃	24.2℃	
3 分鐘	23.0℃	24.3℃	
4 分鐘	22.7℃	24.4℃	

5 分鐘	22.5℃	24.5℃	
6 分鐘	22.4℃	24.6℃	
7 分鐘	22.4℃	24.7℃	
8 分鐘	22.4℃	24.8℃	
9 分鐘	22.4℃	24.9℃	
10 分鐘	22.4℃	25.1℃	

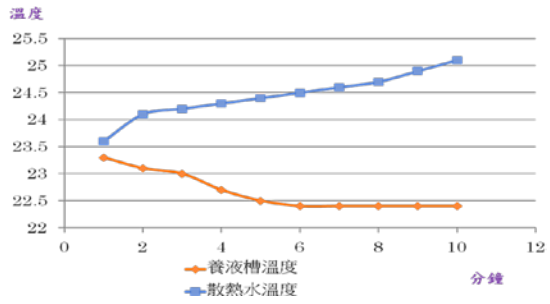


圖 14. 電流與溫度變化曲線圖

之後又做了 3A、4A、4.88A 的實驗，實驗數據如下圖，請看表格 4. 以及圖 15. 。

表格 4. 各電流大小與養液槽溫度之實驗數據

	3A	4A	4.88A	散熱水
1 分鐘	22.9℃	22.4℃	22.4℃	23.6℃
2 分鐘	22.8℃	22.3℃	22.4℃	-
3 分鐘	22.6℃	22.3℃	22.4℃	-
4 分鐘	22.5℃	22.3℃	22.4℃	-
5 分鐘	22.5℃	22.3℃	22.4℃	-
6 分鐘	22.4℃	22.3℃	22.4℃	-
7 分鐘	22.4℃	22.3℃	22.4℃	-
8 分鐘	22.4℃	22.3℃	22.4℃	-
9 分鐘	22.3℃	22.3℃	22.4℃	-
10 分鐘	22.3℃	22.3℃	22.4℃	27.9℃

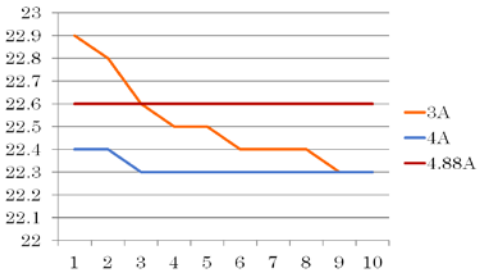


圖 15. 各安培數與養液溫度比較曲線圖

4.1.2 第二次實驗數據

第二次專題實驗會在大空間與小空間中加一塊寶麗龍做為絕熱材質，防止大小空間中的溫度透過 5mm 的壓克力板傳遞熱能，這次只用 2A 與 4.88A 來做實驗，因為兩者做出來的實驗數據會有較明顯得差異，實驗數據如下表格 5. 及圖 16. 。

表格 5. 第二次實驗電流與養液槽溫度實驗數據

	2A	4.88A	散熱水
1 分鐘	23.3℃	22.9℃	23.5℃
2 分鐘	22.8℃	22.6℃	-
3 分鐘	22.6℃	22.2℃	-
4 分鐘	22.4℃	22.1℃	-
5 分鐘	22.3℃	22.1℃	-
6 分鐘	22.2℃	22.0℃	-
7 分鐘	22.1℃	21.8℃	-
8 分鐘	22.1℃	21.7℃	-
9 分鐘	22.0℃	21.5℃	-
10 分鐘	22.0℃	21.5℃	29.1℃

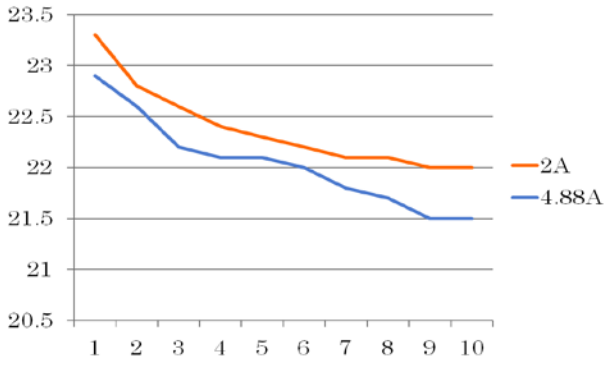


圖 16. 2A 與 4.88A 與養液槽溫度變化曲線圖

五、結論

在第一次的實驗剛開始只用 2A 驅動兩顆致冷晶片，雖然有降溫可是降溫的幅度卻不大，而之後連續使用 3A、4A、4.88A 來驅動致冷晶片使養液降溫時，溫度下降不是非常明顯，極有可能是因為大小空間中僅有一層 5mm 的壓克力板隔開兩邊的水溫，可是壓克力板是會傳熱的材質，導致小空間中的散熱水溫度傳遞到大空間中的養液中，使兩邊的溫度不高也不低。再加上致冷晶片為了要將養液中的溫度下降而一直運作，相對的散熱水的溫度也會一直上升。

在第二次的實驗中在大小空間中加了一塊寶麗龍來隔絕熱傳遞，由上述表格以及曲線圖可以發現，一開始用 2A 的電流驅動致冷晶片時，溫度明顯下降且不會拖延；而使用 4.88A 驅動致冷晶片時，溫度下降的速度比 2A 驅動時略快，可是降溫後的溫差與使用 2A 驅動時的溫差差不多，而且散熱水的水溫已經達到了 29.1℃，散熱效果下降會使製冷力下降，由此可知雖然使用 4.88A 會有溫度下降較快的趨勢，可是相反的散熱水的溫度會上升的非常快，所以要使養液

的溫度再繼續往下降就必須解決散熱水溫度持續上升的問題！

六、致謝

這次的專題終於在我大四這一年結束了，回想起三年級剛轉進來屏科大時，因為跟班上同學完全不熟再加上每個同學都已經找好專題老師而我還沒找專題老師的情況下，我只好自己一人單槍匹馬的找專題老師，很開心也很榮幸張仲良老師能在開學過後還多收我這一位專題生，而我剛進生機系也不知道自己的專題該做什麼，還好張老師給了我方向，讓我研究致冷晶片與微控制器。我因為轉學來所以剛開始進到屏科的學分數只有 34 學分，為了不要讓自己延畢一年所以我選擇了每個學期都盡量修到滿學分，也因為這樣導致我的專題我自己決定延後一年再發表，因為我只有自己一個人一組，又要做實驗、做報告、看ＰＡＰＥＲ，種種的因素讓我決定四年級再報專題，也就是今天。從三年級開始我就再也沒再碰專題的東西直到四年級開始，張老師沒有因為這樣就請我再去尋找其他老師，反而是不放棄的給我鼓勵，張老師對每位專題生都抱持著只要專題生需要什麼，實驗室盡量能給的、支持的都一定給予，最後讓我把專題做完的一個動力是張老師在信中對我說過的一句話：『完成專題是一種負責任的態度！』或許我的專題沒有 100%的完美，可是我願意動手做。很謝謝在做專題的這段時間協助我的學長跟同學，尤其是黃逸鳴學長，不管我在程式上有多少問題他都會不厭其煩的解釋給我聽或是做給我看；朱佳珩以及程建峰同學也在我有困難的時候出手幫助我，讓我的專題沒有因此而卡住；洪國豐學長也是在我的專題上給了我大方向的人，讓我沒有在專題中找不到大方向；有太多太多的人要感謝， 沒辦法一一提出來，但是我不得不說，做專題真正讓我學到的其實不是專題本身，而是我用什麼態度去面對專題這件事情。

七、參考文獻

〔1〕高德錚 ，中華民國七十五年五月發行，水耕栽培－精緻蔬菜生產技術之開發 ，台中區農推專訊 56 期

〔2〕馮丁樹，2006，網室與養意栽培裝置，臺灣機構典藏 NTUR。

〔3〕蔡朝洋、蔡丞佑，2008，單晶片微電腦 8051 原理與應用 basic 語言版本，全華圖書股份有限公司 。

〔4〕水耕蔬菜方法，2012/10/20，
http://blog.udn.com/yes555/6960496

〔5〕呂傑文，2009，電阻溫度感測器之設計研究，專題論文，逢甲大學。

〔6〕林靖凱、鄺思齊、楊培根，2010，LCD 溫溼度感測器，專題論文，逢甲大學。

〔7〕邱偉豪，2007，致冷晶片應用與原理，專題論文，台灣大學。

〔8〕曾百由，2009，微處理器原理與應用-C 語言與 PIC18 微控制器，五南。

摘果型智慧機械手臂設計與實現

學生姓名:傅彥誠、張瑞晏
指導老師: 張仲良老師

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本設計主要是應用在農業上，藉由機械手臂來取代傳統人力摘果的方式，讓農業朝著全自動化來發展。

本研究可實現摘果子機器手臂，此機器手臂機構由爪子、三軸臂及一底座組成，包含四個伺服馬達、兩個步進馬達。控制核心使用微控制器PIC18F4520 與馬達驅動器，配合 VB 軟體實現人機介面，透過此介面可以控制每軸的馬達。

一、引言

由於農業人口的減少及老化，造成雇工不易、工資上漲和生產力降低，使得農業經營更加困難。實施農業自動化是解決這個問題的根本辦法。不同型式的機器手臂可以代替人類做各種不同的工作，是實施自動化的利器。機器手臂在工業上的應用已經相當普遍，其在農業上的應用正逐漸增加，在農業自動化的推行上扮演著重要的角色。
但目前所參考的文獻中所做出來的手臂都有些缺點，像以採摘柑橘果實機器手臂之研製(1999年、農業機械學刊、第8卷、第3 期)，所設計出來的手臂，因自由度不夠及爪子會有勾到樹枝的影響，所抓取的功能有限。

在2005年浙江大學，生物系統工程與食品科學學院 作者:梁喜風等人，番茄收獲機械手工作空間分析與仿真，此研究有七個自由度，工作空間僅是番茄收獲機械手的性能指標之一，為提高機械手機構性能，在設計時還需要對機械手的可操作度，回避障礙等性能指標進行綜合考慮。

在1994年，國立中興大學農業機械所，作者:鍾瑞永，視覺系統引導之機器手臂採果之研究，此研究利用3D位置引導機器手臂採摘果物。相對於視覺系統的座標值，需先轉換為相對於機器手臂基座的座標值，然後代入機器手臂各軸轉角，此研究使用之機器手臂為一般教學用之旋轉型關節機器手臂，精度較差，在垂直方向誤差教大，但爪指均能抓取到果物。

因各蔬果的栽種方式不同，目前要達到農業全自動化還頗些困難，必須因各蔬果的型態設計出專門的採收機構，所需的成本也更高， 希望在未來有更好的改善。

本文所設計之機器手臂機構由爪子、三軸臂及一底座組成，控制核心使用微控制器PIC18F4520與馬達驅動器，配合VB軟體實現人機介面，可達到摘果之實現。

二、研究內容與方法

2.1 機構設計與規劃

因水果的成長方式不同，大多長在高樹木為主，設計上不以單一水果為抓取目標，希望朝多元化的水果栽取方式做設計，本機械手臂以蘋果的大小設計出爪子能抓取的尺寸，比較小的水果也能抓取。而活動空間，因成本與初期設計，規格設定在 60 公分的範圍內，機械手臂活動範圍為 360 半圓球內，各軸設計上最大擺臂角度為 270 度，

製作流程分為手臂機構與控制系統。本機械手臂機構分為底座機構、三關節機構與爪子機構三部分。材料用鋁合金為主，以達到輕量化。設計時已 Pro/E 3D 繪圖軟體做模擬設計，包含組裝及動作模擬。

A. 機構設計流程

步驟 1 手繪初略形狀與尺寸，先定總長度。
步驟 2 選入馬達，利用 Pro/E3D 繪圖軟體繪出機構。
步驟 3 利用 Pro/E 繪圖軟體組裝各零件並修改尺寸。
步驟 4 選擇材料、計算出重量，再次確認馬達扭力
步驟 5 組裝各零件，重複模擬動作及修改尺寸
步驟 6 轉換成 CAD 檔，由 CNC、傳統車銑床加工
步驟 7 組裝整合與測試

2.1.1 主機構

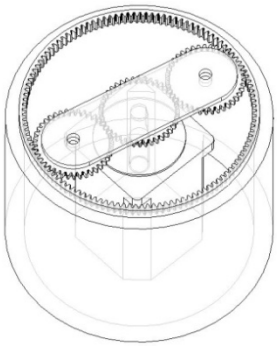


圖 1 底座機構示意圖

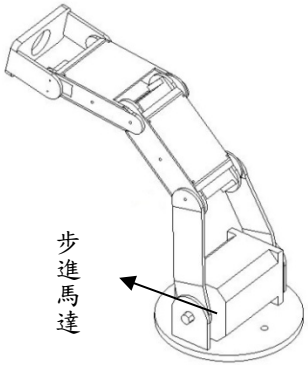


圖 2 三軸臂機構設計實體圖

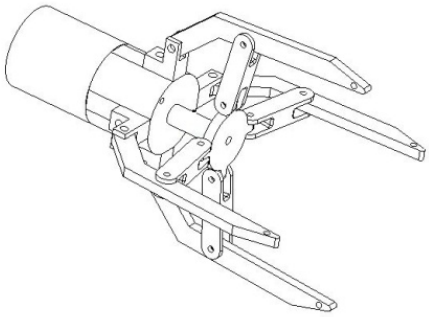


圖 3 爪子機構示意圖

表 1 各齒輪規格與數目

	齒數	模數	厚度	數目
正齒輪	40 齒	1.5	5 公厘	3
內齒輪	120 齒	1.5	10 公厘	1

A.底座機構設計:底座設計以行星齒輪組來帶動整體機械手臂 360 度旋轉，齒輪規格如表 1 所示行星齒輪為三個正齒輪和內齒輪搭配，中間齒輪裝在步進馬達上驅動整體手臂，如圖 1 所示。。

B.三關節機構設計:因設計完後，考慮到整體重量與力矩問題，第一軸馬達選用步進馬達來驅動，其餘兩軸用 RC 伺服機來帶動，如圖 2 所示。

C.爪子機構設計:機構的抓取方式只需一伺服馬達來拉動，往復回動方式和彈簧來搭配，來帶動 4 爪做抓取。往復的行程為 20 公厘，張開最大直徑約為 110 公厘，爪子閉合後內部直徑約為 62 公厘，其機構如圖 3 所示。

2.1.2 附屬機構

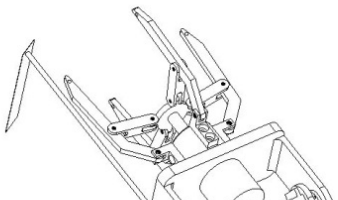


圖 4 切斷機構示意圖

切斷機構:以一直流馬達接上到刀子，做高速旋轉。當抓取水果後，啟動馬達，來切斷樹枝，其機構如圖 4 所示。

2.1.3 整體機構

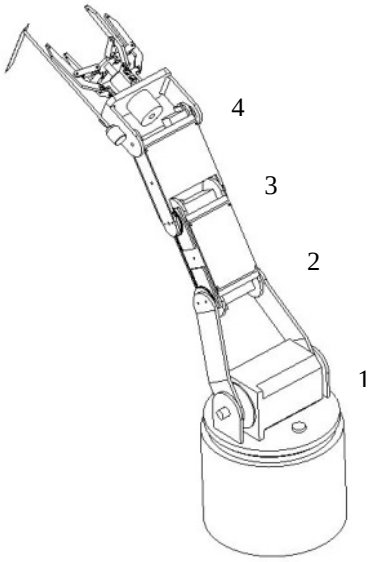


圖 5 整體機械手臂示意圖

圖 6 整體機械手臂實體圖

整體在 Pro/E 繪圖軟體下組裝完後的尺寸長約為 62 公分、最寬為 12 公分

2.2 系統架構

在 Visual Basic 人機介面上，按下以設定流程之按扭，透過 RS232 傳送一位元至 PIC18F4520，當 PIC 接收到其傳的位元，對應相對的位元，執行其流程。

例:在人機介面上按下開起燈號按鍵，PIC 接收到一位元，在 PIC 上以寫好程序此位元代表開關燈號，即做開關指令。

當我按下伺服馬達控制按鈕，即傳送”一”位元透過 RS232 傳送到 PIC18F4520 即時開啟優先中斷執行此”一”位元輸出訊號至控制電路，即輸出一脈衝至伺服馬達，達到位置控制，此位元傳送結束後在回到正常執行之系統。

2.2.1 控制系統

A.硬體模組說明

(a)控制核心:選用本實驗室(ISASP)所研究的 PIC18F4520，軟體是使用 MPLAB8.89v，透過 MPLAB ID3 燒入程式至 PIC。利用 PIC18F4520 上的 CCP (Compare/Capture/PWM)來控制伺服馬達，達到位置控制，可執行目標抓取之目地。

利用 PWM(脈衝寬度調變)來控制伺服馬達之位置，利用輸入值的不同來變更脈衝的寬度，以達到位置的控制。

本專題控制四個伺服馬達及兩個步進馬達。主座及底座的部份透過步進馬達驅動器 STK672 來驅動步進馬達，控制步進馬達的位置。

(b)馬達選用:

表 2:各軸重量與力矩統計圖

	第一軸	第二軸	第三軸	第四軸
各軸重量	1917 公克	1665 公克	1183 公克	873 公克
馬達所需力矩	59 公斤-公分	38 公斤-公分	19 公斤-公分	8 公斤-公分

表 3:選用之各軸馬達

馬達名稱	馬達最大力矩	備註(如圖 5 所示)
SO3N3	44 公斤-公分	伺服馬達 (2、3 軸)
STL9894-CTG	20 公斤-公分	伺服馬達 (4 軸與拉動馬達)
MPK2913	66 公斤-公分	步進馬達 (1 軸與底部選轉)

利用 ProE 計算出各零件的重量，以 Execl 做統計計算方式是取個軸質量中心乘於手臂最前端到各軸馬達的距離，算出後繼為馬達所需力矩。

(c)步進馬達驅動電器

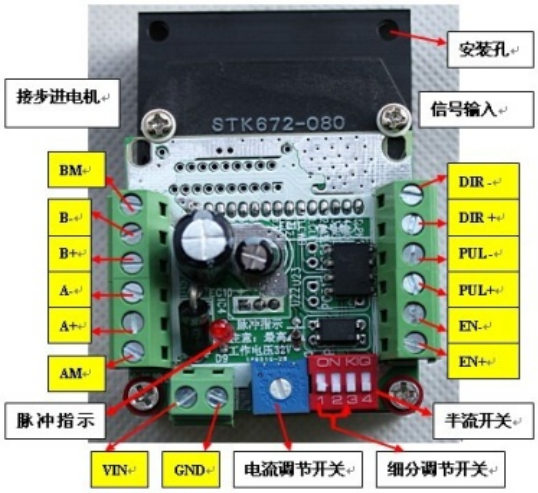


圖 7 步進馬達驅動器

1. 輸入工作電壓：DC12-32V
2. 輸入控制信號：脈衝，方向，使能。
3. 輸出電流：0-3 A 無級可調。
4. 細分數控制：整步，2 細分，4 細分，8 細分。
5. 有自動電流控制功能。(如果沒有脈衝信號輸入到驅動器時，驅動器會自動把鎖定電機的電流下降，有效減少電機發熱與電能消耗。)
6. 配備防接反二極體，防止電源輸入接反時燒毀零件。
7. 光藕輸入端設計有抗干擾電路，，使得整個產品更加安全可靠。
8. 尺寸是：50（長）*76（寬）(含散熱片在內）公厘 左右

B.軟體程式說明

(a)模擬軟體:

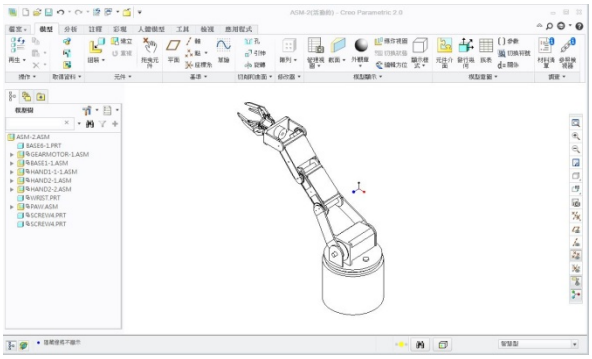


圖 8 繪圖軟體 Creo2.0 介面

機構設計:在設計上，為了方便掌握尺寸及整體構想，選擇了 3D 繪圖軟體 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 來繪製整體機構。 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 是 PTC 公司的一套專業繪圖軟體，Pro/E 由設計至生產的機械自動化軟體，是新一代的產品造型系統，是一個引數化、基於特徵的實

體造型系統，並且具有單一資料庫功能。 引數化設計和特徵功能 Pro/Engineer 是採用引數化設計的、基於特徵的實體模型化系統，工程設計人員採用具有智慧特性的基於特徵的功能去產生模型。 Pro/E5.0 現已整合在全新的繪圖軟體 PTC Creo 下，最新版為 Creo2.0，功能更齊全，更強大。(本專題後期製作使用 Creo2.0)

(b)人機介面:

使用 Microsoft 公司所研發之軟體 Visual Basic2010，當使用本研究之人機介面時按下一按鍵從人機介面上傳送一位元從 RS232 至 PIC18F4520，對應其相對位元而執行此位元之動作指令。

此介面包含開啟連線、燈號測試、伺服馬達及步進馬達之位置控制及關閉連線。

圖 9VB 人機介面

C.電路設計

(a)主控制電路

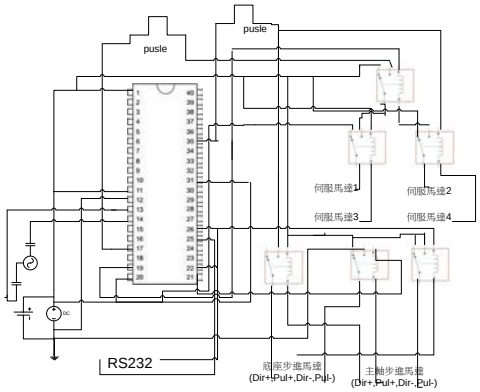


圖 10 控制電路示意圖

控制核心 PIC18F4520 透過 RS232 輸出兩個脈衝，透過繼電器來驅動伺服馬達及步進馬達。

三、實驗說明與規劃

3.1 操作說明

1. 透過人機介面，先讓 RS232 開啟連線。
2. 測試底部旋轉機構。
3. 測試擺臂動作。
4. 測試爪子的張開與閉合，及實際抓果。
5. 測試爪取流程是否順利。
6. 測試切斷機構效率

3.2 活動範圍

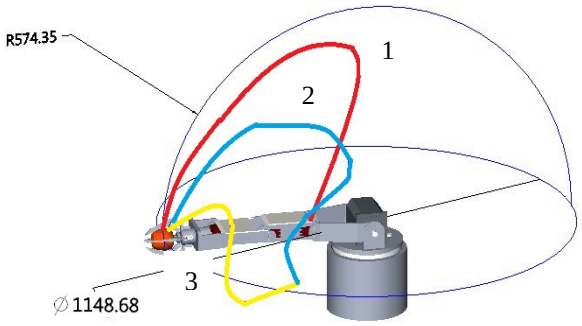


圖 11 活動範圍與活動軌跡

本機械手臂活動範圍在半徑為 57 公分左右，360 度半圓體裡，各軸因旋轉角度在 180 度內，所以運動的軌跡入下圖所示，分別測試出三條運動軌跡線，軌跡線第一條長度約為 937 公厘，第二條長度約為 898 公厘，第三條長度約為 534 公厘。

3.3 測試結果

圖 12 抓取測試圖

A.抓取測試:在抓取測試時，嘗試過多種物品做抓取，從圓球體、直筒形、方體.....等等，抓取的力道都很足夠，但有時會有滑動現象，改進方式是加裝止滑墊在爪子面上，或是未來在爪子做些改進，設計成勾形的樣式，方便抓取。

圖 13 底座旋轉機構

圖 14 切斷機構

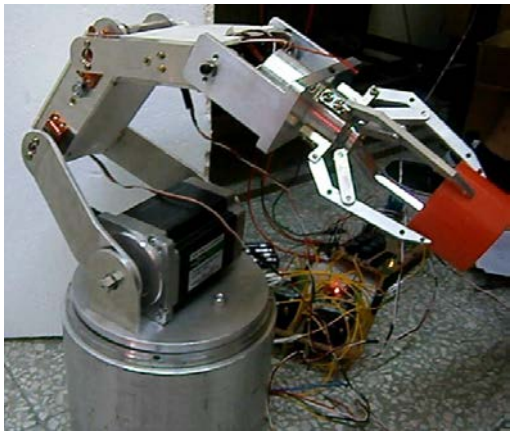


圖 15 流程抓取測試

B.底部機構測試:因初期設計，馬達在帶動時會有旋轉現象，無法準確對準中心，以另加裝固定的裝置去固定住。另外齒輪可更改齒輪比，可讓輸出扭力變大，如圖 13 所示。

C 切斷測試:切斷機構因是初期設計，切斷能力還不是很好，原因跟馬達扭力及刀片有關，改進方法是換高扭力的馬達，刀子需再經過不同刀子類型的測試，如圖 14 所示。

D.流程抓取測試:本機械手臂可改變步進馬達的旋轉速度與角度，能以每 1.8 度下去做旋轉，因本專題沒有設定位系統，所以抓取時稍有偏差現象，須以肉眼做抓取動作，如圖 15 所示。

3.7 應力與變形量分析:

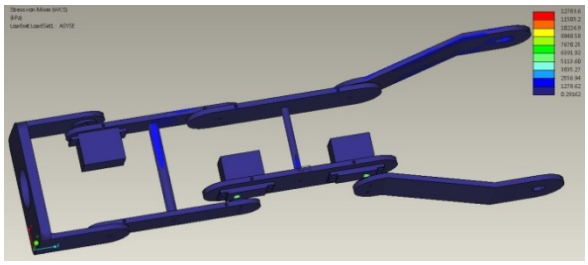


圖 16 骨架應力分析

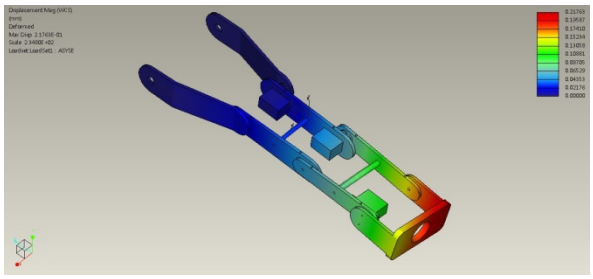


圖 17 骨架變形量分析

分析時以骨架為主，在前端加入重量，此重量是爪子與所抓取水果的重量，水果重量定在 250 公克，總重約為 0.853 公斤，模擬結果應力與應變集中在 RC 伺服馬達上，變形量則為固定爪子的機件為最多，變形量約為 0.2 公厘。分析軟體為 Creo2.0

4.結果與討論

1.實驗完後，發現切斷機構在進行切斷實驗時，會有切不斷的因數，又考量到整體重量與力矩問題，所以此切斷機構還為初規劃階段，刀片的選擇與馬達帶動刀片所需的扭力，都還不足。

2.機構部分重量與例舉問題較大，馬達在帶動時電流須給很大，才能將手臂舉起。

3.電路方面，在訊號源及電流源兩方面須共地，否則伺服機無法知道基準值，使用人機介面時需在上面多增一個回傳的文字方格，如此一來才可以確保輸入與回傳之間的正常關係。

4.在伺服機方面，需測的每個伺服機所需之脈衝寬度，如此一來才可知道位置與脈衝寬度之關係。

5 此手臂有四個自由度，足以解決在活動範圍內的抓取。

6.規格爪子張開最大為張開最大直徑約為 110 公厘，爪子閉合後內部直徑約為 62 公厘，可適合夾取蘋果或更小的水果。

誌謝

感謝指導老師張仲良老師對我們的諄諄教誨、細心指導，不僅讓我們在學業上有所精進，更提升了我們專業知識的認知與待人處世的智慧，也感謝實驗室學長在 PIC 上的指導，提供了我們很多的資源及知識，也感謝瀚強精密工業公司的大力

支援，讓機構有完美的呈現，感謝賴柏瑞同學在動畫上的幫忙，感謝屏東科技大學生物機電工程系提供資源，最後感謝屏科大的圖書館有著豐富的書籍，使本組能找到與本專題相關方面的知識。

參考文獻

1.李芳繁、王智立，1999 年，「採摘柑橘果實機器手臂之研製」，農業機械學刊，第 8 卷，第 3 期。

2. 梁喜風、王永維、苗香雯、崔紹榮，2005，「番茄收獲機械手工作空間分析與仿真」，浙江大學學報、第 807~811 頁。

3. 鍾瑞永、李芳繁，「視覺系統引導之機器手臂採果之研究」，農業工程學報 ，第 40 卷，第 3 期。

4.黃建絨，2012 年，「機械手臂伺服機運動控制之研究」，碩士論文，國防大學理工學院動力及系統工程學系。

5.陳政安，2008 年，「6 自由度機械系統之建置與實作探討」，碩士論文，義守大學電機工程學系。

6.曾柏穎，2011 年，多軸機械手臂操控於順應性工作之應用」，碩士論文，國立交通大學電控工程研究所。

附錄

使用材料

名稱	規格	數量
鋁合金板材	100 公分＊50 公分	
齒輪	120 齒 1.5 模數厚度 10 公釐 40 齒 1.5 模數厚度 5 公釐	1 3
伺服馬達	42 公斤/公分，20.5 公斤/公分	2，2
步進馬達	66 公斤/公分	2
直流馬達		1
PIC18f4520		1
步進馬達驅動器		2

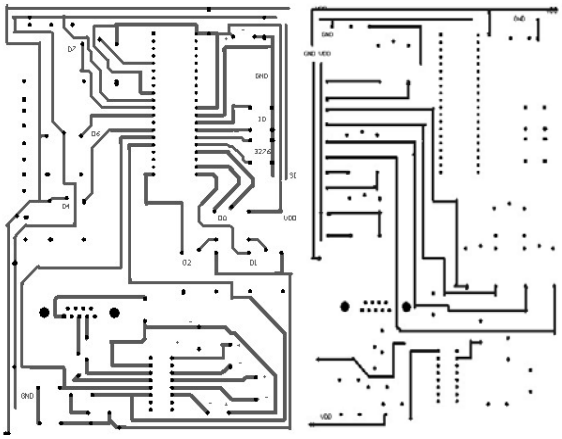


圖 18 利用 Protel99SE 繪製的電路圖

HIN23CP2 及 PIC18F4520 和繼電器的電路，利用繼電器來使有效腳位增加。

Wisdom picking robot arm design and implementation

Student: Ruei-Yen Chang,Yen-Chen Fu

Teacher: Chung-Liang Chang

Department of Biomechtronics Engineering

National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

This design is mainly used in agriculture, with mechanical arm to replace the traditional way of picking manpower, so that agricultural development towards full automation.

This research can be achieved pick the fruit robot arm, this robotic arm mechanism consists of claws, three-axis arm and a base composition that contains four RC motors, two stepper motors. Control of the core using a microcontroller PIC18F4520 with motor drive, with VB software to achieve human-computer interface, this interface can be controlled via a motor for each axis.

特殊音頻波對於葉萵苣生長型態影響分析與研究

學生姓名：林知徹、陳至邑、劉培元
指導老師：張仲良

生物機電工程系
國立屏東科技大學

摘 要

當前，農業正處於由化學農業向生態農業過渡時期，而物理農業是實現生態農業的主要途徑之一，**植物聲控技術**是物理農業的一個重要方面，可以促進植物的生長發育，起到增產、優質、抗病等目的，並且不污染環境。

本專題研究，每組環境條件相同，以頻率為變數，頻率範圍(1kHz~ 4kHz)，針對**尖葉萵苣**進行聲波刺激，每天播放 3 小時，使用水耕栽培，主要研究頻率與植物生長與發育間的關係， 例如頻率對株高的影響、頻率對總重增加率的影響等等。

藉由兩次實驗，得到 3.2 kHz 的正弦波頻率，於每日中午 12 點播放，播放 3 小時，對於尖葉萵苣的生長有助長的效果，產量約**每平方公尺增加 187 公克**。

1、前言

音頻調控裝置應用於水耕種植上，該裝置以**特定頻率**進行聲波刺激，使植物發生**諧振**，促進各種營養元素的吸收、運輸和轉化，從而增強了植物的光合和吸收能力，促進生長發育。

藉由此裝置減少農藥使用量，以物理方法處理農作物同樣可以起到增產、高效、優質、抗病、無公害的目的，並且有利於保護生態環境，保証農產品達到綠色、無污染的標準，具有顯著的經濟效益和社會生態效益。

許多學者開始進行音頻研究，聲音對於植物生長的影響，舉如植物在種子階段與育苗階段期間使用，以特定頻率播放，不僅能夠調控植物的生長發育和生長形態、並可縮短培養週期，提高品質，而且能夠大大減少能耗，降低成本，而不同的波域對植物的生長發育具有不同功效。(魏学海，2004 年)

通過 Dan Carlson 研究，音頻對植物有明顯的影響，頻率範圍(3kHz~ 5kHz)，使植物葉面氣孔擴張，更有效率吸收養分。(Evan Folds, 2012)

植物聲頻助長技術的基本原理是利用音箱發聲對植物施加**特定頻率**的聲波，使聲波的頻率與植物本身固有的生理系統波頻相一致，**產生共振**。從而提高植物活細胞內**電子流的運動速度**，促進各種營養元素的吸收、傳輸和轉化，增強植物的光合作用和吸收能力，促進生長發育，達到增產、增收、優質、抗病的目的。(天津市農業機械推廣總站，2007 年)

生物物理學家侯天偵，經過8年研究，發明了植物聲頻控製技術，研製出植物聲頻發生器，獲美國發明技術專利。1997年於中國，開始引進該技術。該技術現為**青島物理農業科技發展有限公司**所有。植物聲頻發生器發出的聲波，可以擴張植物**葉面氣孔**，增強植物的**光合作用**，從而刺激它們的快速生長，達到增產、優質、抗病的目的。植物聲頻發生器操作起來非常簡單，可根據不同作物及當時的溫度和濕

度，選擇不同頻率的波段。(吳會昌，2006年)

鄭美正領導的研究團隊在南韓國立水源大學農業生物科技研究所探究一項存在已久的假說：植物對光線及觸碰都有所反應，因此也有可能對聲音產生反應。雜誌指出，稻子對音樂毫無反應，但當研究人員改用**特定的頻率**播放時，情況就改變了。稻子裡的 **rbcS 基因**與 **Ald 基因**分別會在音樂頻率達到 125Hz 及 250Hz 時顯得特別活躍，但撥放 50 赫茲時活躍度則會下降。(【大紀元訊】報導，2007 年)

依據植物聲控技術原理研發的一種應用於農業生產中，給植物播放"音樂"的新型設備。農作物普遍表現出旺盛的生長，增產幅度可達20%以上作物普遍早熟一周左右，農產品的品質得到明顯改善，口感好，貯藏期長。

科學研究表明，聲波是一種有節奏的彈性**機械波**，作為交變應力的一種特殊形式，對植物生長存在明顯的影響。其影響機理主要表現在以下幾個方面:

1.1 經聲波刺激後，植物根系和愈傷組織中的可溶性糖和可溶性蛋白質的含量明顯提高。糖類是植物體內得主要成分之一，可為植物體內各種生命過程提供能量。豐富的蛋白質是細胞進行一系列生理活動的物質基礎，高水平的可溶性蛋白質含量保證了細胞旺盛的分裂和生長能力。

另一方面，聲波這種交變應力作用後，植物細胞壁的結構會發生改變，引起細胞壁的流動性和通透性的增強，為細胞的生長與分裂乃至植物的生長提供了便利條件。

圖 1 植物運輸系統(聲波助長儀)

1.2 通過聲波的刺激，組織內源生長素 IAA 的含量顯著增加，IAA 可促進乙烯的產生，而催熟是乙烯最主要和最顯著的效應(乙烯也稱為催熟激素)。IAA 含量的顯著增加必然導致乙烯生成量大幅度提高，從而加快植物的成熟速度。

1.3 通過聲波的刺激影響，使 Ca2+作用於植物體。Ca2+是生物體內無所不在的離子，細胞中 Ca2+濃度的高低對植物組織的型態發生和生長有重要作用。胞外刺激信號可能直接或間接地調節存在於質膜、液胞膜、內質膜網上的 Ca2+通道運輸系統等，引起胞內游離 Ca2+濃度變化以至影響細胞的生理生化活動。

聲波促進效果排序：

1.3.1.聲波促進作物增產效果大小進行排序：根菜類>果菜類>葉菜類，在葉菜類聲波增產中，大葉片葉菜>小葉片。

1.3.2.聲波促進果菜早熟效果大小進行排序：草莓>小果番茄>大果番茄。

1.3.3.按食用菌各生育期聲波促進效果大小進行排序：出菇期>發菌期>生長期。(富硒食品，
2011 年)

據前人研究，聲頻對植物具有雙重影響，只有在適當的頻率、適當的音量和適當的處理時間下，才會有良好的效應，反之則不然。植物聲頻控製技術是建立在對植物自發聲頻率測定和該頻率與環境因子之間變化關系的研究基礎上，它給予植物的刺激聲波不是單一的、固定的頻率，而是變化的、動態的聲波，其頻率要與植物自發聲頻率相吻合，發生諧振，方有作用。(禹等人，2013年)

2、研究動機與目的

隨著人們生活品質逐漸提高，對於食品安全和生態環境也日益被注重，化學農業帶來的環境污染，農產品農藥殘留超標得到人們的重視，在這種嚴峻的形勢下，一種新興科學孕育

而生，這就是“**現代物理農業工程技術**”。

現代物理農業工程技術是將當代新的物理技術和農業生產相結合的產物。是將**電、磁、聲、光、熱、核**等物理學原理通過一定的裝備應用在農業生產中，應用特定的物理方法處理農作物，實現農業生產環境控制和農業生產的有機結合，達到增產、優質、抗病和高效的目的，並且有利於保護生態環境，保証農產品達到綠色、無污染的標準，具有顯著的經濟效益和社會生態效益，與化學農業相比，可減少化肥和農藥使用量。

當前，農業正處於由化學農業向生態農業過渡時期，而物理農業是實現生態農業的主要途徑之一，**植物聲控技術**是物理農業的一個重要方面，可以促進植物的生長發育，起到增產、優質、抗病等目的，並且不污染環境。

本專題研究，每組環境條件相同，以頻率為變數，範圍(1kHz~ 4kHz)，針對**尖葉萬苣**進行聲波刺激，每天播放 3 小時，使用水耕栽培，花寶為主要營養來源，主要研究聲波刺激對苗高度、總重增加率之影響作用。

3、系統架構設計與規劃

3.1 第一代系統架構

3.1.1. 隔音栽培箱：

(圖 2)為隔音栽培箱設計圖與實體圖，木箱以 6 片長寬各 30 公分 9mm 厚組合板(淺色進口密迪板)，並使用 6 公分長的木螺絲，組成正立方體，並把音頻裝置加裝於栽培箱內部

3.1.2.音頻電路：

(Table1)振盪波形產生器零件規格。

(圖3)振盪波形產生器，電路圖中第6及11腳為±電源接腳，第8腳為振盪頻率控制腳，圖中之VR1即為頻率調整用，第4及第5腳為工作週期(對稱度)調整腳，圖中之VR2可以調整波形之對稱度，S1為頻率波段選擇開關。

輸出波形有正弦波、方波、三角波，其中方波輸出必須外接提升電阻，實際應用輸出必須再接電壓隨耦器，以便與電壓放大級取得阻抗匹配。(儀表電子)

3.1.3.放大電路：

(圖 4)音頻功率放大器，設計為增益=200，主要應用於放大 ICL8038 訊號。

3.1.4.電源設計：

(圖 5)供應電源，因為本身電源供應器電壓過高，所以接了穩壓 IC7809 輸出，防止 IC 損壞，而電源供應音頻電路和放大電路。

該裝置前期以硬體為架構，以 ICL8038(信號產生電路)為核心，再加上 LM386(放大電路)組成，其裝置電路極其簡單，而頻率選定從 0.011Hz 到 300kHz 較為廣泛，但有校正精準度不足或是自動校正也需要較長時間等缺點。

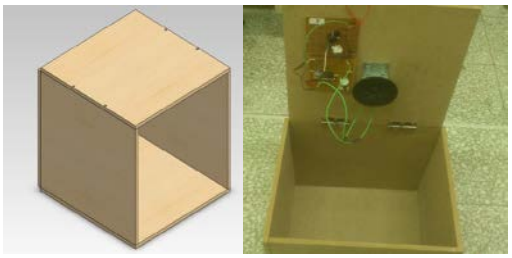
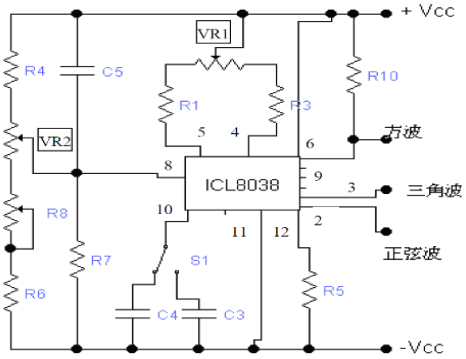
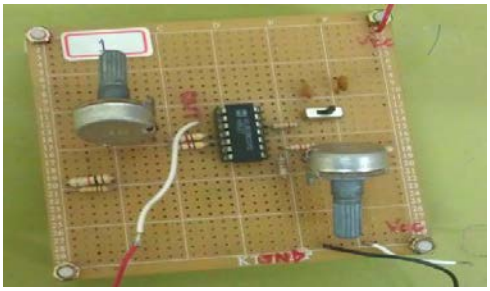


圖 2 隔音栽培箱設計圖與實體圖



(a)

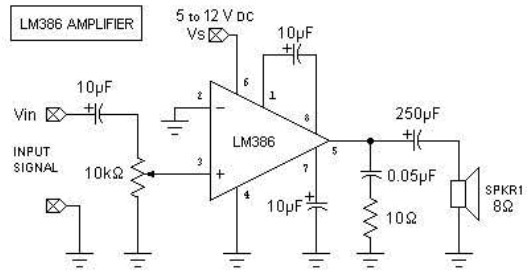


(b)

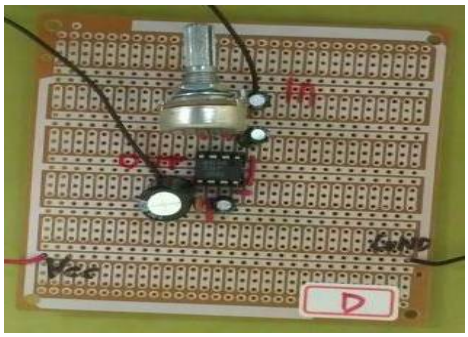
圖 3(a).(b)　ICL8038 函數波產生器

表 1 各零件規格如下表

零件	規格	零件	規格
R1	4.7kΩ	R7	10kΩ
R2	5kΩ(VR)	R8	5kΩ
R3	4.7kΩ	R9	10kΩ(VR)
R4	470Ω	R10	3.3kΩ
R5	82kΩ	C3	0.1uF
R6	10kΩ	C4	0.01uF



(a)



(b)

圖 4(a).(b) LM386 放大電路

圖 5 供應電源

3.2 第二代系統架構

3.2.1. 隔音栽培箱：

(圖 6)為隔音栽培箱設計圖和剖面圖，藉由設計圖製作為(圖 7)實體圖，木箱上加裝壓克力板(50cm×50cm)，因防止下雨天，使內部電子零件損壞，而木箱與壓克力間隙 2cm(圖 8)，使空氣流通。

3.2.2. 保麗龍板：

藉由 solidwork 設計(圖 9)，保麗龍板 2cm 厚切割成(27.5cm×23cm) 6 片，接下來每片切割 30 孔，製作成(圖 10)實體，作為植物栽培。

3.2.3.音頻產生軟體：

通過軟體介面選擇(wave、頻率、db、週期)，電腦進行計算產生各種音頻信號函數輸出檔放於 mp3。(WaveGene 軟體)

後期裝置以軟體為架構，根據植物音頻範圍以軟體產生音頻信號，彌補硬體校正頻率之缺點。

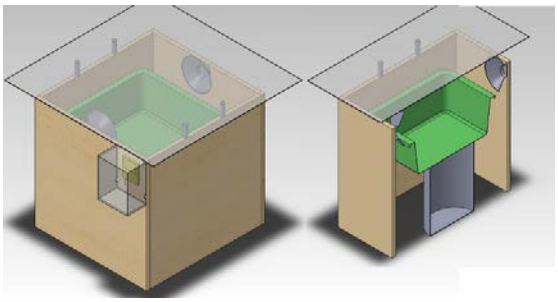


圖 6 隔音箱設計圖與剖面圖

圖 7 實體圖

圖 8 木箱與壓克力板間隙 2cm

圖 9 保麗龍板(27.5cm×23cm)

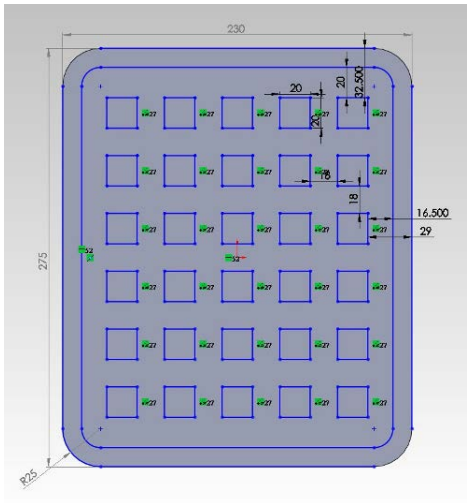


圖 10 保麗龍板設計圖

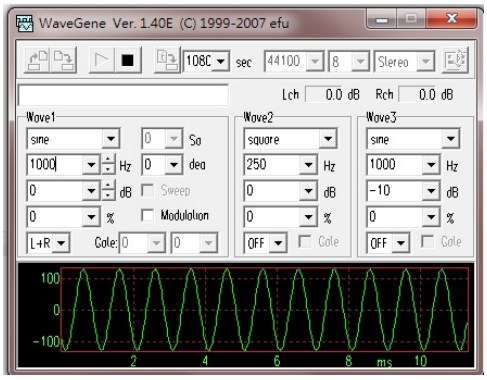


圖 11 軟體介面(WaveGene 軟體)

4、實驗規劃與測試

4.1 實驗規劃(第一次實驗)：

總共使用 5 組(頻率為 1k、2k、3k、4k Hz 和無聲對照組)木箱作為隔音裝置，並且在內部加裝正弦波頻率產生電路(ICL8038)，再加上聲音放大電路(LM386)，並使用 9V 電源供應器為供應電源，及 8 歐姆 1 瓦特喇叭作為播放主體，而音頻裝置接上示波器(圖 12)，(圖 13)為音頻裝置輸出波形。

水耕部分使用花寶一號(N：P：K=7：6：19)，以 1：1000 倍稀釋，作為主要營養來源，種子於水耕棉上發芽，取下品質優良幼苗 12 株，平均分配於 12 孔黑色穴盤上，並使用 2 個打氣幫浦，打出的空氣平均分配到各組，以增加水中含氧量。

(Table2)為植物作息，使用定時器(圖 16)控制播放時間，24 小時為周期，早上 8 點到下午 4 點在戶外曝曬日光，(圖 15)室外日照環境，晚上 7 點至 9 點播放音頻，(圖 14)室內播音環境。

環境量測方面主要是環境溫度和濕度、養液溫度、光照度、天氣狀況。

植物量測方面主要是株高、濕重、生長健康狀況。

表 2 植物作息

時間	執行動作
8：00～16：00	戶外曝曬日光
16：00～19：00	靜置休息(無光)
19：00～21：00	播放音頻聲
21：00～ 8：00	靜置休息(無光)

圖 12 木箱連接示波器

圖 13 示波器輸出波形

圖 14 室內播音環境

圖 15 室外環境

圖 16 電源定時器

4.2 實驗規劃(第二次實驗)：

針對第一次實驗做了以下修正:

4.2.1.穴盤→保麗龍板：穴盆格子大小影響根部生長，改成用保麗龍種植。

4.2.2.因應天氣狀況，在木箱上加裝壓克力板(50cm×50cm)，防止內部電子零件損壞。

4.2.3.花寶 1 號改為花寶 5 號，促進幼苗初期生長發育。

4.2.4.電子電路改為 mp3，使用軟體產生音頻信號。

4.2.5.植物生長環境，完全在於室外，(圖 17)為各組位置對照圖以及環境。

針對第一次實驗，發現 3kHz 區間有明顯影響植物的生育，因此以 3kHz 為基準點，尋求更有效之頻率。總共使用 5 組頻率(Table3)，木箱作為隔音裝置，並且在內部加裝 mp3 為訊號產生的裝置，及 8 歐姆 1 瓦特喇叭作為播放主體;且設定播放時間為 **12:00am~3:00pm**。

表 3 各組和頻率如下表

A組	B組	C組	D組	E組	對照組
2.6kHz	2.8kHz	3kHz	3.2kHz	3.4kHz	無聲

水耕部分使用花寶五號(N：P：K=30：10：10)，以 1：1000 倍稀釋，作為主要營養來源，種子於水耕棉上發芽，取下品質優良幼苗 30 株，並平均分配於 30 孔保麗龍板上，並使用 2 個打氣幫浦，打出的空氣平均分配到各組，以增加水中含氧量。

環境量測方面主要是環境溫度和濕度、養液溫度、光照度、天氣狀況。

植物量測方面主要是株高、葉面積、根長、濕重、生長健康狀況。

(圖 18)測量工具，為量測葉面積、株高(cm)、濕重(g)、光照度(umol)。

表 4 器材名稱

器材名稱	說明
壓克力	尺寸:50*50cm(6 片)
mp3	記憶體容量:2GB 以上 電池續航時間:4~6 小時(5 台)
氣泡石	增加氣體在水中的溶解速率(6 顆)
水幫浦	2 個
木箱	尺寸:30*30cm (6 個)
氣泡石	增加氣體在水中的溶解速率(6 顆)

圖 17 第二次室外種植環境

圖 18 測量工具(業面積、濕重、光照度、株高)

4.3 實驗測試(第一次實驗)：

附錄 1，第一次實驗環境圖表。

(圖 26)環境溫度，最高值 23 度，最低值 15 度。(圖 27)環境相對濕度，最高值 93%，最低值 65%。(圖 28)環境光照度於每日早上 8 點量測，最高值 170 umol，最低值 25 umol。

4.4 實驗測試(第二次實驗)：

附錄 2，第二次實驗環境圖表。

(圖 29)環境溫度，最高值 42 度，最低值 20 度；環境相對濕度，最高值 98%，最低值 38%。(圖 30)養液溫度，最高值 38 度，最低值 20 度。(圖 28)環境光照度於每日中午 12 點量測，最高值 2000 umol，最低值 20 umol。

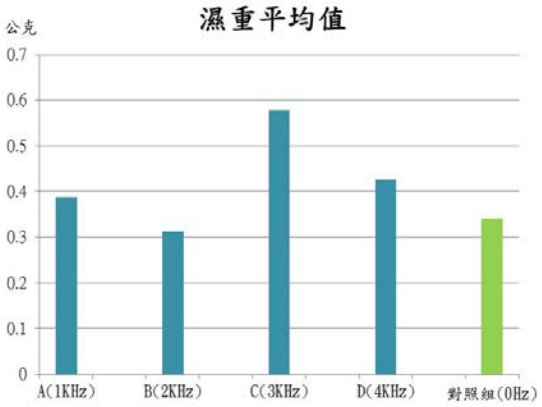


圖 19 平均濕重

圖 20 第一次實驗(25 天)照片

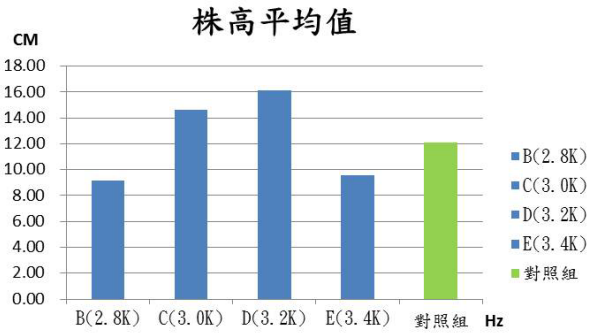


圖 21 株高平均值

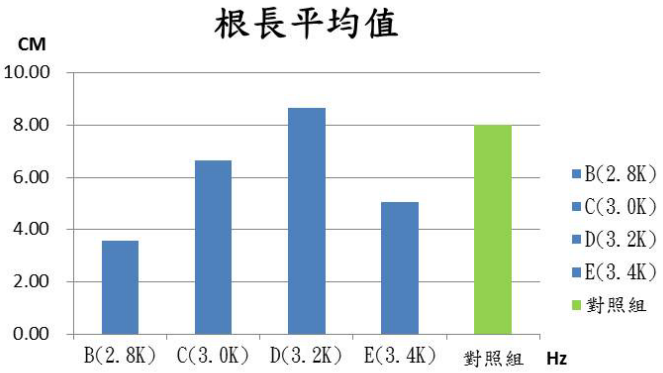


圖 22 根長平均值

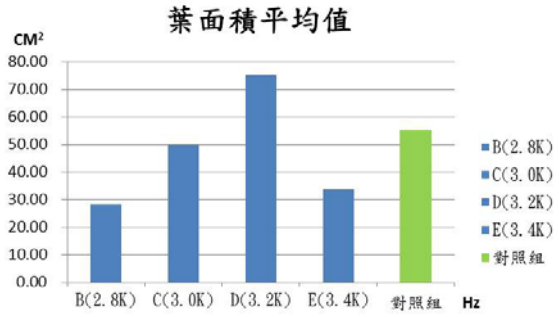


圖 23 葉面績平均值

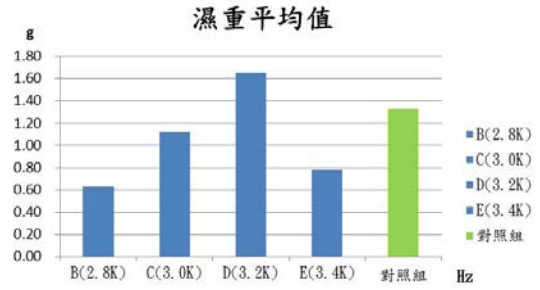


圖 24 平均濕重

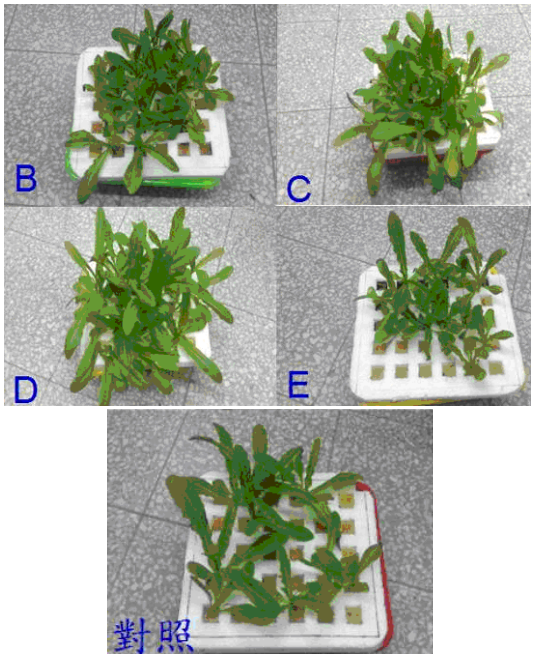


圖 25 第二次實驗(25 天)照片

5、結果與討論

第一次實驗：

(圖 19)各組平均濕重(g)，頻率範圍(1kHz~4kHz)，以 C 組(3kHz)的尖葉萵苣生長情況最佳，從(圖 19)圖表明顯看出，而 B 組(2kHz)的尖葉萵苣生長情況最差，甚至比對照組差，有負面的影響。

第二次實驗：

從(圖 21)各組株高平均值、(圖 22)各組根長平均值、(圖 23)各組葉面積平均值、(圖 24)各組平均濕重(g)，明顯看出，以 D 組(3.2kHz)的尖葉萵苣生長情況最佳，濕重為 1.65g 為各組中最好的，產量約每平方公尺 967 公克。

表 5 各組(第二次實驗)標準差

組別	B	C	D	E	對照
濕重	0.35	0.53	0.85	0.58	0.74
葉面積	13.84	22	34.08	22.07	27.64

標準差可以用來衡量資料的集中程度或者分散程度，以品質管制的角度而言，標準差小代表產品的品質穩定，標準差大代表產品的品質不穩定，得知標準差在特定頻率時值為最大。(標準差算法在於附錄 3)

以軟體產生音頻訊號，尖葉萵苣為研究對象，每日中午 12 點播放，播放 3 小時，3.2kHz 的正弦波頻率，對於尖葉萵苣的生長有助長的效果，產量約**每平方公尺增加 187 公克**。

近年來，地球溫室效應的影響已經造成全球氣候暖化以及世界各地氣候劇烈變遷，各國無不積極尋求各項解決方案，食物產量面臨急劇短缺的情況下，為了確保作物的產量能夠足夠維持供需平衡的狀態，有效開發綠能產業技術是未來精緻農業發展的必要趨勢。

致謝

這篇專題能夠順利的完成，首先要感謝我們的指導教授張仲良老師，在我們整個專題的流程之中一步一步的帶領我們，細心的安排我們專題的進度，還幫助我們解決我們所遇到的困難。

還要感謝學長的不吝指導，因為有這些師長與學長的細心指導與鞭策，我們才能夠完成這份專題。

在這份專題研究的過程中，也有很多的學長，同學有伸出援手來幫助我們，謝謝你們的付出。

最後要感謝在背後支持我們的家人，沒有家人的支持，我們不可能在這條求學的路上安穩的行走，謝謝你們。

6、參考文獻

[1]儀表電子能力本位訓練教材函數波產生器電路設計，編號：PEN-IMT0701，2001年11月。

[2]LM386，資料來源： http://www.nari.ee.ethz.ch/wireless/education/PPS/PPS02/doc/LM386.pdf。

[3]WaveGene軟體，資料來源：http://www3.to/kaeru-machine/。

[4]魏学海，植物音頻促長裝置的研究與設計，碩士論文 ，東北農業大學，2004年6月1日，資料來源：http://www.docin.com/p-419689673.html。

[5]【大紀元訊】英國《新科學家雜誌》，2007年9月3日，資料來源：http://www.epochtimes.com.tw/7/9/3/64513.htm。

[6]富硒食品，聲波助長儀，2011 年 7 月 7 日，資料來源： http://www.360doc.com/content/11/0707/15/7197533_132146750.shtml。

[7]吳會昌，物理農業設備在無公害蔬菜生產中的應用，遼寧鐵嶺農業職業技術學院， 2006 年 3 月 28 日。

[8] Evan Folds, Plants and Sound Frequencies ,2012。資料來源：http://www.progressearth.info/。

[9]禹盛苗、姜仕仁、朱練峰、張均華、金千瑜，聲頻控製技術對水稻生長發育、產量及品質的影響，2013 年 1 月，第 29 卷第 2 期，中國農業工程學報。

[10]天津市農業機械推廣總站，2007 年 12 月，資料來源：http://www.tjnj.gov.cn/Uploads/host/peixun.doc。

附錄

1. 第一次實驗環境圖表：

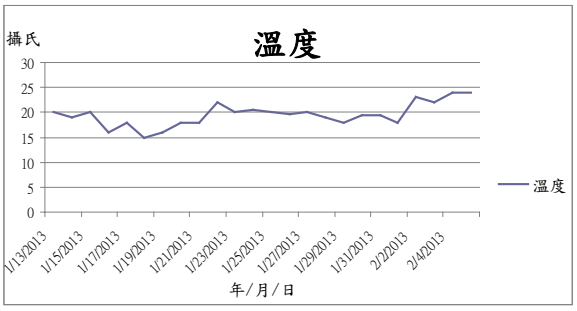


圖 26 溫度圖

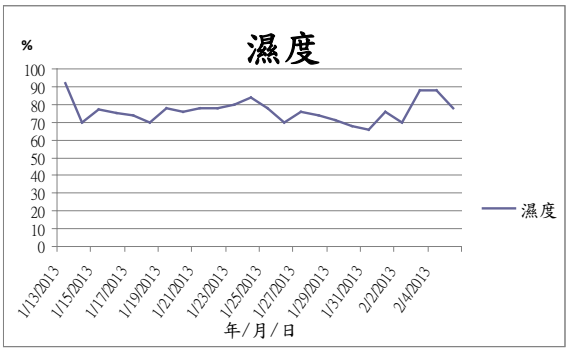


圖 27 濕度圖

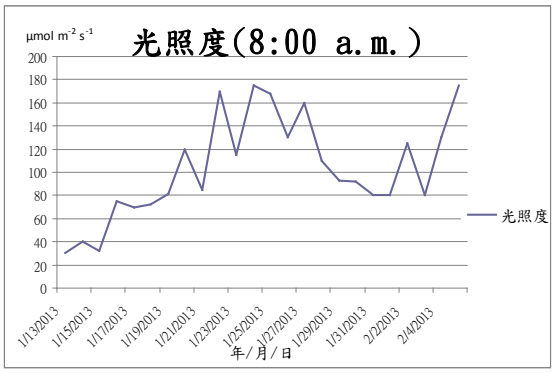


圖 28 光照值圖

2. 第二次實驗環境圖表：

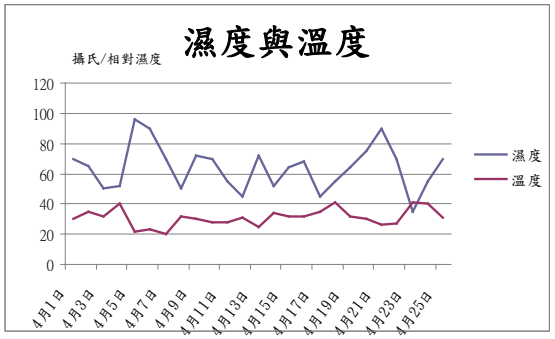


圖 29 濕度與溫度圖

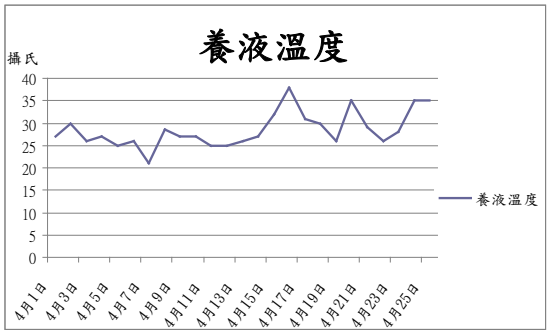


圖 30 養液溫度圖

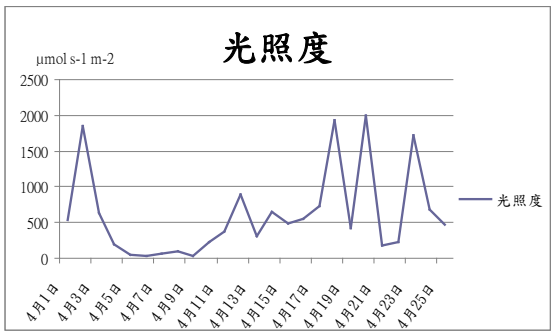


圖 31 光照值圖

3.標準差

標準差（Standard Deviation），數學符號 б，在 **機率統計** 中最常使用作為 **統計分佈** 程度（statistical dispersion）上的 測量 。標準差定義為 **變異數 的 算術平方根**，反映組內個體間的離散程度。測量到分佈程度的結果，原則上具有兩種性質：

a.為非負數值

b.與測量資料具有相同單位。

樣本標準差：

在真實世界中，找到一個母體的真實的標準差是不現實的。大多數情況下，母體標準差是通過隨機抽取一定量的樣本並計算樣本標準差估計的。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

$\overline{X}$ (讀做 x bar)代表樣本平均數。

n 代表全部的母體樣本總數。

數位語音行程備忘機設計與製作

學生姓名：黃莨棋、王寶堂
指導老師： 張仲良 老師

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本專題主要說明如何設計與製作一個低成本之數位語音行程備忘機，我們以市面上電子鬧鐘提示技術為初步構想雛型，接著利用 PIC 微控制器與簡易的錄放音電路，自行設定行程，提示聲音採用自己所說出的提示內容，因此也可以馬上確認自己的行程。此精巧電路可應用於未來居家老人看護提示行程所需。

關鍵詞：居家看護、語音撥放。

1. 前言

當人們因為忙碌而忘記看行程、忘了記錄行程、又或者是忘了帶這些物件出門時，都有可能會錯過大筆的生意或是一個重要的約會，而這些都可能會使人與人之間的信任容易受到懷疑；忘了帶出門時，還需要用一些時間回家拿這些物件，這樣也會造成時間的損失。

因為忙碌或記憶不好而忘記自己的行程，所以會用記事本、手機、筆記型電腦或是 PDA 等物件來記錄行程，當這些物件帶在身邊時，還要花費心力看管，顧慮它是否會遺失，造成一些重要行程的延誤甚至是缺席；有些人甚至會請秘書來幫自己記錄行程，想必是需要花費一筆金錢，而以上的物件也都需要時間記錄行程及查看行程。

南台科技大學學生也做過類似的實務專題，可設定多重事件時間提示功能，提示方式為播放鬧鈴或設定所錄製提醒事件之語音，而他們所使用的是盛群 HT48F70E 為主要控制核心以及語音 IC ISD-4004 來做為他們的即時錄放音功能。

2. 研究動機與目的

而現在市面上已有錄音記事功能的工具，像是手機、哈電族，但是對於某些人來說還是不方便，所以我們製作了數位語音行程備忘機，人性化的播放方式將會成為人們的小秘書，它容易操作，人們使用時並不會感到麻煩，使人們感到方便。主要的創意與功能如下所示。 (1)不在忘記行程：因為人們過於忙碌使得自己忘記看行程、忘了記錄行程或是忘記自己所安排的行程，我們所做的語音行程備忘機可以改善這些問題，當你知道自己的行程或是想要安排自己的行程時，可以馬上記錄，且當你輸入的時間到時，它會在你設定的時間自動播出你的行程。(2) 信用不再被受到懷疑：當人們錯過一個重要的約會或是大筆的生意時，對方可能會因為你的爽約或是遲到，而對你印象不好不再和你往來或是合作，這樣會使自己損失了一個朋友或是一個大筆的生意，我們所做的語音行程備忘機可以改善這個問題，它可以簡單的紀錄行程又會自動播出，可以讓人們記得行程且準時的到達，可以讓人們的信用不再被受到懷疑。(3) 人性化的播放方式：當人們的行程記錄在筆記型電腦、記事本、手機或是 PDA 等物件時，要自己去找行程記錄在哪？若是找不到或是忘記去看行程，這樣可能會延誤或錯過一個重要的約會或是大筆的生意，我們所做的語音行程備忘機可以改善這個問題因為它可以簡單的記錄行程又會自動播出行程，同時將變成人們的小秘書，可以使人們感到輕鬆及快樂。

3. 設計概念與工作原理

我們以數位電子鬧鐘為基礎雛型，結合了錄放音的電路，當時間到後，不會再是吵雜單一的鬧鈴聲，而是自己的聲音，因此也可以馬上確認自己的行程。其系統主要架構如圖 1 所示，主要控制核心為 PIC 微控制器，方塊包含數位化時間顯示、語音錄放、設定行程時間、行程時間顯示。使用者可以按照所需求進行設定行程時間與錄製使用者之行程內容聲音，如圖 2 所示。經設定完成後，核心控制器 PIC 18F4520 即開始計時，並比對現在時刻與行程時刻的時間差值，一旦行程時間與現在時間相等時，則控制器發出一觸發訊號至放音電路，放音電路則播放出使用者預先所錄製的內容，然而，使用者設定行程時間後，則行程通知則採用單音播放提示。

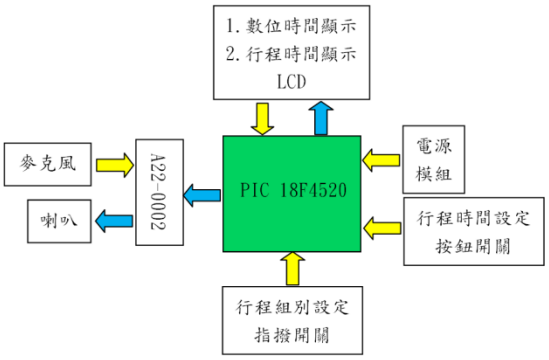


圖 1．系統架構

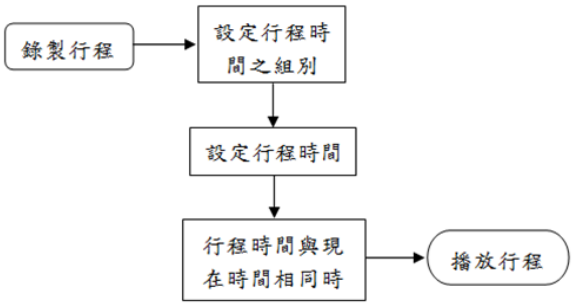


圖 2．使用動作行程

3.1 工作原理

3.1.1 製作方法與元件

我們使用 APP025 發展板，如圖所示利用 APP025 上的 PIC 18F4520 當我們的控制器，LCD 面板顯示時間與行程，使用振盪器讓時間動作，按鈕開關當我們”分”、”秒”的行程設定，系統指示燈來確認訊號輸出。使用 A22-0002 錄放音 IC 作為我們的行程內容的錄製與播放。

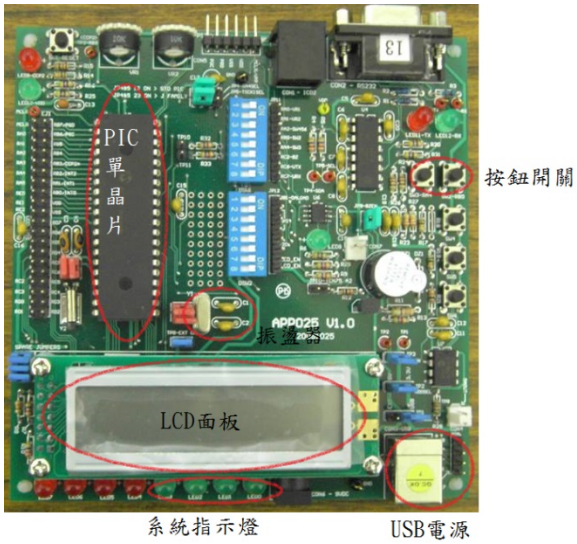


圖 3．APP025 發展板

3.1.2 PIC 18F4520 硬體特性

PIC 18 微控制器是個高效能的精簡指令集核心處理器，而且擁有高達 32 K 位元的線性程式記憶體定址、1.5 K 位元的線性資料記憶定址、256 位元的 EEPROM 資料記憶位置和 10 MIPS 的操作速度，可使用 DC~40MHz 的震盪器或時序輸入，也可配合相位鎖定迴路(PLL)使用 4MHz~10MHz 的震盪器或時序輸入。圖 4 為 PIC 18F4520 微控制器硬體架構方塊示意圖。圖 5 為 PIC 18F4520 接腳圖。

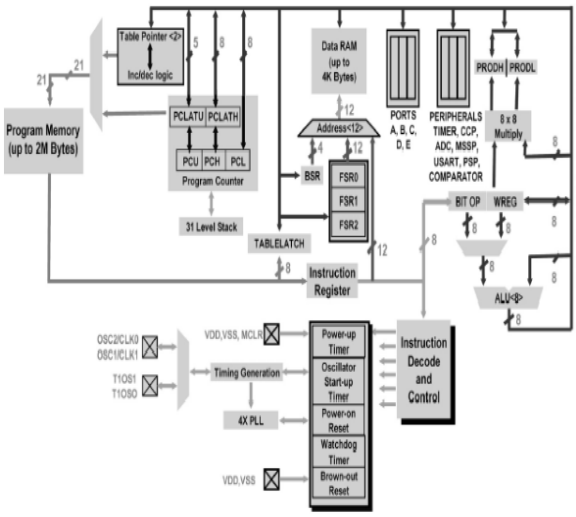


圖 4. PIC 18F4520 微控制器硬體架構方塊示意圖

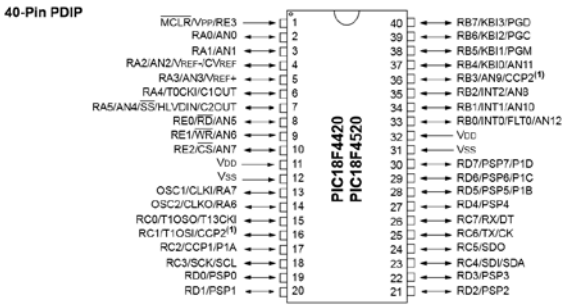


圖 5. PIC 18F4520 微控制器接腳圖

3.1.3 A22-0002 錄放音 IC

較以往語音電路，具有專利技術的類比處理存儲方式，使錄放音質極佳，沒有常見的背景噪音，且電路斷電後語音內容扔不遺失。

名稱	腳位	功能	名稱	腳位	功能
A0/M0~A5/M5	1~6	位址	Ana Out	21	類比輸出
A7~A9	8~10	位址(MSB)	Ana In	20	類比輸入
VCCD	28	數位電路電源	AGC	19	自動增益控制
VCCA	16	類比電路電源	Mic	17	麥克風輸入
VSSD	12	數位接地	Mic Ref	18	麥克風參考輸入
VSSA	13	類比接地	PD	24	節電控制
SP+、-	14、15	喇叭輸出+、-	P/R	27	錄/放控制選擇
XCLK	26	外部時鐘	EOM	25	錄放音結束信號輸出
Aux In	11	輔助輸入	CE	23	板電壓允許晶片工作
OVF	22	溢出標誌			

圖 6. A22-0002 語音 IC 接腳圖

3.1.4 程式撰寫

行程放音程式說明如圖 4 所示，程式一開始使用者使用指撥開關設定組別，然後設定行程時間，目前僅使用單一段語音播放，最後設定即完成，則行程時間即記錄於 PIC 18F4520 內，行程時間到時則會播放行程。

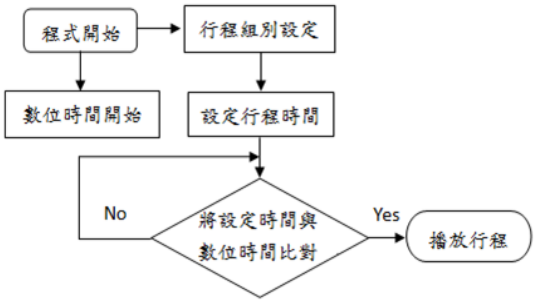


圖 7. 播放行程程式流程

圖 18 表示由 PIC 18F4520 內部撰寫行程時間(時、分、秒)程式，當行程時間與現在時間相同時，則開始播放行程內容。

3.2 電路設計

3.2.1 PIC 18F4520 微控制器控制電路

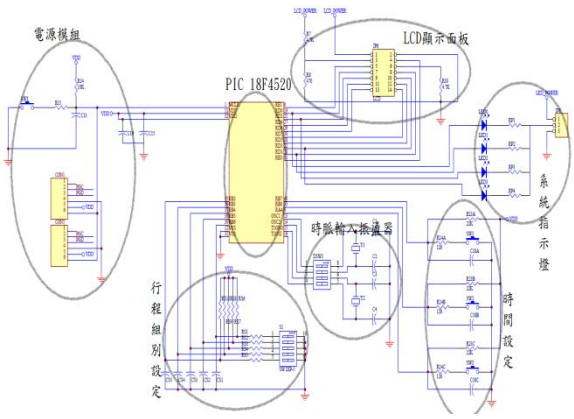


圖 8. APP025 控制測試電路圖

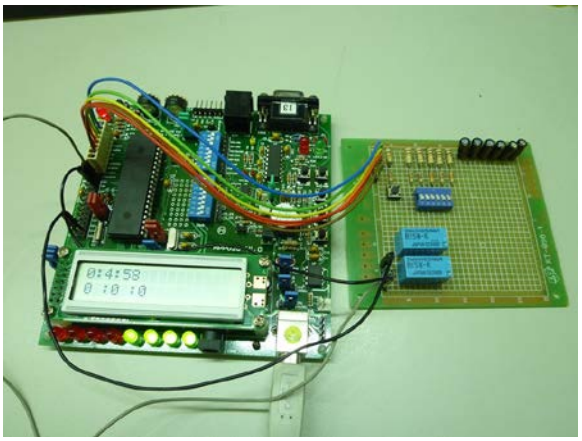


圖 9.APP025 控制測試電路

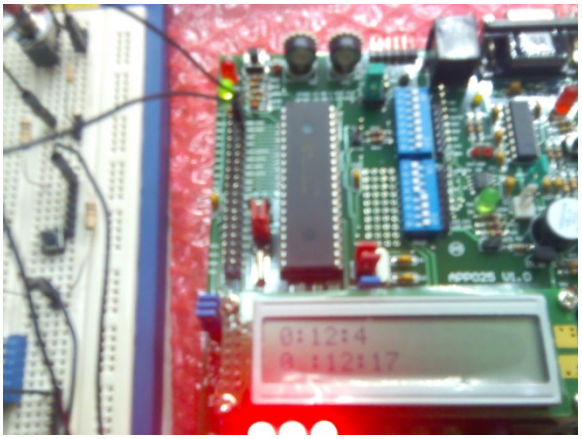


圖 10. APP025 設定行程測試電路

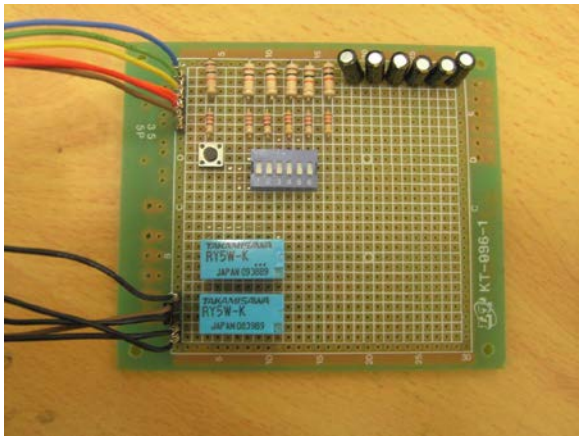


圖 11.外接設定行程測試電路

3.2.2 錄放音電路

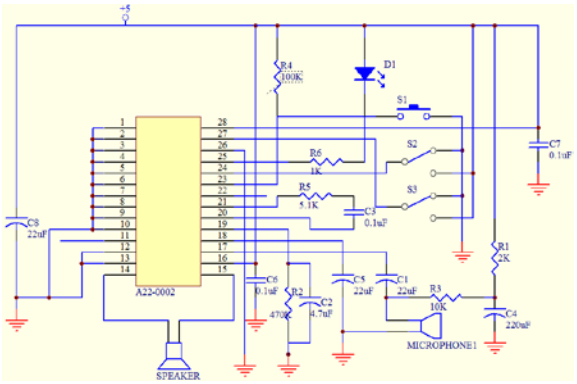


圖 12.錄放音應用電路圖

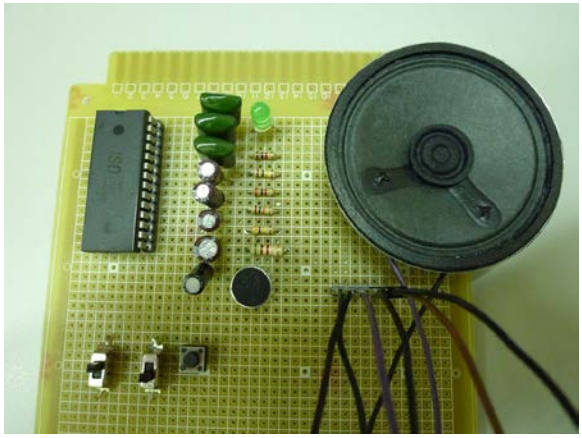


圖 13.錄放音測試電路

3.2.3 整合電路

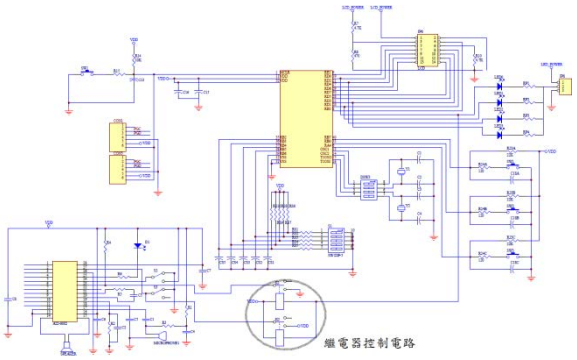


圖 14. 整合電路應用電路圖

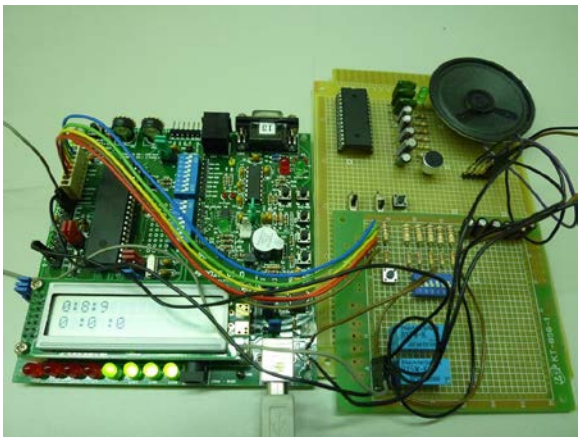


圖 15. 整合電路測試電路

4.實驗測試

待所有程式和電路完成後，即開始測試各部份的功能，首先是時間顯示，圖 10 可看到 LCD 上排的時間測試，也將作為現在時間給予比對用。而利用按鈕來設定行程，行程時間則顯示在 LCD 下排，如圖 11 為時間程式設定之測試。而當時間到時，PIC 單晶片將傳出一個訊號使繼電器激磁，讓錄放音電路播放內容。

圖 16.時間測試

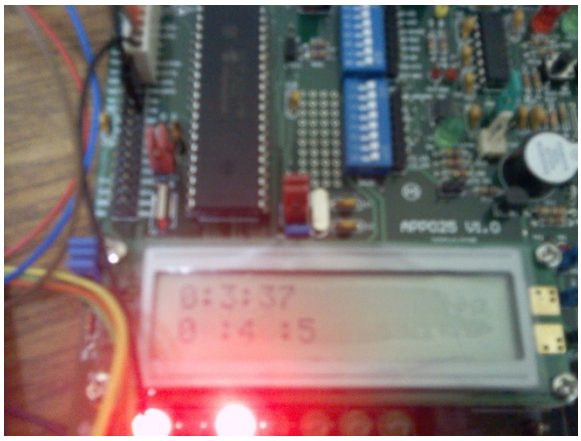


圖 17.時間行程設定測試

5. 結論

本專題設計一簡易的數位語音行程備忘機，初步各功能測試皆已完成，時間電路與錄放音電路結合測試也完成了，未來工作將著重於電路板製作，之後也希望能將此電路微型化，使之成為一個手錶的型態，讓人們更方便攜帶。

6. 參考文獻

[1] 微處理器原理與應用-c 語言與 pic18 微控制器/曾百由 著

[2] C 語言程式設計範例教學 第二版/陳會安 編著/學貫行銷股份有限公司

[3] Protel 99 SE 電路設計導覽/張義和 著

[4] 語音訊號處理 / 王小川編著

[5] 多重事件語音提示機/陳威丞、王俊仁/南台科技大學實務專題

附錄

```
//************************************************************
//*  EX 16-5.c Project Development and Integration
//* 利用計時器TIMER1與外部32768Hz石英震盪器產生每秒一次的中斷訊號。
//* 利用這個中斷訊號作為計時的基礎
//* ，在液晶顯示器上產生一個顯示時分秒的數值時鐘。
//* 並且在每一分鐘發出一段5秒鐘的音訊做為警示訊號。
//************************************************************
#include <p18f4520.h> // 微控制器硬體名稱宣告
#include "evm.h"  // 定義應用程式關鍵字名稱以增加可讀性
#include "evm_utility.h"  // 定義自行撰寫的函式名稱及原型宣告
#include "evm_lcd.h" // 納入LCD函式庫函式原型名稱定義
#include <timers.h>     // 納入時間延遲函式庫函式原型名稱定義
#include <stdlib.h> // 納入標準函式庫函式原型名稱定義
#include <pwm.h>                // 納入PWM函式庫函式原型名稱定義

// 設定微處理器相關結構位元
#pragma config OSC=HS, WDT=OFF, LVP=OFF, BOREN=OFF, BORV=2, PWRT=ON

// 宣告時間相關變數並初始化為0
unsigned char hour=0, min=0, sec=0, update=0;
        char char_h1=0;
        char char_m1=0;
        char char_s1=0;
        char char_h2=0;
        char char_m2=0;
        char char_s2=0;
        char char_h3=0;
        char char_m3=0;
        char char_s3=0;
        char char_h4=0;
        char char_m4=0;
        char char_s4=0;
        char char_h5=0;
        char char_m5=0;
        char char_s5=0;
#define OSC_CLOCK 10


// 宣告TIMER1計時器中斷執行程式
void timer1_isr (void);

#pragma code low_vector=0x18
void low_interrupt (void)
{
_asm GOTO timer1_isr _endasm
}

#pragma code


#pragma interruptlow timer1_isr

void timer1_isr (void)
{
        PIR1bits.TMR1IF = 0;            // 清除中斷旗標
        WriteTimer1(0x8000);            // 設定計時器初始值
        update=1;                                       // 設定更新旗標
}

void main() {
        char char_str[5];
        char char_st[15];

PORTD=0xFF;
TRISD=0;

TRISAbits.TRISA4=1;
TRISBbits.TRISB0=1;
TRISBbits.TRISB7=1;
TRISBbits.TRISB6=1;
TRISBbits.TRISB5=1;
TRISBbits.TRISB4=1;
TRISBbits.TRISB3=1;
TRISBbits.TRISB2=1;


TMR0L=0;
        OpenLCD();                                      // 初始化液晶顯示模組

        OpenTimer2(TIMER_INT_OFF&T2_PS_1_4&T2_POST_1_1);
    SetDCPWM1(512);

// 初始化計時器Timer1
        OpenTimer1( TIMER_INT_ON &
                                T1_16BIT_RW &
                                T1_SOURCE_EXT &
                                T1_PS_1_1 &
                                T1_OSC1EN_ON &
                                T1_SYNC_EXT_OFF );
        WriteTimer1(0x8000); //0x8000=1sec @32786Hz Crystal

        PIR1bits.TMR1IF = 0;            // 清除中斷旗標
        INTCONbits.PEIE = 1;    // 啟動週邊中斷功能
        INTCONbits.GIE = 1;             // 啟動全部的中斷功能

        putrsLCD("0:0:0");              // 初始化LCD


while (TRUE) {
```

```
            if(update) {
                    ++sec;                                          // 將秒數遞加
                    if (sec >= 60) {                                // 作進位處理
                            sec-=60;
                    min++;
                    }
                    if (min >= 60) {
                            min-=60;
                            hour++;
                    }
                    if ( hour > 0x24 ) hour-=24;
                    WriteCmdLCD(0x01) ;             // 清除液晶顯示器幕
                    LCD_Set_Cursor( 0, 0 );         // 調整顯示位址
                    delay_ms(1);
                    putsLCD(btoa(hour, char_str));  // 顯示時間資料
                    putcLCD(':');
                    putsLCD(btoa(min, char_str));
                    putcLCD(':');
                    putsLCD(btoa(sec, char_str));
                    update=0;                       // 清除更新旗標



LCD_Set_Cursor( 1, 0 );             // 調整顯示位址
                    putcLCD('0');           // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 2 );             // 調整顯示位址
                    putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 3 );             // 調整顯示位址
                    putcLCD('0');   // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 5 );             // 調整顯示位址
                    putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 6 );             // 調整顯示位址
                    putcLCD('0');   // 顯示時間資料

                    update=0;                       // 清除更新旗標

if(PORTBbits.RB6==0) {

        if(PORTAbits.RA4==0) {
                char_s1=char_s1+1;
        if (char_s1==60){
                char_s1=0;
    }
        while(PORTAbits.RA4==0);
}       if(PORTBbits.RB0==0) {
                char_m1=char_m1+1;
        if (char_m1==60){
         char_m1=0;


    }
        while(PORTBbits.RB0==0);
}       if(PORTBbits.RB7==0) {
                char_h1=char_h1+1;
        if (char_h1==24){
                char_h1=0;
    }
        while(PORTBbits.RB7==0);
}


LCD_Set_Cursor( 1, 0 );             // 調整顯示位址
                    putsLCD(btoa(char_h1, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 2 );             // 調整顯示位址
                    putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 3 );             // 調整顯示位址
                    putsLCD(btoa(char_m1, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 5 );             // 調整顯示位址
                    putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 6 );             // 調整顯示位址
                    putsLCD(btoa(char_s1, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 10 );                // 調整顯示位址
                    putcLCD('1');
                    update=0;                       // 清除更新旗標
}

        if(sec == char_s1 && min==char_m1 && hour==char_h1){
                PORTD=0xFE;

}
                else if (sec == char_s1+2){
                PORTD=0xFF;
}


if(PORTBbits.RB5==0) {

        if(PORTAbits.RA4==0) {
                char_s2=char_s2+1;
        if (char_s2==60){
                char_s2=0;
    }
        while(PORTAbits.RA4==0);
}       if(PORTBbits.RB0==0) {
                char_m2=char_m2+1;
        if (char_m2==60){
         char_m2=0;
    }
        while(PORTBbits.RB0==0);
}       if(PORTBbits.RB7==0) {
                char_h2=char_h2+1;
        if (char_h2==24){
                char_h2=0;
    }
        while(PORTBbits.RB7==0);
}


LCD_Set_Cursor( 1, 0 );             // 調整顯示位址
                    putsLCD(btoa(char_h2, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 2 );             // 調整顯示位址
                    putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 3 );             // 調整顯示位址
                    putsLCD(btoa(char_m2, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 5 );             // 調整顯示位址
                    putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 6 );             // 調整顯示位址
                    putsLCD(btoa(char_s2, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 10 );                // 調整顯示位址
                    putcLCD('2');
                    update=0;                       // 清除更新旗標
}

        if(sec == char_s2 && min==char_m2 && hour==char_h2){
                PORTD=0xFE;

}
                else if (sec == char_s2+2){
                PORTD=0xFF;
}

if(PORTBbits.RB4==0) {

        if(PORTAbits.RA4==0) {
                char_s3=char_s3+1;
        if (char_s3==60){
                char_s3=0;
    }
        while(PORTAbits.RA4==0);
}       if(PORTBbits.RB0==0) {
                char_m3=char_m3+1;
        if (char_m3==60){
         char_m3=0;
    }
        while(PORTBbits.RB0==0);
}


        if(PORTBbits.RB7==0) {
                char_h3=char_h3+1;
        if (char_h3==24){
                char_h3=0;
    }
        while(PORTBbits.RB7==0);
}


LCD_Set_Cursor( 1, 0 );             // 調整顯示位址
                    putsLCD(btoa(char_h3, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 2 );             // 調整顯示位址
                    putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 3 );             // 調整顯示位址
                    putsLCD(btoa(char_m3, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 5 );             // 調整顯示位址
                    putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 6 );             // 調整顯示位址
                    putsLCD(btoa(char_s3, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 10 );                // 調整顯示位址
                    putcLCD('3');
                    update=0;                       // 清除更新旗標
}

        if(sec == char_s3 && min==char_m3 && hour==char_h3){
                PORTD=0xFE;

}
                else if (sec == char_s3+2){
                PORTD=0xFF;
}

if(PORTBbits.RB3==0) {

        if(PORTAbits.RA4==0) {
                char_s4=char_s4+1;
        if (char_s4==60){
                char_s4=0;
    }
        while(PORTAbits.RA4==0);
}       if(PORTBbits.RB0==0) {
                char_m4=char_m4+1;
        if (char_m4==60){
         char_m4=0;
    }
        while(PORTBbits.RB0==0);
}       if(PORTBbits.RB7==0) {
                char_h4=char_h4+1;
```

```
        if (char_h4==24){
                char_h4=0;
    }
        while(PORTBbits.RB7==0);
}

LCD_Set_Cursor( 1, 0 );         // 調整顯示位址
                        putsLCD(btoa(char_h4, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 2 );         // 調整顯示位址
                        putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 3 );         // 調整顯示位址
                        putsLCD(btoa(char_m4, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 5 );         // 調整顯示位址
                        putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 6 );         // 調整顯示位址
                        putsLCD(btoa(char_s4, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 10 );                // 調整顯示位址
                        putcLCD('4');
                        update=0;                       // 清除更新旗標
}
        if(sec == char_s4 && min==char_m4 && hour==char_h4){
                PORTD=0xFE;
}
                else if (sec == char_s4+2){
                PORTD=0xFF;
}

if(PORTBbits.RB2==0) {
        if(PORTAbits.RA4==0) {
                char_s5=char_s5+1;
        if (char_s5==60){
                char_s5=0;
    }
        while(PORTAbits.RA4==0);
}
        if(PORTBbits.RB0==0) {
                char_m5=char_m5+1;
        if (char_m5==60){
         char_m5=0;
    }
        while(PORTBbits.RB0==0);
}
        if(PORTBbits.RB7==0) {
                char_h5=char_h5+1;
        if (char_h5==24){

                char_h5=0;
    }
        while(PORTBbits.RB7==0);
}

LCD_Set_Cursor( 1, 0 );         // 調整顯示位址
                        putsLCD(btoa(char_h5, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 2 );         // 調整顯示位址
                        putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 3 );         // 調整顯示位址
                        putsLCD(btoa(char_m5, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 5 );         // 調整顯示位址
                        putcLCD(':');
LCD_Set_Cursor( 1, 6 );         // 調整顯示位址
                        putsLCD(btoa(char_s5, char_st));        // 顯示時間資料
LCD_Set_Cursor( 1, 10 );                // 調整顯示位址
                        putcLCD('5');

                        update=0;                       // 清除更新旗標
}
        if(sec == char_s5 && min==char_m5 && hour==char_h5){
                PORTD=0xFE;
}
                else if (sec == char_s5+2){
                PORTD=0xFF;
}

}
}
while(PORTBbits.RB6==0);//等待按鍵鬆開
while(PORTBbits.RB5==0);//等待按鍵鬆開
while(PORTBbits.RB4==0);//等待按鍵鬆開
while(PORTBbits.RB3==0);//等待按鍵鬆開
while(PORTBbits.RB2==0);//等待按鍵鬆開

        if(sec == char_s1 && min==char_m1 && hour==char_h1){
                PORTD=0xFE;
}
                else if (sec == char_s1+2){
                PORTD=0xFF;
}

if(sec == char_s2 && min==char_m2 && hour==char_h2){
        PORTD=0xFE;
}
        else if (sec == char_s2+2){
        PORTD=0xFF;
}
if(sec == char_s3 && min==char_m3 && hour==char_h3){
        PORTD=0xFE;
}
        else if (sec == char_s3+2){
        PORTD=0xFF;
}
if(sec == char_s4 && min==char_m4 && hour==char_h4){
        PORTD=0xFE;
}
        else if (sec == char_s4+2){
        PORTD=0xFF;
}
if(sec == char_s5 && min==char_m5 && hour==char_h5){
        PORTD=0xFE;
}
        else if (sec == char_s5+2){
        PORTD=0xFF;
}
}
```

圖 18.時間行程設定程式

田間作物高度揀選噴灑機器人設計與實現

學生姓名:宋公博、黃家煒、游景麟
指導教授:張仲良 博士

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本篇論文中,我們設計一台可遠端遙控的田間灑水車,此車上裝置高度 90cm 的多段灑水台與曳引水箱,讓使用者可以利用電腦來操控遠端的車體,並在超音波偵測到目標物進行設定的判別噴灑動作。車頭前方也裝置超音波測距感測器,這些感測器可用於當車體靠近物體時進行避障處理。

控制的結合在於在自走車上的以無線模組(vb)控制發展板(PIC)給 BasicCommander 動作命令,BasicCommander 收到命令後統整超音波所回傳的數值在給步進馬達和抽水馬達發布命令,zigbee 無線控制是為進行無線控制的主要應用。

1.前言

在現今科技發達的社會中,許多設備現今都已朝向自動化的方式處理,以快速、有效率的自動化方式去減少重複性的勞力,用有限的時間與精神去開發更為有實際價值產品才能提高生活之水平。以這為出發點便開發了一台能為農民減輕每日灑水困擾的田間灑水車,這台車是為以機構設計、機電整合與程式撰寫等不同領域知識的結合。本研究主要是以作物高度揀選為研究方向,作為田間行走間對於不同株高作物進行感測判別,並以遠端控制方式讓使用者不需親自到現場就能完成灑水任務。

在專題的機器人主要文獻目標是以車體的架設、灑水機構與無線傳輸為主要找尋重點。

從陳巧茵所撰"小型自走車支超音波研究"中我們決定避障的方式,超音波避障的好處在於成本較低、而且比紅外線受光線影響小,較為穩定,進而研究超音波施打的方向與回傳速度。 而在 Gonzalez R."Navigation techenques for mobile robots in greenhouses"這篇文獻中的噴灑機構得到多段株高揀選啟發,而後討論架設感測器分段是為了與此篇田間機器人功能有所不同,能夠高度揀選的專題方向。

在 DRF1600 ZigBee Module V4.0E 這篇 zigbee 有針對接點跟使用上作相關說明。

2.研究動機與目的

由於「生物機電」,顧名思義就是將機電整合技術應用於生物對象或生物產業上,機電整合在工程領域是項極為重要的技術,而機器人則為機電整合技術最典型且富有發展潛力的應用。針對農業應用環境,對機器人機體設計與功能進行最佳化,是生物機電領域在技術和應用面的獨到之處。

農民在進行田間灑水農務時,若不是以配好的管線進行灑水便是需要自己提水或者拉水管澆水,十分辛苦。試想若能有一台能輔助這每日重複性工作的機器便能輕鬆許多。

此專題目的在於設計一台以作物高度揀選為研究方向,作為田間行走間對於不同株高作物進行感測判別,並以遠端控制方式讓使用者不需親自到場就能完成灑水任務。

3.研究方法與材料

在專題開始前會先進行草擬研究主題評估題目的可能性後，進行相關所需的文獻探討，例如:噴灑、避障、車體機構材料與架設方法跟可能所需要的加工設備，而對文獻的整理與分析後便進行所需材料的比較與選購、討論機構的雛形與控制所需軟體。當進行車體組裝嘗試與程式規畫與撰寫的過程中遇到的問題將進行相關文獻的在蒐集與除錯，然後才能進行後續的機器人行走、噴灑、避障測試與程式修正，後續檢討評估機構順暢是否須修改與設備加強，並以三人之力合作完成此次專題。

以下這些為此次專題使用工具。

設備	材料
1.電源供應器	1.單芯線
2.六角板手	2.杜邦端子
3.切割機	3.鋁擠型 2020
4.車床	4.壓克力板/鋁板
5.鑽床	5.六角螺絲/螺帽
6.電鑽	6.手推車風輪
7.電焊	7.矽力康
8.三用電表	8.電木板
	9.L 鐵

表 1

電源供應器使用於控制板相關測試時可因應各種直流電壓檔位需要，六角板手因機器人是以 L 鐵搭配六角螺絲固定，而切割機、電鑽則用於車體鋁擠型、壓克力板修改尺寸，車床、鑽床、電焊則用於車體風輪加工固定套件與後輪軸鐵桿製作。

3.1 機構設計與規劃

a.

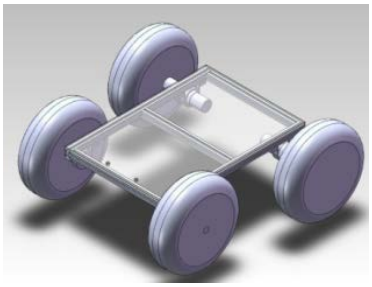


圖 1:車體底盤

b.

圖 2:灑水機構

c.

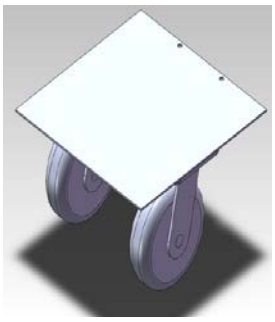


圖 3:曳引機

d.

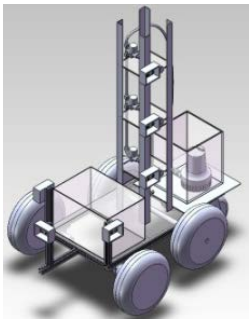


圖 4:機器人完成圖

底盤以鋁擠型 20x20、50cm 及 35cm 各 2 支及壓克力板為底板架構。前輪是以 2 個座式培林固定馬達後插入風輪並以定位螺絲，使馬達轉動中不致造成馬達軸與風輪間空轉問題。後輪則是加工鐵桿固定左右輪後經插銷固定，其作用也為固定鐵桿與風輪，後以 2 個座式培林完成此機構架設，如圖 1

支架材料為角鐵並以壓克力板作為灑水頭固定平台。管路由於 RO 管 2 分與電磁閥 3 分孔，所以經由轉接頭相接組裝而成。每一個灑水頭左上方設有由塑膠盒所固定的超音波感測器，以判定揀選株高之訊號，如圖 2

機器人後方為裝置水箱的曳引機構，以 5mm 的鋁板為底板，並於左右以 45 支六角螺絲固定。底盤上裝設 8 支 L 鐵以固定水箱，而在機器人與車體連結部分是以 2 支 50mm 的螺絲固定於上下以解決車體與曳引機構連結處之高度差，如圖 3

使用 solidwork 所繪製的機器人草圖，是以主機構與附屬機構全部組裝，如圖 4

3.2 系統架構

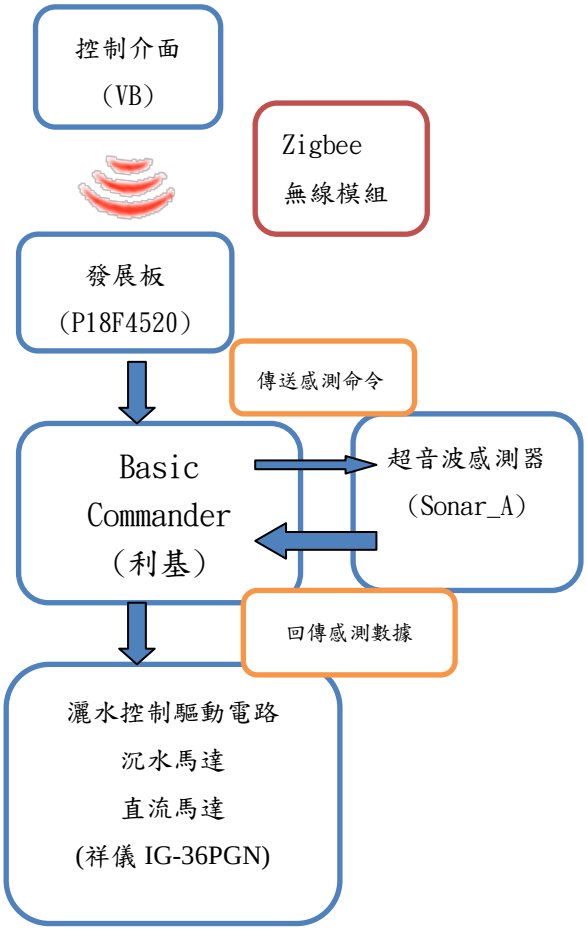


圖 5:系統架構流程圖

利用 VB 控制介面經由 Zigbee 傳送信號至發展板，發展板在與利基控制板溝通，利基控制板接收超音波回傳之數據，判別超音波數據後，驅動直流馬達或沉水馬達，而沉水馬達有動作灑水控制電路才需供電，反之則無。

3.3 硬體模組說明

a. b.

圖 6:

圖 7:

b. d.

圖 8: 圖 9:

a.單直流馬達控制模組- Motor Runner C

b.控制板

c. BASIC Commander(32-pin)BC2 控制板

d.感測器

以下為 Motor Runner C 介紹

- 輸入電壓最高可接受至 30V
- 可提供達 256 階轉速變換
- 控制單個馬達的轉向與轉速
- 可承受最大±30A 的連續輸出電流
- 輸入電壓最高可承受至 35V
- 內部固定頻率 10KHz PWM 電流控制。
- 提供過熱自動斷電保護(150℃)
- 提供過載電流保護
- 提供 Crossover-Current Protection 與低壓閉鎖保護(UVLO)
- 透過 Brake 指令能快速停止馬達的動作
- 透過指令能隨時取得現在馬達轉速或轉向等各種設定

如圖 6

PIC18F4520 發展板

- 接收 RS-232 的資料
- 輸出高低電位

如圖 7

BASIC Commander(32-pin)BC2 控制板

- 接收 PIC18F4520 輸出之電位
- 判別 PIC18F4520 輸出之電位
- 啟動與關閉超音波感測器
- 接收超音波感測器的數值
- 控制馬達控制器驅動馬達
- 輸出高低電位

如圖 8

超音波測距模組 - Sonar A

- 可設定檢測結果回傳格式(us、cm、inch)
- 可透過 I2C 方式，下達指令。

如圖 9

3.4 軟體程式說明

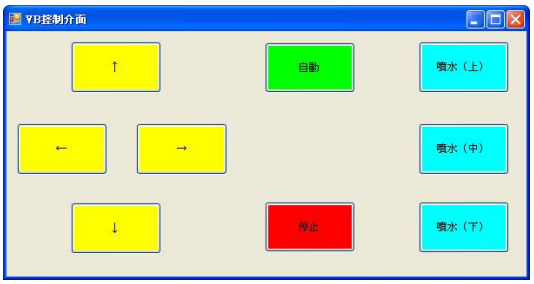


圖 10:VB 控制介面

Microsoft Visual Basic 2010 Express 部分

我們以 Microsoft Visual Basic 2010 Express 此套 VB 軟體製作控制介面，以 USB 轉 RS-232 接頭連接 Zigbee 無線傳輸模組，如圖 3.3.1。

MPLAB 部分

另一塊 Zigbee 無線傳輸模組與 PIC18F4520 發展板上的 RS-232 直接連接，電腦由 VB 控制介面輸出訊號經由 Zigbee 無線傳輸模組把訊號傳給 PIC18F4520 發展板，PIC18F4520 發展板判別訊號後，輸出 RD0 至 RD7 腳位之高低電壓，但每個訊號傳過來後所輸出的腳位與原來設定的腳位都有誤差，有可能是 Zigbee 無線傳輸模組，在傳輸時的訊號有所遺漏造成，經過測試與篩選後還是可以找出許多無重複的腳位輸出，RD0 至 RD7 這八個腳位與利基 Basic Commander 控制板的 Pin0 至 Pin7 相接。

innoBASIC Workshop 部分

利基 Basic Commander 控制板判別 Pin0 至 Pin7 腳位的的高低電位即可得知是要運作還是停止，利基 Basic Commander 控制板可控制 超音波測距模組- Sonar A 及 單直流馬達控制模組 Motor Runner C，利基 Basic Commander 控制板也可輸出 Pin 腳之高低電位，藉由超音波測距來控制直流馬達與抽水馬達是否運轉及電磁閥何時要激磁，抽水馬達與電磁閥動作時，直流馬達就不會動作，而直流馬達動作時，抽水馬達與電磁閥亦不會動作，電磁閥的激磁是透過繼電器線圈激磁始使 a 接點導通，而上中下不管哪一個電磁閥動作抽水馬達都必須動作，左右的兩顆直流馬達只要一正轉一反轉即可轉彎。

4.1 電路設計

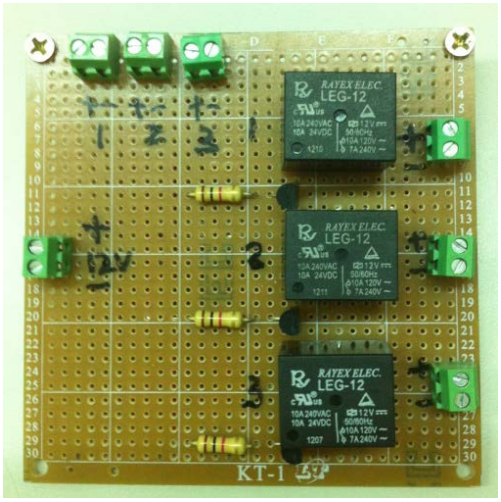


圖 11: PIC 控制電磁閥控制器

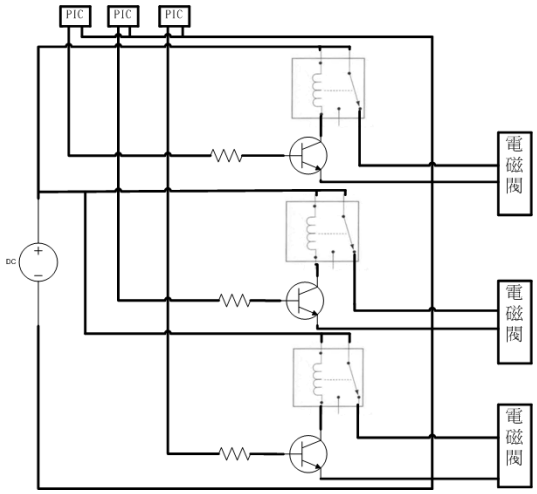


圖 12:電磁閥控制器接線圖

在電木板中包括:端子台、1KΩ 電阻、DC12V 繼電器、NPN C9301 電晶體製作而成，當 PIC 通以 4.6V 的訊號電壓時，繼電器將會激磁使 A、C 點導通使後方電磁閥通以 DC12V 作動。

如圖 11

控制器的接線圖中 DC 供給直流 12V 給繼電器激磁與通以後電磁閥使用，上方 PIC 正電接到各電阻端，而負端接地則接一起。如圖 12

5.1 實驗結果與討論

轉向過程:

圖 13

圖 14

圖 15

圖 16

圖 17

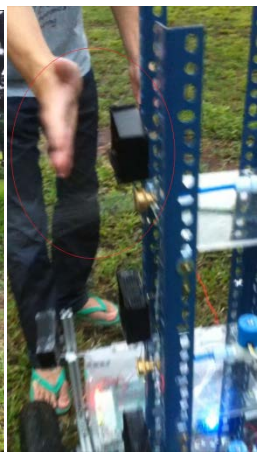


圖 18

從圖 13 到 16 為機器人在進行避障測試時所攝，前方有設置 3 棵超音波感測器是為避障使用，為錢、左與右方各一顆，當車頭偵測時馬達停止動作，左右方進行偵測，當左方有偵測障礙物時，即進行左邊馬達正轉右邊反轉，使馬達往右方移動

圖 17 為進行遠端手動噴灑控制

圖 18 則是進行自動噴灑偵測

機構方面:

因使用鋁擠型與壓克力板作為車體主幹，好處在於剛性夠、修改尺寸方便、便於拆裝等優點。馬達方面除馬力稍嫌不足外，馬達固定方式也必須更加琢磨，緊配合有時因加工精密問題會有不緊的情形發生。而固定馬達的座式培林因用螺絲緊配合，所以對於固定風輪方向有很大的影響力，在固定後要進行直線行走測試。抽水馬達可換功率較大、揚程較高，以增大噴水強度以免 RO 管內壓力過高，噴灑水量有限。而車體本身因是用螺絲搭配 L 鐵。

程式方面:

使用 VB 藉由 Zigbee 無線傳輸模組與 PIC 溝通是軟體方面遇到的最大問題，在 VB 控制介面按下按鈕，會經由 Zigbee 無線傳輸模組傳送一字串至 PIC，PIC 判別字串後會輸出 LED0 至 LED7 的燈，可是其輸出亮的 LED 燈與預設要亮 LED 燈又不相同，測試其他的字串後，顯示的 LED 燈與預設 LED 燈都不相同，所以把所有測試過的字串與之對應的顯示燈號記錄下來，發現其中有些亮的燈是相同的，把這些相同的其中一組屏除不使用，把其他亮燈不同的字串拿來使用，這樣就可以利用 Basic Commander 2 控制板判別 8 個腳位的電位高低來判斷須進入哪個迴圈。

結論

本專題測試時控制板因為有時會當掉討論可能就是利基板很容易應為過熱　無法接收超音波訊號及輸出馬達控制，而選用的利基超音波也因施打距離過短(最後實際測試只有 20 公分左右)對於測試功能有礙。如果車體馬達裝設於車頭，可在車頭配置上把較重的搭載器具往前放，車輪也挑選胎紋較深的胎種，可增加抓地力減少上坡時的不穩定，馬達也盡量挑選定格扭力大的，使動力穩定。

本研究已完成一遠端控制灑水機器人，經由電腦控制端即可經由 2 種控制板後相溝通後與無線模組而使機器人可依照使用者所下達之指令完成株高揀選噴灑、避障等功能。

在未來繼續發展可參考實驗結果與討論中的缺失進行修改與克服。

致謝

在這一年的專題過程中，最想感謝的是指導教授張仲良在專題題材上的建議、研究方向、以及逐步實踐的指導，而平時在百忙當中抽空聆聽我們的想法以及每次的進度報告，令我們這一年來受益良多並且學以致用。也相當感謝平常同學間的相互討論，提供寶貴的意見，讓我們能順利完成機構的部分。

最後感謝父母的支持與研究室諸位學長在繁忙的課業當中願意抽出時間對我們這組在構思不足的地方進行指導，有了學長的意見與指導令我們的專題更加完善。

參考文獻

【1】陳巧茵，2002 年，小型自走車以超音波避障之研究，碩士論文，成功大學。

【2】許哲源，2003 年，自走車之驅動控制與避障規劃，碩士論文，成功大學。

【3】許健平、李匯宗，設計與實作一輛具無線傳輸能力之多功能自走車，國立清華大學資訊工程系、國立中央大學資訊工程研究所

【4】朱賢儒，2011 年，SolidWorks2011 設計入門經典教材，上奇。

【5】Steven Holzner，2001 年，精通 Visual Basic.NET，博碩文化。

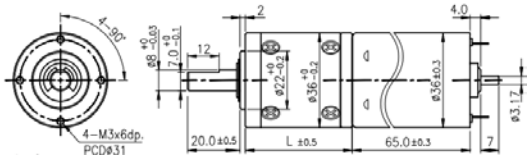
【6】李匯宗，2008年，設計與實作一輛具無線傳輸能力之多功能自走車，中央大學。

【7】曾百由，2006，微處理器原理與應用 － C 語言與PIC18微控制器，五南。

【8】Gonzalez R. ,Rodriguez F. ,Donaire J. G.,Sanchez-Hermosilla J.,2009, Navigation techenques for mobile robots in greenhouses, Applied Engineering in Agriculture Vol. 25(2):153-165

【9】ZigBee Module User Guide，Digitaltek electronics CO.,LTD

附錄:



此圖為馬達機構圖本專題選用之 L 為 59.2mm

祥儀企業官網:

http://www.shayye.com.tw/products.html

圖 19 直流馬達

圖 19 直流馬達(DC Carbon –brush motors)

圖 20 沉水馬達

圖 21 灑水頭

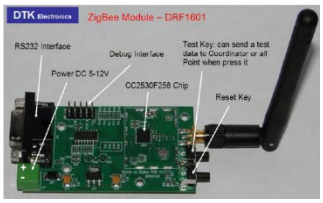


圖 22　Zigbee 無線控制模組

圖 19 直流馬達(DC Carbon –brush motors)

此直流馬達型號:IG – 36PGM

減速比:$\frac{1}{264}$定格扭力: 25kg-cm

定格迴轉速:25.1rpm

定格電壓: 12V

Bilge pump 為搭載於機器人上的沉水馬達,規格為:DC12V　10A。在選用原因為在之前有使用過 DC12V 6.2A 規格的彈發現在進行噴灑測試過程有馬力過小問題所已改採此款後已有改善，如圖 20

外牙嘴(直)4 孔的農用噴灑頭，如圖 21

DTK 公司出產的 Zigbee 無線傳輸模組

如圖 22

模型火箭研製與測試

學生姓名：謝奇峰 鄺柏文 蔡侑霖
指導教授：吳瑋特 老師

國立屏東科技大學
生物機電工程系

一、摘要

本專題先經由軟體設計過後，再實做出同性能之火箭，之中分析推進劑的製成方法、比較噴嘴材質性能，進而探討與模擬結果的差異性。複合式噴嘴、機身組裝與推進劑也為專題重點，耐高溫及分段組合的設計與推進劑及特製噴嘴互相搭配後，可使1500 (g)的火箭產生147 (N)推力，升空約250公尺高。

二、研究動機

曾看到國外火箭團體們做出模型火箭後的發射影片，激起了對製作及發射火箭的憧憬。在台灣，火箭製作團體及相關資料相當稀少，參考依據大都是國外的電子書與論壇。資源不足的情況下，製做過程相當有挑戰性與開創性，也藉由實務專題模擬製作小火箭，瞭解機械設計、機身結構、軟體應用整合大學至今的能力。所謂模型火箭指的是為教育、學術等用途，使用安全藥柱，發射高度在視力所能及的火箭。設計過程包括外型的修改、推進劑的選用製造、回收等；而多節性的火箭指的是機身可分段組裝及製作，達到快速拆裝的效果，機身以自行車床與銑床製作組裝，推力噴嘴等方面自行配方製作。

三、實驗設備

・輔助設計軟體：SpaceCAD。

SpaceCAD 為專門設計火箭之軟體，可以任意的設定機身上所以元件的材質，及噴嘴大小和推進劑的推力，設計完成後可以算出穩定性，推估是否可以飛行。設計完可列出運算過後的曲線圖，圖上有高度、推力、重量、加速度、速度及燃燒時間和飛行時間的曲線及座標圖。本專題運用此軟體預先設計出預期的火箭雛型，再以軟體上呈現的數據為基準製作火箭機身，完整的做出可以承受推力的推進劑和噴嘴。

3.1 實作材料表：

	材料名稱	規格 (mm)
1	6061 鋁管	38/44/250
2	6061 鋁板	90/100
3	石墨柱	90/100
4	中碳鋼柱	60/80
5	PVC 管	71/75/600
6	Y 型銜接管	44/76
7	紀錄器	Mini DV
8	6061 鋁塊	48/48/48
9	雨傘布料	對角線 167cm 六邊形
10	水銀開關	開傘用裝置

3.2 其他材料：

漁線、電池、電路板、保麗龍、膠帶。

3.3 實作藥物:

硝酸鉀、糖、氧化鐵、鋁粉、碳粉、硫磺粉。

3.4 實作工具表：

鑽床	車床	銑床	大鋼剪
燈泡	虎鉗	攻牙器	錫銲槍
鋼鋸	電鋸	瓦斯爐	電池爐
電鑽	膠帶	塑鋼土	螺絲起子

四、研究內容與方法

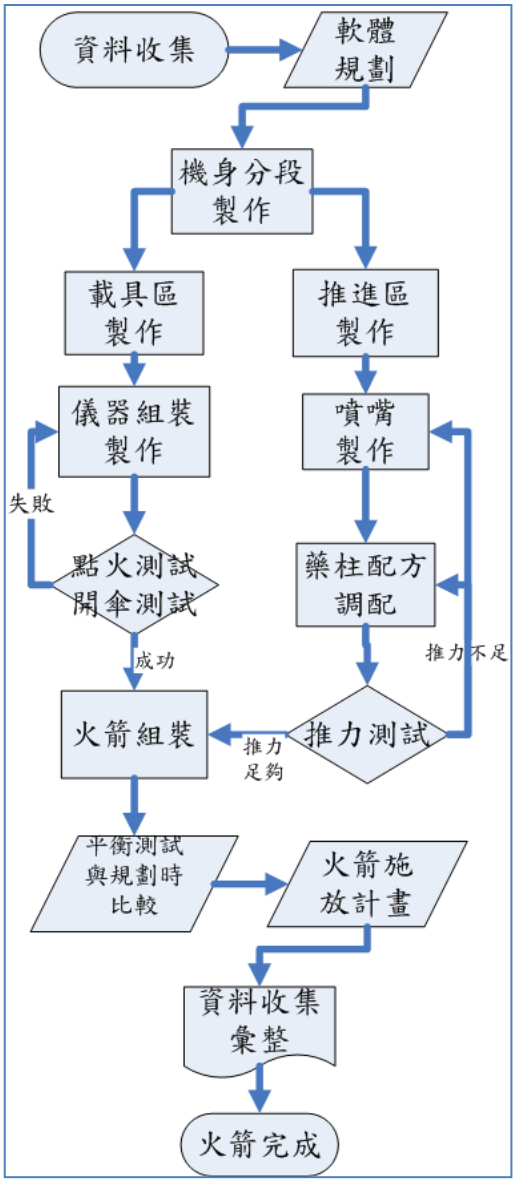


圖 1 火箭製程流程圖

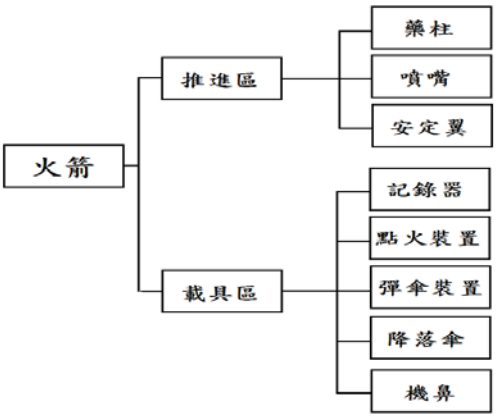


圖 2 機身分解樹狀圖

4.1 機身結構介紹

機身分為推進區及載具區兩部分(附錄圖 27)，前者結構為鋁合金(6061)製，以承受噴射推進時的高溫，推進區又分為藥柱(推進劑)、噴嘴、安定翼；後者載具區裝置著非高溫下工作設備，所以結構採用 PVC 管，載具區又分成機鼻、降落傘、開傘點火裝置、攝影裝置。

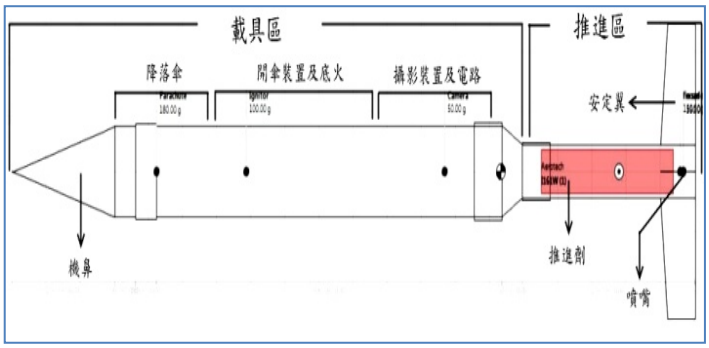


圖 3 機身模擬示意圖

4.2 機身推進區

以鋁管製成，內徑為 38mm 而管壁厚為 3mm，管長 250mm，重量 1.6kg。內有石墨及中碳鋼所組成的噴嘴結構，管內其餘空間皆放置推進劑，且在噴嘴結構的另一端以頂蓋密閉防止噴射過程壓力外漏。

4.2.1 推力量測方式：

運用牛頓第三運動定律:作用力等於反作用力，將火箭機身反置於電子秤上，點火後使火箭噴射流向上噴出，即產生向下之同等反作用力，使電子秤測得

數據，量測方式如下圖所示：

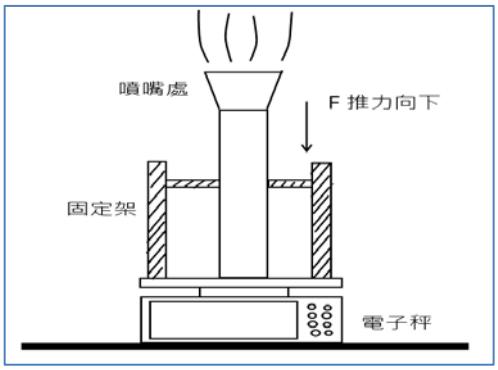


圖 4 火箭推力測試示意圖

4.2.2 推進劑

採用純度為 99.0%之硝酸鉀(KNO_3)及純度為 99.7%之蔗糖($C_{12}H_{22}O_{11}$)作為火箭動力來源的主要反應物。硝酸鹽類與碳水化合物反應後，會產生大量的氮氣、水氣及二氧化碳，所以當推進劑所產生的大量混合氣體瞬間蓄積在燃燒室內時，就會有高壓產生，此時再利用 C-D 噴嘴裝置，使高壓氣體流通後轉換為低壓高速的噴射流，供給火箭體極大的推力。

配方：

65% KNO_3 + 35% $C_{12}H_{22}O_{11}$ + Fe_2O_3 + Al

反應方程式：

48 KNO_3 + 5 $C_{12}H_{22}O_{11}$ →

24 K_2CO_3 + 36 CO_2 + 55 H_2O + 24 N_2

4.2.3 推進劑製成方法

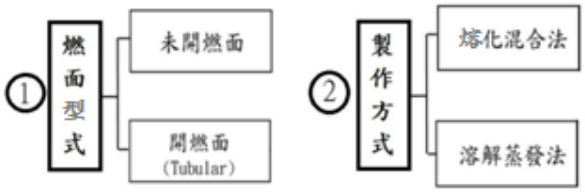


圖 5 製成方式分析圖

推進劑部分分為兩類方向作分析：燃面形式與製作方式，並配合相關器具紀錄推力測試結果。

4.2.4 燃面形式

未開燃面：

以硝酸鉀(KNO_3)及蔗糖($C_{12}H_{22}O_{11}$)配置出 200g 重推進劑後，柱狀推進劑中心不挖燃面，置入內徑 38mm 管壁厚 3mm 鋁管燃燒室內。鋁管一頭為密閉端，另一頭則為噴嘴端。以電子點火方式觸發燃燒，再以電子秤配合攝影機記錄結果。未開燃面燃速較為緩慢推力不高，燃速大約皆落在 8mm/s，且常有咳嗽(推力不平均)的現象發生。

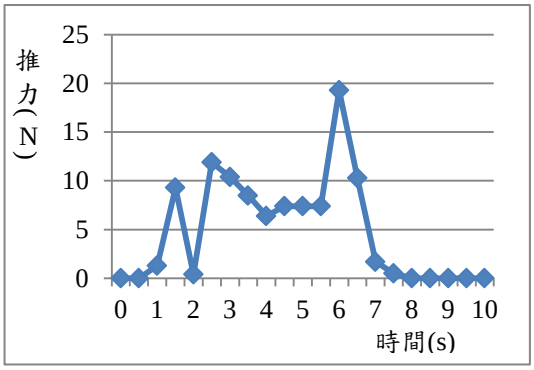


圖 6 未開燃面平均推力—時間圖

表 3 未開燃面數據表

次數	重量(g)	推力(N)	燃速(mm/s)
1	178	10	5.6
2	193	11	7.5
3	174	19	4.4
4	183	12	4.0
5	191	22	6.2
6	184	15	7.2
7	188	13	5.5
8	180	11	4.3
Avg.	185	15	5.1

開燃面：

以同原料配置成 200g 重推進劑後，於柱狀推進劑中心加開 Tubular 型式燃面，中空燃面直徑為 10mm。後續步驟則與前者相同，最後點火觸發紀錄推力。開燃面可使燃速增加，選擇了推進劑常用燃面之一的：Tubular 燃面，燃燒時燃面量會與推力成正比，能在燃燒末期達到最大推力。

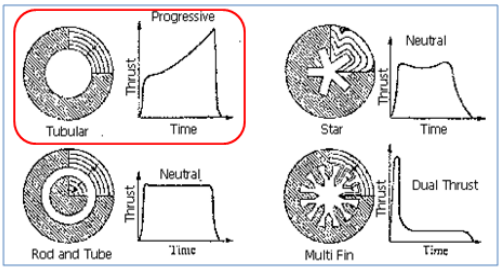


圖 7 推進劑常用燃面圖

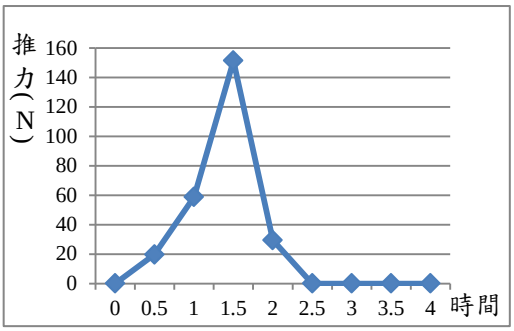


圖 8 Tubular 燃面平均推力—時間圖

表 4 Tubular 燃面數據表

次數	重量(g)	推力(N)	燃速(mm/s)
1	196	87	13.5
2	195	105	16.0
3	198	128	12.0
4	199	94	10.5
5	192	176	11.5
6	194	144	12.5
7	197	113	12.0
8	193	129	15.0
Avg.	194	147	12.5

4.2.5 推進劑製作方式

推進劑有分為液態混合跟固態燃料，而製程有分為熔化混合法和溶解蒸發法。我們所採用的固態燃料製作過程則是將硝酸鉀及蔗糖取出後，倒入水中使兩物質完全溶解，再將混合溶液倒入鍋中，以小火(鍋溫約攝氏 200-250 度)將水分蒸發剝除，成半熔融狀態的推進劑，取出後倒入模具裡靜置，等推進劑完全乾燥。製作推進劑須將兩化合物均勻混合，利用熔化混合法、溶解蒸發法兩種方式進行混合比較推力，推進劑皆以 200g 重作測試：

・熔化混合法:

將硝酸鉀(熔點攝氏 334 度)及蔗糖(熔點攝氏 186 度)加熱熔化後使兩物質充分混合而成。

・溶解蒸發法:

將兩物質先以蒸餾水完全溶解成混合溶液態再加熱將水分蒸發而成。

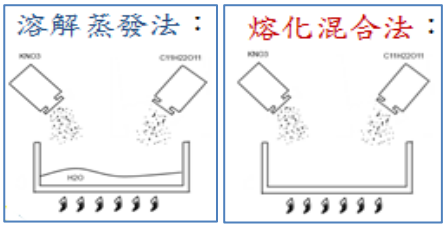


圖 9 推進劑製成法示意圖

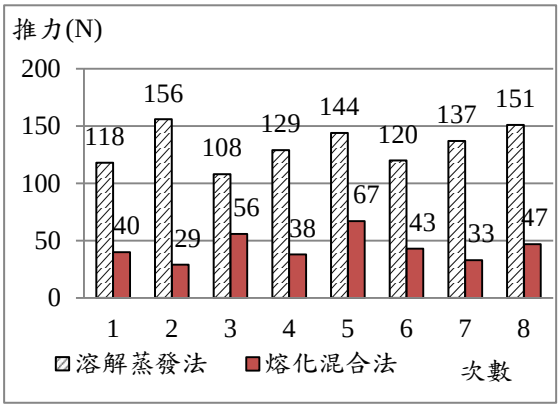


圖 10 推進劑製成法比較圖

表 5 溶解蒸發法數據表

次數	重量(g)	推力(N)	燃速(mm/s)
1	194	118	15.0
2	198	156	14.0
3	196	108	17.0

4	192	129	12.5
5	193	114	14.5
6	191	120	16.0
7	195	137	13.5
8	195	151	17.5
Avg.	194	147	15.8

表 6　熔化混合法數據表

次數	重量(g)	推力(N)	燃速(mm/s)
1	199	40	8.5
2	197	29	9.0
3	193	56	7.0
4	195	38	7.0
5	191	67	9.5
6	197	43	6.5
7	197	33	10.0
8	194	47	8.5
Avg.	194	47	8.6

2.4 噴嘴

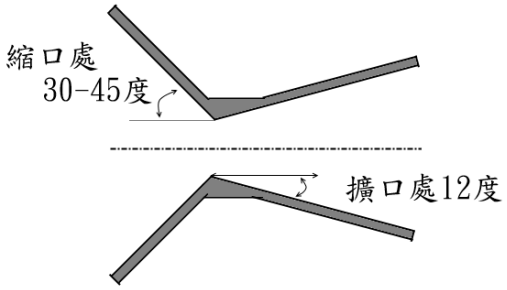


圖 11 拉瓦爾(de Laval)式 C-D 噴嘴示意圖

參照拉瓦爾(de Laval)式 C-D 噴嘴設計縮口端角度為 30 度；擴口端角度為 12 度之噴嘴。噴嘴為火箭動力產生的關鍵機構，可使推進劑燃燒後的熱能有限的轉換為動能，主要讓“高壓低速”氣體通過喉口後轉換為“常壓高速”氣體，再利用高速氣體噴射流，循牛頓第三運動定律：作用力等於反作用力，將火箭推送升空。而火箭產生高速氣體噴射流與否，就與噴嘴設計有很大的關聯，可依據推力公式看出壓力及噴嘴喉口、出口面積，皆與推力息息相關，公式如下：

$$F=\dot{m}V_e+(P_e-P_o)A_e \quad \text{.....(1)}$$

Pe為噴嘴出口處壓力　Po為環境壓力

Ve為噴射流初速　　Ae為出氣口面積

於是我們可以推論，下列的變因均可以使火箭的推力增加：

欲達到效果	→改善項目
增加單位時間之排氣量	→燃速增加
增加出氣口速度	→減少喉口面積
增加出氣口壓力	→減少喉口面積
減少喉口面積	→增加推力

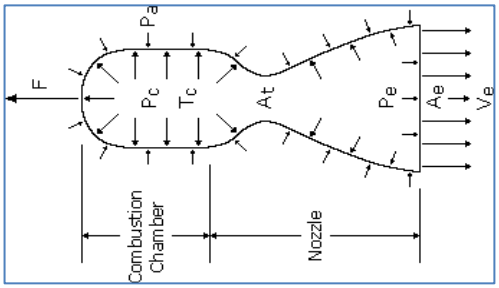


圖12 火箭推進基本原理示意圖

噴嘴部分則分析三種不同設計方式所產生的不同推力結果，材質上都不相同，測試方式則採用 200g 重開燃面推進劑(配方：65% KNO_3 + 35% $C_{12}H_{22}O_{11}$ + Fe_2O_3 + Al)

且以內徑 38mm 管壁厚 3mm 鋁管作為燃燒室，並將噴嘴另一端密閉。型式如下表所示：

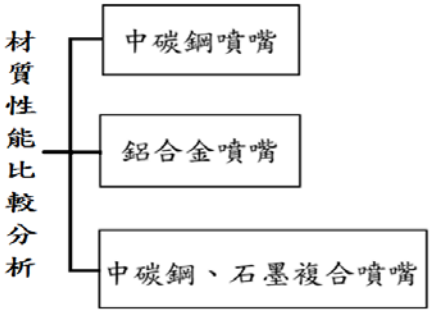


圖 13 噴嘴材質性能比較分析圖

表 7　各式噴嘴特性表

中碳鋼噴嘴	1. S45C 材質，耐溫 1400℃ 2.喉口處直徑為 22mm
鋁合金噴嘴	1.6061-T6 材質，耐溫 610℃ 2.喉口處直徑為 9mm
複合式噴嘴	1.喉口處石墨製，耐溫 3400℃ 2.擴口處 S45C 製，耐溫 1400℃ 3.喉口處直徑為 9mm

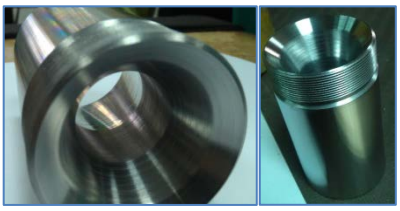


圖 14　中碳鋼噴嘴實體圖

中碳鋼噴嘴採用 S45C 中碳鋼製成(附錄圖 28)，C-D 半角度分別為 30 度-12 度，此噴嘴耐溫高，熔點約 1600°C-1800°C，可承受高溫而不被熔解，不過噴嘴縮口處加工不良，縮口處尺寸過大，約 17mm，導致無法有效形成高壓產生推力，使得推力不足。在測試推力時，因開口過大無法有效的累積推力，推力未達預設之標準。

圖 15　鋁合金噴嘴實體圖

鋁合金噴嘴採用 6061-T6 製成(附錄圖 29)，C-D 半角度分別為 45 度-12 度，噴嘴縮口處大小為 9mm，但因未考慮推進區高溫(約攝氏 2500 度)影響導致在首次實驗時噴嘴就已熔毀，而鋁的耐溫僅約 600°C。

圖 16　石墨─中碳鋼複合實體圖

複合式噴嘴(附錄圖 30)，所改良過後的噴嘴為參考國外知名模型火箭製作團體：Qu8k。他們的噴嘴使用三種材料，從噴嘴喉口處由內而外材料依序為：石墨→銅→鋁合金。而我們亦仿製其概念，採用組合的方式，複合式噴嘴以不同的材料做互補，使耐熱與強度兼具。將兩種不同的材料－石墨及中碳鋼，分別配置在不同溫區，從噴嘴喉口處由內而外材料依序為：石墨→中碳鋼，再加以嵌合固定。此兩種材質皆耐高溫，而石墨可置於結構最高溫處抵擋高熱，中碳鋼則用來作強度補強及支撐石墨結構。目前許多"H" Class (推力 160N 以上)以上的模型火箭都以這類方式製成，為一個噴嘴效能的製成指標。此噴嘴耐溫符合要求，製作時縮小了縮口處，推力也達到了預期的推力大小(140N-180N)，此噴嘴為目前所使用的。

而各式噴嘴測試後結果如下表所示：

表 8　各式噴嘴測試後評比

中碳鋼噴嘴	1.喉口處直徑過大，無法有效蓄積壓力 2.S45C 材質重量過重，約 520g 3.材質堅硬耐用且耐高溫

鋁合金噴嘴	1.耐溫性差，遇高熱及熔毀 2.質輕，整體重約 70g
複合式噴嘴	1.S45C 材質使重量增加，整體約 300g 2.石墨材質可抵擋多次高溫且不變質 3.具快拆性、耐用性

2.6 安定翼

由於機身及安定翼皆為金屬且為鋁材質，所以在固定的方式上其實有瓶頸，以下為幾種參照國外火箭模型製作後擬出的固定法：

表 9　各式固定法說明表

L 鐵固定法	在安定翼兩面各以螺絲固定一片 L 鐵，而在機身面亦以螺絲固定。
焊接固定法	以焊接方式與安定翼與機身接觸處固定。
細溝槽緊密配合法	以銑刀銑出與安定翼相同的溝槽(1mm)，再將安定翼鉗入密合。

而下表為各式固定法的評比：

表 10　各式固定法評比表

L 鐵固定法	施工快速不需特殊加工機具，僅需電鑽及攻牙器。因安定翼固定處內部即為噴嘴結構，所以鑽洞有破壞噴嘴的風險存在。
焊接固定法	為最堅固的固定法。鋁材質的焊接方式非常特別，需要特殊加工法，需以銅焊加硼砂處理。
細溝槽 緊密配合法	拆裝快速且方便，不需任何工具即可組合。需有精密機具做溝槽加工。

固定安定翼時主要的考量因素為：是否破壞機身，因機身內即為高溫高壓的燃燒室，而且我們所採用之機身管壁厚度僅有 3mm，一但壞機身則有卸壓、熔毀，甚至爆炸的可能性，所以屏除 L 鐵破壞固定法及加工特殊的焊接固定法後，選擇了緊密配合法作為安定翼固定方式。

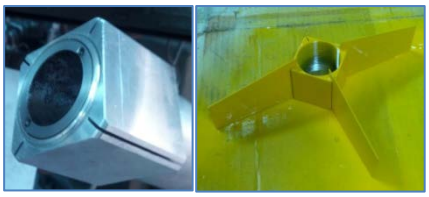


圖 17　細溝槽緊密配合實體圖

3.機身載具區

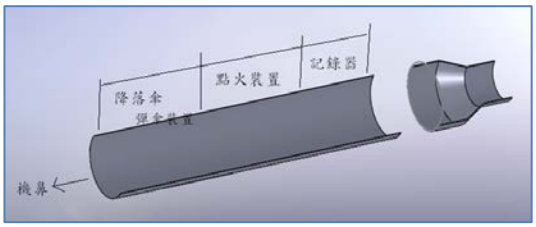


圖 18　機身載具區分區示意圖

以 PVC 管製成，內徑為 71mm 而管壁厚 2mm，管長 600mm。管內又分為降落傘放置區、彈傘裝置及點火裝置區、攝影裝置區。而在推進區及載具區的銜接處，則是以 Y 型 PVC 異徑管連接兩機身，Y 型異徑管轉接頭尺寸為 75mm/44mm，管壁厚為 5mm。

3.1 攝影裝置區

圖 19　Mini DV 記錄器

以機車型的行車紀錄器 Mini DV 作為火箭的攝影器材，選擇它主因為價格便宜，體積精巧。比較過許多類型的攝影裝置後，雖然有專門為極限運動用的攝影器材，畫質等規格也很符合要求，但因價格昂貴

所以不考慮，行車紀錄器大都有螢幕，體積也較大，都不是需要的類型，所以才選擇機車型的行車紀錄器，詳細規格如下：

表 11　Mini DV 規格表

Mini DV 規格表	
像素	200 萬 CMOS
視角	62 度
最小照度	1Lux
功耗	120Ma/3.7V
儲存溫度	-20℃~80℃
重量	50g
尺寸	55x20x18 mm

3.2 彈傘裝置及點火裝置

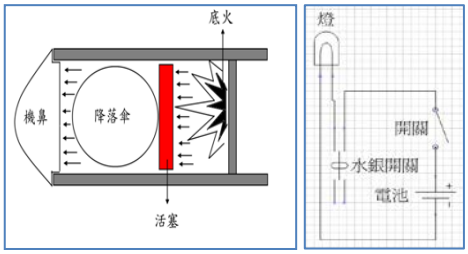


圖 20　彈傘裝置示意圖

位於降落傘下方的電路，有裝置水銀開關，若傾斜角度大於 95 度，則觸發開關，使點火裝置點燃底火。底火的成分以 75%的硝酸鉀、15%的碳、10%的硫磺配成黑火藥，點燃後瞬間產生大量氣體產生推力向上，上推機鼻將降落傘推出，完成彈傘動作。

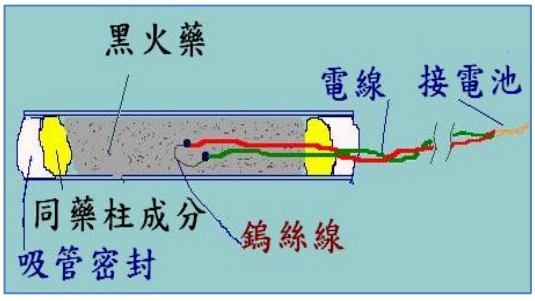


圖 21　點火器示意圖

點火器運用簡單的高電流生熱效應，點火方式有許多種類，我們的製法是將燈泡打破後倒入黑火藥，用吸管或紙張包住，以燈泡內鎢絲線為火源，通電時將黑火藥燃起達到點火效果，黑火藥點燃後會再將同藥柱成分的顆粒點燃，黑火藥的火花並不大，所以才會加入同藥柱的成分顆粒增加點火效果。

3.3 降落傘區

圖 22　降落傘實體圖

以雨傘布料作為傘面，漁線為傘繩，以膠帶黏合。以 SpaceCAD 模擬設計本火箭所需的傘面對角線為 167cm，預計開傘時機身以約 3m/s 的速度降落，將傘面設計為正六邊形縮小體積，重量為 124g，傘面積為 18113.91 平方公分。傘繩依正六邊形傘面總共有六條，每條為 167cm，傘繩末端六合一環繞作傘繩匯集處，打單結留 70cm，再打一個單結並將多餘傘繩剪掉，以避免傘繩纏繞使傘面無法正常開啟。

五、結果與討論

5.1 機身比較結果

推進劑：

推進劑增開燃面後，燃燒時間縮短，推力上升，所以可以得知開燃面推進劑為理想型式。溶解蒸發法能取得較大的推力，其中的損失也較少，所以採用此方式製作推進劑。

噴嘴：

當火箭發動時，噴嘴喉口處的溫度約為 2000-2500℃，就算推進劑燃燒時間只有 2-3 秒，瞬間高溫所產生的熱效應仍會非常明顯。從上表可看出不同材質對熱的耐受度有極大的不同，鋁合金噴嘴雖然質地最輕，最適合裝載於飛行器上，但因鋁材耐熱度低，所以在噴射瞬間即熔毀；S45C 中碳鋼雖耐熱且耐用，但因密度較高，質量較重，所以不適合裝載於

火箭上；而相較於皆以單種材質製作的前兩者，複合式噴嘴可說是兩相俱全，質地輕、耐熱度高，所以此噴嘴為我們所採用。

安定翼：

安定翼最後採細溝槽緊密配合(附錄圖 31)：以長 100mm，高 50-40mm 梯形，厚 1mm 鋁製成卡接於 48mm 鋁合金製正方體銜接環，中心位置有 44 x 1.5P 螺紋，以螺紋方式鎖進機身管尾端。這種方式使安定翼快速的安裝與拆卸，如有一片安定翼損壞，可直接拆下後在卡入新的一片，雖銜接環超出預期的重量，但也使機身更加的堅固，因其他方式都會破壞機身。

經過了對於推進劑、噴嘴、安定翼等的機構分析及實驗比對結果，我們找出了適當的組合結果，如下表：

表 12　各機構採用表

機構	採用方式	材質
推進劑	開燃面	KNO_3、$C_{12}H_{22}O_{11}$
	溶解蒸發法	
噴嘴	複合式噴嘴	石墨、中碳鋼
安定翼	細溝槽緊密配合法	6061-T6 鋁合金

5.2 火箭施放結果

本專題火箭實測的總推力為 129.6 (N·s)，對照美國國家火箭組織所訂定之等級(表 16)，為 G class 總推力介於 80.01-160.0 (N·s)間)，而大多玩具型模型火箭威力大約介於 A-E 等級；學術型模型火箭則依大小介於 F-O 級不等，所以可由此得知此火箭有達到學術型模型火箭的等級要求。而火箭實際飛行高度約為 200 至 250 公尺，與原本預估的 622 公尺有不小的差距，主要原因為飛行不穩定，其原因歸類如下：

可能原因	導致結果
發射台結構不穩	無法正確的引導火線飛行方向
推進劑燃速改變	加速度過快導致飛行時不穩定
安定翼固定不穩	安定翼脫落，飛行不穩定
轉接管耐溫性差	轉接管受熱軟化而使載具區機身彎曲

表 13　原因歸類表

另外，行車紀錄器及其他電子元件裝置皆因對震動及巨大的 G 力耐受度不足而失效。行車紀錄器因起飛時震動過大導致影像模糊；彈傘裝置則在加速過程中的震動或 G 力使裝置失效而未成功點火開傘。

對於模型火箭而言，有幾項重要的指標可供依循對照，如下表：

表 14　模型火箭指標對照表

比衝(Specific impulse)	介於 80-100 (s)
風壓中心	距重心約 2-3 倍管徑長
火箭推力等級	學術型火箭約 F-O 級

表 15　火箭類型比較表

玩具型火箭	無回收裝置、無載具，推力小
學術型火箭	有回收裝置及感測器，推力大

表 16　模型火箭等級表(僅收錄 A-M Class)

Class	Total Impulse
A	1.26-2.5 N·s
B	2.51-5.0 N·s
C	5.01-10.0 N·s
D	10.01-20.0 N·s
E	20.01-40.0 N·s
F	40.01-80.0 N·s
G	80.01-160.0 N·s
H	160.01-320 N·s
I	320.01-640 N·s
J	640.01-1,280 N·s
K	1,280.01-2,560 N·s
L	2,560.01-5,120 N·s

M	5,120.01-10,240 N·s

5.3 火箭升空要件

將模型火箭穩定推送升空有兩個要件：

1.風壓中心與重心的距離須為管徑的 2-3

2.比衝量(Isp)需位於 80 (s)以上

・比衝量公式：

$$I_{sp} = \frac{F}{\dot{m}g_o} = \frac{\dot{m}v_{eq}}{\dot{m}g_o} = \frac{v_{eq}}{g_o} \quad \text{.....(2)}$$

Isp=比衝量　　g_o=海平面處重力加速度

[推力（kg）/推進劑質量消耗速率（kg/s）]

Isp 為用來判斷火箭推進效率的數值。不同的火箭型式，都有一個相應的比衝量值作為依據，比方說探空火箭最基本的需求就是擺脫地心引力，那這類的比衝量通常都需要在 500 (s) -7000 (s)間不等，而若是較為普遍的模型火箭（機身管徑介於 10-60mm），比衝量都大概位於 80-120 (s)。如此一來我們就可參照這一項數值，推估火箭是否符合該有的推力要求。本火箭也達到模型火箭排氣量效率的指標：比衝量達 80 (s)以上。而帶入幾次實驗後所得的平均推力數據及推進劑質量消耗速率後，得到了本火箭的比衝量為 84.0 (s)，符合了模型火箭升空所需的門檻之一，算式如下：

$$I_{sp} = \frac{F}{\dot{m}g_o} = \frac{14.0\ kg}{(0.2\ kg/1.2\ sec)} = 84.0\ sec \quad \text{.....(3)}$$

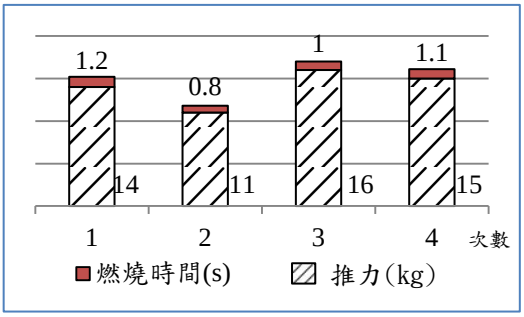


圖 23 推力與燃燒時間數據圖

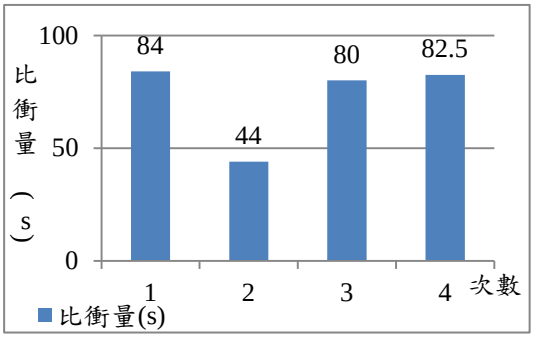


圖 24 比衝量圖

最後一項升空要素：“風壓中心位置須距離重心 2-3 倍管徑長”。而在我們設計出安定翼且找出適當安定翼固定法後，經由 SpaceCAD 軟體計算出本火箭的風壓中心位置洽距離重心為 3 倍管徑長，呈穩定狀態，所以在這一要素中也符合了要求，示意圖如下：

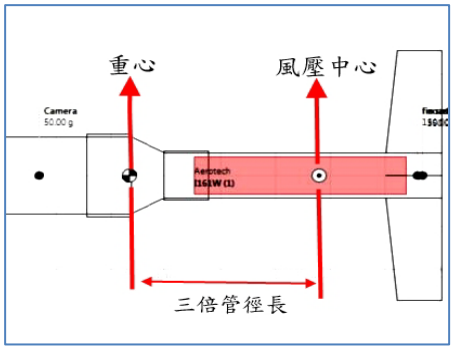


圖 25 風壓中心模擬示意圖

六、未來展望

因上述諸多因素，之後的實驗將先以達到飛行穩定為訴求，簡化機身，載具區則暫時省略，一方面減少變因的影響，一方面則是減少實驗過程失敗的成本損失。所以我們已有再設計另一支小型的模型火箭，這次將不放置降落傘，測試火箭的飛行穩定性，如火箭穩定後再考慮降落傘及其他儀器的安置，之後的研究將先往飛行性的穩定性做調整。以及運用一些公式理論來推算實際與模擬的差異，與火箭的不穩定的原因，想藉由 NASA 所導出的兩大公式及熱力學、熱傳學、材料力學等相關公式來驗證本火箭的理想狀態

(電腦模擬)及實際狀態(實測結果)的差異性。

七、致謝

感謝高雄義聯五金機器的贊助、支持與幫忙，提供人力及物力的資助，更出借精密的車床、銑床等機具供使用，實為難得與可貴；感謝指導老師吳瑋特老師及學長們的幫助與指導，在專題上遇到困難與問題時的協助，並提供有效的處理方式與經驗，也感謝系主任、系辦、車輛系胡惠文教授、成大周學長及同學們的關心協助，感謝你們的幫助使本組的研究有很大的進展及更加有效的處理方式，沒有大家的熱心協助，就沒有今日的成果。

八、參考文獻

[1] Model rocket propulsion system
MS Ady, RF Lufkin, KL Lynch - US Patent 4,355,577, 1982

[2] Rocket
candy http://en.wikipedia.org/wiki/Rocket_candy

[3] How to Make Sugar Rockets
http://www.wikihow.com/Make-Sugar-Rockets

[4] Casting KNO3 Sugar
Propellant http://www.thefintels.com/aer/protected/castingsugar.htm

[5] Solid Rocket Motor Theory -- Propellant Grain
http://www.nakka-rocketry.net/th_grain.html

[6] "Caramel Candy" or "Rcandy"
Propellant http://www.jacobsrocketry.com/aer/caramel_candy_propellant.htm

[7] Sugar Propellant Motor Design
http://ebookbrowse.com/sugar-propellant-motor-design-pdf-d23627648

[8] Rocket Nozzle Design: Optimizing Expansion for Maximum Thrust
http://www.braeunig.us/space/sup1.htm

[9] Wikipedia-Rocket engine nozzle
http://en.wikipedia.org/wiki/Rocket_engine_nozzle

[10] Wikipedia-Bernoulli's principle
http://en.wikipedia.org/wiki/Bernoulli's_principle

[11]Model Make Rockets Propellant
http://www.shs.edu.tw/works/essay/2012/03/20120329144143679.pdf

[12] Richard Nakka's Experimental Rocketry Web Site http://www.nakka-rocketry.net/index.html#Quick

[13] Model Rocket Aerodynamics
http://ebookbrowse.com/rkt-aerodynamics-pdf-d294633953

[14] 建中航空社 火箭與煙火化學組 http://ckfcaa.tw/odyssey/viewtopic.php?f=18&t=1901

[15] NASA Model Rocket
Index http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/shortr.html

[16] Igniter
Systems http://www.nakka-rocketry.net/igniter.html

[17] MODEL ROCKET AND RECOVERY DEVICE THEREFOR
WE Senoski - US Patent 3,903,801, 1975

[18] PVC Rocket Motors with Time Delay and Ejection Charge
http://www.nakka-rocketry.net/pvcmot4.html

[19]Qu8k Team
http://ddeville.com/derek/Qu8k.html

[20] isentropic flow
http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/isentrop.html

[21] Flying model rocket and method of recovery
R Sculatti - US Patent 4,687,455, 1987

九、附錄

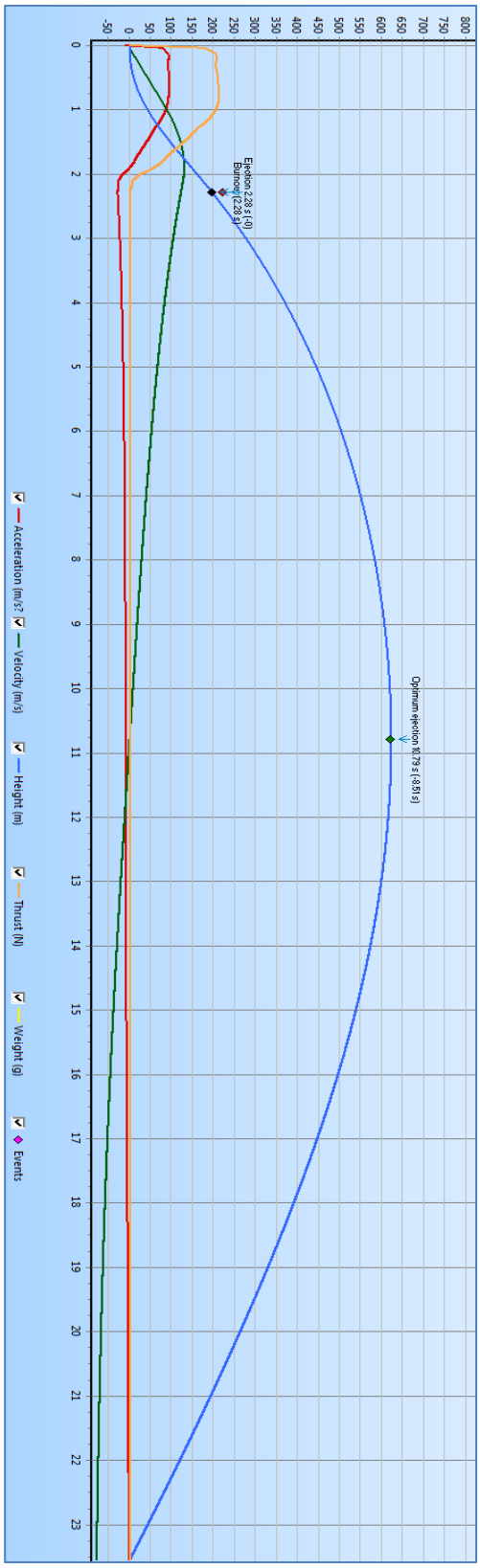


圖 26 火箭飛行數據圖

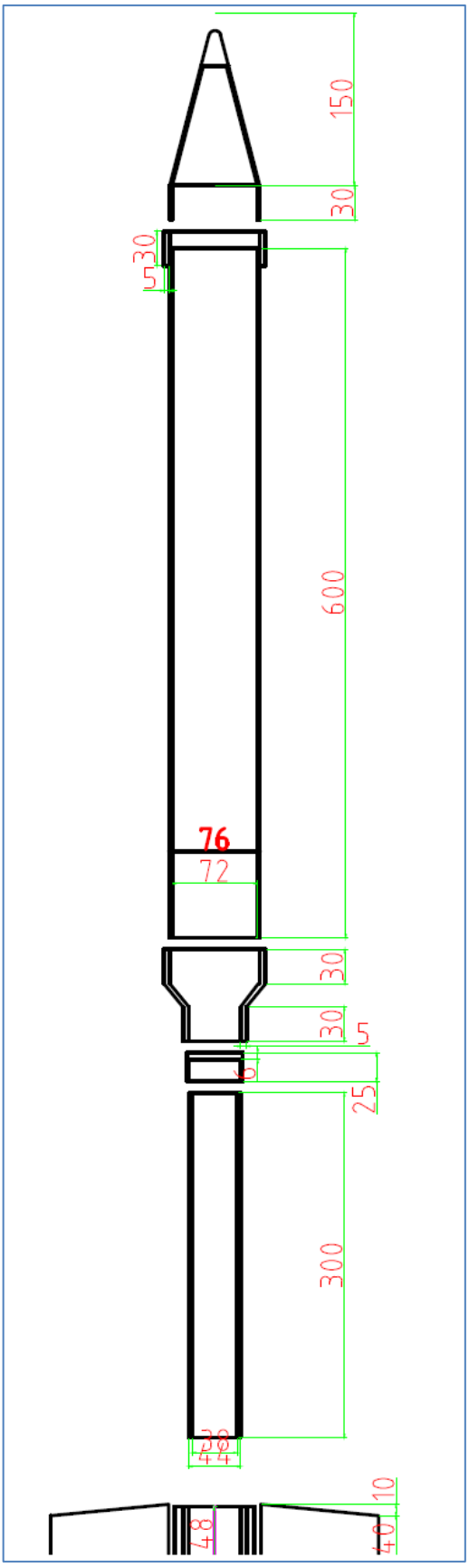


圖 27 火箭設計圖

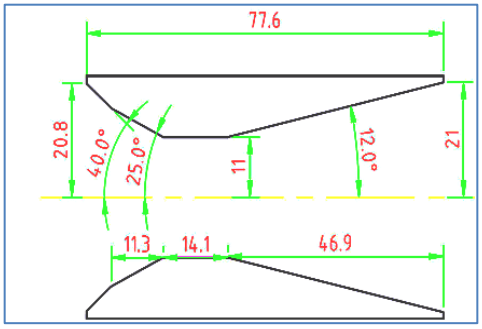


圖 28 中碳鋼噴嘴設計圖：

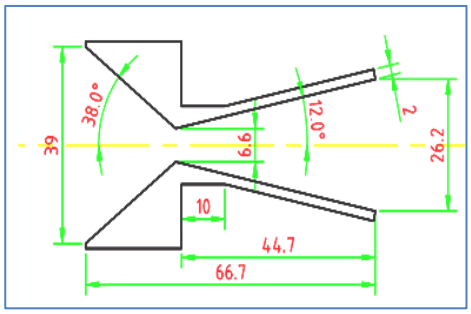


圖 29 6061 鋁管噴嘴圖設計圖

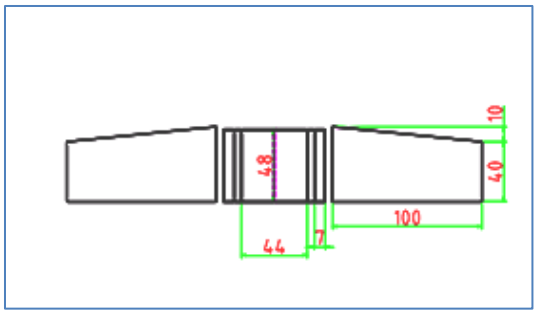


圖 30 6061 鋁板安定翼設計圖

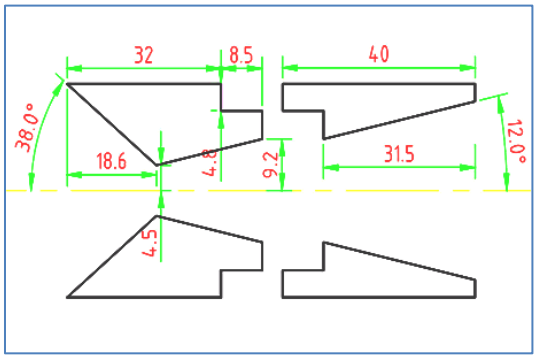


圖 31 複合式噴嘴設計圖

表 13 SpaceCad 飛行模擬數據

項目	數值
最大飛行高度	622.0 m
最大初速	130.0 m/s
最大加速度	94.1 m/s^2
降落傘直徑	1670 mm
達最大高度時間	10.8 s

➢ 火箭高度測量：

利用兩觀察員所各自測得的兩種角度，加上已知的觀察員相距距離，推得火箭飛行高度。

$h=L[tan(a)sin(c)]/sin[(b)+(c)]$

h=火箭飛行高度　　L=觀察員相距距離

a,d=仰角　b,c=火箭投影處與觀測員角度

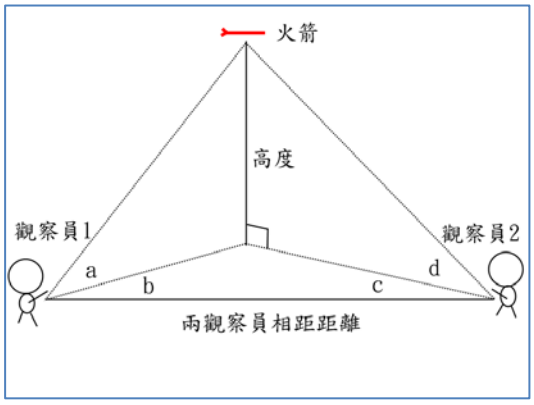


圖 32　計算飛行高度示意圖

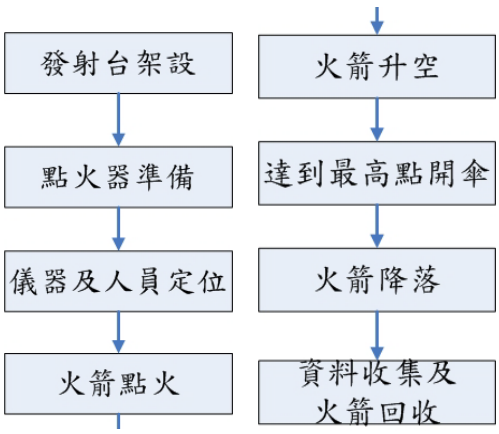


圖 33　火箭施放流程圖

The Manufacture And Testing Of Model Rocket

Student: Chi-Feng Hsieh, Bo-Wun Kuang
Yo-Lin Tsai
Teacher: Wei-Te Wu

Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and Technology

This is a study about making an experimental rocket through a design of a software. In this study, the experimenters measure the data to analyze which propellant and which engine nozzle is a good and proper method for manufacturing a rocket. The combined-material engine nozzles and the easy-disassembled structures are also key issues considered in the design of the rocket. Finally, by calculations and settings from the software, the experimental rocket can provide an average impulse about 147 (N) to push the rocket whose weighs 1,500 grams up to 250 meters high.

使用三軸加速度感測器之計步器

學生姓名：吳俊霆、鄭堃志、徐柏軒
指導老師：吳瑋特

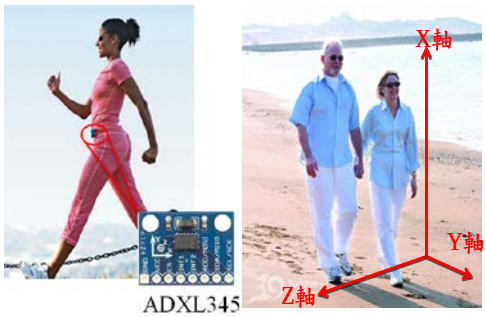
國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本專題是運用三軸加速度計(ADXL345)與ARDUINO UNO 控制板做為主體，來實現計步的功能，並更進一步的提升準確度。

本專題動機是使自己能了解計步器的構造與計步原理，並分為電路，程式，動作三方面來做研究，並且進行學習與紀錄。

當三軸加速度計的 X 軸感測到晃動時，使用 ARDUINO 開發版，將程式輸入，來擷取X軸之變化量，再經由設定的閥值過濾雜訊計算步數，最後由 LCD 顯示螢幕顯示出所行走已達到計步功能。



圖一 配戴位置與三軸方向

一. 前言

現今社會科技日新月異，也帶來許多便利，使得許多人們忽略了運動的重要性，而走路就是我們每天必須做的運動，「每日一萬步，健康有保固」是日常生活中常常聽到的，但我們每天真的有達到健康的步數嗎？

因此，計步器就更為重要了，讓人能藉由計步器，計算出每日所走的步數，進而了解自己是否有足夠的運動量。

然而市面上所販賣的簡易計步器，雖然價格不貴，但步數測量時有很大的誤差，若是很精確的計步器其價格也不斐，若能使計步器能達到準確並且價格便宜，相信能讓大眾廣泛使用計步器。

二、材料與設備

1. 三軸加速度計

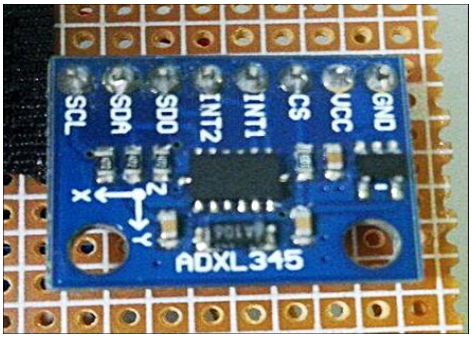
型號：ADXL345

尺寸：3*5*1mm

支援接口：I^2C

優點：輕薄、低功率

目的:感測行走時之三軸加速度值，並將數據傳入 ARDUINO 開發板。[2]



圖二 ADXL345

2. ARDUINO UNO R3 開發板

單晶片控制器

使用程式類似C語言

支援USB傳輸

輸入/輸出電壓5V

目的:為本專題資料處理核心，負責連接ADXL345與LCD，計算ADXL345傳來的數值，經過處理後傳至LCD顯示數值。[2]

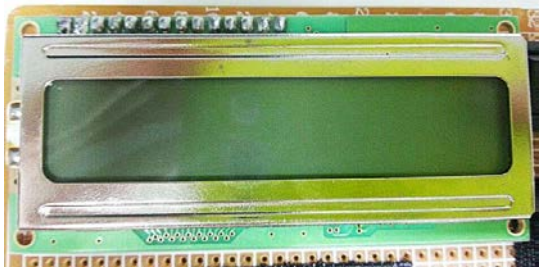
圖三 ARDUINO UNO R3 開發板

3. LCD 顯示螢幕

規格：16*2

腳位數：14

目的:輸出經 ARDUINO 開發板船來計算過後之數據[2]



圖四 LCD 顯示螢幕

4. OMRON 計步器

型號:HJA-306

尺寸: 78×33×10mm

主機重量: 25g

價格:1980 元

主要功能:計算步數[2]

圖五 OMRON 計步器

5.多功能走步機

廠牌: Lifespan

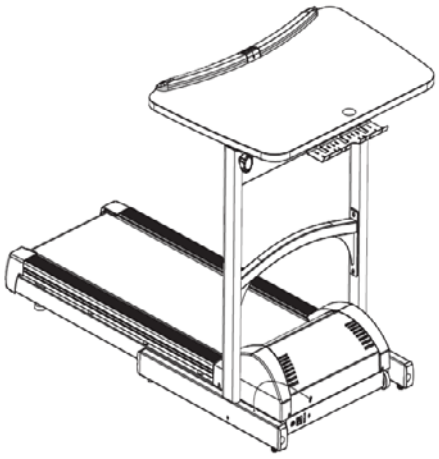
型號: TR1200DT

尺寸: 177.8×73.7cm

速度範圍: 0.6-6.5kph

最大荷重: 159kg

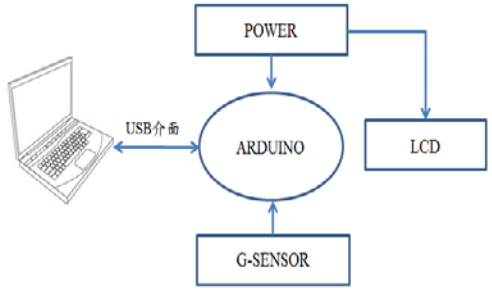
主要功能: 功能比較[2]



圖六 多功能走步機

三、研究方法與步驟

本專題的系統方塊如下圖所示,其中主控核心為 ARDUINO 主控板,由 G-SNSOR 來感測三軸的的加速度數值，在傳送到 ARDUINO 主控板經由程式運算判斷，最後傳至 LCD 輸出顯示，而 ARDUINO 主控板與電腦的連結是運用 USB 傳輸線來做傳輸。

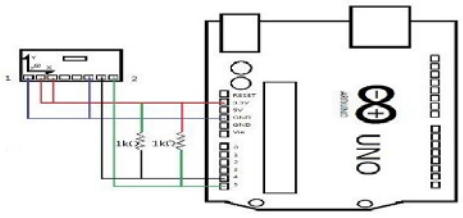


圖七 系統架構圖

1. 硬體部分

1-1 G-SENSOR 與主板連接圖

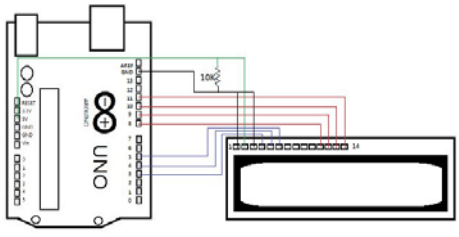
圖八為 ARDUINO 主控板與 G-SNSOR 的硬件連接圖，其中紅色線部分為 G-SNSOR 的電源線，由 ARDUINO 主控板提供 3.3V 的電力驅動 G-SNSOR，而綠色線與黑色線的部分為資料傳輸線，此種連接方是 I²C 連接法。[2]



圖八 G-SENSOR 與主板連接圖

1-2 LCD 與主板連接圖

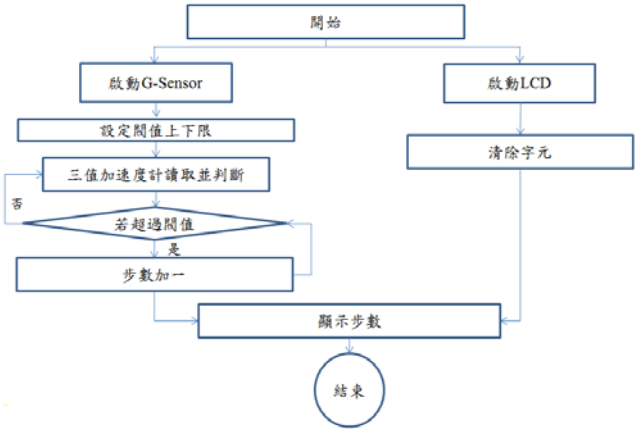
圖九為 ARDUINO 主控板與 LCD 的硬件連接圖，我們使用的 LCD 總共有 14 個腳位，由左至右依序排列，其中綠色線與黑色線為電源線與接地線，由 ARDUINO 主控板提供 5V 的電力驅動 LCD，而藍色線與紅色線為資料傳輸線。[2]



圖九 LCD 與主板連接圖

2. 軟體規劃

圖十為我們的軟體規劃流程圖，首先輸入電源起動 G-SENSOR 和 LCD，當 LCD 啟動後，LCD 會開始清除面板上字元，此時 G-SENSOR 開始設定上下閥值，之後 ADXL345 開始讀取步行時數據，將步行數據傳至 ARDUINO 主控板進行判讀是否超出上下閥值，如果有步數加一，如果沒有則視為雜訊濾掉，一直重複循環，ARDUINO 主控板判斷計算結果，將計算步數結果傳至 LCD 輸出步數。



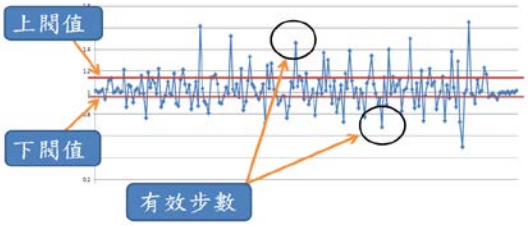
圖十 軟體規劃流程

3. 三軸加速度計 ADXL345 之 G 值

所謂的 G 值就是重力加速度值，而 1G 的力量相當於 9.8 牛頓的力量，而我們所使用的三軸加速度計 ADXL345 測量範圍為±16g。

4. 閥值

設定一個固定的閥值，每次計算得到一個高(低)點，就與閥值比較，超過閥值者，就辨認為有效的步伐；未超過者，視為雜訊過濾之。[5]



圖十一 閥值說明圖

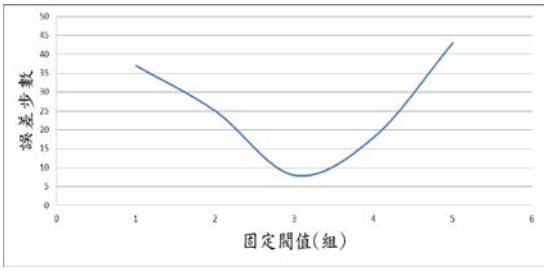
4-1 閥值調整

當我們在調整閥值時，分為 X 上閥值(下閥

值)，Z 軸上閥值(下閥值)，4 種閥值分別做為調整項目，經過調整後繪出一表格為圖十二，而圖十三為我們各組閥值之誤差曲線，由以下兩圖觀察後發現，第三組之閥值最為準確、誤差值最小，因此我們最終使用第三組閥值做為我們最後的設定。

	一	二	三	四	五
X上閥值	1.2	1.1	1.1	1.2	1.3
X下閥值	0.8	0.8	0.9	0.9	0.8
Z上閥值	0.1	0.05	0.05	0.1	0.05
Z下閥值	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.05
誤差步數	±37	±25	±9	±17	±44

圖十二 閥值調整數據



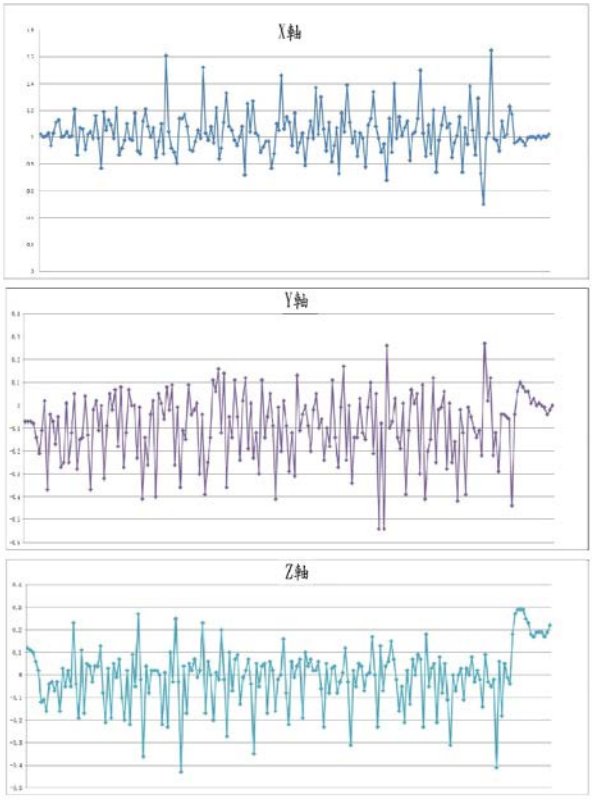
圖十三 閥值調整曲線圖

4-2 固定閥值設定步驟

首先我們將計步器配戴在腰部的位置，然後實際在走步機上步行 100 步，取得走路時 X、Y、Z 軸之波形，經由繪出波形尋找適當的上下閥值。而感應計算步數軸為 X 軸與 Z 軸，因為當人在行走時，上下震動的幅度較大，所繪出的波形也較為平穩；然而在步行時臀部也會左右晃動，此晃動軸為 Z 軸，所以也使用 Z 軸讀取，而 Y 軸為啟動時是否開始計步之訊號，因為 Y 軸為我們的行走時方向，所以我們已 Y 軸作為是否開始計步的依據。

4-3 三軸 100 步時 G 值

圖十四為我們實際步行 100 步時所量測出來的 X、Y、Z 軸 G 值波形圖，由此圖可得知，X 軸之數值為 1.6 到 0.3 之間，Y 軸之數值為 0.3 到 -0.6 之間，Z 軸之數值為 0.3 到-0.4 之間。



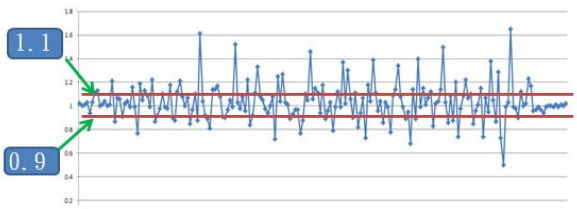
圖十四 三軸 100 步時 G 值

4-4 設定固定閥值

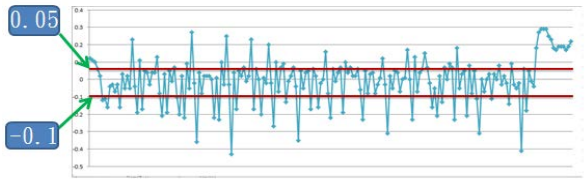
設定一個固定的閥值，每次計算得到一個高(低)點，就與閥值比較，超過閥值者，就辨認為有效的步伐，輸出步數加一；未超過者，則視為雜訊過濾之。

而我們最終所設定的 X 軸閥值高點為 1.1，低點為 0.9，如圖十五；Z 軸閥值高點為 0.05，低點為-0.1，如圖十六。

由於我們計步器配戴位置為腰部，當使用者在行走時，會有腳步交換時的上下震動與使用者走路時臀部的左右晃動，而上下晃動所偵測之軸為 X 軸，而左右晃動所偵測之軸為 Z 軸，因此我們以 X 軸與 Z 軸所偵測步數總和為我們最終計算步



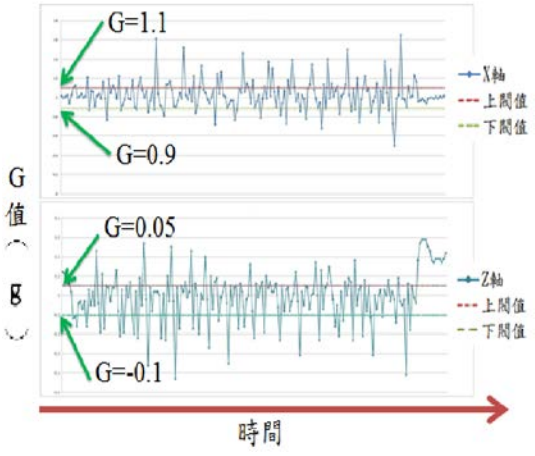
圖十五 X 軸上下閥值設定



圖十六 Z 軸上下閥值設定

4-5 閥值設定範圍(總步數為 94 步)

圖十七為我們經過調整後設定閥值的輸出波形，X 軸上閥值為 1.1，下閥值為 0.9，Z 軸上閥值為 0.05，下閥值為-0.1，輸出步數為 94 步，此組輸出步數相較於之前幾組輸出步數較為準確，因為我們縮小了閥值設定的範圍，所以所濾掉的波形皆為微小的信號，此信號可能為走路時微小的抖動，或是每個人走路的習慣不同所造成的雜訊，由於此計算步數與我們實際行走步數相近，因此使用此組數據做為固定的閥值。

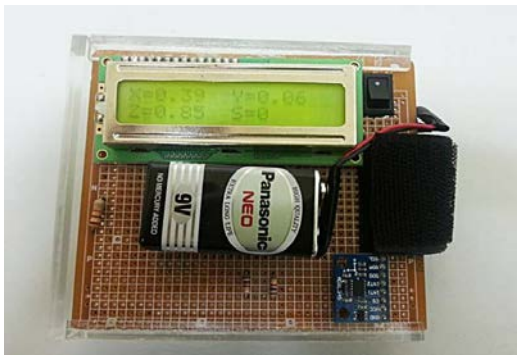


圖十七 閥值校正

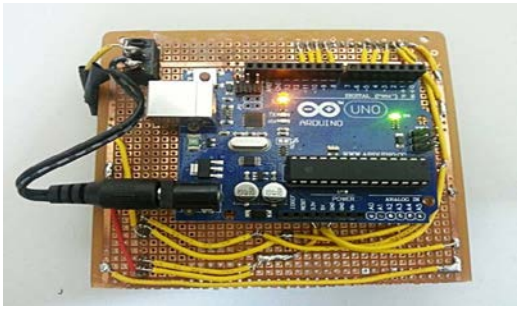
四、結果與討論

1.專題成品

下圖為本專題成品照片，其中在正面的 LCD 板上，左上角顯示為 X 軸之 G 值，右上角為 Y 軸之 G 值，左下角為 Z 軸之 G 值，右下角 S 為我們輸出總步數，而板子的背面為我們的 ARDUINO 主控板與我們的線路。



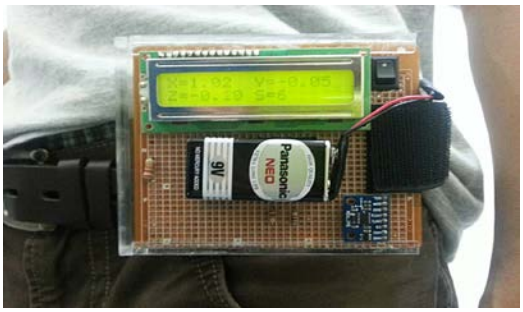
圖十八 成品正面



圖十九 成品背面

2. 實際配戴

圖二十為我們實際配戴照片，我們配戴的位置於我們的腰部，我們成品後面有一個夾子，可用於夾在皮帶或褲子上。



圖二十 實際配戴

3. 實驗數據(走路)

圖二十一為我們本次專題成品之實驗數據，分為市售商品組與我們專題成品組，測試成員為我們本次製作專題的三位，測試時同時配戴兩種記步器於腰部，每次於走步機上行走 100 步之後所測得數據，由數據我們發現，市售產品的誤差皆在 4 步以

內，而我們的專題成品誤差每個人皆有差異，有誤差範圍為 15 步的也有誤差範圍在 3 步以內的，其原因可能為我們只使用一組固定的閥值，而在行走時每個人走路習慣不同導致，最終判斷上的差異。

	鄭堃志		徐柏軒		吳俊霆	
廠牌 / 次數	實驗組	商品組 (OMRON)	實驗組	商品組 (OMRON)	實驗組	商品組 (OMRON)
1	126	103	98	96	116	89
2	102	100	96	106	118	104
3	74	105	112	110	110	102
4	76	102	96	103	100	99
5	90	103	106	110	110	100
6	86	100	92	98	108	112
7	86	100	94	100	123	112
8	96	99	88	98	112	111
9	94	100	110	102	100	102
10	110	100	96	101	118	100
平均值	84.6	101.2	98.8	102.4	111.2	103.1
誤差	±15.4	±1.2	±1.2	±2.4	±11.2	±3.1

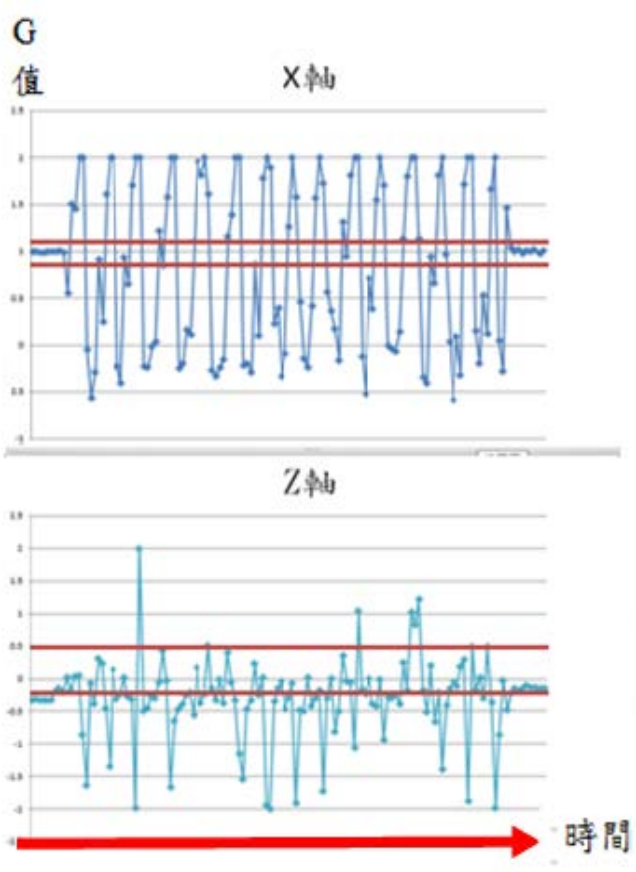
圖二十一 實驗數據(走路)

4. 實驗數據(跑步)

我們將本專題成品與歐姆龍計步器一起使用於慢跑上，我們一樣將計步配戴於腰部，每次慢跑 100 步之後所測得數據，由數據(圖二十二)我們發現本專題成品之準確度有了大大的提升，我們將慢跑 100 步時 G 值曲線截取出來後發現（圖二十三），當一個人在慢跑時身體的晃動較大，上下的晃動也較大，因此在閥值設定上下閥值後，所讀取到的有效步數也會比較精確，並不會因為一些小雜訊或是一些身體晃動不足而多算或少算步數。

	跑步 100 步	
廠牌 / 次數	實驗組	商品組 (OMRON)
1	100	92
2	104	86
3	104	110
4	88	98
5	92	90
6	90	102
7	96	100
8	108	90
9	90	100
10	110	100
平均值	98.2	96.8
誤差	± 2.4	± 3.2

圖二十二實驗數據（跑步）



圖二十三 跑步 G 值曲線

五. 結論

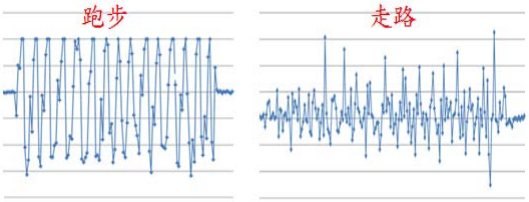
本專題所製作的計步器與歐姆龍比較後，精確度與後者略有差異，可能的原因為材料的優劣(加速度計的靈敏度)和分析數值的方法不同。

由於每個人的身形、走路的習慣姿勢、步輻不同以及配戴的狀況(配戴鬆緊度或位置)，都會影響加速度計數值。在計算步數時可能會將一些行走時

步伐較輕的信號視為雜訊濾掉，也有可能會將一些行走時身體上多餘的震動信號視為有效步數加上，因此一組固定的閥值無法配合每個人的動作，所以計算步數誤差也較大。

六. 未來展望

計步器不僅僅有計步的功能，若將加速度值加以判讀，將可進一步的做到其他功能。如利用加速度值波形的差異，來判斷使用者正在進行何項活動，進而瞭解是否有足夠的運動量或者過度的運動。



圖二十四 跑步與走路之波形

七、致謝

感謝指導老師吳瑋特老師與實驗室學長，給予我們在專題上的指導和實驗室設備的供應，並且利用許多課餘時間指導我們，使我們遇到困難時可以順利的解決問題。此外也要感謝實驗室的專題同學在這段時間的互相勉勵，以及在我們遇到問題時給予我們技術上的建議。

八、參考文獻

1. KONG Y. CHEN, KATHLEEN F. JANZ, WEIMO ZHU, and ROBERT J. BRYCHTA，Redefining the Roles of Sensors in ObjectivePhysical Activity Monitoring

2. 孫俊榮、吳明展、盧聰勇著，2012，Arduino 一試就上手第二版，碁峰有限公司，第 2-11-6-10 頁。

3. Michael Margolis 著，Arduino Cookbook 錦囊妙計，2012，美商歐萊里股份有限公司，第 528-592 頁。

4. 紀龍蟄，單慶曉，基於 FPGA 的中的 EMS 加速度傳感器接口設計。

5. 施建仲，2010，使用線性加速感測晶片的計步器，國立中央大學 資訊工程研究所，民國。

6. 謝進順，2007，可攜式長時間顫抖記錄與分析系統，國立成功大學 電機工程研究所，民國。

7. 鐘哲民，2008，加速度動做辨識系統之研究及應用，國立成功大學 工程科學研究所，民。

8. 伍星翰，2011，線性加速度感測器的研究與其應用，國立中央大學 資訊工程研究所。

9. 劉建賢，2011，使用加速度計和陀螺儀之跌倒偵測系統，大同大學 資訊工程研究所。

10. 鴻國勝、江國軍、龍國忠、洪月裡編著，2002，C++Builder6 程式設計，旗標出版社，P2-2-P5-23。

11. 林家德編著，2011，InnoBasic 單板電腦專題製作，台科大出版社， P129-202。

Use of three-axis acelerometer with Arduino UNO control panel as the main

Student: Wu Chun-Ting, Hsu Po-Hsuan

Cheng Kun-Chih

Teacher: Wu Wei- Te

Department of Biomechatronics Engineering

National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

The topic is the use of three-axis accelerometer (ADXL345) with Arduino UNO control panel as the main, to achieve the pedometer function, and further improve the accuracy.

The motivation of the topic to make their own understanding of the structure of the pedometer pedometer principle, circuit, programs, actions and is divided into three aspects to do research and to learn and record.

When the the triaxial accelerometer X-axis sensing to shake, using the Arduino development version, the program input, to retrieve the amount of change of the X-axis, and then filtered through a set threshold noise count steps, and finally by the LCD display shows the walk has reached the step count.

附錄一

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal.h>

#define Register_ID 0
#define Register_2D 0x2D
#define Register_X0 0x32
#define Register_X1 0x33
#define Register_Y0 0x34
#define Register_Y1 0x35
#define Register_Z0 0x36
#define Register_Z1 0x37

LiquidCrystal lcd(3, 4, 5, 8, 9, 10, 11);

int ADXAddress = 0xA7>>1;
int reading = 0;
int val = 0;
int i=0;
int j=0;
int io=0;
int X0,X1,X_out;
int Y0,Y1,Y_out;
int Z1,Z0,Z_out;
double Xg,Yg,Zg;

void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  delay(100);
  Wire.begin();
  Serial.begin(19200);
```

```
  delay(100);
  Wire.beginTransmission(ADXAddress);
  Wire.send(Register_2D);
  Wire.send(8);
 Wire.endTransmission();
}
void loop()
{
  Wire.beginTransmission(ADXAddress);
  Wire.send(Register_X0);
  Wire.send(Register_X1);
  Wire.endTransmission();
  Wire.requestFrom(ADXAddress,2);
  if(Wire.available()<=2);
  {
    X0 = Wire.receive();
    X1 = Wire.receive();
    X1 = X1<<8;
    X_out = X0+X1;
  }
Wire.beginTransmission(ADXAddress);
  Wire.send(Register_Y0);
  Wire.send(Register_Y1);
  Wire.endTransmission();
  Wire.requestFrom(ADXAddress,2);
  if(Wire.available()<=2);
  {
    Y0 = Wire.receive();
    Y1 = Wire.receive();
    Y1 = Y1<<8;
    Y_out = Y0+Y1;
  }

  Wire.beginTransmission(ADXAddress);
  Wire.send(Register_Z0);
  Wire.send(Register_Z1);
  Wire.endTransmission();
  Wire.requestFrom(ADXAddress,2);
  if(Wire.available()<=2);
  {
    Z0 = Wire.receive();
    Z1 = Wire.receive();
    Z1 = Z1<<8;
    Z_out = Z0+Z1;
  }
if(Y_out/256.00<-0.15){
    j++;
  }
  if(j>6){
      if(X_out/256.00>1.1){
        i++;
        if(X_out/256.00<0.9){
          i++;
        }
      }
  }
      if(Z_out/256.00>-0.05){
              if(Z_out/256.00<-0.1){
              i++;
        }
      }
Serial.print("#S|LOGTEST|[");
  Xg = X_out/256.00;
  Yg = Y_out/256.00;
  Zg = Z_out/256.00;
  io = i*2;
  lcd.clear();
  lcd.print("X=");
  lcd.print(Xg);
  lcd.setCursor(8, 0);
  lcd.print("Y=");
  lcd.print(Yg);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Z=");
  lcd.print(Zg);
  lcd.setCursor(8, 1);
```

```
    lcd.print("S=");
    lcd.print(io);
    Serial.print("X= ");
    Serial.print(Xg);
    Serial.print(" ");
    Serial.print("Y= ");
    Serial.print(Yg);
    Serial.print(" ");
    Serial.print("Z= ");
    Serial.print(Zg);
    delay(300);
    Serial.println("]#");
}
```

探討四軸飛行器

學生姓名：程立全、陳裕峰、蔡明凱
指導教授 ： 吳瑋特 教授

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本專題目的是探討自製四軸飛行器，使其在空中盤旋，並搭載行車紀錄器，紀錄我們所需要觀察的事物。

本專題的動機是使自己能更加的整合平日所學的專業知識，因此分成機構、動作、程式三大部分來研究，進行記錄與研究。

利用遙控器控制四軸飛行器的轉向及油門，讓四軸飛行器能依照我們的想法動作，並且在機體下方裝設行車紀錄器，拍攝我們所要拍攝的目標物

一、研究背景與動機

21 世紀初，無人載具的應用已正式進入我們的社會中，而他所被賦予的工作以及重要性不可同日而語，受電影三個傻瓜的影響，四軸飛行器熱門了起來，因為其飛行穩定性高、製作較簡單並且操控容易。

然而在國內，自行研發的四軸飛行器並不常見，而且文獻不多，對於機體的規劃、組裝和材料上的選購對我們來說富有挑戰性。

二、研究目的與方法

由於近來自然災害頻繁，有許多地區道路坍塌或過於危險，所以可以利用四軸飛行器來做環境監測、災害勘探等，並且將飛行範圍內的訊息與影像快速傳回至控制中心，確保第一時間掌握最新動態。

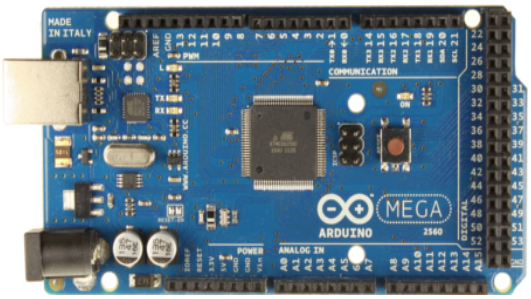
而我們利用課堂上所學的專業技術，將程式、設計、電路規劃、感測器以及機電整合，將所有技術與專題融入，並且實際動手去做出一項成品。

三、材料與設備

1.CO_2雷射雕刻機
廠牌 ： LASER PRO
型號 ： LASER ENGRAVING MACHINE MERCURY III

圖一 CO_2雷射雕刻機

2.Arduino 2560(主控板)
廠牌 ： Arduino
型號 ： 2560
以 ATmega2560 為 核心的微控制器開發板，本身具有 54 組數位 I/O input/output 端（其中 14 組可做 PWM 輸出），供電部份可選擇由 USB 直接提供電源， 或者使用 AC-to-DC adapter 及電池作為外部供電。



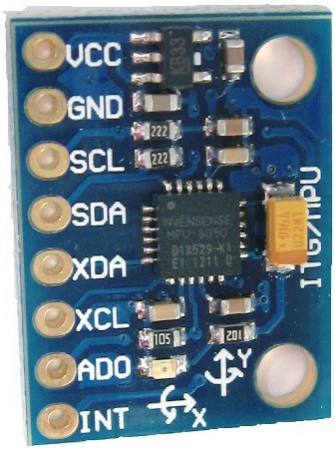
圖二 Arduino 2560

3.MPU-6050

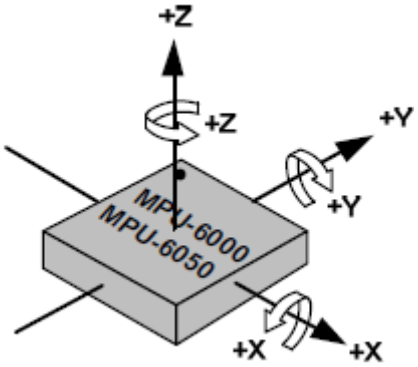
廠牌 ： InvenSense

型號 ： MPU-6050

MPU-6000 整合了 3 軸陀螺儀、3 軸加速器，為 IIC 通信協議。



圖三 MPU-6050



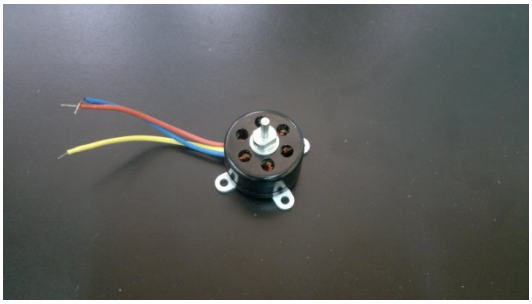
圖四 MPU-6050 軸向運動

4.無刷馬達

廠牌:Tower Pro

型號:920KV

使用 11.1V，電流: 16.9A，轉速 7130 轉，拉力 955 克。



圖五 無刷馬達

5.電變

廠牌:Tower Pro

型號:18A

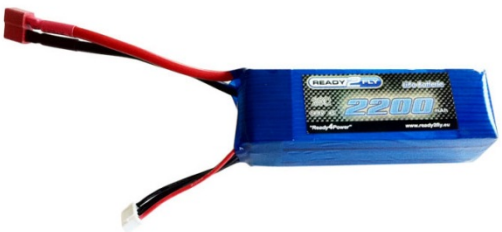
輸出能力：持續電流 18A，短時電流 22A，BEC 輸出：2A 線性穩壓。

圖六 電變

6.電池

廠牌:Ready2fly

型號: 11.1V 2200mah 25C

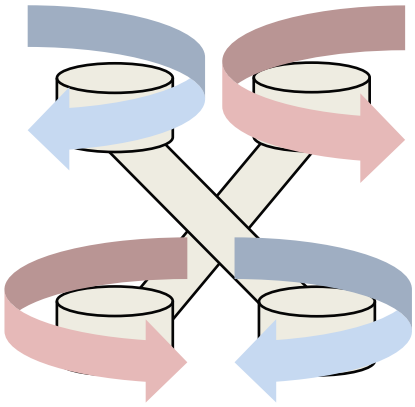


圖七 11.1V 2200mah 25C

四、研究方法與目的

4.1 四軸飛行器基本概略:

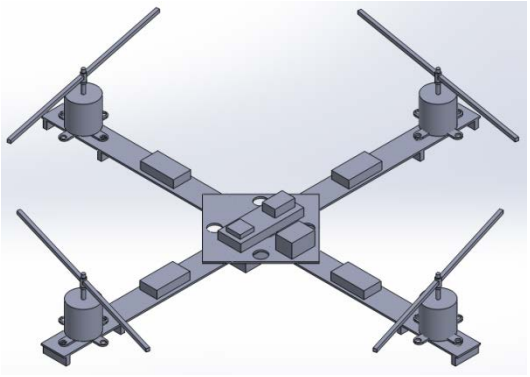
四軸飛行器，利用無刷馬達的正逆轉，加上多軸飛行器專用的正逆槳，達到整體平衡，如圖八，將風往機體下送，讓整體可以浮空，達到飛行的效果。



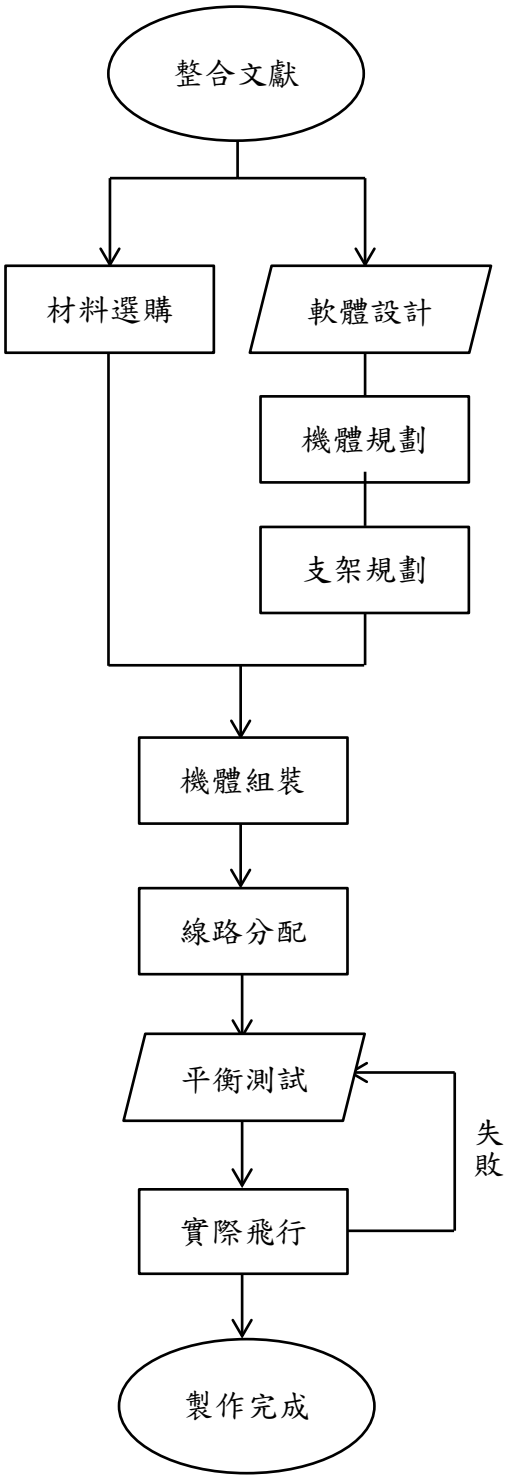
圖八 四軸飛行模式

4.2 機體設置:

參考相關文獻以及網路資料，整合出適合的機體尺寸，並利用繪圖軟體 Solid works 繪製出大致機體，如圖九，經過多次細部修改後，挑選適合的機體材質，材質選定為鋁合金(7075)，並初步估算機體整體重量，用來當作選購無刷馬達的相關資料，最後將所有零件組裝，完成最終機體。如圖十



圖九 軟體模擬圖

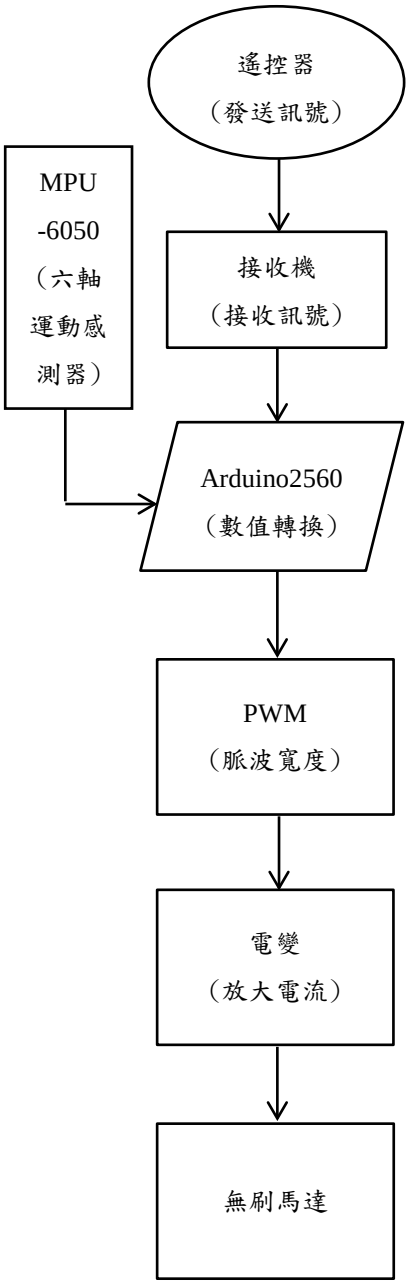


圖十 飛行器製作流程圖

4.3 程式設計:

4.3-1 程式整體流程:

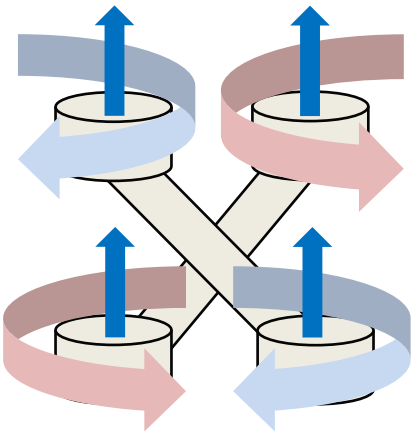
遙控器搖桿移動，訊號經由 2.4GHz 的傳輸速率，將訊號傳輸給飛行器上的接收機，當接收機接到遙控器訊號，將訊號傳輸給飛行器主控板-Arduino2560，經由一連串的數值轉換、類比轉數位及比例-積分-微分控制器轉換計算，最後經由主控板上的四個 PWM 輸出口，將最適合的脈波寬度值，傳送給四軸無刷馬達的電變，經由電變，將電流放大，馬達轉速開始隨著訊號改變而改變，進而達到我們所需的轉速。如圖十一。



圖十一 程式流程圖

4.3-2 油門通道程式設計:

油門，在四軸飛行器上是使用來提供或降低馬達轉速，藉此達成使用者所需的飛行速度或其他特技所需。四軸無刷馬達的作動為兩對無刷馬達轉向相反，可以平衡其對機身的反扭矩，當同時增加四個無刷馬達的輸出功率，馬達轉速增加使得總的拉力增大，當總拉力足以克服整機的重量時，四軸飛行器便離地垂直上升；反之，同時減小四個無刷馬達的輸出功率，四軸飛行器則垂直下降，直至平衡落地，作動效果如圖十二。



圖十二 油門上升

程式編寫為利用 Arduino2560 專用的程式編寫器，使用類比腳位連接至接收器，A8 接至接收器的油門通道，使用程式讀取接收器數值，並將此數值經過數值轉換，輸出給 PWM 輸出口。

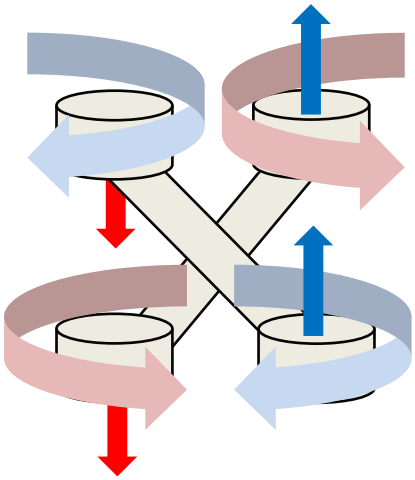
當輸入腳位 A8 接收到訊號時，將訊號經由轉譯程式，CheckTransmitter，讀取 A8 腳位傳送進來的脈波值，讀取在 200000 以內的數值，並將讀取的數值除以 10，以利等一下配合 PWM 的輸出，轉譯完畢後，開始執行迴路，無刷馬達的轉速將隨著油門搖桿的高低來改變。如圖十三。

```
void setup(){
  pinMode(A8,INPUT);//輸入腳位設置
  pinMode(A9,INPUT);
  pinMode(A10,INPUT);
  pinMode(A11,INPUT);
  pinMode(2,OUTPUT);//輸出PWM腳位設置
  pinMode(3,OUTPUT);
  pinMode(5,OUTPUT);
  pinMode(6,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);//資料傳輸速率
}
void CheckTransmitter(){//轉換訊號程式
TransmitterThrottle = (pulseIn (A8, HIGH, 200000))/10;
TransmitterRudder = (pulseIn (A9, HIGH, 200000))/10;
TransmitterUpPitch = (pulseIn (A10, HIGH, 200000))/10;
}
void loop(){
  CheckTransmitter();//油門執行程式
  analogWrite(2,TransmitterThrottle);
  analogWrite(3,TransmitterThrottle);
  analogWrite(5,TransmitterThrottle);
  analogWrite(6,TransmitterThrottle);
}
```

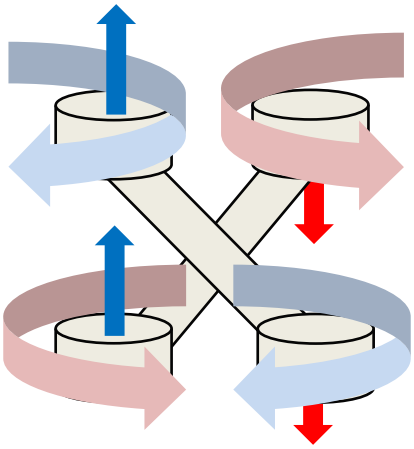
圖十三 油門程式

4.3-3 方向舵通道程式設計:

方向舵，在四軸飛行器上是使用來達到偏航效果，也就是轉向。四軸無刷馬達作動為，某一對的馬達轉速上升，另一對馬達的轉速下降，達成四軸飛行器左右轉，作動效果如圖十四及圖十五。



圖十四 四軸飛行器左彎



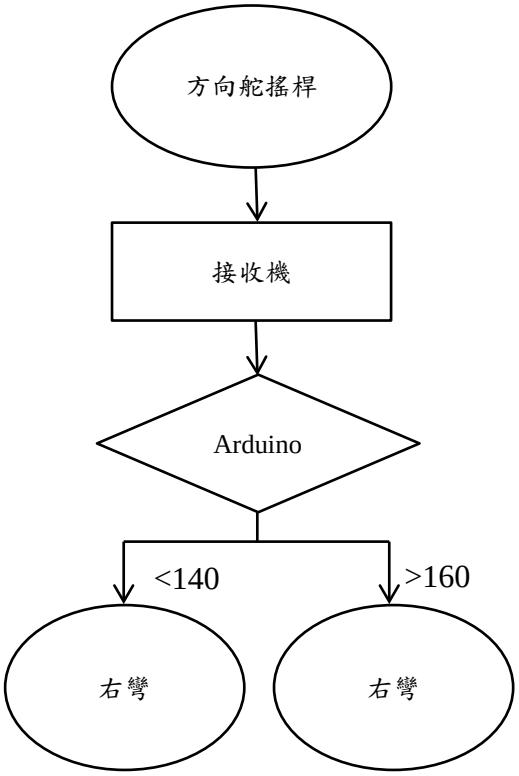
圖十五 四軸飛行器右彎

程式編寫為利用 Arduino2560 專用的程式編寫器，使用類比腳位連接至接收器，A9 接至接收器的方向舵通道，使用程式讀取接收器數值，並將此數值經過數值轉換，輸出給 PWM 輸出口。

當輸入腳位 A9 接收到方向舵訊號時，將訊號經由轉譯程式，CheckTransmitter，讀取 A9 腳位傳送進來的脈波值，讀取在 200000 以內的數值，並將讀取的數值除以 10，並判定此數值是大於 160 還是小於 140，以利等一下配合 PWM 的輸出，判定完畢後，開始執行迴路，，並將判定結果數值帶入分別的程式迴路，四軸飛行器將隨著方向舵搖桿的左右來進行左彎或右彎。如圖十六及十七。

```
void loop(){
  CheckTransmitter();//油門執行程式
  analogWrite(2,TransmitterThrottle);
  analogWrite(3,TransmitterThrottle);
  analogWrite(5,TransmitterThrottle);
  analogWrite(6,TransmitterThrottle);
  if(TransmittertRudder>160){//右彎
    analogWrite(2,TransmitterThrottle);
    analogWrite(3,TransmitterRudder);
    analogWrite(5,TransmitterThrottle);
    analogWrite(6,TransmitterRudder);
  }
  if(TransmitterRightRudder<140){//左彎
    analogWrite(2,TransmitterThrottle);
    analogWrite(3,TransmitterRudder);
    analogWrite(5,TransmitterThrottle);
    analogWrite(6,TransmitterRudder);
  }
```

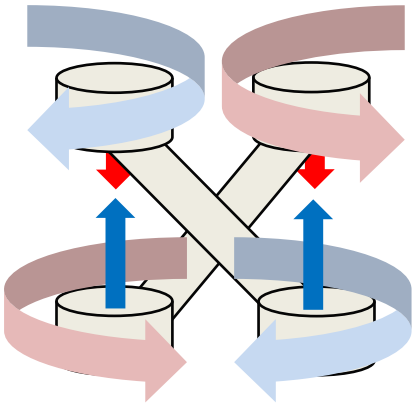
圖十六 轉向程式



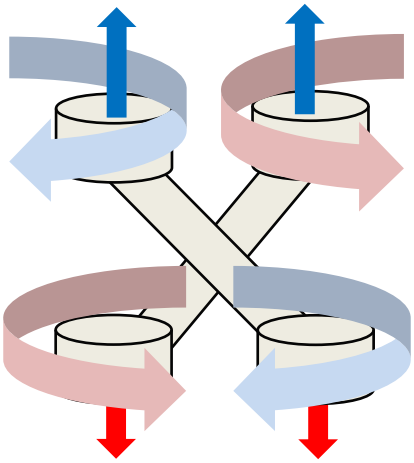
圖十七 轉向流程圖

4.3-4 升降舵通道程式設計:

升降舵，在四軸飛行器上是使用來達到前進及後退效果。四軸無刷馬達作動，前進時，前面兩顆馬達，降低轉速，後面兩顆馬達提速，如圖五，反之，後退時，前面兩顆馬達提速，後面兩顆馬達減速，如圖十八及十九，注意，提速的值要等於減速的值，不然會導致四軸飛行器翻轉，造成失控。



圖十八 四軸飛行器前進

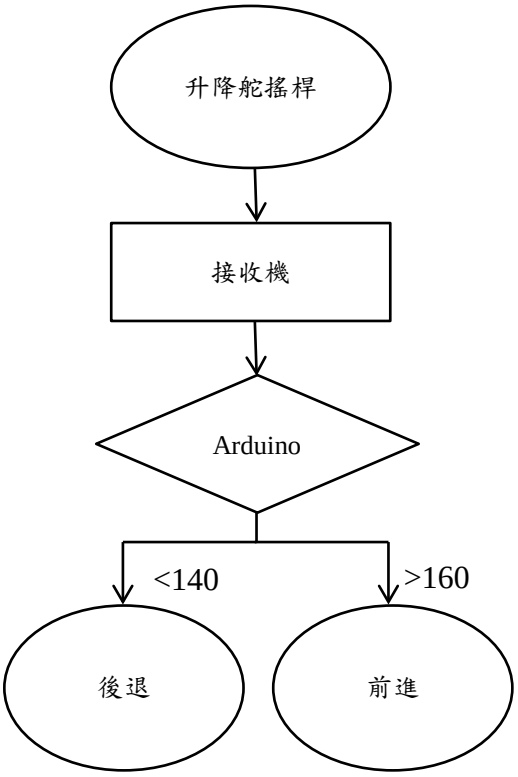


圖十九 四軸飛行器後退

當輸入腳位 A10 接收到升降舵訊號時，將訊號經由轉譯程式，CheckTransmitter，讀取 A10 腳位傳送進來的脈波值，讀取在 200000 以內的數值，並將讀取的數值除以 10，並判定此數值是大於 160 還是小於 140，以利等一下配合 PWM 的輸出，判定完畢後，開始執行迴路，，並將判定結果數值帶入分別的程式迴路，四軸飛行器將隨著升降舵搖桿的高低來進行前進或後退。如圖二十及二十一。

```
if(TransmitterPitch>160){//前進
  analogWrite(2,TransmitterThrottle);
  analogWrite(3,TransmitterThrottle);
  analogWrite(5,TransmitterPitch);
  analogWrite(6,TransmitterPitch);
}
if(TransmitterPitch<140){//後退
  analogWrite(2,TransmitterThrottle);
  analogWrite(3,TransmitterThrottle);
  analogWrite(5,TransmitterPitch);
  analogWrite(6,TransmitterPitch);
}
```

圖二十 前進程式



圖二十一 前進程式

4.4 平衡:

人類能夠平穩走路及鳥類能夠平穩飛行，皆是因為有發達的小腦，小腦又稱平衡中樞，協調整體的肌肉活動，以維持整體姿勢及平衡。然而，我們所製作的四軸飛行器，是利用感測元件，加速度計及陀螺儀，來取代小腦，控制整個機身的平衡，達到穩定飛行。

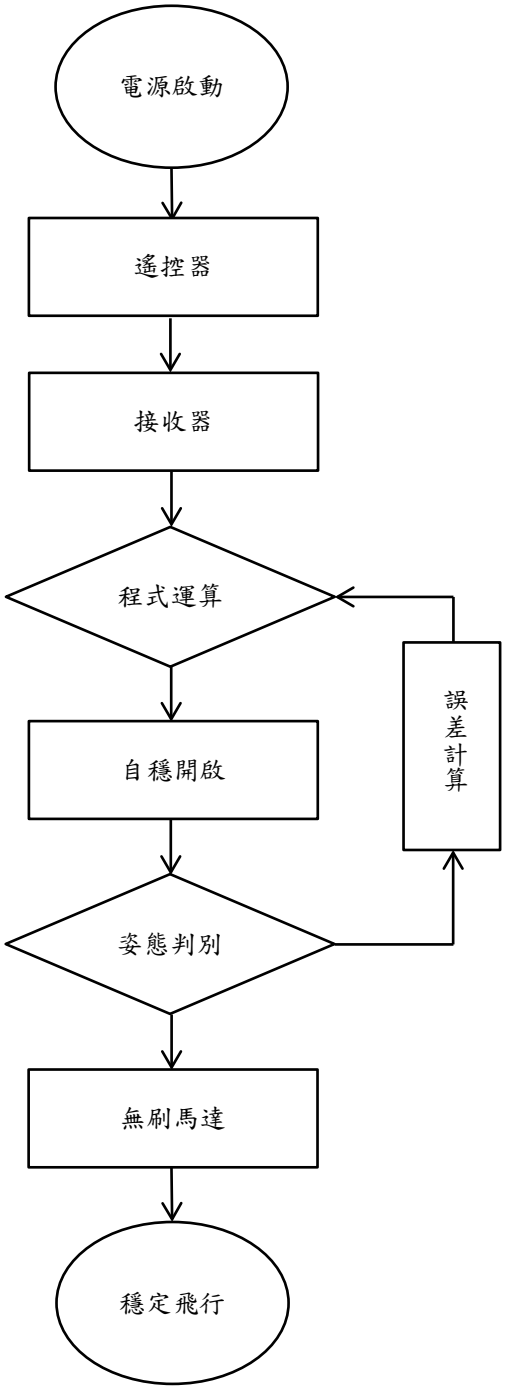
平衡分成兩大類:

(1) 靜態平衡:

所謂的靜態平衡，也就是找出機體的重心，將機體懸空，觀看機體是否朝向某個特定的方向傾斜，如果有的話，在對角加上一配重，反覆測試，直到機體達到平衡，無傾斜。

(2) 動態平衡:

我們使用 MPU6050，六軸運動感測器，其將加速度計與陀螺儀整合成一體，體積小，所占空間不大，使用上更為方便。藉由 MPU6050 來感測機身的平衡，測量姿態是否有傾斜，如果傾斜，透過所測得之數值，帶入比例-積分-微分控制器，進行誤差的計算，將所得數值加至其餘無刷馬達訊號上，透過其餘的無刷馬達控制轉速，來達成整體的平衡，如圖二十二。



圖二十二 動態平衡流程圖

4.5 平衡測試:

4.5-1 比例-積分-微分控制器(PID)

P 比例控制特性

其控制器的輸出與輸入誤差訊號成比例關係。當僅有比例控制時系統輸出存在穩態誤差。

I 積分控制特性

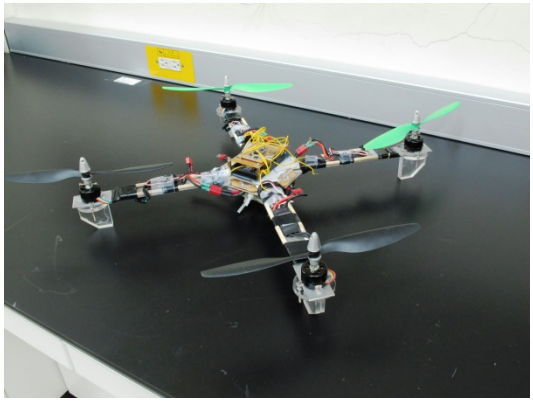
目的在於消除穩態誤差。

D 微分控制特性

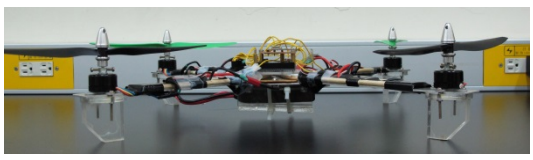
能夠提前使克服誤差的控制作用等於零，甚至為負值，從而避免嚴重傾斜。

4.6 實體圖:

圖十五 俯視圖



圖十五 側視圖



圖十五 前視圖

五、 問題與討論

5.1 四軸無刷馬達與槳的配置:

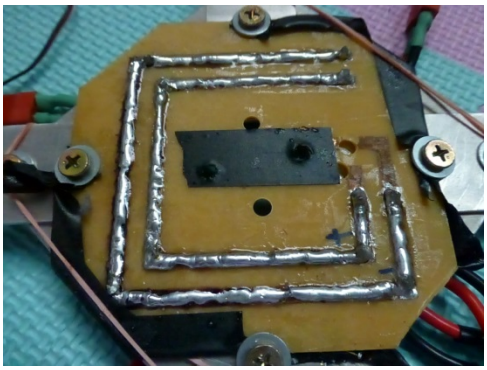
當馬達轉速提升至最高，卻不能順利升空，反而穩穩貼地?

因為考慮到馬達的正逆轉，並且配合適當的正逆槳，也就是，逆轉馬達配合逆槳，正轉馬達配合正槳，這樣才會順利地讓四軸飛行器升空。

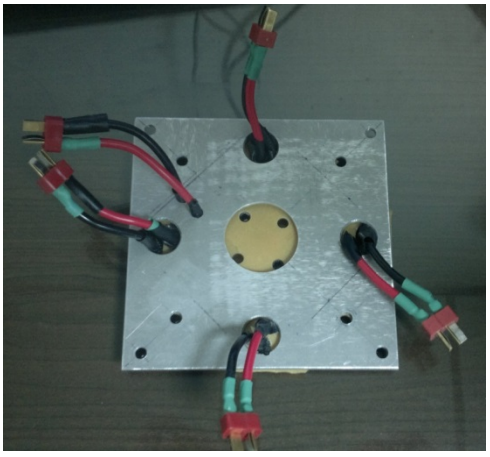
5.2 電源分配板:

要如何讓只有一個接口的電池，同時連接四個電變?

利用電路板，使用油性奇異筆在上面畫出我們所需要的線路，並利用氯化鐵溶劑將其餘的銅線蝕刻掉，蝕刻完畢後使用鑽台，在上面鑽出 5 對 3mm 的孔，銲接上公母接頭，如此一來就可以同時將電源分配給四個電變，如圖十四及圖十五。



圖十四 電源分配板上視圖

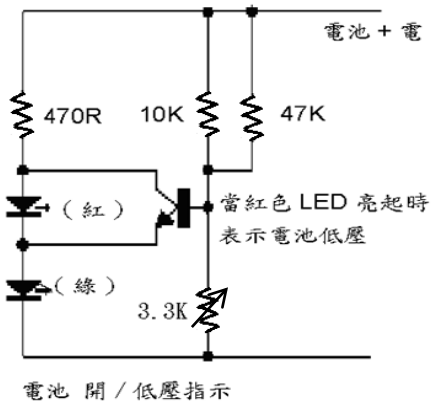


圖十五 電源分配板下視圖

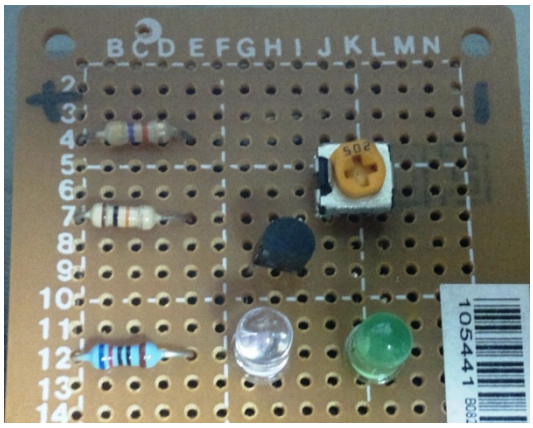
5.3 電池過放:

電池過度放電，導致電池本體膨脹，最終電池損壞，該如何預防?

由於此飛控板不是一般市面上所販賣的成品，沒有機制可以來預防電池過度放電，如果電池過度放電，會導致電池損壞，因此我們利用一個簡單的電路，並加上 LED 燈，如圖十六及圖十七，來提示我們此時電池的電壓值已經過低，該進行充電。



圖十六 電池過放電路設計圖



圖十七 電池過放保護裝置

5.4 四軸飛行器整體平衡:

由於電池擺放位置，不在正中間，導致機身整體傾斜，所以在試飛時連連摔機，該如何決?

將電池擺放的位置再從新設置過，盡量讓他保持在正中間，之後再進行低空測試，看整體偏向哪邊，在另一邊加上適量的配重，來達成機身整體平衡。

六、結論

本專題結束後，我們有以下結論:

1. 機體不可選用太軟的材質，以免無刷馬達再拉升整體時，只有四軸彎曲，這樣會造成六軸運動感測器(MPU-6050)的誤判，使得馬達亂提速，最終導致無法起飛。
2. 在調整比例-積分-微分控制器(PID)參數時，可以降低比例參數(P)，提升積分參數(I)，降低微分參數(D)，達到穩定飛行目的。

七、致謝

首先誠摯感謝指導老師吳瑋特老師及實驗室裡的學長們，給予我們在專題上適時的指導和機台上的供應，並且利用許多課餘時間指導我們，使我們遇到困難時可以順利的解決問題。

八、參考文獻

[1] 孫駿榮、吳明展、盧聰勇編著 2010.Arduino 一試就上手 碁峯出版

[2] HawkEye 航模 http://blog.sina.com.cn/s/articlelist_2164576720_0_1.html

[3] 模型論壇 http://bbs.mx3g.com/thread-173728-1-1.html

[4] 維基百科-PID https://zh.wikipedia.org/wiki/PID%E6%8E%A7%E5%88%B6%E5%99%A8

[5] MWC 飛控說明書 http://www.xplong.com/mwc/

[6] Arduino 極客工坊

http://www.geek-workshop.com/forum.ph
p
[7] 四軸飛行器
http://zhan.renren.com/quadcopter?
tagId=851045&from=template&checked
=true
[8] 5iMX 我愛模型論壇
bbs.5imx.com/bbs/forum.php

多視角水果影像拍攝分級單元的開發

學生姓名：陳俊豪、陳弘聶
指導老師：謝清祿 副教授

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

由於目前果農大多都以自身經驗及單純靠感覺分出水果的品質，故對此一現象找出能夠改善的辦法。傳統的蓮霧品質分級不外乎是靠大小與色澤來判定，故本研究針對傳統蓮霧的分級方式撰寫程式，藉由自製一個側面裝上傾斜 45 度鏡的硬體框架,拍攝標準方格影像，進行影像校正分析，訂出所需之 ROI 與側面鏡像的放大倍率，接著拍攝蓮霧影像，利用標準方格影像所得之校正係數，對蓮霧影像取其正視與鏡面側視之影像，進行影像特徵分析，計算出蓮霧的面積、RGB 與 HSV 平均值，利用上述之三項特徵值訂定出一套水果分級的制度，使分級制度能夠以科學方法代替人為判定水果的品質。利用標準方格影像取出所需之 ROI 與放大倍率，側面鏡像經放大後，間格距離平均值落於 35.875~37 之間，最大誤差位在縱向第三格，約為 0.75pixel，誤差比例約為 1.03%。由實驗數據顯示，樣本面積相差最大為 16.1cm^2；H 值相差最大為 22.9。依分級結果探討分級的正確率，分為特優樣本的正確率為 87.5%；分為中等樣本的正確率為 66.7%；分為不良樣本的正確率為 83.4%。本研究可提供果農對於水果品質分級的數位化，藉由多視角拍攝的方式提升分級的正確性，增加水果的價值與其在市場的競爭力。

關鍵詞：多視角、蓮霧、影像處理、分級。

一、前言

台灣享有水果王國的美譽，一年四季生產不同種類的水果供應國內市場，因為品質優良，也受外銷市場的喜愛。近年來台灣生產的水果逐年增加，品質也日漸提升。農民為了市場需求，將生產的水果依品質做分級處理，例如大小、顏色、重量等。但是以目前分級的標準，大多都以個人所感受的重量及肉眼所視的外觀條件為區別，如此一來，分級的不準確容易造成水果品質不一，影響水果的市場價格。

消費者在購買水果的同時，除了考量水果的大小與色澤之外，還會注意水果的外觀是否有撞傷或是腐爛的情形，因此建立了一套多視角的水果品質分級模式，以作為水果品質分級的依據，同時可增加農民的收益，提高水果的價值與其在市場的競爭力，滿足消費者的需求。

屏東地區生產的蓮霧品種[2]分為目前栽培最多的粉紅色種蓮霧(俗稱南洋種蓮霧)、大果種蓮霧(俗稱黑珍珠蓮霧)、泰國種蓮霧(俗稱子彈蓮霧)三種，其中大果種由粉紅色種芽條變異而來。

陳(1995)使用 LabVIEW 圖控程式撰寫程式，並結合 Vision Assistant 軟體及 MATLAB 軟體，建立一套可以於線上擷取水果影像作線上水果外部品質分析之系統，以影像紅色面積、錐形體積($\frac{\pi \times r^2 \times h}{3}$)、顏色協調度($\frac{\overline{R}}{\overline{R+G+B}}$)、蓮霧高度、蓮霧底部寬度及影像中蓮

霧紅色灰階平均值($\overline{R}$)、綠色灰階平均值($\overline{G}$)、藍色灰階平均值($\overline{B}$)，來進行蓮霧外部品質檢測和分析，正確率可達 98%。[10]

王等(2010)建立一個 OpenCV 環境，對視頻影像進行採集並使用擷取 ROI、邊緣檢測與角點提取等技術進行影像的處理。[3]

張和陳(1993)利用二值化影像，分析大小、顏色以作為分級的標準。其中大小是以檸檬投影面積數目的多寡做為分級標準；顏色則以檸檬投影面積數目的平均灰度值(MGV)為準。經大小的選別後，正確率達 93.3%。經顏色的選別後，正確率達 93.3%。同時使用兩個因素後，正確率可達 91.1%。[8]

柯等(1999)利用影像處理技術測試採收後荔枝的隨放置時間造成品質降低與荔枝表皮顏色的關係，利用 RGB 與 HSV 平均灰度值、面積、周長、重量及重量損失率等數據做為判斷的準則。[5]

楊和李(1994)使用三種顏色系統設計番茄顏色分級模式，分別為 RGB 值中 G 值的 G 模式、HSV 值中 H 值 H 模式及 YiQ 值中 Q 值 Q 模式，分別做為分級的標準，以求得最高的準確率，其中 H 模式的準確率高達 95.3%最為精準，而 G 模式與 Q 模式準確率分別為 93.9%及 88.9%。[9]

徐(2007)建立一個良好的取像環境，並利用數位式彩色攝影機、光電開關、高頻電子式日光燈等影像擷取裝置，對檬果做非破壞性外部品質檢測，藉由檬果的外部影像，得到顏色(HSV)、瑕疵、投射面積、長寬比及體積等特徵值進行分析。[7]

李(1996)使用近紅外線、影像處理及機電整合等技術，進行水果的檢測、貼標籤與自動化分級，但是僅限於果皮厚度在 0.3cm 以下的水果。其中水果的分級標準主要是以大小及顏色，各分為三級，總共有九個等級以供選用。[4]

洪等(1992)介紹影像盒(Image)在 BCB 中的使用方法，Image 元件可用來展示 Bitbmps(*.bmp)、Icons(*.ico)、Enhanced Metafiles(*.emf)、Metafiles(*.wmf)及 JEPG(*.jpg 或*.jepg)等影像。[6]

Pan and Shü(2006)利用溫度不變、緩慢增加、快速增加、忽高忽低等不同的溫度改變方式，測試蓮霧在生長過程中果盤的色澤是否會受到影響。[12]

Rajkumar 等(2012)利用高光譜成像技術在可見光和近紅外區(400-1100nm)測試在 20、25 與 30℃，水分含量、硬度、可溶性固性物的頻譜數據。[13]

Chang 等(2003)藉由控制蔗糖、葉綠素、花青素與可溶性固形物濃度含量的多寡，來測試蓮霧果實的生長是否會受到上述條件的影響。[15]

Fernando 等(2010)採用主成分(PCA)分析，擷取參考矩陣，透過使用色差與紋理特徵分析，檢測四種品種、120 顆柑橘的外部缺陷，其成功率達 94.2%，但僅適用於柑橘類的檢驗。[11]

Xu and Zhao(2010)利用圖像處理將草莓進行自動分級系統，分為機械部分(運送草莓)、圖像部分(擷取圖像)及控制部分(連接電腦以控制機械)，並採用封閉光源空間，使草莓圖像不受外界因素干擾，為了提高分級準度，使用 a* channel 排序草莓的顏色特徵，尺寸則是計算出最大直徑。結果顯示，草莓尺寸檢測誤差不超過 5%，顏色分級準確度為 88.8%，形狀分類準確性為 90%以上，且一顆草莓的平均分級時間低於 3 秒。[14]

本研究利用非破壞性檢測技術進行水果外部品質的檢測，使用影像處理技術擷取水果外部影像進行特徵值分析，如面積、RGB 值與 HSV 值。由於不同顆水果其品質判斷可能會有所差別，於是必須先使用標準方格校正影像數據，即可得到客觀的結果。本研究目的如下：

1.透過自製一個加上鏡子的硬體框架，以多視角的方式拍攝影像，希望能夠看到拍攝物的多面向。

2.利用影像處理技術，取出校正影像之 ROI 與放大倍率，將數據套用至分級程式，對蓮霧影像進行特徵值的分析。

3.將分析後影像的特徵值，包含面積、RGB 值與 HSV 值，制定出分級標準，並顯示結果，未來可提供農民更準確地區分蓮霧品質。

二、 研究設備與方法

2.1 實驗設備

本研究利用鋁擠型組合成一個長方體框架，並在側邊加上兩片導軌(如圖 1)及角度調整螺絲，使鏡子與水平面成 45 度角，為了讓視訊鏡頭能在拍攝影像時取得目標物正面及側面的影像。拍攝過程中，框架內部必須鋪上黑色絨布以吸收鹵素燈(如圖 2)的光源過於反射且黑色絨布也有益於減少擷取目標物影像的外部干擾。利用 MATLAB(R2011b)計算出標準方格(如圖 3)之 ROI 與側面鏡面的放大比例，再使用 Borland C++ Builder 6.0 結合 OpenCV 影像處理技術撰寫一個程式[1]，對拍攝的影像作影像處理分析，擷取其特徵值，進而將目標物分級並顯示。

2.1.1 硬體部分

鋁擠型

(2cm×2cm×34.2cm) ×8 根

(2cm×2cm×10cm) ×5 根

導軌

長 10cm、寬 20cm、軌道長 7.4cm、軌道寬 0.4cm、圓孔直徑 0.4cm，如圖 1。

圖 1、導軌 Solidwork 示意圖

黑色絨布

78cm×78cm

鏡子

14cm×10cm

鹵素燈

110V，如圖 2。

圖 2、鹵素燈

視訊鏡頭

Logitech Webcam C120

標準方格

8cm×8cm×8cm，如圖 3。

圖 3、標準方格

2.1.2 軟體部分

視訊鏡頭軟體 Logitech Webcam Software v1.1

2.2 框架架構

如圖 4 與圖 5 為使用 Solidwork(2012)繪製之框架架構示意圖。

圖 4、框架架構 Solidwork 示意圖

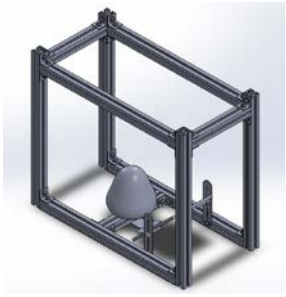


圖 5、加上蓮霧的框架架構 Solidwork 示意圖

2.3 框架設計說明

本研究之框架利用 2cm×2cm 的鋁擠型條組合成一個長方體。在框架底部中心處鎖上螺絲作為目標物的中心點。利用鐵絲在中心處正上方的位置架設視訊鏡頭進行目標物拍攝且打上適當光源。並於中心處右側 5cm 處放置鏡子，利用導軌將鏡子固定於與框架成 45 度角，以取得目標物的側面影像。將整個框架內部以黑色絨布覆蓋，為了在進行影像處理時不被其他因素干擾，能夠更準確地擷取影像特徵值。

2.4 實驗材料

實驗樣本(如圖 6)為屏東縣產之粉紅色種蓮霧，實驗用蓮霧在購買時農民已依品質分為三種價格，分別為 3 斤 100 元、1 斤 50 元、1 斤 80 元。在三種價格中任意取樣 6、6、8 顆蓮霧，共計 20 顆，並將其編號以供便識別及統計數據。

圖 6、實驗樣本

2.5 蓮霧面積計算方式

以一張黑底白橢圓的圖為例(如圖 7)，將影像二值化後，整張影像會剩下黑白兩種顏色，所求面積是白色部分 pixel 的總和。假設圖片大小是 A×B(高×寬)，把整張圖片看成一個陣列，假設是 P[A , B]，運用 RGB 值中的 B 值來分出黑色(B=0)及白色(B=255)，最後藉由 OpenCV 程式將陣列中 B 值為 255 的點累加起來，即為所求的面積。

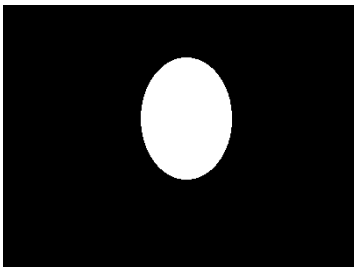


圖 7、二值化圖

2.6 相關參數

鏡子距蓮霧中心點 5cm。
鏡頭距蓮霧底座 25cm。
燈距離蓮霧底座 60cm。
燈距底座照度為 94Lux。

2.7 實驗步驟

圖 8、實驗流程圖

2.7.1 前置與校正部分

依框架架構(如圖 4)製作拍攝框架。將方格放置於中心處，拍攝標準方格影像並載入至 MATLAB 程式中校正，找出所需兩個 ROI 之左上極點及右下極點，計算出鏡面側像對於正像的放大倍率，統整以上數據填入分級系統中。

2.7.2 拍攝蓮霧部分

蓮霧放置於中心處，拍攝蓮霧影像，將影像檔轉為.bmp 檔後載入至分級程式中，經由校正標準方格影像所得之校正係數，取出正像與鏡面側像的影像。

2.7.3 分級判定部分

將取出的正像與鏡面側像計算出目標物的面積和色調(Hue)。利用上述兩項特徵值判定蓮霧的品質，對蓮霧進行分級並顯示蓮霧的分級結果。

三、結果與討論

3.1 影像拍攝過程

3.1.1 實際框架外觀

如圖 9 與圖 10 為依框架架構(如圖 4)製作的拍攝框架實體照片。

圖 9、框架正面照片

圖 10、框架上視照片

3.1.2 鏡子角度說明

本研究之目的為拍攝水果的多視角，故鏡子扮演著一個重要的角色。當鏡子與水平面成 60 度角(如圖 11)時，所取出的鏡面側像為梯形；當鏡子與水平面成 45 度角(如圖 12)時，所取出的鏡面側像為正方形。由於正方形比梯形更能顯示出完整的影像，因此鏡子角度取與水平面成 45 度。

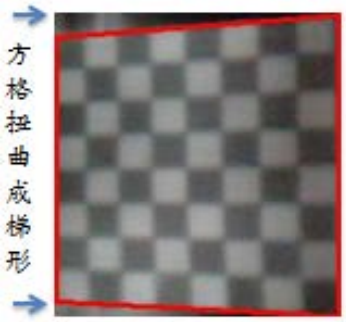


圖 11、鏡子與水平面成 60 度角

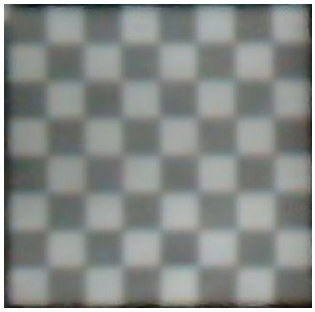


圖 12、鏡子與水平面成 45 度角

3.1.3 實際拍攝過程

如圖 13 為實際拍攝情形,利用鐵絲固定視訊鏡頭是為了減少透過光源拍攝時，產生在目標物上的陰影，造成影像二值化後的錯誤。將燈光擺放置距離目標物底座 60cm，除了能減少目標物上視訊鏡頭的陰影，還可以避免光線過度集中在目標物的尖端，造成反光的情形，對影像二值化後造成影響。

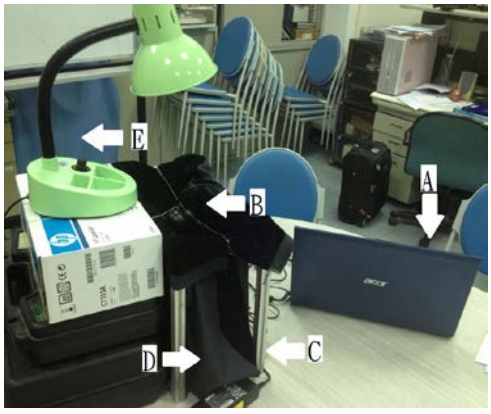


圖 13、實際拍攝圖

A：筆記型電腦(ACER)

B：視訊鏡頭

C：拍攝框架

D：黑色絨布

E：鹵素燈

3.2 比較標準方格影像校正前後的變化

3.2.1ROI 取點

將標準方格影像(如圖 14)載入 MATLAB，並開啟影像檔案，找出所需兩 ROI 之左上極點及右下極點，將兩極點座標相減即為所需 ROI 之寬高。

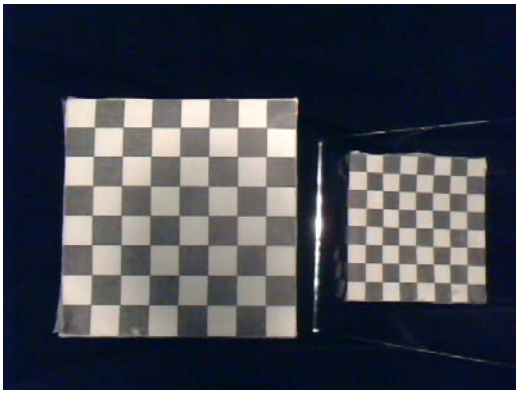


圖 14、框架拍攝後標準方格影像圖

3.2.2 放大倍率

將取出 ROI 的正像(如圖 15)與鏡面側像(如圖 16)，載入 MATLAB 程式中，並取得灰階影像(如圖 17、圖 18)，依$\begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$輸入矩陣方程式，水平放大倍率 s_x 為水平方向 pixel 數相除；垂直放大倍率 s_y 為垂直方向 pixel 數相除。經程式放大後，得到圖片尺寸與圖 17 相等之鏡面側像灰階圖，如圖 18。

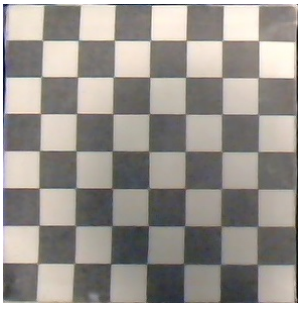


圖 15、取出 ROI 的正像圖

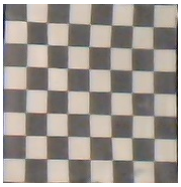


圖 16、取出 ROI 的鏡面側像圖

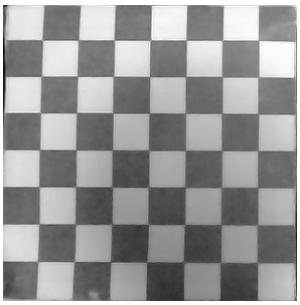


圖 17、取出 ROI 的正像灰階圖

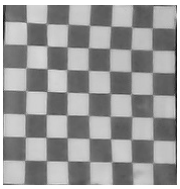


圖 18、取出 ROI 的鏡面側像灰階圖

3.2.3 間隔大小

將正像灰階圖(ag)(如圖 17)與經放大倍率後的鏡面側像灰階圖(bg)(如圖 19)載入 MATLAB 程式中，並利用灰階分佈圖，找出 ag 與 bg 的閥值，將其輸入程式，取得二值化影像(agw、bgw)(如圖 20、圖 21)。開啟其變量編輯列表，每一行每一列各取一點，找出每一個黑白分界點，計算得每一格的距離，並使用 Excel 將兩張圖距離列表，計算出每一行每一列的平均值，畫出折線圖(如圖 22 與圖 23)。由圖中得知，正像與經放大倍率後的鏡面側像，間格距離平均值落於 35.875~37 之間，最大誤差位在縱向第三格，約為 0.75pixel。

誤差比例為：$\left|\frac{\text{agw 平均值} - \text{bgw 平均值}}{\text{agw 平均值}}\right| \times 100\%$，縱向誤差比例約為 0.17%；橫向誤差比例約為 0.3%。

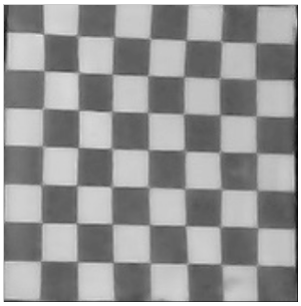


圖 19、經放大倍率後的鏡面側像灰階圖

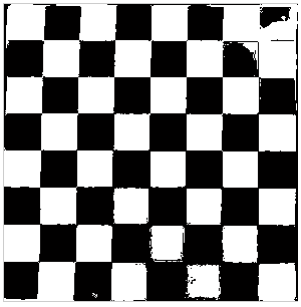


圖 20、取出 ROI 的正像二值化圖(agw)

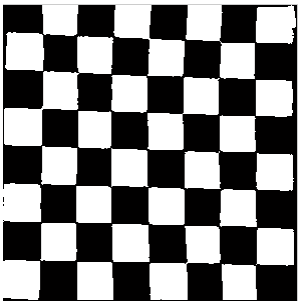


圖 21、經放大倍率後的鏡面側像二值化圖(bgw)

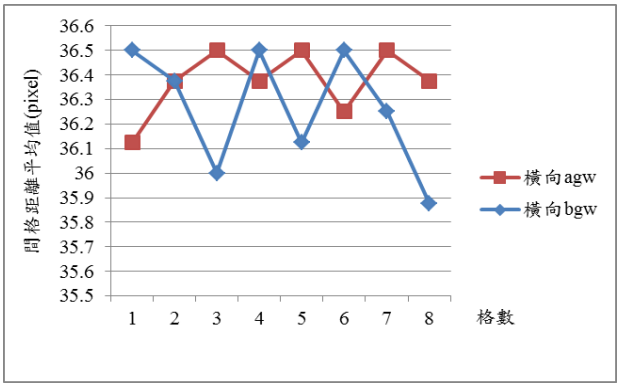


圖 22、橫向間格距離折線圖

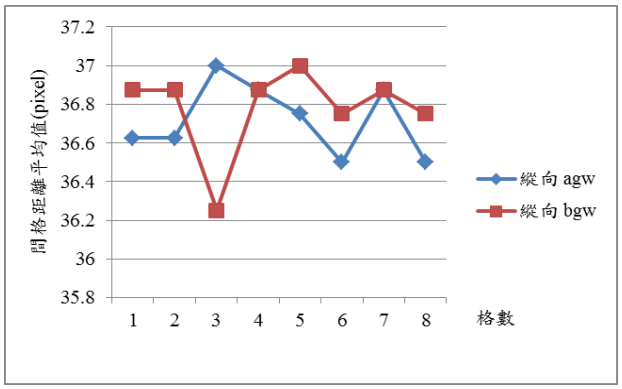


圖 23、縱向間格距離折線圖

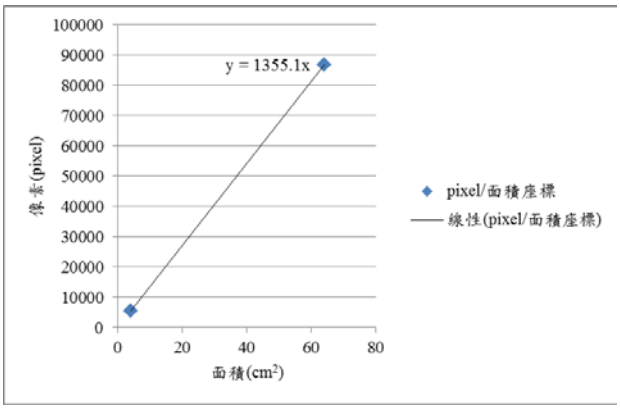


圖 26、pixel 與面積線性圖

3.3 蓮霧面積分析

取 2cm×2cm 的方格 pixel 值與面積(如圖 24)，再取 8cm×8cm 方格的 pixel 值及面積(如圖 25)，將兩者的數值以 Excel 繪成座標圖(如圖 26)，求得其線性方程式 y=1355.1x，y 為 pixel 值、x 為面積(cm^2)，只要求出蓮霧 pixel 值帶入方程式，即可得知蓮霧面積。

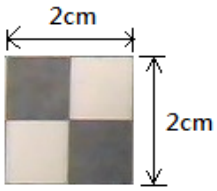


圖 24、2cm×2cm 方格

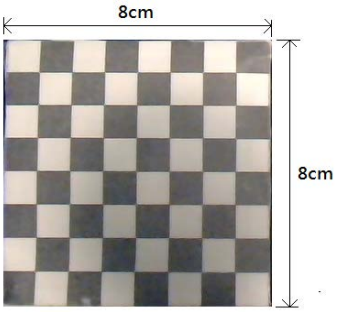


圖 25、8cm×8cm 方格

3.4 程式介面介紹與說明

如圖 27 所示為蓮霧分級系統的介面，蓮霧經框架上的拍攝之後，點選「載入影像」將拍攝的影像載入至介面並顯示於原始影像對應的影像框中；點選「影像校正」將原始影像取上視部分顯示於正面圖像對應的影像框中、取鏡像部分顯示於側面圖像對應的影像框中並且進行等比例放大；點選「顯示 RGB 與 HSV 值」將正像與側面圖像兩張影像 RGB 與 HSV 平均值的平均顯示於對應空格；點選「面積」將側面圖像進行二值化並顯示影像中蓮霧部分的 pixel 數目轉換成 cm^2於對應空格；點選「分級」將綜合上述二種特徵值對蓮霧進行分級並將分級結果顯示於對應空格。

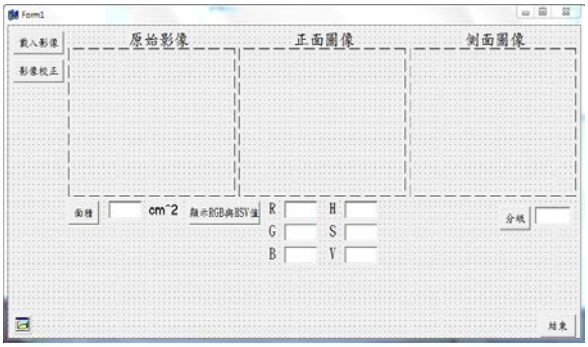


圖 27、分級系統介面圖

3.5 程式執行情形

將經框架拍攝的蓮霧影像載入程式中(如圖 28)，

利用經校正取得之係數，取出蓮霧正像及鏡面側像的影像(如圖 29)。顯示正像及鏡面側像兩張影像 RGB 與 HSV 值平均值的平均(如圖 30)。側面鏡像經灰階化(如圖 31)、二值化(如圖 32)後求得之面積數值(如圖 33)。利用 H 值與面積分出蓮霧的級別(如圖 34)。

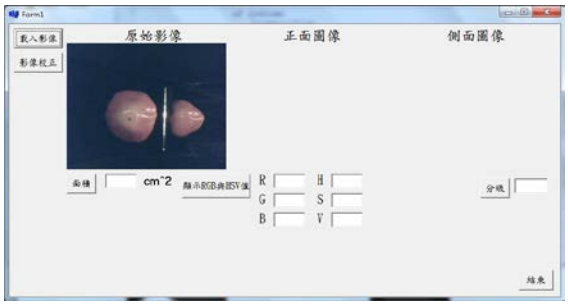


圖 28、蓮霧影像載入程式

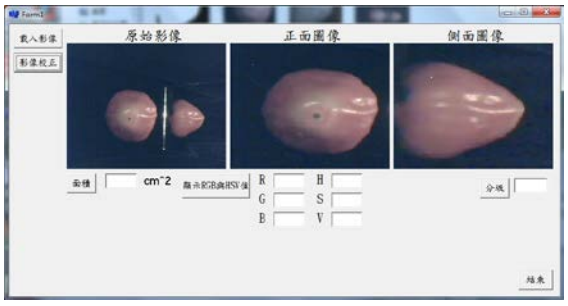


圖 29、經校正取出 ROI

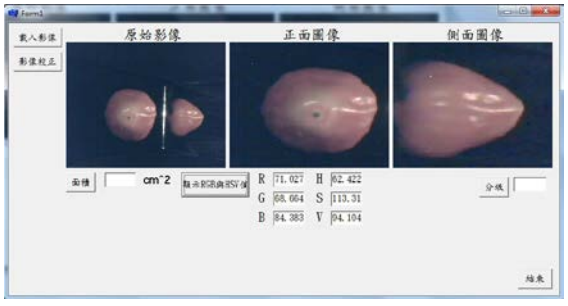


圖 30、顯示 RGB 與 HSV 數值

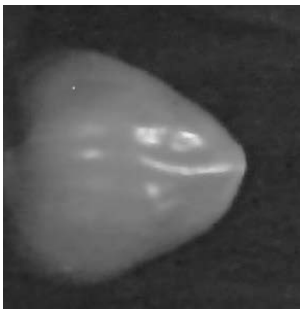


圖 31、鏡面側像灰階圖

圖 32、鏡面側像二值化圖

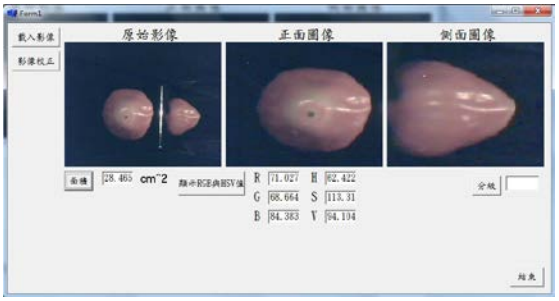


圖 33、計算出面積數值

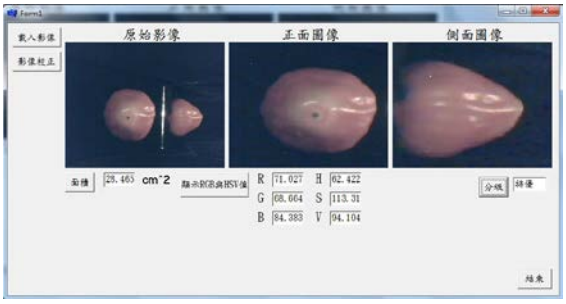


圖 34、顯示分級

3.6 分級基準說明

由於取出之正向與鏡面側像之 ROI，蓮霧面積部分約占整張圖的一半，故使用小畫家繪製一張一半黑色一半紅色的圖形(如圖 35)，將此圖形載入程式，得其 H 值為 59，因此 H=59 為分級模式中判定的基準。經蓮霧面積分析後，我們取預設蓮霧面積最大 8cm×8cm、最小值 2cm×2cm 的中間值 5cm×5cm，即 25cm^2 為分級模式中判定的基準。將分級基準列為表格如表 1。

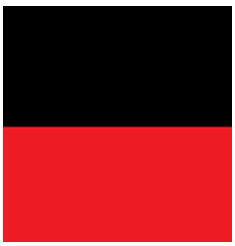


圖 35、半黑半紅圖

表 1、分級基準值

等級	面積	H 值(色調)
特優	大於 25cm^2	大於 59
中等	大於 25cm^2	小於 59
	小於 25cm^2	大於 59
不良	小於 25cm^2	小於 59

3.7 分級結果

將 20 顆樣本所取之面積數值、RGB 值、HSV 值與分級結果製作成表格(附錄一)並畫成折線圖(如圖 36-39)。面積的最大值落在樣本編號 1 為 35.3cm^2；最小值落在樣本編號 12 為 19.2cm^2，兩者相差 16.1 cm^2。H 值的最大值位於樣本編號 1 為 70.9；最小值位於樣本編號 12 為 48，兩者相差 22.9。

依分級結果(如圖 39)探討分級的正確率為：

$$\left|\frac{\text{程式分級樣本數} - \text{農民分級樣本數}}{\text{農民分級樣本數}}\right| \times 100\%$$

。分為特優的樣本為 9 顆，正確率為 87.5%；分為中等的樣本為 4 顆，正確率為 66.7%；分成不良的樣本為 7 顆，正確率為 83.4%。由此可知，經程式分級後，分為中等的蓮霧比農民挑選的少了兩顆，分別是編號第七顆與第九顆。由附錄一得知，編號第七號的面積為 26.5cm^2、編號第九號的面積為 24.9cm^2。由於利用二值化影像判定面積大小時，必須將閥值統一，所以每張影像都會些許有些誤差。編號七與編號九面積大小相當接近於基準的臨界值，故可能有誤判的情形產生。

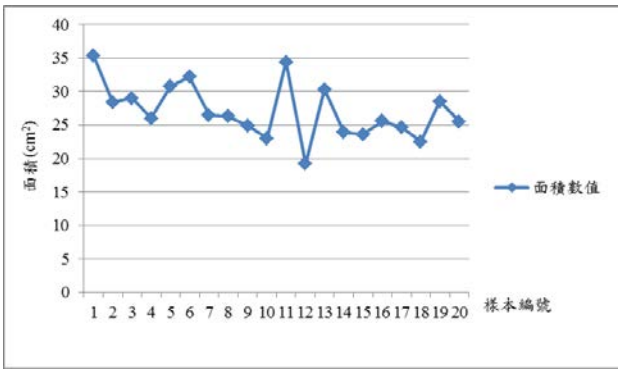


圖 36、面積數值折線圖

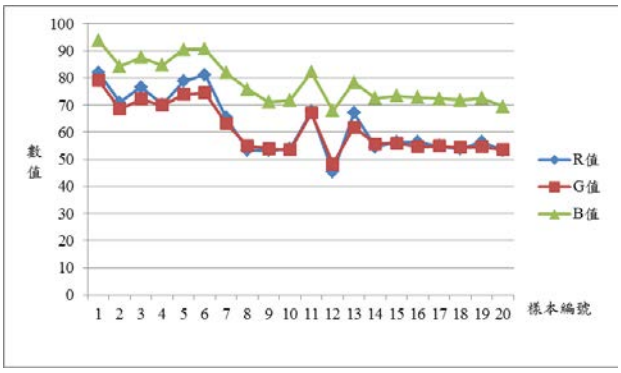


圖 37、RGB 值折線圖

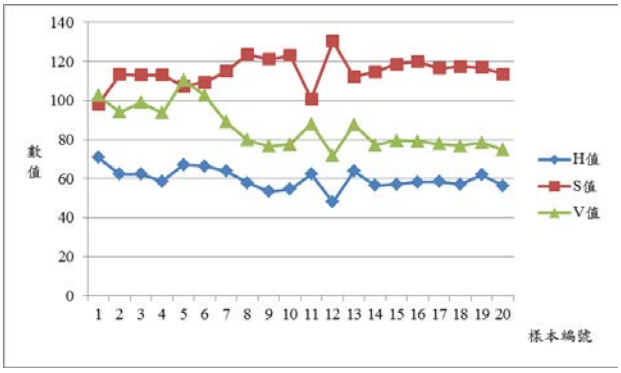


圖 38、HSV 值分析圖

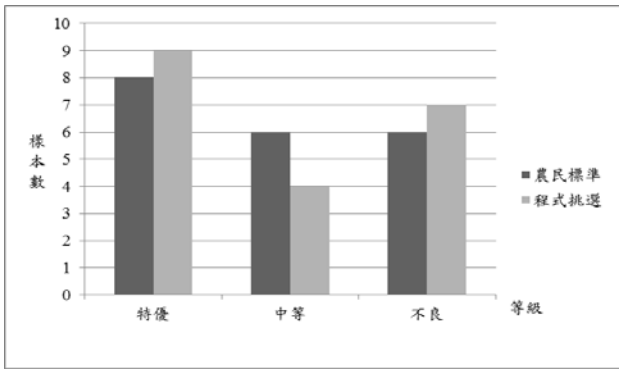


圖 39、分級結果

四、結論

本研究自製一個加上鏡子的硬體框架，以多視角的方式拍攝影像，利用影像處理技術，撰寫一蓮霧分級模式，對蓮霧影像進行灰階、二值化等影像處理技術，取出面積、RGB 值、HSV 值等特徵值，並將其分為特優、中等、不良三級。利用標準方格影像取出所需之 ROI 與放大倍率，側面鏡像經放大後，間格距離平均值落於 35.875~37 之間，最大誤差位在縱向第三格，約為 0.75pixel，誤差比例約為 1.03%。實驗結果顯示，樣本面積相差最大為 16.1cm^2；H 值相差最大為 22.9，分為特優樣本的正確率為 87.5%；分為中等樣本的正確率為 66.7%；分為不良樣本的正確率為 83.4%。未來希望加入甜度、裂果大小、重量等特徵值使分級模式能夠更為完整，結果也能更準確測量水果品質。

五、致謝

感謝謝清祿老師一年來的教導，剛開始沒接觸過影像處理的我們對其很陌生，藉由每次 meeting，老師就像是在上課一樣，盡力讓我們了解影像處理的相關知識，如果講解一次聽不懂，老師必定會解釋到我們都聽懂為止。寒假期間老師也願意讓我們留下來，督促專題上的進度。除了 meeting 時間外，老師常常空出額外的時間讓我們詢問在撰寫程式上的疑問，真的很謝謝老師的耐心。謝謝文憲學長在我們做實驗的時候會適時的提供我們意見，讓我們思考目前所面臨的難題。謝謝舒揚學長提供我們實驗室的設備及實驗所需的材料。謝謝筑雅學姊幫我安裝我們旁聽老師影像處理課程所需要使用的程式。謝謝老師與實驗室的學長姐們，因為有你們才能讓我們順利完成實務專題。

六、參考文獻

[1] OpenCV 中文網站。取自 http://www.opencv.org.cn/index.php。

[2] 行政院農業委員會-蓮霧館。取自 http://kmweb.coa.gov.tw/subject/mp.asp?mp=253。

[3] 王福斌、李迎燕、劉杰、陳至坤，2010，「基於 OpenCV 的機器視覺圖像處理技術實現」，機械與電子學刊，第 6 卷，2010 期，P.54-57。

[4] 李汪盛，1996，「品牌水果線上品質檢測、貼標籤及分級自動化系統之研發」，桃園區農業改良場研究彙報，第 60 號。

[5] 柯建全、黃膺任、艾群，1999，「應用影像處理檢測荔枝果皮之顏色變化」，農業機械學刊，第 8 卷，第 1 期。

[6] 洪國勝、江國軍、龍國忠、洪月裡，1992，C++ Builder 6 程式設計快樂上手，旗標出版社，第 11-34 – 11-45 頁。

[7] 徐子建，2007，「檬果外部品質檢測之應用研究」，碩士學位論文，國立中興大學生物產業機械工程學系。

[8] 張文宏、陳世銘，1993，「以機器視覺引導機器人選別水果」，農業機械學刊，第 2 卷，第 3 期。

[9] 楊清富、李芳繁，1994，「應用機器視覺進行番茄顏色分級之研究」，農業機械學刊，第 3 卷，第 1 期。

[10] 陳志杰，1995，「應用影像處理於蓮霧外部品質檢測之應用研究」，碩士學位論文，國立中興大學生物產業機械工程學系。

[11] Fernando López-García,Gabriela Andreu-García, José Blasco, Nuria Aleixos, José-Miguel Valiente，2010，Automatic detection of skin defects

in citrus fruits using a multivariate image analysis approach，Computers and Electronics in Agriculture 71 (2010) 189–197。

[12] Hsiao-hua Pan, Zen-hong Shü，2006，Temperature affects color and quality characteristics of ‘Pink’ wax apple fruit discs，Department of Plant Industry and Institute of Tropical Agriculture, National Pingtung University of Science and Technology, Neipu, Pingtung, Taiwan 912, ROC。

[13] P. Rajkumar, N. Wang , G. EImasry , G.S.V. Raghavan , Y. Gariepy，2012，Studies on banana fruit quality and maturity stages using hyperspectral imaging，Journal of Food Engineering 108 (2012) 194–200。

[14] Xu Liming, Zhao Yanchao，2010，Automated strawberry grading system based on image processing，Computers and Electronics in Agriculture 71S (2010) S32–S39。

[15] Y.J. Chang, M.Y. Chung, M.N. Tseng, C.C. Chu, Z.H. Shü，2003，Developmental stages affect characteristics of wax apple fruit skin discs cultured with sucrose—with special reference to color，Department of Plant Industry, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan 912, Taiwan, ROC。

附錄

附表一

分級結果數據表

編號	面積(cm^2)	R	G	B
1	35.3	82	79.2	93.9
2	28.4	71	68.6	84.3
3	29	76.7	72.2	87.5
4	26	70.1	70	84.8
5	30.8	78.8	74	90.5
6	32.2	81.2	74.5	90.7
7	26.5	65.5	63.3	81.9
8	26.3	53.4	54.9	75.8
9	24.9	53.2	54	71.1
10	23	53.9	53.5	71.8
11	34.4	67.7	67.2	82.2
12	19.2	45.3	48.3	68
13	30.3	67.1	61.9	78.4
14	23.9	54.5	55.6	72.6
15	23.6	56.4	55.9	73.4
16	25.6	56.4	54.7	72.8
17	24.7	55	55	72.4
18	22.5	53.8	54.4	71.8
19	28.5	56.5	54.7	72.5
20	25.5	53.3	53.6	69.6

附表二

分級結果數據表

編號	H	S	V	等級
1	70.9	98.1	102.6	特優
2	62.4	113.3	94.1	特優
3	62.3	113	99.1	特優
4	58.7	113	93.7	中等
5	67.1	107.4	110.5	特優
6	66.3	109.3	102.5	特優
7	63.8	114.9	89.1	特優
8	57.8	123.6	79.8	中等
9	53.5	121.1	76.7	不良
10	54.6	123	77.6	不良
11	62.4	100.8	88.1	特優
12	48	130.3	71.8	不良
13	63.9	112.2	87.6	特優
14	56.6	114.7	77.2	不良
15	57.1	118.6	79.6	不良

16	58.2	119.9	79.2	中等
17	58.5	116.5	77.7	不良
18	57.1	117.4	76.9	不良
19	62	116.8	78.3	特優
20	56.4	113.5	74.7	中等

Development of Multi-angle Image Unit for fruit Classification

Student: Jyun -Hao Chen , Hong- Jhen Chen

Instructor：Chinglu Hsieh Associate Professor

Department of Biomechatronics Engineering

National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

Due to the current most of the farmers have their own experience and simply rely on feeling the separation of the quality of the fruit, it is this phenomenon to find out the way to improve. Traditional wax apple quality grading nothing more than rely on the size and color to determine the classification of the traditional wax apple programming, 45-degree mirror tilt by the homemade one side installed hardware framework, shooting a standard grid images, image correction analysis, ROI and side mirror magnification, followed by shooting the wax apple image, by using the correction factor of the standard grid image from whichever face wax apple image and mirror image side, image feature analysis to calculate the area of the wax apple, RGB and HSV average of use of the above three characteristic value and set out a set of fruit grading system classification system instead of sensory data to determine the quality of the fruit. Standard grid image to remove the desired ROI with magnification, enlarged side mirror, the average distance from the Layout drop from 35.875 to 37, the maximum error bit in the longitudinal grid, about 0.75pixel, error ratio of about was 1.03%. The experimental data show that the sample area of difference between the maximum 16.1cm2; H values differ by up to 22.9. Explore the correct classification rate in accordance with the classification results into the correct rate of 87.5% of the premium sample; divided into medium-sample accuracy was 66.7% and 83.4%; divided into bad samples correctly. Farmers to enhance the correctness of the classification for the quality of the fruit grading digitized by multi-angle shooting, this study can increase the value of the fruit and its competitiveness in the market.

Keywords: multi-angle, wax apple, image processing, grading.

不同彎曲半徑對於光纖感測器解析度之影響

學生姓名：曾主豪 謝進來 林立哲
指導老師：許益誠

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本研究利用機械加工方式對塑膠光纖(Plastic Optical Fiber)進行側向研磨(Side-Polished)，將端面研磨拋光；再採用曲率半徑為15 mm的夾具，以顆粒為22 μm的水研磨砂紙進行側向研磨，研磨出從纖衣層開始計算為0.35 mm的深度。使用彎曲半徑分別為20 mm、25 mm、35 mm的治具來固定光纖，採用高功率發光二極體(High-Power Light Emitting Diode)為光源，架設穩定度良好的光強度量測系統，滴定蔗糖溶液於光纖感測區上，對光纖進行折射率之量測，探討不同彎曲半徑的的光纖對於感測解析度(Sensing Resolution, S.R)變化的影響。實驗結果顯示出當光纖之彎曲半徑越小時，感測解析度會越佳，在直線時的感測解析度為1.59×10^{-3} RIU，但從彎曲半徑35 mm時感測解析度改善為3.28×10^{-4} RIU，到彎曲半徑20 mm時感測解析度改善為2.45×10^{-4} RIU，趨勢與理論相符。

一、引言

1.前言

隨著通訊科技的進步，光纖已被大量用在網路通訊，除了通訊之外，光纖感測器的應用正快速發展。光纖感測器主要是利用光纖，將光源所產生的光波導引至待測區，量測其物理量，如應力、應變、溫度、折射率等等，光纖感測器具有靈敏度高、反應速度快、體積小重量輕、低成本、可靠度高、可依需求做成不同的幾何圖形、不受電磁波干擾等諸多優點，可應用層面相當廣泛。光纖感測器傳遞的靈敏度要比傳統感測器高出許多倍，且它可以在高電壓、高溫、強腐蝕性等諸多特殊環境下正常工作，亦可廣泛應用於自動化工廠、電力、飛機、太空船、探油平台、橋樑、軍事系統、醫療等眾多領域。

2.文獻回顧

以前早期的稜鏡式表面電漿感測器較光纖式感測器靈敏度高，但所占空間大，且成本需要較昂貴的元件和儀器，並要經過精密的校正和多次重覆測試，不但操作繁雜且費時，不合乎快速的與拋棄式的生物感測器設計。為使系統簡化，因此光纖感測器被發展出來。機械加工的研磨法搭配夾具，可以對光纖進行端面研磨及側向研磨，屬於低成本製作，耗但卻時的方式。

3.研究目的

本研究利用機械加工方式對塑膠光纖(Plastic optical fiber)進行側向研磨(Side-polished)，側向研磨區為感測區，分析光纖感測區不同彎曲半徑對於感測解析度之關係，利用光纖治具的彎曲半徑來控制彎曲程度，製作出相同依據衰減全反射(Attenuated total reflection)

感測的方法，使塑膠光纖感測器進行折射率檢測，探討不同彎曲曲率半徑對偵測靈敏度的變化情形。

4. 光纖感測器技術與原理

4.1 光纖基本原理

光纖原名「光學玻璃纖維」；是利用光在玻璃或塑料製成的纖維中的全反射原理而達成的光傳導之目的。光纖是一種波導管，可將光線導引到很遠的距離而只有很小的損耗，這個功能使得光纖極適合應用於通訊上。光纖的用處不只在通訊上，在醫療與感測方面也具重要性。根據Snell定理當光訊號由折射率較大的介質進入折射率較小的介質，且入射光的角度大於臨界角時，理論上會產生全反射現象，光訊號無法進入折射率較小的介質中。光纖的基本原理是利用光訊號在光纖內不斷的產生全反射，達到光訊號有效率的傳輸很長的距離。圖2.1為光纖基本構造示意圖，光纖內的核心(core)折射率要大於纖衣(cladding)的折射率，在最外層的保護層(coating)主要是用來保護光纖本體，並使光纖有較佳的柔軟性與抗外擾性。

4.2光纖基本構造

A. 核心部份(Core) ：即光纖中傳遞光信號的部份。

B. 纖衣部份(Cladding) ：即被覆在核心外圍的部份。(為使光線能在核心中傳送，
所以核心部份之折射率，須比外殼之折射率大，才能造成全反射。)

C. 保護層(Jacket)：保護在外殼周圍，以防止損害光纖之外殼及核心。

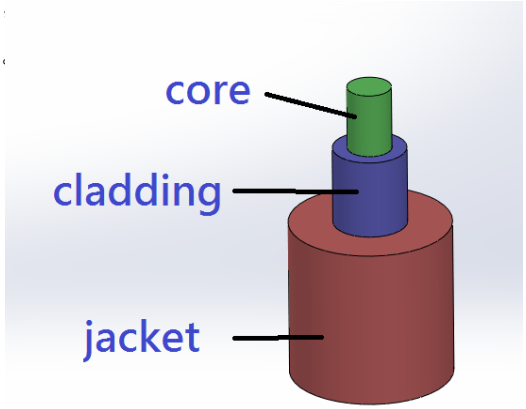


圖 1.1 光纖基本構造

5. 光纖生物感測器

在大部分的生物感測器的原裡中在多數的生物檢測機制中，在感測區中，其樣本在偵測時，需要產生明顯的光譜訊號的數據變化，但大部分的樣本無法自己產生訊號的變化，必須使用標定技術，始能求得試驗數據。而標定技術需高成本，其螢光物質還會對污染環境，所以必須尋求免標定的技術。在免標定技術發展中，表面電漿共振產生的表面電漿波(Surface plasmon wave)和漸逝波(Evanescent wave)的使用及應用度最高也最為普遍，有著的靈敏度高與解析度佳的特性，可被用於生物樣本的微量檢測。致於激發表面電漿波則需要高成本的設備，比較適合學術上的使用，在實際應用上有一定的難度。

光纖因為應用全反射的原裡，而全反射的過程中會產生漸逝波，光訊號最主要的路徑為核心，但是光在行進到核心(core)和纖衣(cladding)的交界處時，會產生局部微小的損失，極小損失的訊號即為漸逝波，而漸逝波在低折射率介質層的區域即是漸逝場區域(Evanescent field region)，圖 1.2 為光纖全反射而產生漸逝波的情形[4]。d 為滲透距離。一般來說滲透距離 d 約為一個波長的距離，由 Maxwell’s equations 與 Fresnel’s reflection equations 可推得漸逝波之振幅在低折射率介質中並不會如幾何光學之假設一般完全消失，而是會以指數方式衰減。本研究依據衰減全反射(Attenuated total

reflection, ATR)感測的方法[5]，圖 1.3 為側磨塑膠光纖訊號傳遞示意圖，當光訊號從較高的折射率區進入較低的折射率，會與感測區的待測物質反應，使光纖輸出光強度改變，量測記錄後，分析光強度的變化量，便可以求出感測區介質的折射率變化

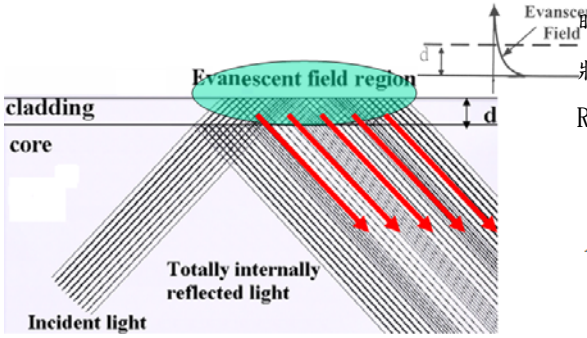


圖 1.2 全反射產收漸逝波場示意圖[3]

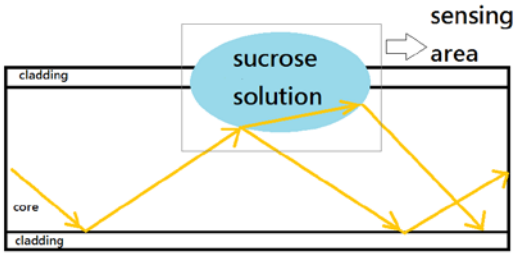


圖 1.3 衰減全反射訊號傳遞示意圖

二、研究內容與方法

1 理論分析

1.1 全反射分析

當光線在兩種不同介質的介面上行進時，光線遵守 Snell 定理，則會發生反射(Reflection)與折射(Refraction)現象，利用圖 1.1 來說明 Snell 定理，其公式 1.1 如下：

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t \qquad (1.1)$$

n_1：介質 1 的折射率

n_2：介質 2 的折射率

θ_i：入射角

θ_t：折射角

從 Snell 定理可以得知，光線從光疏介質穿過介面入射到光密介質中，光會偏向法線而遠離介面。同樣地，當光線從光密介質穿過介面入射到光疏介質中，光線會偏離法線而較靠近介面。當光線從光密介質以某個角度入射到光疏介質中，會產生 90°的折射角，也就是折射出來的光線是沿著介質面來行進的，這個入射的角度被稱為臨界角(Critical angle)。此外，當折射角大於 90°時，光線只有反射而無折射現象，所有入射光線將反射回原介質，稱為全反射(Total Internal Reflection, TIR)。[1]

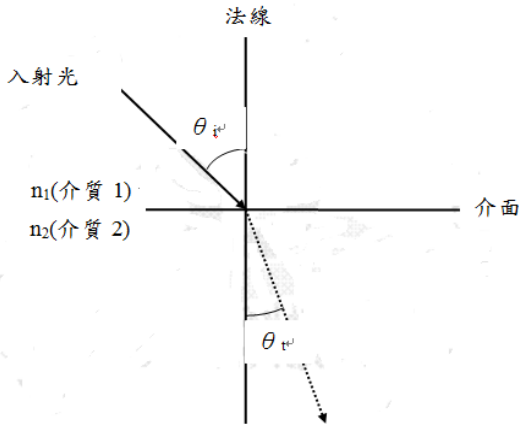


圖 1.1 折射示意圖

1.2 彎曲光纖分析

直行光纖用於感測上，發現其解析度不高甚至感測效果不佳，因此用於漸逝波感測上開始有人使用彎曲光纖來增加解析度[Guptaeta 1.1996;Khijwania and Gupta1998]，彎曲光纖公式模擬如下式。[2]

漸逝波吸收係數(evanescent-absorption coefficient):

由 Snyder and Love 說明在彎曲下漸逝波吸收係數與直行光纖差異在於。

(1)當光進入彎曲感測區，入射角度會因此改變。

$$\emptyset = \sin^{-1}\left[\left(\frac{R+h}{R+2\rho}\right)\sin\theta\right] \qquad (1.2)$$

φ：感測區域內的入射角

R ：光纖曲率半徑

ρ：光纖 core 半徑

h ： 入射光到我們 core 以及 cladding 反射界面的距離。

(2)且入射光在感測區上會有部分能量反射回來

N 為單位長度下的光反射量

$$N=\frac{\cot\theta}{2\rho} \qquad (1.3)$$

由此說明當 core 半徑越小的情況下，單位長度反射量增加，Straight Fennl 傳輸係數乘以單位長度光源反射量等於彎曲光纖吸收係數γ ，Fennl 傳輸係數 T，說明光源在 core 以及 cladding 介面傳輸時能量損失在 cladd ing 當 cladding 折射率為 n_2-ik，傳輸係數可寫成下式：[2]

Fennel transmission coefficient：

$$T=\frac{\alpha\lambda n_2\cos\theta}{\sqrt{\pi(n_1^2-n_2^2)\sin\theta(\sin^2\theta-n_{21}^2)}} \qquad (1.4)$$

吸收係數γ：

$$\gamma=\frac{\alpha\lambda n_2\cos^2\theta}{\sqrt{2\pi\rho(n_1^2-n_2^2)\sin\theta(\sin^2\theta-n_{21}^2)}} \qquad (1.5)$$

1.3 感測區域尺寸

利用(胡志得 2010)所做的直線光纖感測所測得的結果，選能兼顧感測斜率(Slop)及平均標準差(STD)的製作尺寸，因此選用側向研磨深度 0.95mm，粗糙度 22μm 製作，其中側向研磨所採用的夾具為曲率半徑 15mm，因為此夾具所製作的光纖所量測的感測解析度最佳。

2 實驗方法與設備

2.1 實驗架構

本實驗為瞭解彎曲曲率半徑之光波導元件對感測解析度之影響，因此本實驗提出製作光纖感測器的側向研磨系統，利用機械加工方式對塑膠光纖進行側向研磨，採用曲率半徑為 15 mm 的夾具及顆粒為 22 μm 的研磨砂紙。另外，採用的光纖是多模態步階式塑膠光纖(Grace 980 μm/1000 μm plastic optical fiber)，光纖材質是由 PMMA 核心(直徑為 980 μm)和氟化樹脂纖衣(直徑為 1000 μm)和塑膠纖殼(直徑為 2200 μm)所組成。利用高功率發光二極體架設穩定度良好的光強度量測系統，對蔗糖溶液進行折射率量測，探討塑膠光纖感測器的偵測靈敏度變化，計算出每一根光纖的偵測靈敏度。實驗架構主要有光源、光纖、光功率計及電腦，本實驗的實驗架構主要分為光波導製作系統和光強度量測系統兩部份來介紹。

2.2 光波導製作

光波導製作系統可分為研磨拋光機、U 型研磨夾具、水砂紙研磨片、塑膠光纖及移動平台。光波導製作系統可在塑膠光纖上研磨出凹槽，研磨機轉速為 200 rpm，將塑膠光纖固定至自製 U 型研磨夾具上，夾具的曲率半徑為 15 mm，利用移動平台來控制 Z 軸的進給量，並選用顆粒大小為 22 μm 的水研磨砂紙進行研磨，研磨好的光纖感測器，用非接觸式影像量測儀(KIM1005U3, ARCS, Inc.)測定光纖的尺寸大小。

2.2.1 光纖尺寸量測

側向研磨後的塑膠光纖感測器，研磨的露出凹槽為感測器的感測區域，為了瞭解感測區域的幾何形狀大小，將研磨好的光纖放至非接觸式影像量測儀，進行光纖研磨面的感測區域之影像觀察以

及儲存。

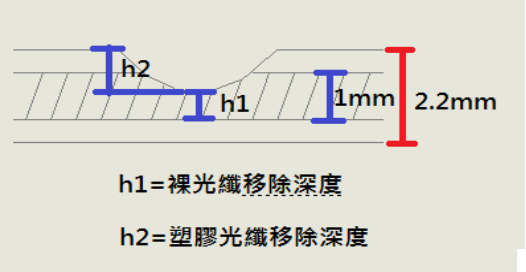
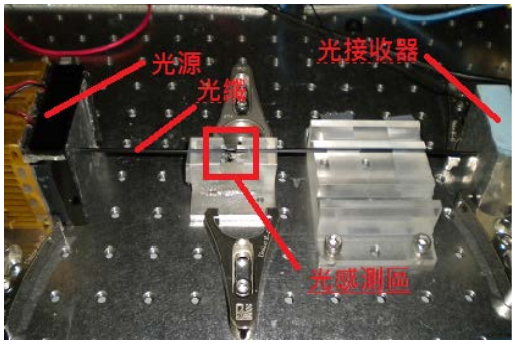
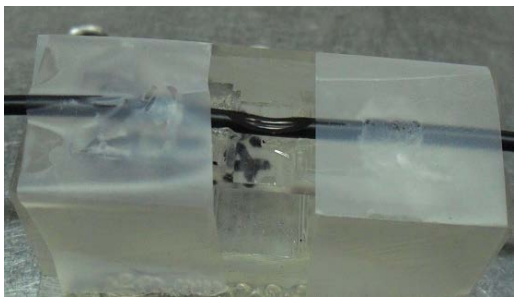


圖 2.1 纖殼層及裸光纖的幾何關係圖。

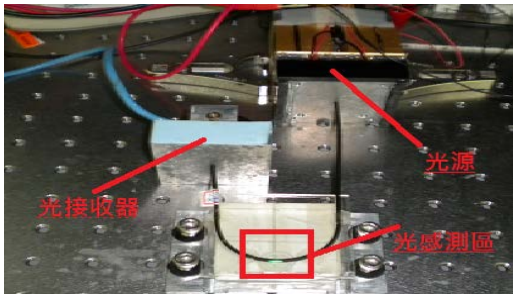
2.3 光強度量測系統

自行架設的光強度量測系統量測架構可分為光源、光纖及光接收器三個部份。圖 2.2 為光強度量測系統實體圖，光強度量測系統是量測光纖感測器的穿透光強度，構成的有電源供應器、高功率發光二極體、致冷器、散熱風扇、散熱座、固定夾具、側磨塑膠光纖感測器、光偵測器、光功率計和擷取資料用的電腦。

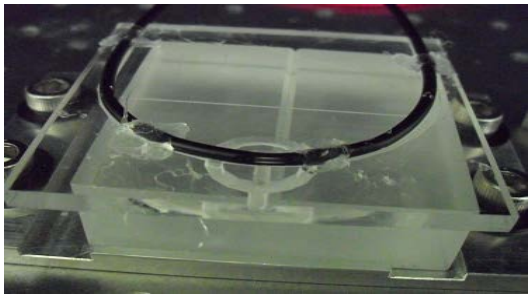




(a)光纖直線量測架設系統



(b-1)光纖彎曲量測架設系統



(b-2)光纖彎曲量測架設系統

圖 2.2 光強度量測系統實體圖

(1)光源(Light Source)

在光源部份有高功率發光二極體(LED)、致冷器(Cooler)、散熱座(Heat Sink)及散熱風扇(Fan)，因為發光二極體通電之後會產生大量的熱能，此種熱能會對整體系統的穩定度造成嚴重的影響，故必須加入冷卻散熱的裝置，來提升整體光強度量測系統的穩定度。發光二極體的發光原理，是透過自發輻射的作用，例如利用紅外線發光二極體材料射出波長範圍在 820 nm 到 1700 nm 的波段，波段會隨著不同材料有所差別。和雷射二極體(LD)相比較之下，發光二極體的成本較低，其放射角較廣，故較適合短距離的應用，可用在點對點傳輸、WAN/LAN 以及都會區接取端等地方。表 2.1 列出發光二極體和雷射二極體的優缺點比較。[3]

表 2.1 發光二極體和雷射二極體的比較

	發光二極體	雷射二極體
優點	光源穩定 可靠度高 低價格 驅動電壓小，體積小	放射角窄 較快操作速率 脈波分散小 驅動電壓小，體積小
缺點	較廣的放射角 脈波易分散 低頻寬容量	價格貴
適合用途	短距離傳輸	長距離，高效率傳輸

(2)光纖(Fiber)

在光纖部份有側磨光纖(Side-Polished Fiber)和固定光纖用的夾具和治具，本研究利用容易拆除的保麗龍膠，將側向研磨後的塑膠光纖固定在治具上，經過清洗後，即可進行後續的操作與量測。在側磨光纖和光源還有光接收器的銜接上，是採自然對準耦光的型式，此種型式有簡單容易操作的優點，但是缺點為耦光效率有待加強。

(3)光接收器(Receiver)

在光接收器的部份有光偵測器(Detector)和光功率計(Power Meter)，光偵測器的功能就是將光訊號轉換為電的訊號，接收的原理是利用光訊號來照射光電二極體(Photodiode)，以產生足夠的能量，接著激發 P-type 及 N-type 中的正負離子，產生電流訊號。光功率計可將電流訊號顯示成為數位訊號，將光功率計接到電腦，即可做訊號的分析及儲存。

2.4 實驗流程

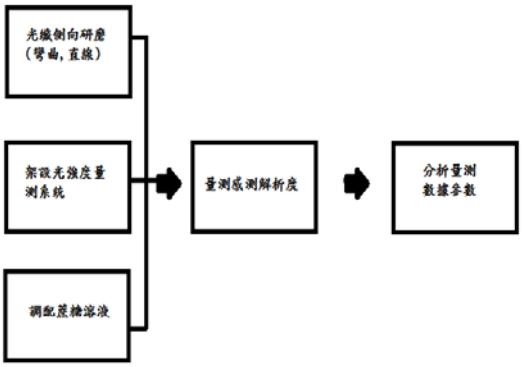


圖 2.3 實驗流程圖

實驗流程為圖 2.3 所示，主要的有五個部份，分別為光纖側向研磨、架設光強度量測系統、調配蔗糖溶液、量測感測解析度及分析最佳尺寸參數。

(1)光纖側向研磨：

光纖側向研磨是利用光波導製作系統，將塑膠光纖固定至自製 U 型研磨治具上，治具的彎曲半徑為 15 mm，並將夾具固定於三軸移動平台上，利用移動平台來控制 Z 軸的進給量，研磨拋光機轉速設為 200 rpm，並選用顆粒大小為 22 μm 的水研磨砂紙進行研磨。再用非接觸式影像量測儀測定光纖的尺寸大小，並將影像儲存紀錄下來，經側向研磨完成的塑膠光纖即可作為側磨光纖感測器使用。

(2)架設光強度量測系統：

在光源部份有高功率發光二極體(LED)、致冷器(Cooler)、散熱座(Heat Sink)及散熱風扇(Fan)。光源波長分別為紅光(620 nm)、綠光(528 nm)、藍光(465 nm)及白光的波段，測試時間為 30 分鐘，由表 2.2 結果可得知光強度與穩定度有相對的關係，雖然綠光 LED 光強度最低，但是穩定度

最佳，故此後實驗主要以綠光發光二極體為光源。電源供應器對綠光發光二極體及散熱風扇，分別供給 0.35 A 和 0.05 A 的電流，然後調整供給致冷器的電流，找出最佳的電流與穩定度關係表。表 2.3 為致冷器的電流與穩定度的關係表，以本實驗而言最佳致冷器電流為 0.3 A。[3]

表 2.2 各種波長光源穩定度

1 Watt LED	Red (620 nm)	Green (528 nm)	Blue (465 nm)	White
標準差 Std (mW)	4.83×10^{-3}	7.80×10^{-4}	1.41×10^{-2}	1.47×10^{-3}
平均 Average (mW)	7.55	4.93	10.44	6.07
RMS stability(%)	0.064	0.016	0.135	0.024

表 2.3 致冷器電流與穩定度關係表

電流 Current (A)	平均值 Average (mW)	標準差 Std (mW)	RMS stability (%)
0	4.51	9.60×10^{-6}	0.21
0.1	4.46	3.64×10^{-6}	0.08
0.2	4.41	2.85×10^{-6}	0.06
0.3	4.35	1.91×10^{-6}	0.04
0.4	4.27	5.64×10^{-6}	0.13
0.5	4.21	6.28×10^{-6}	0.15
0.6	4.16	5.42×10^{-6}	0.13
0.7	4.11	6.78×10^{-6}	0.16
0.8	4.07	1.01×10^{-6}	0.25
0.9	4.04	5.85×10^{-6}	0.14
1.0	4.02	1.02×10^{-6}	0.25

公式 2.1 與公式 2.2 為統計學上可用來判斷穩定度的計算方法之一，RMS stability 相對於 PTP stability 的標準，是比較嚴苛的，一般而言 PTP stability＜0.5 %或是 RMSstabil ity＜0.05 %，即可稱為穩定，本實驗利用此公式來計算系統穩定度。[3]

$$\text{PTP stability}=\frac{P_{max}-P_{min}}{P_{avg}}\times 100\% \qquad (2.1)$$

$$\text{RMS stability}=\frac{STD}{P_{avg}}\times 100\% \qquad (2.2)$$

PTP stability：Peak to Peak stability

RMS stability：Root Mean Square stability

P_{max}：光強度最大值

P_{min}：光強度最小值

P_{avg}：光強度平均值

STD：標準差

圖 2.4 為高功率發光二極體暖機後測試塑膠光纖對二次水之系統穩度，經由計算得知，780 秒測試後之輸出訊號穩定度 RMS stability 約為 0.05 %、PTP stability 約為 0.14 % ，光強度最大值與最小值的變動量約為 1 μW，如圖 2.4 中的 x 區為系統的變動量。由於二次水理論上是不具有糖類物質，也可從下圖得到實際的驗證，因此對於接下來所量測之蔗糖溶液訊號，本實驗設定其光強度訊號必須大於此變動量，才視結果為具有定量的表示意義(SNR＞1)。

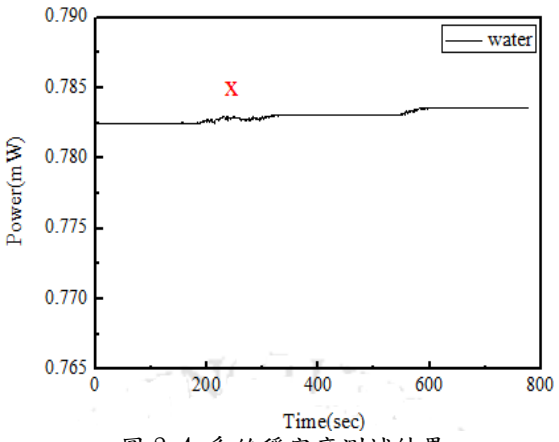


圖 2.4 系統穩定度測試結果

(3)調配蔗糖溶液：

本實驗的蔗糖溶液是以重量百分比去調配濃度，表 2.4 為折射率與濃度對照表，調配的濃度範圍是從 0 % ~ 41.7 %，所對應的折射率範圍為 1.333 到 1.403，不同的濃度所對應的折射率相對也不同，主要是要調出不同折射率的溶液，作為檢測之用，本研究的溶液為蔗糖溶液。

表 2.4 折射率與濃度對照表(Hwang, 1994)

Refractive Index (RIU)	Concentration (wt%)
1.333	0
1.343	6.8
1.353	13.25
1.363	19.45
1.373	25.4
1.383	31.05
1.393	36.55
1.403	41.7

(4)量測感測解析度：

將側向研磨光纖感測器放至光強度量測系統(圖 2.2)，光源開啟 240 秒，訊號趨於穩定後開始量測，量測樣本為不同折射率的蔗糖溶液，本實驗利用微量滴管以滴定的方式，將蔗糖溶液依照折射率大小，量測順序為折射率 1.333 至 1.403，依序滴定至側磨光纖感測器上，滴定量為 100 μl，紀錄時間為 1440 秒，每一折射率量測時間為 180 秒，本研究利用壓縮空氣的方式，將蔗糖液體移除，置放與移除液體的時間設定為 10 秒，公式 2.3 的偵測靈敏度代表在一已知可靠程度下，可偵測到分析元素的最低濃度訊號量測，感測解析度是用於衡量生物儀器之解析度的重要指標之一(Armbuster et al., 1994)。公式 2.3 的平均標準差(STD_{avg})是每一階訊號標準差數值的求平均，平均標準差數值表示訊號變動量的誤差，也包含了系統誤差和操作誤差。公式 2.3 的感測斜率(Slope)是每一階訊號的數值求平均，再利用線性回歸方式求出感測斜率數值，一般來說感測斜率越大，階梯狀訊號上升幅度也越大，表示感測能力越好，本實驗透過改變側向研磨光纖感測器的感測區域彎曲曲率，來找出較佳的感測斜率數值。

$$S.R. \equiv \frac{3 \times STD_{avg}}{Slope} \quad (2.3)$$

S.R.：感測解析度(Sensor Resolution)，為感測儀器之解析度的衡量標準之一

STD_{avg}：平均標準差

Slope：感測斜率

2.5 實驗材料與儀器

(1)塑膠光纖

塑膠光纖的特點之一是數值孔徑很大，有利光線與塑膠光纖耦合，所以容易於對準安裝，因此塑膠光纖對光源的要求不如石英光纖嚴格，價格便相對便宜，本論文選用的光纖是多模態步階式(step-index)塑膠光纖(GPOF-E-100J-1,Gracefiber, LTD)，裸光纖直徑 1 mm，核心折射率為 1.492，纖衣折射率為 1.402。

表 2.5 塑膠光纖特性

核心層材料	聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)
核心層材料折射率	1.492
纖衣層材料	氟化樹脂
纖衣層材料折射率	1.402
數值孔徑	0.45
直徑(核心層/纖衣層)	0.98 mm/1 mm
外觀	光滑、透明
入射角	55 度
允許彎曲半徑	≧10 倍光纖直徑
使用溫度範圍	-20~+70(℃)

(2)高功率發光二極體(High-Power Light Emitting Diode，LED)

本實驗選用高功率發光二極體(Focusing, Bueno Technology Co., LTD) 來當作光纖感測器的光源，需要 0.35 A 的驅動電流，選擇的波長分別為紅光、綠光、藍光及白光的波段，發光二極體的光場分佈分別有 Lambertian、Batwing、Side Emitting 和 Focusing 這四種，光場的需求應依照使用者而定。本研究中的光源是選用 Focusing 場型的發光二極體，具有中央指向性較佳的優點，對單一根的光纖可有較佳的耦光效率。LED 光源相較於雷射光源具有低成本、可靠度佳、壽命長及容易安裝等優點。

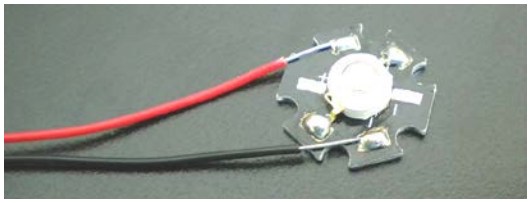


圖 2.5 高功率發光二極體實體圖

(3)研磨拋光機

圖 2.6 研磨拋光機

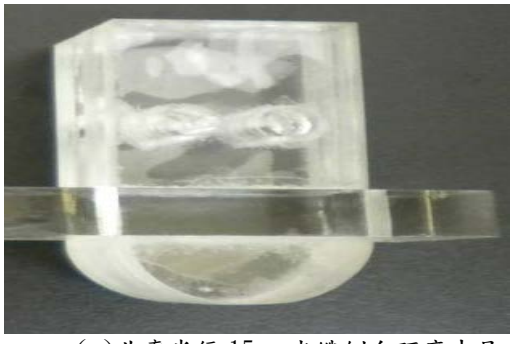
(4)非接觸式影像量測儀

非接觸式影像量測儀(KIM1005U3, Arcs, LTD)可觀察研磨後的光纖端面及側面並擷取影像，另外也可量測光纖的距離，精度為 1 μm。

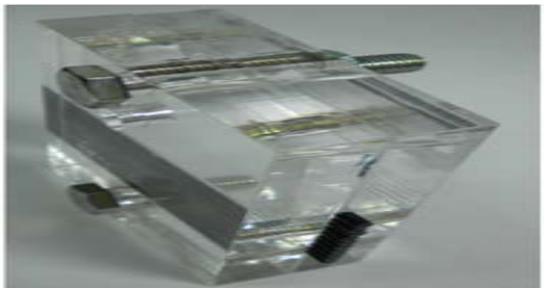
圖 2.7 非接觸式影像量測儀

(5)自製夾具與治具

自製夾具主要可分為兩種，分別為研磨夾具和量測治具，基本上都是要固定光纖方便進行研磨或量測之用，可增加光纖研磨與量測時的穩定度。圖 2.8 中的(a)為曲率半徑 15mm 的 U 型研磨夾具，曲率半徑指的是圖中半圓型的外曲率，U 型研磨夾具主要可對光纖進行側向研磨，可用來控制感測區域的長度與深度比例關係。光纖端面是利用圖 2.8(b)的夾具來研磨，此夾具可一次進行十條光纖的端面研磨，主要是將光纖端面研磨平整即可。在量測系統中光纖與光偵測器的固定會影響操作時的便利性與穩定性，因此本研究設計如圖 2.9 的治具，主要是將光纖與光偵測器固定，避免晃動與脫落，減少訊號的誤差，以及降低外在雜訊的干擾。



(a)曲率半徑 15mm 光纖側向研磨夾具



(b)光纖端面研磨夾具

圖 2.8 研磨夾具

圖 2.9 自製光纖治具

(6)光偵測器

光偵測器(818-SL/DB, New Port, Inc)可將收集到的光訊號轉換成電訊號，本研究使用的光偵測器可接收的波段範圍為 400 nm 到 1100 nm。

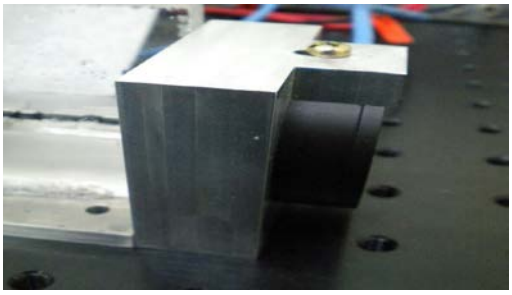


圖 2.10 光偵測器

(7)光功率計

光功率計(842-PE, New Port, Inc)可將電流訊號顯示成為數位訊號，將光功率計接到電腦，即可

做訊號的分析及儲存，本光功率計可量測到的功率範圍為 10 kW 到 5 pW。

圖 2.11 光功率計

(8)電源供應器

電源供應器(GPS-4303, Good WillInstrument, Inc)主要是輸出驅動電流給高功率發光二極體及致冷器。依照電源供應器的規格表可得知，定電壓(Constant Voltage)輸出的變動百分比(Line Regulation)≦0.01 %。

圖 2.12 電源供應器

(9)致冷器

致冷器主要可對 LED 進行散熱及降溫的功能，因為 LED 積熱會對輸出光訊號的穩定度造成劇烈影響，加了致冷器可使 LED 輸出光訊號更加穩定。本研究所使用的致冷器是在一般電子材料行容易購得的致冷器，如圖 2.28 所示，規格為 30 mm × 30 mm 的大小，額定電壓和電流為 12 V 和 3 A。

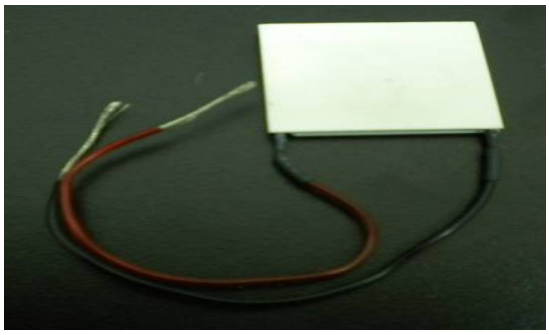
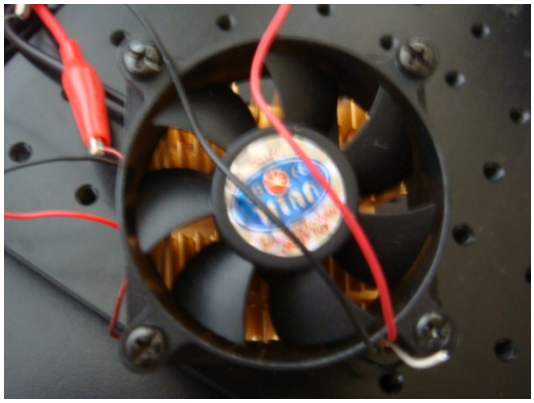


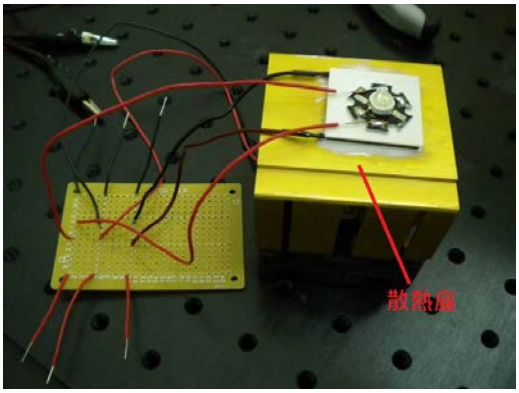
圖 2.13 致冷器

(10)散熱風扇

散熱風扇是採用 CPU 散熱風扇，如圖 2.15 所示，風扇本身和散熱座連在一起，利用金屬導熱的特性，再加上散熱風扇的轉動，可將熱導引至空氣中。實驗中散熱風扇會產生一定的震動與噪音，需注意散熱風扇轉動所帶給系統的干擾，經測試後以電流 0.05 A 供給散熱風扇，對系統能有最低的干擾。



(a)散熱風扇



(b)散熱座

圖 2.14 散熱裝置

三、結果與討論

本實驗量測光纖在彎曲的狀態下對感測解析度的影響，其治具分別為直線、彎曲半徑 35 mm、彎曲半徑 25 mm 和彎曲半徑 20 mm，實驗結果分析如下

表 不同曲率半徑的實驗數據(Slop)

彎曲半徑	第一重複	第二重複	第三重複
直線	$1.6X10^2$	$6.46X10^2$	$6.45X10^2$
35mm	$7.27X10^2$	$1.05X10^2$	$5.05X10^2$

25mm	$8.98X10^{2}$	$1.36X10^{2}$	$7.34X10^{2}$
20mm	$8.53X10^{2}$	$1.49X10^{2}$	$7.61X10^{2}$

表 個樣本之 R^2

彎曲半徑	第一重複	第二重複	第三重複
直線	0.99674	0.98904	0.99514
35mm	0.99454	0.99803	0.98718
25mm	0.99893	0.99967	0.99982
20mm	0.99794	0.99832	0.99502

表 個樣本之 STD

彎曲半徑	第一重複	第二重複	第三重複
直線	7.1×10^{-2}	7.26×10^{-2}	9.32×10^{-2}
35mm	6.46×10^{-2}	7.1×10^{-2}	6.26×10^{-2}
25mm	6.46×10^{-2}	6.91×10^{-2}	7.1×10^{-2}
20mm	7.3×10^{-2}	7.29×10^{-2}	6.67×10^{-2}

表 個樣本之 S.R.

彎曲半徑	第一重複	第二重複	第三重複
直線	2.33×10^{-3}	3.71×10^{-4}	4.77×10^{-4}
35mm	3.52×10^{-4}	2.23×10^{-4}	4.09×10^{-4}
25mm	2.97×10^{-4}	1.68×10^{-4}	3.19×10^{-4}
20mm	2.84×10^{-4}	1.61×10^{-4}	2.89×10^{-4}

表 S.R.總平均

彎曲半徑	總平均
直線	1.59×10^{-3}
35mm	3.28×10^{-4}
25mm	2.61×10^{-4}
20mm	2.45×10^{-4}

其結果顯示出當光纖之曲率半徑越小時，感測解析度也會越小，但測試彎曲半徑 15 ㎜時，光功率計顯示的數值極不穩定，無法測量，所以無測試資料，可能原因為彎曲半徑 15 ㎜是這光纖規格的彎曲極限值，與資料上的資訊相符

四、結論

本研究成功的使用自製的光纖彎曲治具使光纖在彎曲的狀態進行折射率的量測，結果發現當彎曲半徑越小時，感測解析度會變佳，在直線時的感測解析度為 1.59×10^{-3} RIU，但從彎曲半徑 35 ㎜時感測解析度改善到 3.28×10^{-4} RIU，到彎曲半徑 20 ㎜時感測解析度持續改善到 2.45×10^{-4} RIU，與理論相符；未來希望能做多一點彎曲半徑的治具，將光纖彎曲極限值找出，並在光纖規格表上註明，讓使用者了解其光纖彎曲極限值，在一定的範圍內使用，這樣可減少通訊不良的情況。

五、致謝

這一年來感謝許益誠老師的指導及幫助，讓我們了解許多實驗該注意和小心的地方以及實驗的可行性跟問題的癥結點，也感謝信文學長不厭其煩地在實驗室裡教導我們基本的禮貌、實驗室的規則和器具上的使用操作，也很照顧我們教導我們該如何尋找資料與做事態度，才能讓我們的實驗能如期完成。

六、參考文獻

[1]耿繼業，何建娃，2006，幾何光學，全華科技圖書，23-30 頁。

[2]林振國，2012，生醫用漸逝波光纖酸鹼值感測器之研究，碩士論文，國立中山大學，光電工程研究所，24-25 頁

[3]胡志得，2010，以側向研磨法製作光纖感測器及感測區尺寸參數探討，碩士論文，國立屏東科技大學，生物機電工程研究所，27-44 頁

[4] 謝振傑，2006，物理雙月刊（廿八卷四期）光纖生物感測器

[5] 王信福，2004，D 型光纖生化感測器，博士論文，國立中央大學，光電科學研究所，桃園。

The effect on sensing resolution of optical fiber sensor with different bending curvature

Abstract

In this study, fiber side-polished system manufacturing of a plastic optical fiber sensor is presented. The radius of curvature is 15 mm on self-assembly fixture. The sandpaper of granule is 22 μm. We processed the side-polish with the sandpaper. The depth of the fibers are 0.35mm. Fixing the optical fibers with the stages of radius of curvature of 20 mm、25 mm and 35 mm. High-Power Light Emitting Diode source assembly of stability for the good of the light intensity measurement system,the refractive index of the sucrose solution was measured to explore the sensitivity of plastic potical fiber sensor to detect changes. The aim of experiment is to explore the effect on sensing resolution ofoptical fiber sensor with different bending curvature. The results showed that the more radius is small, the more sensing resolution (S.R.) is good. The S.R. of linear plastic optical fiber sensor is 1.59×10^{-3} RIU,but the bending radius of 35 mm is 3.28×10^{-4} RIU and the bending radius of 20 mm is 2.45×10^{-4}.

The trend of results corresponds with theory.

應用超分光光譜影像分析番石榴糖度、大小與顏色

學生姓名: 謝孟倢、郭湘菱
指導老師: 謝清祿

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

番石榴的產季一年四季皆有,高屏地區占番石榴產量的最大宗。傳統在番石榴品質的選別上，多採用人工選別，僅能看出外觀與大小；國內部分農業之生產，逐漸仰賴機械化跟自動化以及電子資訊化作業。本研究利用超分光系統，設計出一套選別番石榴(珍珠拔)的方法，可以檢測出肉眼無法得知的糖度，利用超分光拍攝的影像得知光譜與糖度顏色的關係，以及顏色和截面積大小,在未來發展，可以提供農民一套機械化光譜選別標準，若利用在自動化上，則可讓選別過程比人工來得快速且精準。結果顯示: 以超分光影像系統拍攝的影像所得的光譜強度值,較具明顯的特性可以去分級,而 RGB、HSV 的結果,線性度不佳。光譜強度範圍取綠光 520nm~580nm,來做判斷,結果顯示糖度越高的番石榴,其超分光光譜強度越低,把此結果分成三級,其中光譜強度 190nm 以上,為糖度低者(第一級);165nm~190nm 為糖度中等者(第二級),而 165nm 以下為糖度高級者(第三級)。

關鍵詞:超分光、光譜影像、番石榴(珍珠拔)、糖度

一、前言

目前番石榴的以高屏地區為主要生產地,番石榴在分級上,是以重量糖度選別, 珍珠芭果重分 550 公克以上、550-450、450-350、350-250、250 公克以下,產業上已有自動化重量選別。在糖度的分級上,是取一整籃番石榴中的其中一顆,進行破壞性檢測糖度來代表此籃的番石榴糖度大小,此檢測方式對於每個番石榴個體糖度並不準確,誤差大。因此本研究，希望可以利用非破壞性檢測，使用超分光影像拍攝，建立糖度與光譜強度的關係，藉此可以檢測到每個番石榴的糖度值，提高判別率。

研究目的

本研究之目的在於利用非破壞檢測技術之一的光譜影像處理來檢測番石榴的果實之成熟度，利用色彩空間的轉換研究在各時期不同果色的番石榴之成熟度，分析顏色與糖度之間的關係，建立不同成熟度與糖度的物理性質，未來可提供番石榴運輸、成熟分級處理方法的參考。

文獻探討

柯等(1999), 研究藉由色澤的變化，經由影像處理判別荔枝果皮品質的變化，探討常溫下，以影像處理技術非破壞性檢測荔枝採收後顏色的變化。經由色彩空間轉換、形態學平滑化及輪廓追蹤之影像處理技術，量測出每一顆荔枝定量參數例如：RGB、HSI 平均灰度值、面積、周長等。經過四天，以未經保鮮處理之60 顆荔枝試驗,結果顯示,HSI 色彩模式中，平均色調值與重量變化最具相關性。

鄭等(2005),發展適用於振磁影像之自動影像分割法,以分析水果內部損傷區域並推估其損傷體積, 所選擇的實驗對象為加州李與國產水蜜桃兩種水果，水果經過不同程度之撞擊後以磁振造影儀取像，再分別利用以非監督式影像二元化方法為核心的影像分割演算法分割出影像中水果內部損傷的區域，從而估算截面積與損傷體積。

劉等(2006),基於傅立葉變換近紅外漫反射光譜技術探討了水果內部品質快速自動檢測的新方法,建立水果內部品質自動檢測系統,由光源,近紅外漫反射光線探討組件、銦鎵砷檢測器、數據採集卡和水果樣品室等部件組成,利用該系統對不同採收期雪青梨糖度和總酸度進行了自動檢驗並結合多元校正算法偏最小二乘法,建立了雪青梨漫反射光譜與其內部糖度、酸度的相關關係。研究表明，該自動檢測系統可以直接用於水果內部品質快速定量分析。

李(2004),應用多重線性迴歸(MLR)與最小平方迴歸(PLSR)及修正部分最小平方迴歸(MPLSR)檢測模式來探討不同光譜處理方式、不同波段對於珍珠拔番石榴糖度與脆度預測的準確性。結果顯示，以糖度預測方面以果蒂、果腹、果臍光譜所組成的MPLSR模式,波段400~2498nm的預測效果最佳。

陳(2010), 研究中選用39 個水梨樣品做分析，其中28 個樣品作為校正組,另外11 個樣品做為驗證組, 前處理技術包括中心平均化、微分、正常化、傅立業轉換等。接著進行定性分析或定量分析。在定性分析上， 主要是預測眾多樣品所屬之族群,其方法首先是進行主成分分析,了解各樣品之光譜族群分布， 再以距離量測方法如馬氏距離(Mahalan obis distance) 進行鑑別分析。

李(2012),研究黃金果採用果色與甜度利用影像處理(取H值、R值)與糖度計進行分析,以129色標準色票裡的V7、V8、V9為基準依不同比例分辨其成熟度,再利用線性迴歸分析H值與R值對糖度的影響,H值與糖度R^2 =0.8915,R值與糖度R^2 =0.4387,以實驗結果顯示HSV色彩空間的H值與糖度關係最好,故可利用此數值來做為成熟度的分析之依據。

陳(2002)利用近紅外線光譜分析針對番石榴(泰國芭樂)進行糖度的檢測。結果顯示番石榴糖度之近紅外線光譜以二次微分光譜分析結果較佳。在數值上,MPLSR模式分析結果比MLR分析結果要來得好。在MPLSR模式中,因子數為10時,總校正曲線RSQ值為0.941,SEC值為0.309。在PLSR模式中,因子數為12時,總校正曲線之RSQ值為0.898,SEC值為0.417。在MLR模式中,選用7個波長數時,總校正曲線之RSQ值為0.846,SEC為0.537,呈現出較佳結果。

潘等(2011)利用近紅外線光譜檢測芒果糖度,結果顯示,可借由在波長450nm~500nm與650nm至700nm之間,可以明確比較出果蒂、果腹、果臍的各級糖度所吸收的波長值的多寡來進行分類篩選。近紅外線光譜進行品質檢測，在於樣本內各成分其作用波長往往非常接近，因此處理數據時常受到重疊性的干擾。

二、研究設備與方法

2.1 方法與步驟

實驗流程圖
總共分為八大項,如圖1所示。

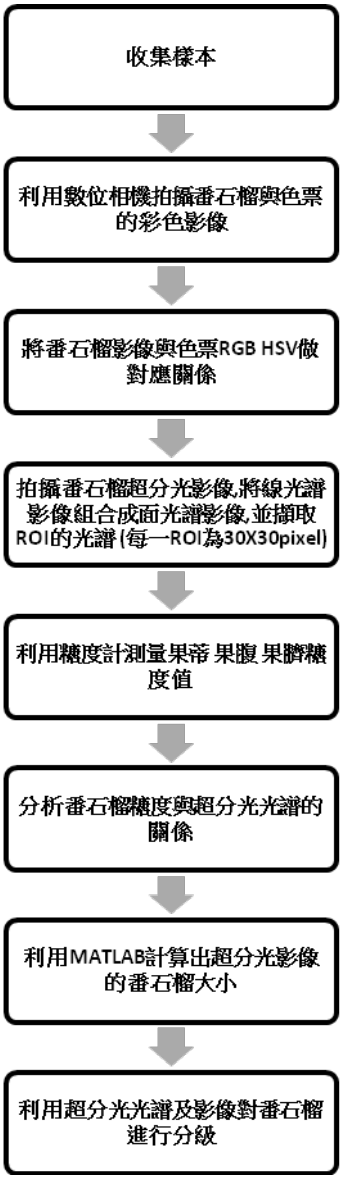


圖1.實驗流程圖

1. 收集樣本
2. 利用數位相機拍攝番石榴與色票的彩色影像(相機與番石榴物距為15cm)
3. 將番石榴影像與色票RGB HSV做對應關係
4. 拍攝番石榴超分光影像第一波段(404~579nm)與第二波段(579~750nm),將線光譜影像組合成面光譜影像,並擷取ROI(Region of Interest)的光譜 (每一ROI為30X30pixel),線光譜與面光譜影像如圖2所示

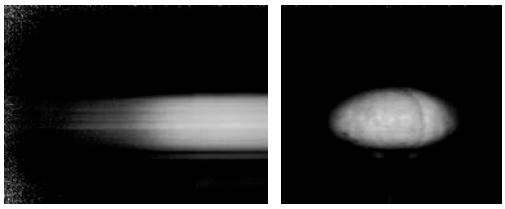


圖 2.線光譜影像與面光譜影像

5. 利用糖度計測量果蒂 果腹 果臍糖度值,挖取番石榴果肉每一樣點約直徑兩公分,如圖 3 所示。

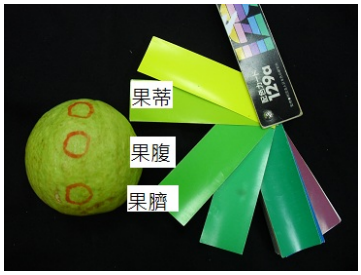


圖 3.番石榴量測位置圖

6. 分析番石榴糖度與超分光光譜的關係
7. 利用 MATLAB 計算出超分光影像的番石榴大小
8. 利用超分光光譜及影像對番石榴進行分級

方法:

糖度:使用糖度計量測

顏色:透過 MATLAB 中 RGB.HSV 及利用超分光影像光譜之強度找出顏色與糖度的對應關係;對應番石榴光譜與色票光譜關係

面積:拍攝方格紙,得知所呈現之 pixel 數目與實際大小的比例,再使用二值化影像去取得番石榴面積的 pixel 值,加以換算,進而得知番石榴之實際面積。

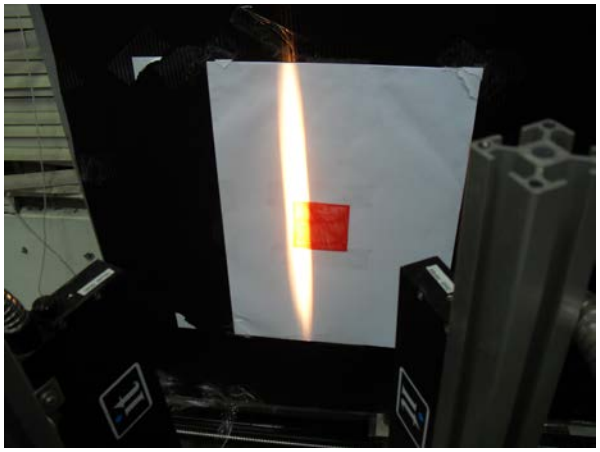


圖 4.為 5X5 大小的正方形方格紙

9. 結論

2.2 研究硬體與軟體

1. 日本 ATAGO PR-101 糖度計:

圖 5.1 PR-101 糖度計

測定範圍:Brix 0-45%
最小刻度:Brix 0.1%
誤 差 值:Brix±0.2%
適用溫度:5-40℃
測量時間:2 秒
所需樣品量:0.1ml

2.PRAKTICA 德國柏卡 Luxmedia10-SL 商品規格

圖 6.德國柏卡 Luxmedia10-SL

光圈:F = 3.1 - 5.6

焦距範圍:正常模式:LCD0.4m - 無線遠(所有變焦等級)/近拍: 0.1m - 0.6m (僅廣角)

3.MATLAB 軟體 2010 版:

MATLAB 是一家名為 Mathworks 的公司所出版的,由國內一家鈦思科技做為代理。MATLAB 是"MATrix LABoratory"的縮寫,這套軟體主要是用於矩陣式的數值運算,其有特殊的演算法則使其可以如此運算,且用法簡易,可靈活使用,程式結構強及具延展性。

4.超分光系統:

為本實驗室自行開發的超分光系統,其中包含 CCD、兩個移動平台(一個移動樣本,一個調整波段)、兩個光源、光柵、鏡頭。

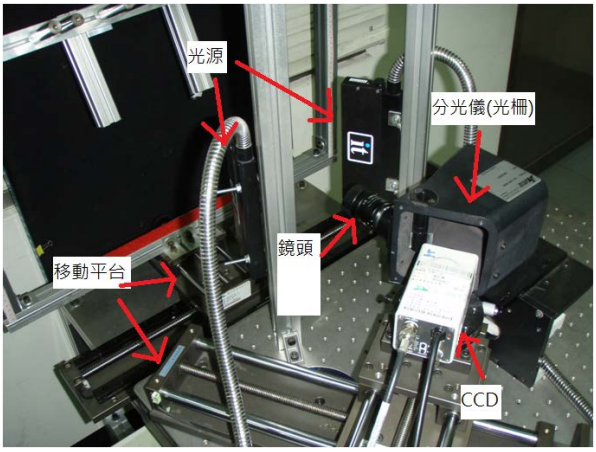


圖 7.超分光系統

5.129 色標準色票

由實驗室提供的 129 色色票,本實驗使用其中的編號 6、7、8、9 色票。

取顏色較與番石榴相關的綠色，加以做比對。

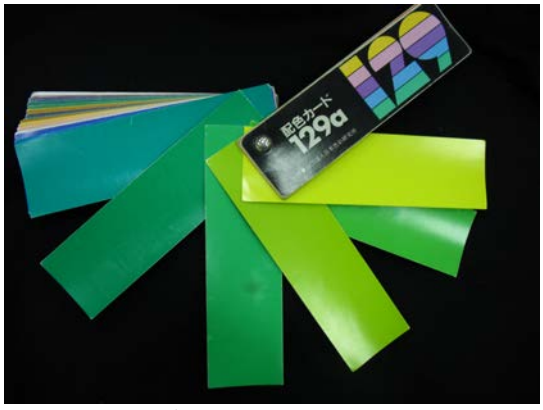


圖 8.129 色標準色票

三、結果與討論

實驗流程的問題與討論:

1. 收集樣本時,可以找顏色較深綠與綠白者,使樣本較具有多變性、代表性。
2. 使用數位相機拍攝番石榴影像，應注意是否反光，以及拍攝位置須與量測糖度與拍攝超分光影像的番石榴同一面。
3. 番石榴取 RGB 值與 HSV 值時,須要取相同的位置,以便做對應。
4. 超分光系統所拍攝的番石榴線光譜影像，須經過一次校正，接著再組合成面光譜影像。每次拍攝前都必須校正,光譜才會準確。
5. 量測果蒂、果腹、果臍糖度值，挖的大小約直徑兩公分,深度 1cm,且避免挖到中間種子的部分。
6. 利用 MATLAB 將影像二值化後得以方便計算其 pixel 數目,加以換算,換算方法在後文提及。

實際拍攝照片:

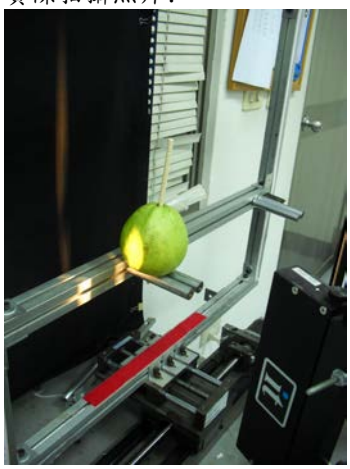


圖 9.實驗照片

圖 3.1 為拍攝過程照片,將番石榴架在支架上,背後有黑色絨布做為背景，番石榴距離超分光鏡頭為 30cm。

拍攝後光譜影像處理程序:

MATLAB 校正

MATLAB 組合成面光譜

圖 10.拍攝影像處理過程

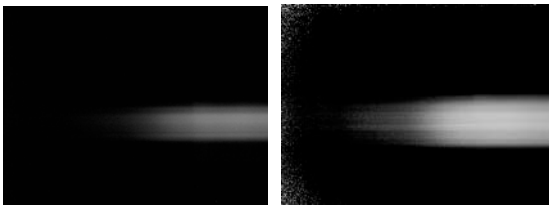


圖 11.未經校正的線光譜影像 ;圖 12.校正後的線光譜影像)

校正後的線光譜影像,會較清晰且亮,過濾雜訊。

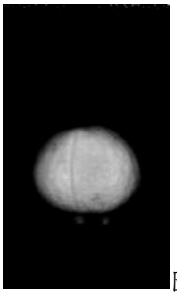


圖 13.組合線光譜為面光譜影像

將 640 張線光譜影像,取其各波段,而組合成面光譜影像,成為一完整的番石榴光譜影像。

番石榴樣本物性統整表:

表 1. 番石榴樣本物性表

				糖度結果			
編號	長 (cm)	寬 (cm)	高 (cm)	果蒂 Brix%	果腹 Brix%	果臍 Brix%	面積 cm^2
1	8.4	8.2	7.5	10.4	12.2	7.5	60
2	8.3	8.2	8.5	9.2	10.6	11.3	64
3	7.6	7.7	8.7	8.4	9.0	10.1	59
4	7.5	7.4	8.0	8.2	9.6	10.5	53
5	7.2	7.2	6.6	9.3	9.1	9.9	55
6	7.9	8.4	7.6	9.9	9.6	10.3	55
7	7.9	7.7	6.9	12.0	15.3	16.2	47
8	7.2	7.1	6.8	10.8	12.0	13.4	44
9	7.8	7.3	7.6	9.4	10.5	9.9	52
10	8.0	7.5	7.8	7.9	9.1	9.4	56
11	7.6	7.1	7.5	8.0	9.0	9.0	50
12	7.7	7.2	7.6	8.4	10.6	10.7	50
13	7.2	7.5	7.4	9.2	11.6	10.9	46
14	7.2	7.1	7.4	8.7	9.0	10.8	44
15	7.5	7.5	8.3	7.4	8.6	9.5	47
16	7.9	8.0	7.4	10.0	10.7	10.6	50
17	7.8	8.0	8.4	6.9	7.8	8.1	58
18	7.3	7.3	6.4	10.0	10.6	12.6	39
19	7.3	7.6	7.4	10.2	11.0	12.2	50
20	7.2	7.3	6.8	10.1	12.1	11.3	40

(圖 3.2 番石榴樣本物性表)

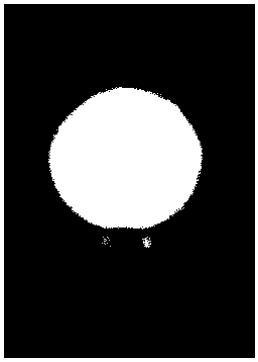


圖 14. 二值化後的番石榴超分光影像

本實驗中有 20 個樣本,分別取果蒂、果腹、果臍三個位置量測糖度、長寬高以及用 MATLAB 取二值化的番石榴超分光影像的 pixel,比對兩組校正比對組,實際面積為 $25cm^2$與 $100cm^2$所得的超分光光譜影像 pixel 數,做內差法推估面積值,利用 excel 畫出面積校正曲線,如圖 15 所示。

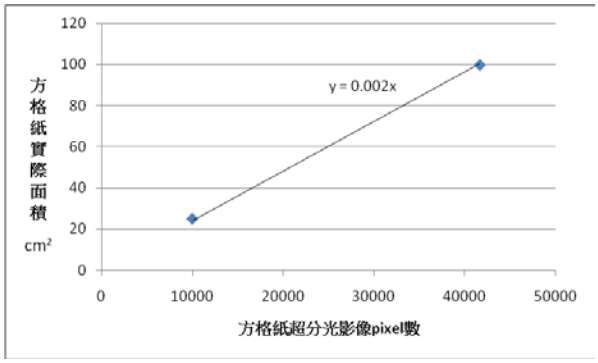


圖 15. 番石榴校正曲線

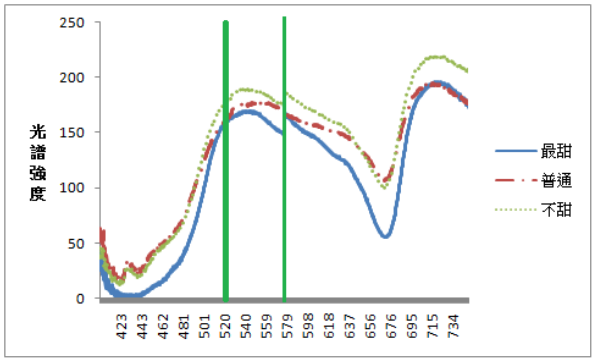


圖 16. 光譜強度影像

樣本糖度值不甜者(糖度值 6.9Brix%)等級者,普通者(糖度值 10Brix%),最甜者(糖度值 16.2Brix%)。

1. 由統計光譜強度圖表對照來看,整體來看可以得知,珍珠芭糖度值越高者,使用超分光影像拍攝出的光譜強度越低,強度越高者,糖度值越低。

2. 番石榴以綠色為其主要果色,綠色光譜波段在 520~580nm 處,範圍標註在圖 16 中。

從圖表上來看,等級最甜者(糖度值 16.2Brix%)其光譜強度在 520~580nm 處,起伏較陡,且強度值約在 165;

而相較於等級不甜者(糖度值 6.9Brix%)其光譜強度值約 190、等級中等者(糖度值 10Brix%)其強度值約 175。

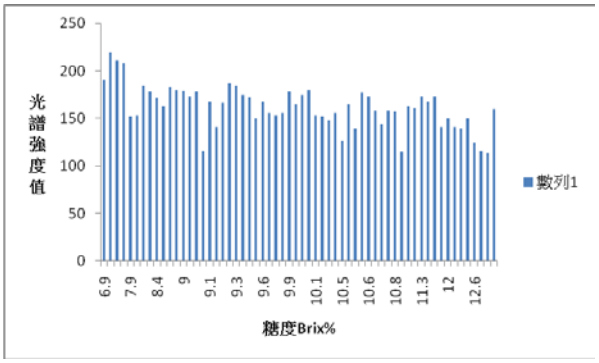


圖 17. 60 個樣點光譜強度圖

由 60 個樣點的光譜強度圖看來,線性度尚可。

其中較參差起伏高起的地方,推斷是果腹受光超分光光照較多且平均,因此通常一顆番石榴中,果腹的光譜強度可能較為偏高。

3. 以下以 RGB 來分析與番石榴糖度的關係:

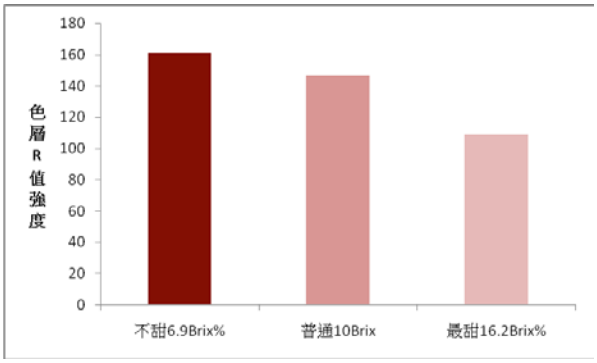


圖 18. 色層 R 強度表

圖 18 等級最甜者(糖度值 16.2Brix%)、等級普通(糖度值 10Brix%)、等級不甜(糖度值 6.9Brix%)的 R 值對照表。

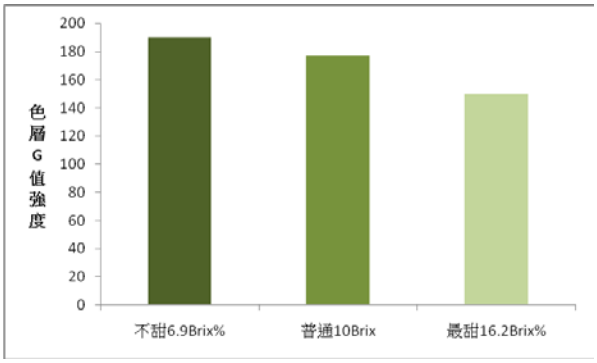


圖 19. 色層 G 強度表

圖 19 為等級最甜者(糖度值 16.2Brix%) 、等級中等(糖度值 10Brix%)、等級不甜(糖度值 6.9Brix%)的 G 值對照表。

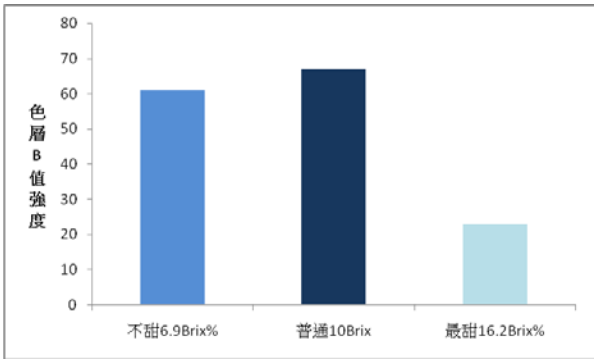


圖 20. 色層 B 強度表

圖 20 等級最甜者(糖度值 16.2Brix%)、等級中等(糖度值 10Brix%)、 等級不甜(糖度值 6.9Brix%)的 B 值對照表。

由圖 18、19 與 20 看來,R 值與 G 值與糖度較有線性關係,因此本實驗取六十個樣點的 R 值與 G 值用 excel 繪製成直條圖,來觀察其 R 值與 G 值是否有在多樣本數中,仍能呈現線性。

以下為番石榴 60 個樣點的 R 值與 G 值直條圖:

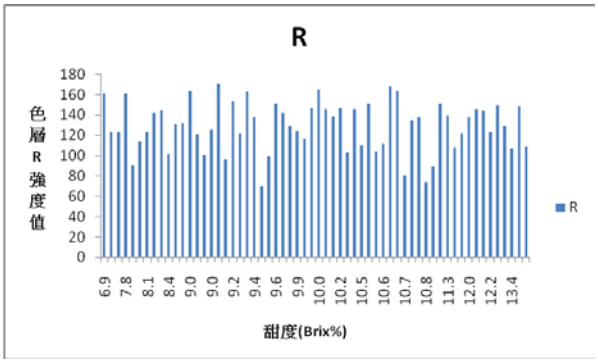


圖 21. 色層 R 強度表

60 個樣點的 R 值呈現的結果線性度不佳，不適合使用 R 值為指標。

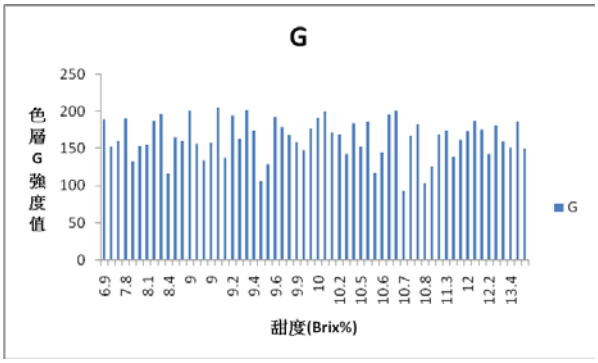


圖 22. 色層 G 值強度表

60 個樣點分佈圖 G 值的線性度不佳,亦不適合使用 G 值做為判定指標。

4. 以下以 HSV 來分析與番石榴糖度的關係:

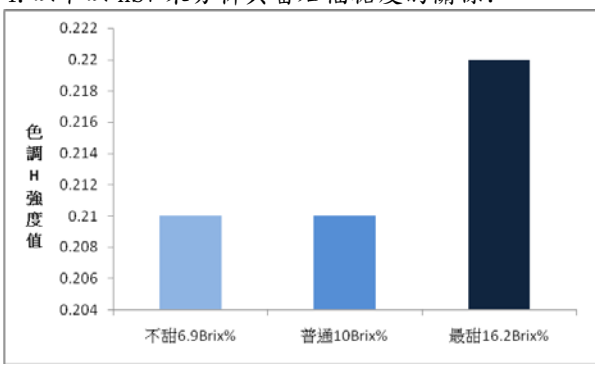


圖 23. 色調 H 值強度表

圖 23 為等級最甜者(糖度值 16.2Brix%) 、等級中等(糖度值 10Brix%)、等級不甜(糖度值 6.9Brix%)的 H 值對照表。

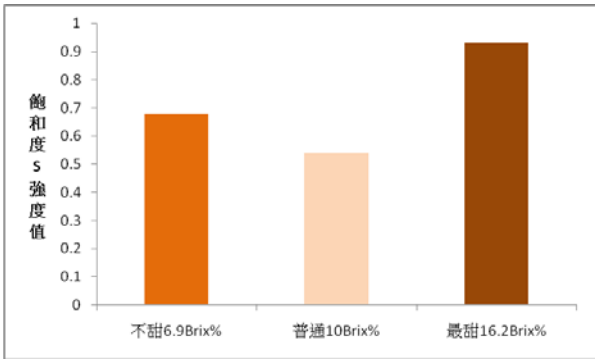


圖 24. 飽和度 S 值強度表

圖 24 為等級最甜者(糖度值 16.2Brix%) 、等級中

等(糖度值 10Brix%)、等級不甜(糖度值 6.9Brix%)的 S 值對照表。

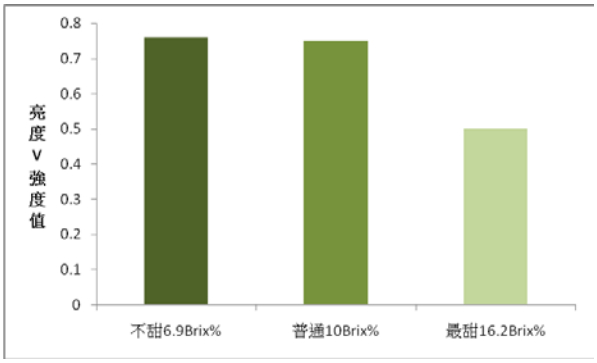


圖 25.亮度 V 值強度表

圖 25 為等級最甜者(糖度值 16.2Brix%) 、等級中等(糖度值 10Brix%)、等級不甜(糖度值 6.9Brix%)的 V 值對照表。

由圖 23、24 與 25 來分析,可看出 HSV 中,S 值不具有線性分佈,所以以下取 H、V 值的 60 個樣點直條圖呈現,來分析其是否在大樣本數下也仍具有線性關係。

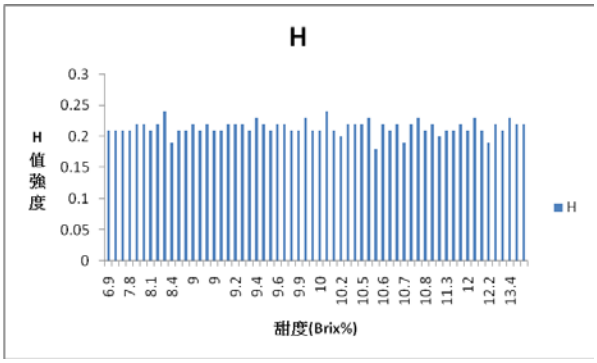


圖 26.H 值強度表

60 個樣點的 H 值平均為 0.215。在分布圖結果顯示，沒有多大的差別，線性度不佳，結果顯示H值不夠足以來代表糖度值關係。但其結果蠻為平均的,大約多落在 0.21~0.22。

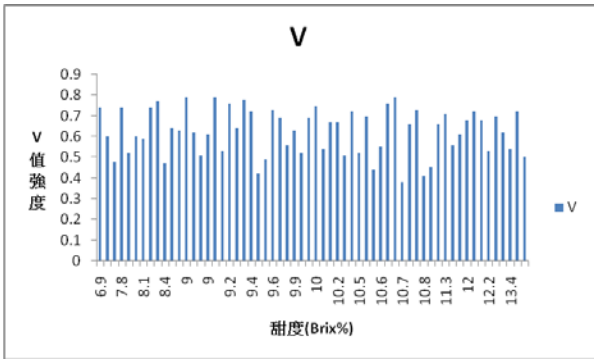


圖 26.V 值強度表

60 個樣點的 V 值平均為 0.625。

線性度亦不佳，不適合做為推斷糖度的代表。

5.總括來看：由 RGB、HSV 還有超分光影像拍攝的結果與糖度大小關係顯示,以超分光影像系統拍攝的影像所得的光譜強度值,較具明顯的特性可以去分級,而 RGB、HSV 的結果,線性度不佳。

番石榴 20 顆樣本 60 個樣點中,糖度值平均結果,果蒂 9.22Brix%、果腹 10.4Brix%、果臍 10.71Bix%;由此推論可知,番石榴個體的糖度值,平均結果來看果臍>果腹>果蒂。

訂定分級標準:

若以甜度、大小、顏色作為分級標準。

大的標準為:面積大於等於 50cm^{2}者,小的標準為面積小於 50cm^{2}者;糖度分三級,糖度小於 9Brix%(第一級)、大於 9Brix%小於 10.5Brix%者(第二級)、大於 10.5Brix 者(第三級);顏色分為兩類,綠與綠白。

由此可分為特優(糖度第三級、面積大者、顏色綠白)、優(糖度第二級、面積大者、顏色綠白與糖度第三級、面積小者、顏色綠&綠白)、良(糖度第二級、面積小者、顏色綠白與糖度第二級、面積大者、顏色綠)、不良(糖度第一級、面積小&大者、顏色綠&綠白與糖度第二級面積小者、顏色綠),總共四級,如表二所示。

表 2.番石榴分級表

分級	面積	糖度級數	顏色
特優	大 (>50cm^2)	第三級 (光譜強度<165)	綠白 (G<164)
優	大 (>50cm^2)	第二級 (165<光譜強度<190)	綠白 (G<164)
	小 (<50cm^2)	第三級 (光譜強度<165)	綠白 (G<164)
	小 (<50cm^2)	第三級 (光譜強度<165)	綠 (G>164)
	大 (>50cm^2)	第三級 (光譜強度<165)	綠 (G>164)
良	小 (<50cm^2)	第二級 (165<光譜強度<190)	綠白 (G<164)
	大 (>50cm^2)	第二級 (165<光譜強度<190)	綠 (G>164)
不良	小 (<50cm^2)	第一級 (光譜強度>190)	綠 (G>164)
	大 (>50cm^2)	第一級 (光譜強度>190)	綠白 (G<164)
	小 (<50cm^2)	第二級 (165<光譜強度<190)	綠 (G>164)

其中若以光譜強度值代表糖度,則取 520~580nm 處的光譜強度值,其中比照第一級糖度者,其光譜強度值大於 190;第二級糖度者其光譜強度值介於 190~165 之間,第三級糖度者光譜強度值小於 165。其中顏色以 G 值做為代表,因為 RGB 中,G 值代表為綠色,與綠相關性最高。60 個樣點的 G 值平均為 164,以大與 164 者為綠,小於 164 者為綠白,以此作為標準。

20 個樣本分級結果表:

表 3.樣本分級表

編號	面積(cm2)	光譜強度	G 值	分級結果	自行判別結果
1	60	185	175	良	優
2	64	166	190	良	優
3	59	168	198	良	良
4	53	167	178	良	良
5	55	159	192	優	特優
6	55	160	160	特優	特優
7	47	180	170	不良	不良
8	44	182	174	不良	不良
9	52	178	170	良	不良
10	56	155	126	特優	優
11	50	170	149	良	良
12	50	158	109	特優	特優
13	46	191	150	不良	不良
14	44	198	141	不良	不良
15	47	167	149	不良	不良
16	50	210	163	不良	良
17	58	193	179	不良	良
18	39	165	183	良	不良
19	50	174	161	優	優
20	40	182	162	良	良

其糖度的計算是使用樣本個體中,所量測的果蒂、果臍、果腹三個糖度值平均來做為樣本個體的糖度值。

G 值的數值是計算樣本個體中,果蒂、果臍、果腹三個位置的 G 值做平均代表樣本個體的 G 值。

使用本研究判別標準判別出的結果與自行判別結果比較,特優與不良判別出的顆數相同,判別率佳。

四、結論與建議

本研究利用超分光系統搭配數位相機,設計出一套選別番石榴的方法。希望可以從中找出糖度與光譜強度值與 RGB 值以及 HSV 值得關係。研究結果顯示,糖度值與光譜強度有較大的關係,而在 RGB 值與 HSV 值得關係不大,故在非破壞檢測分級上可以把光譜強度值作為主要目標。在光譜影像強度值方面,番石榴主要果色為綠色,故取 520nm~580nm 的波段地方進行分析,發現糖度越高者,其光譜強度越低,糖度 16.2Brix%者,強度值為 165,而糖度為 6.9Brix%者,強度為 190。超分光光譜影像的光譜強度,可作為糖度的代表,建立一個分級標準。

未來可以利用超分光系統與糖度的關係,搭配目前產業上的自動重量選別,結合出一套兼具重量與糖度的分級,提供更精準的選別方法。

建議:

拍攝燈光及照相機應盡量使相片呈現無反光,如此可以減少誤差,取 ROI 區域時,也應盡量避免反光區域。

超分光光譜影像可以更廣泛用來分析水果是否有撞傷或者蟲害,提供一個未來發展方向。

五、致謝

誠摯感謝指導教授 謝清祿 博士不厭其煩的教導解惑,讓我們不僅了解了許多專業上的知識,在實際操作機台方面,也學習到許多,獲益良多。

感謝 張介政 學長、楊文憲 學長、康筑雅 學姊的協助,解答了許多實驗上遇到的困難,在認識機台以及操作使用上給予許多幫助,使研究能順利的進行。

六、參考文獻

1. 陳志文,2010,近紅外光譜在水果甜度檢測之應用, ITRC Newsletter,第 97 期 ,10~11 頁

2. 劉彥德,應義斌,傅霞萍,陸輝山 ,2006,近紅外光譜水果內部品質自動檢測系統,浙江大學學報(工學版),第40卷第一期,第55~56頁

3. 李宜勳,2004、「可見光及近紅外線光譜於珍珠拔番石榴糖度與脆度檢測之研究」,碩士論文,國立屏東科技大學,屏東。

4. 張明郎,番石榴產業發展現況,2010年,行政院農業委員會農糧署

5. 鄭宇哲、余仁方、林達德,2005,桃子與李子磁振影像中損傷區域之影像分割方法, 農業機械學刊 第 14 卷 第 2 期,第13~25頁

6. 柯建全、黃膺任、艾群,1999,應用影像處理檢測荔枝果皮之顏色變化農業機械學刊 第 8 卷 第 1 期 第61~63

7. 楊文振,2002,番石榴外銷品質有標準,高雄區農情月刊第55期 http://kdais.coa.gov.tw/view.php?catid=2722

8. 潘佳祥,蘇厚仰,吳喬凱,2012,近紅外線光譜檢測金煌芒果糖度,國立屏東科技大學生物機電工程系

專題研究報告

9. 李柏志, 2012年, 應用數位影像檢測黃金果成熟度及糖度研究, 國立屏東科技大學生物機電工程系專題研究報告

10. 陳立平, 2002, 以近紅外線光譜分析番石榴糖度之研究, 碩士論文, 國立屏東科技大學機械工程系研究所

11. Hiroshi Okamoto, Tetsuro Murata, Takashi Kataoka, Shun-Ichi Hata, 2007, Plant classification for weed detection using hyperspectral imaging with wavelet analysis

12. Seung Chul Yoon, Kurt C Lawrence, John E Line, Gregory R Siragusa, Peggy W Feldner, Bosoon Park, William R Windham, 2010, Detection of Campylobacter colonies using hyperspectral imaging , Sens. & Instrument Food Qual.

Analysis of Guava Sugar Content , Size and Color with Hyperspectral Image

Researcher: Shan-Ling Kuo ,

Meng-Jie Hsieh

Advisor: Ching-Lu Hsieh Associate Professor

Department of Biomechatronics Engineering

National Pintung University of Science and Technology

Abstract

The guava produced during the whole year and the Kaohsiung- Pingtung is the largest of the guava production area.The traditional detection of guava quality by manual sorting.But it can only find out the out-look and size.Domestic agricultural production gradually rely on mechanizing with automation and electronic information of technologic procession. In this study,designing a measure of sorting guava quality by using heperspectral system which can measure out the sugar content,color and size that can‘t be detected by naked eyes. The hyperspectral images provided farmers a standard of mechanized detection in the future.Using automatic detection will be faster and more accurately than manual sorting.The result of research:the spectrum strength of images by using hyperspectral system have the obvious characteristic which is fitable to sort.But the result of RGB and HSV aren’t linearly.So RGB and HSV aren’t available to be the standard of guava quality detection. Take the hyperspectral spectrum strength 520nm~580nm which is the range of green light to judge their degree.The result told that the guava with the higher suger content has the lower spectrum strength.The result was separated three degrees.The spectrum over 190nm was allotted to the first degree;between 165nm~190nm was allotted to the third degree,and the one under the 165nm was distributed to the third degree.I

Key words:hyperspectral、spectrum image、guava、sugar content

腦部 CT 血塊體積測量方法的開發與比較

學生姓名：張竣翔 周承翰
指導老師：蔡循恒 博士

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

腦出血是嚴重危害人類健康的常見的致死疾病，在過去的45年中每10年其發病率呈倍數成長[8]。精確計算顱內血塊體積的大小，有助於提供臨床上對於頭顱外傷病人的治療依據，多年來腦出血傳統演算法是用多田公式法來計算，但此法誤差大[2.6.9]，儘管測量顱內血塊方法眾多，但都存在一些缺陷，眾多方法中，CT面積法所測結果之準確性是目前公認的。但該法需要於CT掃描機的控制台執行才能完成，若是CT機正在執行檢查時是無法進行測量的，此外我國目前大多數醫院CT診斷報告並未常規報告血塊體積大小。因此探索血塊體積的影像和計算方法具有重要意義。在本專題中我們以MATLAB軟體設計血塊體積測量的程式為PC推算法，以提供可在CT控制台以外的工作站進行血塊體積測量的另一種方法，並探討此法對顱內血塊體積測量的價值。根據本研究結果顯示，個人電腦測量法對顱內血塊的計量測量與CT面積法一樣準確、快速、簡單，可在臨床醫學中推廣應用。

一、引言

在顱腦疾病中，由車禍、外傷、打架、事故等引起的顱內血塊占了相當高的比例，顱腦損傷導致顱內出血。血液在顱腦內聚集達到一定體積時稱為顱內血塊[3.4]，通常小腦幕上血塊是在20ml以上，幕下血量是10ml以上，即可引起急性腦受壓症狀，危急生命。而30ml以上的高血壓腦出血是中老年人病率，致殘率極高的疾病，一般小腦幕上血塊是在30ml以上，幕下血量是10ml以上，並結合其他臨床症狀及指標，應採取手術治療，對於非手術治療的適應症(幕上<30ml，幕下<10ml)可視情況採取藥物治療或微創清除術。由以上可見，顱內血塊的大小是一重要臨床治療指標，能否準確和精確測量該血塊的體積意義重大[11]，血塊體積測量可作為潛在的預測指標。

CT 掃描則可以準確量化血塊體積和監測出血演變[7]，已經證實 CT 是一個有經濟效益的急性腦中風初步影像檢查工具[10]。然而目前準確認識顱內血塊（不論是定性還是定量）仍具有相當的難度。但該方法對出血量小、橢圓形的血塊測量較準確，而對於出血量較大、形態不規則、腦室內出血及硬腦膜下血塊的測量則欠精準[1.5.12]。但 CT 機須耗高成本購買該軟體，因而我國目前大多數醫院 CT 診斷報告未常規報告血塊體積大小。儘管測量顱內血塊方法眾多，但都存在一些缺陷。本研究比較多田公式法、CT 面積法及 PC 推算法評論其意義。

二、研究內容與方法

2.1 對象

本研究經人體試驗審查通過，選擇 2003 年 2 月至 2010 年 6 月高雄榮民總醫院屏東分院過去受檢者顱內出血患者的 CT 影像共 12 例，平均年齡（57±12）歲。個案記錄表中受試者的個人資料，一律完全去除。

2.2 方法

2.2.1 多田公式法

1981年由日本的多田提出，是臨床粗略計算腦出血量的一種簡便方法。原理：多田氏法的應用原理是將血塊體積理想化爲一橢圓球體，從而公式表達爲（體積）=1/6π×a(長徑)×b(寬徑)×m(層厚)×c(層數)，實際應用中腦組織層厚常設爲1cm，故公式簡化爲a×b×c×1/2。

多田氏公式法測量法：此份腦部CT影像切層厚度（slice thickness）為5mm和8mm、切層距離為0mm，出血區於左側腦實質區，出血切層長度範圍由1號至11號切層，血塊型狀呈長橢圓形。

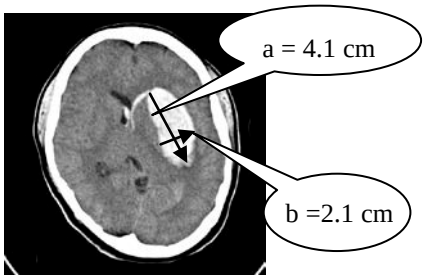


圖 1 多田氏公式測量法

a:最大血塊面積層面血塊的最長徑，b:最大血塊面積層面上與最長徑垂直的最長徑，c:CT片中出現出血的層面數×層面厚度（cm）。

2.2.2 CT面積測量法

2.2.2.1 電腦斷層掃瞄

電腦斷層掃描（Computed Tomography;CT），是一種影像診斷學的檢查，這一技術曾被稱為電腦軸向斷層掃描（Computed Axial Tomography)。X 射線電腦斷層掃描（X-Ray Computed Tomography;X-CT）是一種利用數位幾何處理後重建的三維放射線醫學影像。該技術主要通過單一軸面的X 射線旋轉照射人體，由於不同的組織對 X 射線的吸收能力（或稱阻射率（radiodensity））不同，可以用電腦的三維技術重建出斷層面影像。經由窗寬、窗位（windowing）處理，可以得到相應組織的斷層影像。將斷層影像層層堆疊，即可形成立體影像。

本研究頭部CT檢查影像來自廠SIEMENS、型號Balance、一層CT掃描機，切片厚度為5mm和8mm，掃描條件為130KV、220mAs，電腦斷層掃瞄儀如圖2。

圖2 電腦斷層掃瞄儀

2.2.2.2 Brain CT 影像呈現

在進行電腦斷層掃瞄前，會先掃描欲進行電腦斷層掃瞄的範圍圖，稱計畫片(Topogram)，如圖3。

圖3 計畫片(Topogram)

Brain CT影像呈現，因掃描的切片厚度及計畫片的設定範圍不同而顯示不同的張數，稱軸位切片影像(Axial slice image)，如圖4。

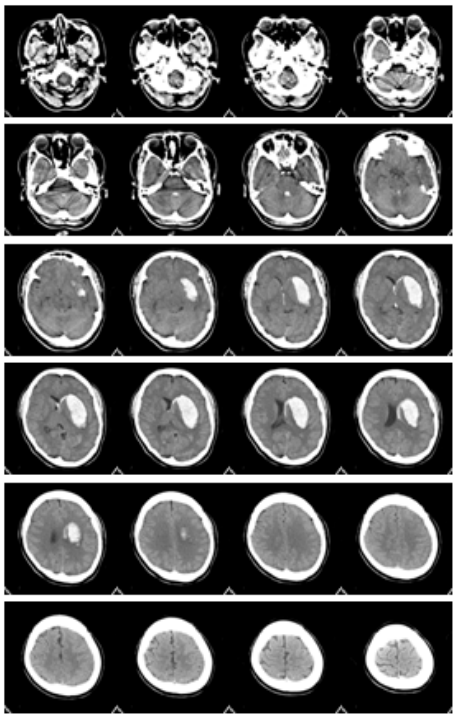


圖4 軸位切片影像(Axial slice image)

Brain CT的基本影像，最明顯的是白色的一圈頭骨，頭骨的外層有頭皮，CT上頭皮可以看到兩層，比較白的是皮膚(skin)，底下比較黑的是皮下脂肪(subcutaneous fat)，緊貼頭骨的內側是波浪形比較白一點點的腦迴，腦迴波浪的外層比較白的是灰質，波浪的中心比較黑的是白質，他跟深部的白質是連貫的。在波浪與波浪之間，可以看到很多黑色的空隙，那是腦溝，腦溝充滿了腦水，腦水是黑色的。另外在深部的地方有大腦鐮與腦室。

2.2.2.3 CT面積測量測量法

CT面積測量計算法爲普及型CT標準配置，用CT配備的計算軟體將每一切層（Slice）的血塊面積畫線包圍起來得到面積，再乘以層厚以得到每一切層血塊體積，再將之加總起來以得到血塊總體積。CT面積法使用軸位影像，層厚爲5mm和8mm，層間距爲0mm，測量介面如圖5。

圖 5 CT 面積測量法

2.2.3 個人電腦推算法

本次研究以 MATLAB 程式軟體設計血塊體積測量的方法為個人電腦推算法(PC 推算法)，以提供可在 CT 控制台以外的工作站進行血塊體積測量的另一種方法。計算時將程式灌於 CT 控制室的一部專屬個人電腦，設定開機密碼僅供專人操作此部電腦，且此部電腦專門只執行血塊體積測量的功用，不做其他用途，以避免病人資料外洩。為達到顱內血塊體積的測量，本研究利用影像分割方式，區分出腦部電腦斷層影像之血塊區域，為達到此目的，必須對影像主體做前置影像處理，包含影像二值化、影像侵蝕與膨脹等。影像前處理之處理流程圖如圖 6。

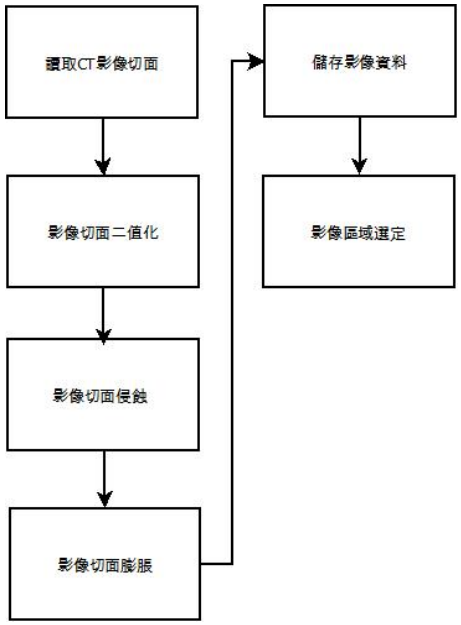


圖 6 CT 影像顱內血塊分割步驟流程

2.2.3.1 影像二值化(Binarization)

影像之二值化臨界值(Threshold)是對影像做一種類似標記的工作，將每一個像素點做一個區分的規劃，若像素點測出之灰度值高於臨界值時給予一個新的像素值為 1，反之，像素值測出之灰度值低於臨界值時，給予一個新的像素值為 0。如此一來，整個影像將會轉換成二值化影像。二值化主要目的，只是為了將影像中的背景與目標物區分開，以方便辨識，影像二值化之結果如圖 7。

$$T=\begin{cases}1 & f>g\\ 0 & f<g\end{cases} \qquad (1)$$

f:輸入影像，T:輸出影像，g: 臨界值。

圖 7 CT 影像二值化結果

2.2.3.2 影像侵蝕(Erosion)

侵蝕運算主要是利用在遮罩裡所有點素灰度大小排序最小的灰度值，侵蝕運算執行後，該點素之灰度值將是該點素與其八鄰接點之灰度值中之最小值，當影像物體為亮點時，執行蝕刻運算時，會造成物體蝕刻縮小之結果，影像侵蝕結果如圖 8。

圖 8 CT 影像侵蝕結果

2.2.3.3 影像膨脹(Dilation)

膨脹運算是找出在遮罩裡所有點素灰度大小排序最大的灰度值，在膨脹運算執行後該點素之灰度值將是該點素與其八鄰接點之灰度值中之最大值，當影像物體為亮點時，執行膨脹運算將會造成物體膨脹結果，影像膨脹結果如圖 9。

圖 9 CT 影像膨脹結果

從侵蝕運算與膨脹運算可發展出斷開運算與閉合運算。斷開運算先做影像之侵蝕運算，再做影像之膨脹運算，其功用在於可以除去血塊影像之雜訊小點，膨脹運算能使被侵蝕之血塊部分藉由膨脹後恢復其原本大小，經侵蝕膨脹後能使血塊區域選定時能做出正確的選定。

對每張有血塊的圖像以影像遮罩的方式配合滑鼠做選定，得到血塊圖像，記算出白色區域(血塊)之像素數目，再與像素點之實際尺寸大小相乘積，便可得到此物體之實際面積大小，對每層血塊面積乘以 CT 切片厚度後加總，得到顱內血塊總體積，血塊區域選定結果如圖 10。

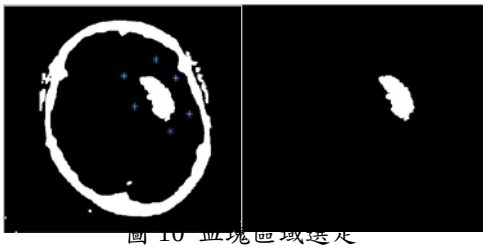
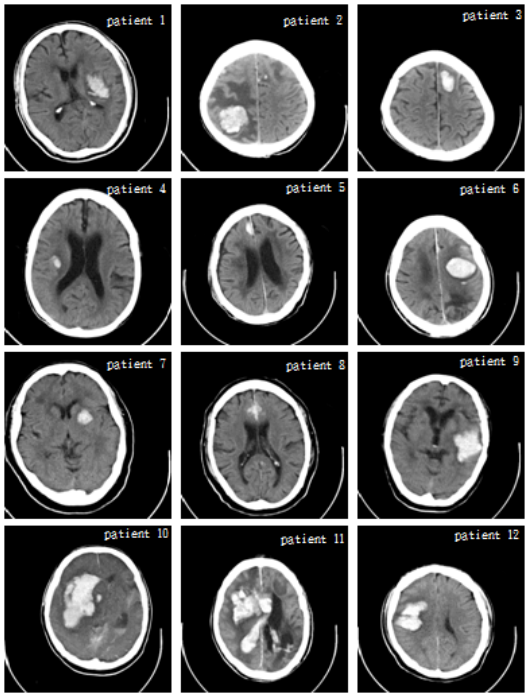


圖 10 血塊區域選定

2.2.4 研究材料

本研究採用高雄榮民總醫院屏東分院放射科所提供的各種不同的顱內出血CT影像作為研究對象，分為規則形出血和不規則形出血，且均為急性出血類型(血塊呈白色鮮明)如圖11。



2.2.5 程式操作步驟

利用MATLAB內的GUI工具編寫一套影像處理程式，對顱內出血之CT影像進行二值化、侵蝕、膨脹，最後進行血塊區域選定計算出血塊體積，程式操作介面簡單化，讓使用者即使沒有MATLAB使用經驗也能藉由此程式完成顱內血塊體積計算，程式介面如圖12。

操作時(1)在調整區輸入CT切片厚度(mm)和CT-FOV(Field of View)。(2)影像處理區，選取影像處理讀取影像，讀取影像如圖13，並選取儲存路徑，如圖14，以進行影像二值化、侵蝕、膨脹。血塊類型 patient1~7 為規則形出血，patient8~12 為不規則形出血

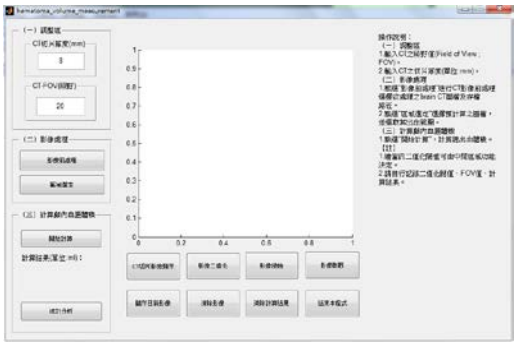


圖 12 程式 GUI 介面

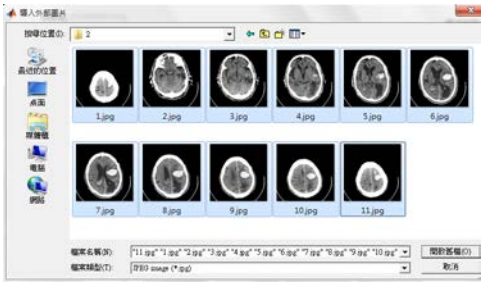


圖 13 選取影象之畫面

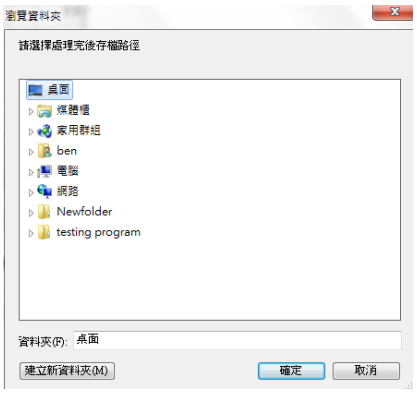


圖 14 選取儲存路徑

(3)點選區域選定，選取處理好的影像進行血塊區域選定，血塊選定完成後，點選開始計算，並顯示結果，如圖15。

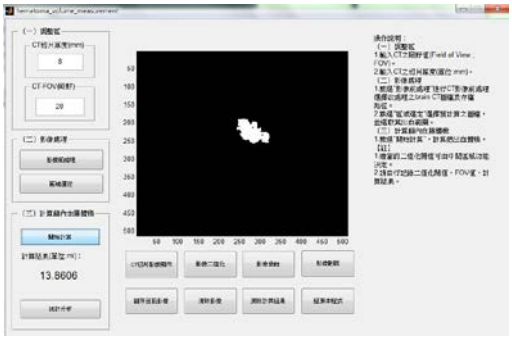


圖 15 血塊選定完畢結果顯示

三、結果與討論

對每個出血例子(規則和不規則形出血)分別使用 PC 推算法和多田公式法進行 10 次測量，數據以均數表示，測量結果如下表 1。

表 1 三種方法測算腦出血量（ml）結果準確度差異的比較

血腫型態	序號	CT (ml)	PC(ml)	多田(ml)
規則	1	13.5403	13.8491	14.1248
規則	2	26.483	27.0227	27.1028
規則	3	6.3991	6.3509	6.5592
規則	4	1.1463	1.4817	1.5122
規則	5	2.8724	2.8282	2.2177
規則	6	37.45	34.318	37.1212
規則	7	1.7169	1.575	1.881
不規則	8	3.7413	3.6475	6.4394
不規則	9	23.2618	22.2169	39.4697
不規則	10	75.7767	75.207	110.6151
不規則	11	117.181	95.6318	165.2635
不規則	12	38.9796	39.2251	66.7308

統計分析使用MATLAB軟體編寫統計分析程式，採用配對t檢驗，檢驗水準 $\alpha = 0.05$。以CT面積法為標準，分別比較PC推算法、多田公式法與CT面積法的差異。經t檢定CT法和PC法在規則型出血及不規則型出之血平均數之差異均無統計學意義($P>0.05$)，多田公式法在規則形出血與CT法平均數之差異無統計學意義($p>0.05$)。而在不規則型出血時與CT法平均數之差異有統計學意義($p>0.05$)。

多田公式法，在橢圓形血塊、規則形出血準確度較高，在不規則形、硬腦膜下出血誤差極大，在瀰漫型、蜘蛛網膜下腔出血則無法測量。然而CT面積測量法，在瀰漫型、蜘蛛網膜下腔出血則仍無法測量。PC推算法同樣可準確地測量橢圓形血塊、不規則形、硬腦膜下出血，在瀰漫型、蜘蛛網膜下腔出血同樣無法測量。

四、結論

本研究開發之計算方法應用於顱內血塊的體積測量，具備下述幾項優點：

(1)任何個人電腦只要有此程式，經訓練手法的專人操作，網路放入CT影像光碟即可進行體積測量工作，而不影響控制台對病患的檢查工作。

(2)計算時，將MATLAB 程式灌於CT控制室的一部專屬個人電腦，設定開機密碼僅供專人操作此部電腦，避免病人資料外洩。

(3)有此程式後，另一個醫事放射師可在任一有此程式的個人電腦執行測量，放射科醫師也可在自己辦公室執行測量。

(4)二與第三點可同時執行測量同一組影像，無須輪番排隊。

(5)本測量法與CT機測量法相較同樣具備有測量準確度高、簡便、易行..等特性。

(6)CT操作台僅能對尚存於硬碟中的影像檔進行影像處理與血塊體積測量，有燒錄備份的光碟經讀取存回CT硬碟亦可進行測量，然而高雄榮總屏東分院的現況是自有PACS系統後，為求不再消耗高成本與保存空間的不便，拍攝完的CT影像位未經光碟備份的程序即直接上傳至PACS，因此只要是非存在CT硬碟內的影像，是無法進行血塊體積測量的，故有此軟體後在任一個人電腦，只要有圖檔放入即可進行血塊體積測量，可提供建檔，或是回溯性調查之研究。

(7)PC測量法較多田公式法測量更加精確。

(8)PC測量法與CT面積測量法相較同樣具備有測量準確度高、快速的特性、提供醫學、法醫學上判斷是否為嚴重出血或重大傷害之依據。精確、迅速測量顱內血塊體積，為顱內血塊選擇適合治療方案的基礎，為治療的關鍵所在，CT定量法和PC推算法能夠滿足臨床應用需要，值得在臨床上推廣運用。

本次為研究初探，確認程式方法的可行，樣本數與出血形態類型的數目尚稱不足。樣本數與出血形態類型增多，可增進統計上的意義與效度。本次研究使用的層面厚度為 5mm 和 8mm，採用越薄的層面，如 1mm，CT 面積測量法與 PC 測量法的準確度是最大的。

研究限制與未來展望方面：各種測量法對瀰漫型、蜘蛛網膜下腔出血皆是無法測量的。本研究路線已有文獻採用『動物模式』與『製作顱內血腫模型』進行此路線的研究，足供延續此研究的參考。

五、致謝

首先誠摯的感謝指導教授蔡循恒博士及高雄榮總屏東分院蔡豐吉放射師悉心的教導與豐富的資料提供，使我們更瞭解放射和影像處理領域，不時討論並指點我們正確的方向，使我們在這次的研究中獲益匪淺，也感謝研究室的學長學姊們在我們陷入困惑時給予幫助以及對本論文的建議與斧正，使此次的研究得以順利完成致上萬分感謝之意。

六、參考文獻

〔1〕王文娟,劉艷芳,趙性泉,等. 腦出血治療指南. 中國卒中,2006,1(12).

〔2〕王忠誠. 王忠誠神經外科學 湖北科學技術出版社

〔3〕閆樂卡,劉懷軍,李劍穎,等. CT 血腫體積測量軟體與多田公式對比及應用〔J〕. 河北醫藥,2010(16).

〔4〕張寓智,劉祥仁,陳俊榮,等. 急性缺血性腦中風一般處理原則指引.台灣腦中風學會, 2006.

〔5〕閆樂卡,劉懷軍,閆春明,等. 腦出血血腫體積動態演變的相關因素及CT定量評價〔J〕.河北醫藥,2010(20).

〔6〕閆樂卡,劉懷軍,李劍穎,等. 腦出血體積、密度、形態動態演變的CT定量評價〔J〕. 臨床放射學雜誌,2010,29（9）：1159-1161.

〔7〕陳儀.日本多田氏法計算顱內血腫體積公式的適用範圍〔J〕. 刑事技術, 2002（1）.

〔8〕劉伯強. 基於CT圖像的顱內血腫體基測量方法的研究. 山東大學, 2007

〔9〕戰明才.多田氏法計算顱內血腫體積介紹〔J〕.刑事技術,1998（3）.

〔10〕騰良朱,孫為群. 顱腦損傷診療手冊 山東科學技術出版社. 2000.6

〔11〕Sacco RL, Wolf PA, Bharucha NE, et al. Subarachnoid and intracerebral hemorrhage: natural history, prognosis, and precursive factors in the Framingham Study〔J〕. Neurology.1984 Jul;34(7):847-854.

〔12〕Freeman WD, Barrett KM, Bestic JM.

Computer-assisted volumetric analysis compared with ABC/2 methodfor assessing warfarin-related intracranial hemorrhage volumes.J Neurocrit Care,2008,9:307-312.

The Development and Comparison of Brain CT Hematoma Volume Measurements

Student: Cheng-Han Jhou

Chun-Hsiang Chang

Teacher: Hsun-Heng Tsai

Department of Biomechatronics Engineering

National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

To calculate accurately the volume of clots can provide useful information for the head trauma treatment. Over the years, the traditional algorithm of cerebral hemorrhage was calculated by Coniglobus formula method, but the error of this method is big. Despite there are many methods of measuring intracranial hematoma, but there are all some defects. Among these ways, the accuracy of measurement results of CT square measure approach is generally acknowledged highest currently. However, the method need to rely on the console of CT machine. Besides, the most CT diagnostic report of hospital was not regular reports of hematoma volume size in our country. It is important to explore images and measurements in hematoma volume. We find the method of hematoma volume measurement that was designed by MATLAB programming software within the personal computer, which could

provide another method of hematoma volume measurement that could to run the software at the workstation outside the console of CT machine. According to this study The personal computer with MATLAB software can measure the volume of various intracranial hematomas precisely and simply. It should be recommended in the clinical medicine.

探討前處理對於檸檬果皮醱酵時間之影響

學生姓名: 李宇傑、朱祐陞、蕭力嘉
指導教授: 李柏旻

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

近年來再生能源與生質能發展，許多廠商開始研究與發展，例如農業廢棄物的再利用，藉由利用廢棄物，廢棄物有了新用途，也省去處理廢棄物的成本與廢棄物對於環境影響，藉由發展副產品，更提高農產品的利益。各式各樣的廢棄物有了更好的處理方式，稻穀的廢棄物可當作廉價燃料，蔬果類的廢棄物可製成堆肥、有機肥、醱酵液，亦或是成為家畜的粗飼料。本篇研究的目的，提高農業廢棄物副產品生產效率，其中以檸檬果皮醱酵液為主題，藉由改變細化程度來提高醱酵速率，使醱酵液能在更短的製程內完成。

關鍵字:檸檬果皮、醱酵時間、前處理、農業廢棄物

一、 引言

台灣在 2012 年本土的檸檬生產量約有 20612 公噸，而屏東地區在 2012 年生產量有 13922 公噸[1-2]，佔全台檸檬總產量約 70%[1-3]，因檸檬比起其他水果較不易直接食用，大多數進行工業製造或產品製造，如製作檸檬原液或食品成分，檸檬所生產的廢棄物往往是由各家廠商得再次處理，檸檬果皮在過去不能得到有效的利用，現今雖藉由醱酵程序製作成醱酵液，檸檬果皮醱酵液可做為清潔產品與堆肥等相關用途，但是製程仍然長達 3 個月。

本實驗主要以檸檬果皮做為研究對象，利用 前處理使 其更加細小，藉由增加接處表面積提高醱酵速率，並藉由總醣分析、總酸分析、pH值檢測、含水率等實驗，觀察 細化程度對於醱酵液生產速率的影響，希望藉由縮短醱酵液製程促使檸檬果皮再利用與其各項應用。

1.1 研究背景與動機

多數農業廢棄物的發展，已擁有相當的效率與歷史，檸檬雖然仍能食用，但廣泛用途較於一般水果以食用為目的不同，可製作食品原料、化學原料、香水、化妝品等，多數廠商仍未重視廢棄果皮的再利用，製作醱酵液也採取較粗糙的作法，不僅製程長，醱酵環境與空間也是問題，屏東正屬於台灣檸檬的最大產地，接近我校屏東科技大學，易與廠商接觸洽談，也容易取得實驗所需的檸檬果皮，更能就地觀察廠商如何處理果皮廢棄物，進而改變條件，改良製程。對於其他農業廢棄物而言，檸檬果皮是較值得改良再利用方式的資材。

1.2 研究目的

本實驗以改良檸檬果皮醱酵液製程為目的，分別將檸檬果皮以三種不同細化程度，未處理方式、原廠方式、自製方式，完成醱酵製程，再藉由與廠商成品進行成分比對，找出最有效率的製程，以達到廢棄物有效利用的概念。

二、研究內容與方法

2.1 材料

2.1.1 檸檬果皮

而我們則是取用整顆果實剩下的營養成分為主要材料。將檸檬果皮的成分在做分析會得到甲氧基黃酮、檸檬黃素(Hesperidin)、Diosmin 及他種黃酮類。

我們取用永大食品原料公司所提供的兩袋檸檬皮，一袋為製作產品檸檬天然果汁所留下的檸檬果皮，另一袋則是製作醱 酵液時細化處理的檸檬果皮，為了取得 細化程度的不同我們將永大食品未細化時的果皮進行處理。

表 2.1.1 檸檬果皮成分表

成分	含量
熱量	14 卡
水分	53 克
蛋白質	0.5 克
脂質	0.4 克
醣類	3.5 克
纖維	0.4 克
灰分	0.4 克
鈣	29 毫克
鐵	0.1 毫克
維生素 B1	0.04 毫克
維生素 B2	0.01 毫克
維生素 C	25 毫克
菸鹼酸	0.06 毫克
廢棄物	42%

圖 2.1.1 檸檬果皮圖

2.1.2 黑糖

醣類是作為微生物菌體成份和抗生素分子中碳元素來源的重要成分，是用來供給產生菌生命活動所需要的能量和構成菌體細胞以及各種代謝產物的物質基礎。通常作為碳源的物質有醣類、脂肪及某些有機酸[2-1]。

醣類可被微生物利用的速度排列，則一般為己糖＞雙糖＞戊糖＞多糖，但這一順序對所有微生物並非都是一樣的。

黑糖是由蔗糖所組成的產品，蔗糖是以純粹製品用於工業醱酵。蔗糖在國外工業上生產檸檬酸軍用純淨的商品蔗糖作為主要基質。乳酸也可由蔗糖來生產，蔗糖還可作為生產 L-色氨酸、麥角鹼、6-磷酸葡萄糖脫氫酶、L-離氨酸、金黴素、黃原膠的複合培養基中的碳源。蔗糖多數以糖蜜的形式供應。

圖 2.1.2 市售黑糖圖

2.1.3 血清瓶

圖 2.1.3 血清瓶圖

2.2 醱酵液之條件

2.2.1 細化程度

細化程度為本次實驗最主要的改變條件，藉由增加接觸面積，來減少製程所需要的時間。經實地探訪食品加工廠，了解現今對於檸檬果皮的再利用過程，得知製程採取大量且批次，進入攪碎機進行前處理，工廠必須處理的果皮量相當大，無法使檸檬果皮進行相當程 度的細化，實驗則可以利用粉碎機進行更進一步的細化，來驗證 增加接觸面積是否能縮短製程，本次實驗主要概念以相同比例，不同細化的前處理來進行醱酵。

圖 2.2.1 檸檬果皮前處理比較圖

2.2.2 溫度

溫度控制也同樣是醱酵製程的條件，醱酵過程需經由恆溫設備來使環境溫度變化減少，使醱酵過程更有效率，各式菌種在醱酵時，也各有最適合且活性最佳的溫度，本次實驗並無加入任何特定菌種，比照與原廠商處理，採取自然醱酵，也因此在溫度控制上有較大的範圍，一般醱酵製程通常高於室溫但不破壞菌種活性為原則來進行控制，因此溫度的範圍約落於 30°C~50°C 之間 [2]，本實驗以加熱水槽方式進行醱酵，設定溫度為 35°C[2-1]。

圖 2.2.2 設置加熱水槽靜置圖

2.3 實驗方法及過程

2.3.1 檸檬果皮含水率分析

(1) 實驗取三組未處理檸檬果皮樣本，各5g。
(2) 分別量取坩鍋重量(x1)。
(3) 分別量取各組總重(x2)。
(4) 置入烘箱4~6小時。
(5) 再次量取各組總重(x3)。
(6) 藉由公式計算含水率(%)。

含水率(%)公式: [(x2 – x3)/(x2 – x1)]*100%

成果:

空坩鍋重量:

組別	坩鍋重
A組	52.421g
B組	35.198g
C組	47.738g

烘乾前總重量:

組別	總重(烘乾前)
A組	57.420g
B組	40.187g
C組	52.731g

烘乾後總重量:

組別	總重(烘乾後)
A組	53.375g
B組	36.166g
C組	48.681g

含水率(%):

組別	含水率(%)
A組	80.75%
B組	80.65%
C組	81.05%

圖 2.3.1 烘乾前檸檬果皮圖

圖2.3.2 檸檬果皮烘乾圖

2.3.2 檸檬果皮灰份分析

(1) 實驗取三組未處理檸檬果皮樣本，各5g。
(2) 分別量取坩鍋重量(x1)。
(3) 分別量取各組總重(x2)。
(4) 置入灰化爐4~6小時。
(5) 再次量取各組總重(x3)。
(6) 藉由公式計算含水率(%)。

灰化(%)公式: [(x3 – x1)/(x2 – x1)]*100%

成果:

空坩鍋重量:

組別	坩鍋重
A組	45.178g
B組	46.360g
C組	48.513g

灰化前總重量:

組別	總重(灰化前)
A組	50.170g
B組	51.347g
C組	53.496g

灰化後總重量:

組別	總重(灰化後)
A組	46.045g
B組	47.245g
C組	49.478g

灰化(%):

組別	灰化(%)
A組	17.5%
B組	17.76%
C組	19.32%

圖 2.3.3 灰化前檸檬果皮圖

圖 2.3.4 檸檬果皮灰化圖

2.3.3 檸檬皮前處理

圖 2.3.5 檸檬皮處理流程圖

2.3.3.1 未處理方式

未處理檸檬果皮為廠商將檸檬榨取果汁之後，未經過細化之廢棄物，屬於最原始的並未處理的廢棄物，大多數與檸檬果皮原本大小相近，仍然有殘留檸檬果肉與籽的部分，碎塊大小約 5~7㎝。

2.3.3.2 原廠方式

原廠商採用批量送入大型粉碎機，屬於經過粗略細化過程的廢棄物，碎粒部分已經縮小至 1~3㎝，但應數量龐大，且大型粉碎機無法完全將細化大小統一，仍有相當數量的較大碎塊存在。

2.3.3.3 自製方式

本次實驗將已經粗略細化過程檸檬果皮，再次經由小型細緻粉碎機粉碎，因為數量較少，可以完全將檸檬果皮磨碎至半泥狀，大小均勻且細緻，可以大幅增加醱酵時接觸面積，細化程度<0.5㎜。

圖 2.3.6 檸檬果皮處理圖

圖 2.3.7 粉碎機圖

2.3.4 醱酵作業

醱酵製程採取與原廠商相同之製程，將原料蒸餾水、黑糖、檸檬果皮以 6:1:3 的比例，投入血清瓶內進行自然醱酵，靜置數週，並以濾網過濾殘渣，即可取得檸檬醱酵液。本次實驗配置九組樣本，將每種前處理方式分配三瓶醱酵罐，複數樣本在成分分析上可以更加準確客觀，醱酵罐採用 2 公升玻璃血清瓶，裝取 1 公斤內容物進行醱酵。

表2.3.1 醱酵成分比例表

成分	內容量
蒸餾水	600ml
檸檬果皮	300g
黑糖	100g

圖 2.3.8 醱酵實驗流程圖

2.3.5 定期透氣

罐裝醱酵初期產氣量大，透過定期打開封蓋透氣，避免血清瓶無法承受大量氣體產生的壓力，通風拌氣使醱酵過程更加良好。

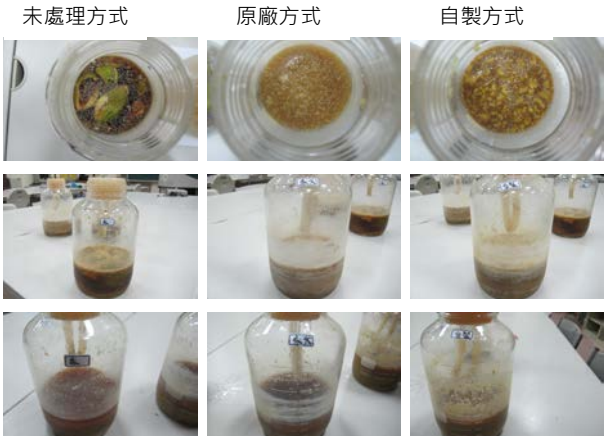


圖 2.3.9 定期醱酵透氣圖

2.4 各醱酵罐、原產品萃取與成分分析

2.4.1 有機酸分析

檢測各樣本有機酸含量，觀察不同程度的細化是否影響其程度，也便於觀察與原廠成品之間的差距。

酚酞指示劑前置作業:0.5g 酚酞加入 50ml 乙醇(95%)，再用蒸餾水調至 100ml。
0.1N NaOH 溶液前置作業:0.4g NaOH 加入蒸餾水調至 100ml[3-1]。

(1) 加入蒸餾水稀釋樣品液。
(2) 加入數滴酚酞指示劑。
(3) 以 0.1N 氫氧化鈉(NaOH)溶液標準滴定樣品溶液至淡紅色(pH 達到 8.5)。
(4) 紀錄 0.1N 氫氧化鈉(NaOH)溶液消耗量(ml)。
(5) 利用公式計算總酸度(%)。

※公式:
有機酸(%)=A*F*B*(100/S)*(1/25)*100
A:0.1N 氫氧化鈉(NaOH)溶液滴定之 ml 數。
F: 0.1N 氫氧化鈉(NaOH)溶液之力價。
B: 0.1N 氫氧化鈉(NaOH)溶液 1ml 的有機酸量(g)。
S:秤取量(g)。

圖 2.4.1 酚酞指示劑圖

圖 2.4.2 0.1N NaOH 溶液圖

圖 2.4.3 滴定前樣品圖

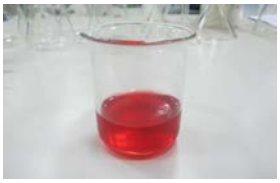


圖 2.4.4 滴定後樣品(紅色)圖

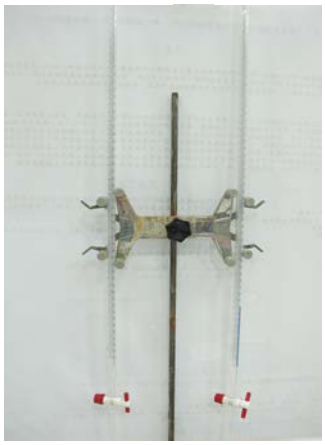


圖 2.4.5 滴定管圖

2.4.2 總醣分析

總醣含量採用苯酚濃硫酸法測定，原理為當醣類遇到強酸時，其結構式上的羥基與酚結合會產生橘黃色的液體，接著可用比色法來檢測其多醣體的濃度 [3-2]。

苯酚溶液前置作業:將 2.63g 的苯定量到 50ml，取得 5%苯酚液。

(1) 萃取 3ml 醱酵液至離心管。
(2) 加入四倍體積乙醇(95%)。
(3) 4°C 環境靜置 24 小時。
(4) 利用離心機運轉 10 分鐘，分離醣體成分。
(5) 倒出多餘液體。
(6) 置入烘箱(恆溫恆濕，約 65°C)環境約 2 小時。
(7) 加入 3ml 蒸餾水，離心 10 分鐘。
(8) 抽取上清液 1ml 至玻璃試管。
(9) 加入 1ml 苯酚(5%)，再於 20 秒內加入 1ml 濃硫酸(95%)。
(10) 靜置 20 分鐘，再置入水槽中 10 分鐘。
(11) 取 3ml 液體至石英管。
(12) 利用分光光度計測定總醣數據(以波長 490nm)。
(13) 記錄各組數據。

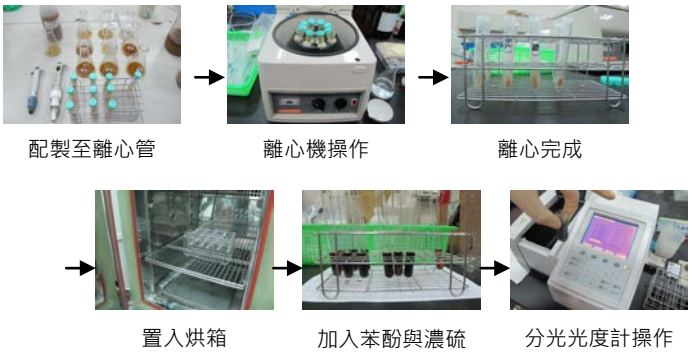


圖 2.4.6 總醣測定流程圖

2.4.3 pH 值檢測

檢測各樣本 pH 值，觀察不同程度的細化是否影響其酸鹼程度，也便於觀察與原廠成品之間的差距。

(1) 利用校正溶液校正 pH 計，減少檢測誤差。
(2) 將各組醱酵液以 pH 計量測。
(3) 紀錄各組數據。
(4) 記錄各組數據。

圖 2.4.7 pH 檢測計操作圖

圖 2.4.8 校正溶液圖

2.5 實驗流程架構

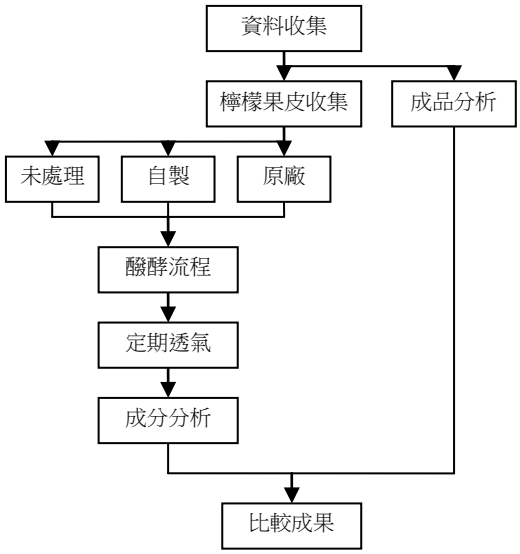


圖 2.5.1 檸檬果皮醱酵液實驗流程圖

三、 結果與討論

3.1 成果

3.1.1 pH 值

實驗結果如圖 3.1

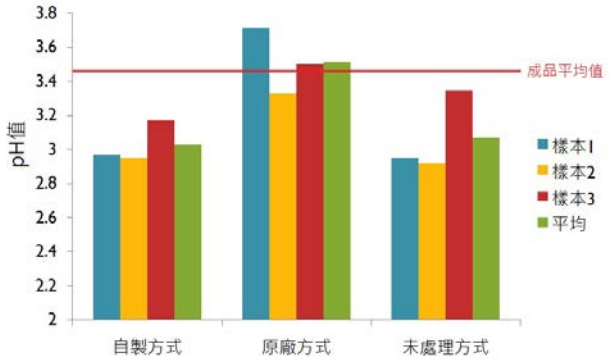


圖 3.1.1 pH 值於酸酵實驗 14 天之比較圖

酸酵進行兩週之後，從血清瓶中萃取澄清酸酵液並測定各組 pH 值並記錄，得到以上數據，由圖中可以發現原廠方式與成品的 pH 值較接近，平均範圍約在 3.4~3.5 之間，而自製方式與未處理方式檸檬果皮的酸酵液相近，pH 值則約在 2.9~3.1 之間。

3.1.2 有機酸

實驗結果如圖 3.2

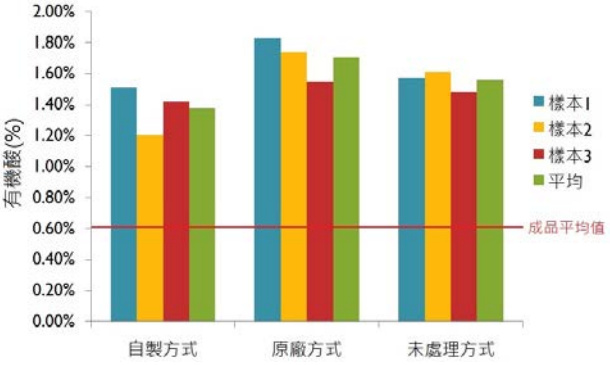


圖 3.1.2 有機酸於酸酵實驗 14 天之含量比較圖

有機酸實驗方面，成品的有機酸量 0.6013(%)，自製方式的有機酸百分比則是最接近成品的，數據平均在 1.35~1.40(%)之間，其他兩組的有機酸百分比則偏高，原廠方是數據 1.68~1.72(%)之間，未處理方式數據平均在 1.53~1.57(%)之間。

3.1.3 總醣

實驗結果如圖 3.3

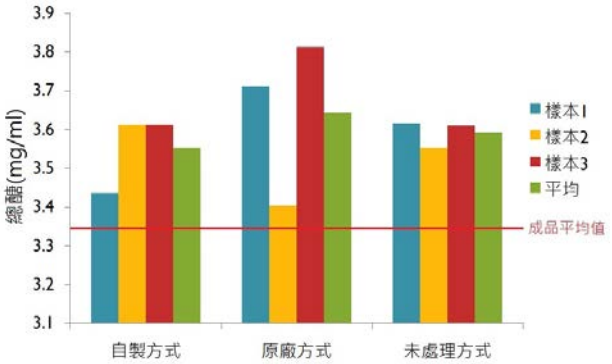


圖 3.1.3 總醣於酸酵實驗 14 天之含量比較圖

總醣測定實驗成果，成品平均為 3.3526(mg/ml)最相近的實驗方法為自製方式，自製方式的總醣數據平均值為 3.5533(mg/ml)，原廠方式的平均數據為 3.6427(mg/ml)，而未處理方式的平均數據為 3.5931(mg/ml)，雖然自製方式的數據有較些微的領先，但是各組平均值之間的差異並沒有很大，預期呈現的結果應當是自製方式>原廠方式>未處理方式，但是數據並未如預期呈現。

四、 結論

本實驗欲透過總醣與有機酸的含量來觀察與原廠成品差距，實驗進行兩週，與原廠酸酵時間三個月來得更短，由實驗成果可以得知各組成分上數據都接近成品數據，由此可得知製程得到了縮短，但三個方式的樣本數據呈現的差距沒有預期中的大，以下結論將討論原因。

(1)從結果上來觀察，各組樣本的差距並無相當明顯或顯著的差異，或許在較小量的酸酵實驗中細化處理的成果無法彰顯。

(2)實驗兩週與原廠酸酵三個月的時間有一定程度上的差距，在各組的數據上與成品也有一定的落差。

(3)本次實驗之中，各項數據接近成品的程度，應當為自製最接近，原廠次之，而未處理最落後，但是從成果來看並沒有出現理想中的情況。

檢討與改良方面:

(1)將實驗流程結束並分段量測數據，藉由較長的實驗時間與分段測量，觀察數據上的變化。

(2)增加樣本的數量與提高容量，使得數值更為接近成品。

(3)改變或增加評估指標。

五、 致謝

首先我們得感謝李柏旻老師，老師提供的指導是專題的成形的一大助力，各種環保與開發概念也對於專題有相當大的幫助，在全組設計實驗的過程中，也提供了相當大的幫助，除此之外還提供了良好的實驗環境與設備，使得實驗能順利進行，接著還得感謝學長的輔導與幫助，從操作各種儀器、取得原料、設計實驗、到最後製作企劃書，都提供了相當多的支援，真的相當感謝老師與學長的帶領。

經歷專題實務真的獲得了相當多的經驗，本次醱酵實驗原本對於我們是相當陌生的領域，但是也藉由指導、搜尋文獻、實驗，漸漸得去了解與學習，這也是我們第一次全程參與實驗，從設計實驗到完成實驗，從中真的感受到了自己的進步，得到了相當多的成就感，並且漸漸體會到了實驗的困難與樂趣。

六、 參考文獻

1. 網站:

財政部關稅總局
http://web.customs.gov.tw/mp.asp?mp=1，2013，4 月檢索。

農情報告資源網
http://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp，2013，4 月檢索。

陳柏文，檸檬之產銷調節，農糧署
http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=23876，2013，4 月檢索。

邱祝櫻，檸檬及四季桔之栽培現況及產期調節方法，高雄區農場改良場
http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=2380， 2013，4 月檢索。

2. 書籍:

黨建章，2005，發酵技術概論，培養基、發酵產程的控制，新文京開發出版股份有限公司。

劉英俊，1987，酵素工程食品酵素學，中央圖書出版。

彭志英，2004，食品酵素學，九州圖書文物有限公司。

黃方一，2006，發酵工程，華中師範大學出版社。

王福源，2004，現代食品發酵技術，第五節檸檬酸，中國輕工業出版社。

3.學位論文:

鄭巧惠，2008，鳳梨果皮乳酸發酵液製備，碩士論文，國立臺灣海洋大學，食品科學系碩士班。

許文光，2013，發酵雲芝菌 LH1 之機能性成分分離純化及鑑定，博士論文，大葉大學，生物產業科技學系博士班。

廖秀媛，2006，市售包裝果汁黃酮及有機酸含量之探討，碩士論文，國立臺灣海洋大學，食品科學系碩士班。

Caroline Prandini and Rani Lorenzetti，The fermentation of three types of sugar，Colégio Bandeirantes，São Paulo，Brazil。

Use of Saccharomyces cerevisiae cells immobilized on orange peel as biocatalyst for alcoholic fermentation，S. Plessas，University of Patras。

Production of bioethanol by fermentation of lemon (Citrus limonL.) peel wastes pretreated with steam explosion，María Boluda-Aguilar，Universidad Politécnica de Cartagena。

Study the effect of fermentation time with different Pretreatment in lemon peel.

Keyword:Lemon peel , Fermentation , Pretreatment , Agricultural waste

Student: Li-chia Hsiao , Yu-sheng Chu , Yuc-hieh Li

Teacher: Po-min Li

Abstract

Due to the development of renewable energy and Biomass recently, many firms start to research and develop it. For instance, reusing the agricultural wastes which is to make the new application for the wastes by using wastes. It also omits the cost to deal with wastes and the impact to the enviroment. It can also improve the benefit of agricultural by developing the by-products. A wide range of waste have a better approach,the rice waste can be used as a low-cost fuel The waste of vegetables and fruit can be made into compost, organic fertilizer, broth or become livestock forage.The aim of this study is to improve the efficiency of agricultural waste by-products.Lemon peel fermentation broth as the theme.By changing the particle size to increase the rate of fermentation makes the fermentation broth can be completed within a shorter process.

微型溫室系統之研製

學生姓名：許哲偉 梁瑞凱
指導老師：洪辰雄

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本專題係參考自動化溫室整體架構，來進行微型溫室結構設計研製，並參照常見之溫室栽培設施進行相關系統微型化，達成建構微型溫室之目的；且利用微型溫室系統模組進行溫室簡易自動化控制系統研製，依照植物生長環境中的溫濕度及光度因子等進行設施栽培各次因子控制，提供植物最佳之生長環境。

農作物生長所需之環境條件彈性較高，相對於工業用之感測元件，溫室栽培系統對於感測控制元件之靈敏度可相對降低，故使用機械式感應開關即可達到需求，相對的在造價與成本上可大幅下降。

微型溫室系統因許多環境、控制變因及技術因素，無法以等比方式來完全模擬出業界自動化精密溫室，但是在溫室設施栽培設備的電路控制上可以進行模擬，作為建構實體溫室前的電控方面進行實際演練。

本研究利用微型溫室系統模組，來進行簡易型控制系統開發，進行試驗後可有效控制自動化溫室之相關系統，例如降溫系統或是遮蔭補光系統等等，達到溫室環境調節之目的。

一.前言

台灣獨特的地理環境，在每年夏秋兩季期間常有颱風過境，對台灣造成嚴重的自然災害及損失，在氣候異常及極端的氣候變遷下，不僅造成重大自然災害，對於農業亦有重要的影響。農業是台灣的重要產業，依據農委會出版之「農業統計年報」顯示氣象災害為台灣農業災害的主要根源。

傳統田間作物栽培常因天候異常、病蟲害之發生而造成重大損害影響收成與獲利，農損嚴重時，更導致市場供需失調影響民生消費。利用自動化設施栽培可降低農業生產風險、提高品質及穩定產量，設施栽培生產農作物已成為目前的趨勢；目前溫室自動化控制設備包含調整溫室內之溫度、濕度及日照度等，但是在現代自動化溫室來說環控系統與電控設備價格昂貴、維修不便利，對於農業生產業者來說，維護更是個棘手問題。

本次研究理念主要針對此訴求來加以改善，建構平價、維護便利之自動化溫室；建構一套微型溫室系統模組再搭配電子機械式感測元件，開發出一套低成本簡易型的溫室控制系統，針對溫度及照度環境因子來進行溫室環境之調控，達到提高農產品品質、產量，提高農產品競爭力，解決農業人口老化所帶來人力不足問題。

二.實驗材料

2.1 微型溫室建構材料

	材料名稱	規格
1	壓克力 厚度 5mm	120×80×70cm^3 溫室披覆材料
2	角鐵、木條	5×5/40×5(cm) 溫室架構部分

2.2 設施栽培設備

	材料名稱	規格
1	T5 燈管	AC110v，18w， 紅燈×1、藍燈×1、白燈×2
2	完全透氣泡棉	水牆材料 60×25×5cm^3
3	蓄水槽	80×15×12cm^3
4	沉水馬達	AC110v，11w，400L/hr，數量×1
5	抽風扇	AC110v，18w，數量×4

2.3 機械式感測電控設備

	材料名稱	規格
1	光感應開關	AC110v，作動 30Lux-130Lux±10
2	溫度感應開關	AC110V，控溫範圍 0-40℃±2℃
3	選擇開關	三段式開關
4	無熔絲開關	AC220v/110v，15A，60Hz
5	數位計時器	AC110v/可記錄 8 筆數值
6	水用電磁閥	AC110V

2.4 環境評估測試設備

	材料名稱	規格
1	乾濕球溫度計	量測範圍0-50℃
2	光度計	型號TES1339，0.01Lux解析度
3	恆溫器	型號Grant LTD6G

三. 研究方法與內容

本研究是以業界溫室系統為其基礎，進而改良研製出低成本控制模組，首先將溫室及作物栽培之相關文獻進行探討、蒐集、分析，提供系統設計概念之基礎。

系統主要分為五大區塊(圖 1)，分別為微型溫室硬體架構、降溫系統、補光照明系統、灌溉補水系統、電控系統。參考自動化溫室整體架構，來進行微型溫室結構設計，並參照常見之溫室設施栽培設施進行相關系統微型化，達成建構微型溫室之目的；且利用微型溫室系統模組進行溫室簡易自動化控制系統研發，依照植物生長環境因子中的溫度及光度因子進行設施栽培設備控制，進行溫室環境之調控，提供植物最佳之生長環境。

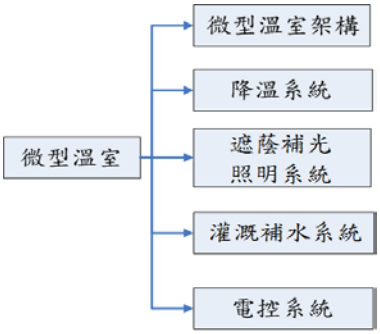


圖 1.微型溫室系統

3.1 微型溫室硬體架構

溫室栽培設施之類型多樣，選擇適當之設施應同時考量當地氣候、地形、栽培時間、作物種類等。溫室依據設施之結構形狀可分為 1.簡易圓頂型 2.連棟式拱架型 3.不規則型 4.山型等結構設計，因應生產者所在地區之地形及氣候特性、資材之成本及取得，栽培設施類型及結構亦會稍做修改以符合實際需求。

微型溫室硬體結構採用台灣一般自動化溫室常用之山型結構，作為微型溫室之設計主軸。利用 SolidWorks 軟體模擬設計出該溫室之結構(圖 2)，再進行微型溫室組裝建置，並測試結構是否與設計理念吻合，微型模擬一般業者溫室設施栽培之設備，提供環境控制之條件。

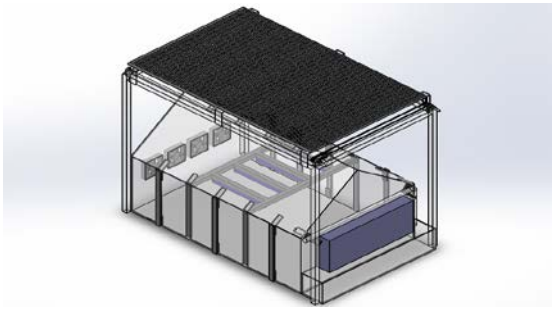


圖 2.微型溫室模擬圖

溫室披覆資材之選擇為溫室設施規劃的要項之一，但設施所採用之披覆資材種類甚多，依其用途、價格、透光性、機械強度 (抗風性) 及使用年限而異。如附錄表一。

比較目前各國溫室之批覆材質，荷蘭溫室以玻璃為主，其玻璃溫室佔 98% 以上。反觀日本的溫室，使用塑膠布者佔 96%，玻璃溫室則僅 4% 而已。 而美國則有 19.6% 為玻璃溫室，27.6% 為硬塑料及玻璃纖維，其餘 52.8% 為塑膠布溫室。在台灣近年來自動化農業推行部分，均以建構玻璃溫室為主要設計。

進行台灣溫室批覆材質進行比較後發現其差異主要在透光度與使用年限的部分，考量到價格、裁切及加工之便利性等因素後，再微型溫室的披覆材質上

採用壓克力板，在壓克力板與玻璃材質光透度及使用年限都均為接近。

微型溫室模型採用壓克力薄板、鋁條、角鐵、木條建構而成。微型溫室外部尺寸長120cm寬80cm高70cm，壓克力厚度5mm，遮光架構長130cm寬100m高100cm，如(圖3)所示。

圖3.自動化微型溫室

3.2 降溫系統

空氣、溫度會影響植物光合作用、呼吸作用與新陳代謝之速率，也會影響葉溫與水份的蒸散速率。日夜溫差影響產量與品質之間的平衡，作物成熟期之調節亦有許多是利用溫度作調節之模式。

溫室降溫方法主要分為遮光、自然通風、強制通風、風機微霧法、風機水牆法等方式。則本研究採用目前台灣自動化溫室最為常見的風機水牆法作為微型溫室降溫系統之設計。

風機水牆法採蒸發冷卻原理是將外氣的乾球溫度經過水牆後降到濕球溫度，透過風機抽風，形成負壓狀態，達到降溫的效果；簡單來說是將空氣強迫通過水簾，水分被蒸發並將空氣中之熱量去除。

目前一般溫室業界所採用的風機水牆法皆為大型風機、水簾牆及抽水馬達之組合(圖 4)，本研究則針對一般溫室水簾牆做為基礎，以替代材質之方式縮小溫室水牆之設備供微型溫室使用(圖 5)，當作此次降溫系統的設備。並進行探討測試與微型設施是否可以同樣達到降溫效果之目的與穩定性。

圖4.一般溫室水牆設備

圖5.本溫室水牆設備

選用水簾片在水的流通性與保濕性相似的泡棉進行測試，三種泡棉測試，分別為自然發泡狀孔隙、海藻狀孔隙與完全透氣狀孔隙(圖6)，測試後發現完全透氣狀孔隙的泡棉，與水簾布流通性較為相似，另外兩種在淋濕狀態下，水流通性相對比完全透氣狀的泡棉來的差，故選用與水簾布近似之完全透氣狀孔隙泡棉、小型抽水幫浦及抽風扇當作微型風機水牆降溫系統，搭配溫度感應開關可依照作物之需求來進行溫室內之溫度調節。

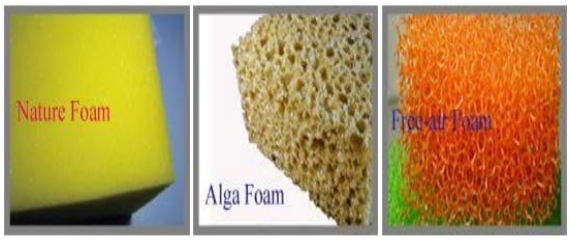


圖6.自然發泡狀孔隙、海藻狀孔隙、完全透氣狀孔隙

3.3 遮蔭補光照明系統

作物對光的需求可分三方面來考量：光強度，光質與光照時間；光量子數目影響光合作用，光質亦影響作物之生育，植物行光合作用時，光強度若逐漸增加，二氧化碳之消耗量也會隨之增加，換言之，光合速率增加。當光合速率與呼吸速率相等時之光強度稱光補償點，當光強度繼續增加至某一程度，光合速率

不再隨之增加時之光強度值稱之光飽和點或是最適光強度。

微型溫室系統屬於太陽光與人工光源併用型溫室，在作物最適光強度隨種類而不同的情況下，對於植物所需光源需求的部份，利用光感應開關進行遮蔭、補光來調控生長。

照明部分，由於農友在從事農務時，時間點上可能會有晚上之情況，提供照明設備方便夜間照明使用。

3.4 灌溉補水系統

設施栽培灌溉方法其種類繁多，國內育苗業者最常用的為噴灑灌溉法；蔬果與花卉栽培則偏重於滴灌法；微型溫室未來偏向針對蔬果類作物進行栽種探討，微型溫室灌溉補水系統採用水用電磁閥(圖 7)搭配數位式定時器來進行，水壓來自於自來水本身，可依照作物所需水量來進行噴頭、軟管及接頭上不同的搭配，對於土壤水分進行調節，補水部分則是為水牆提供水源。

圖 7.水用電磁閥

3.5 自動化電控系統

一般溫室電配箱皆屬固定式，體積大、接點多、維修上不易拆裝、價格昂貴，對於農業生產業者來說，維護是個棘手問題，本研究之電控系統(圖 8) 為一套低成本的溫室控制系統，針對環境因子中之溫度及照度部分來進行環境之控制。此套系統對於使用者來說具有拆裝、維護方便及價格低廉、系統體積小等優點。

架設時只需將設備插頭裝配入電控盤上即可開始控制溫室內栽培設施，電控盤內之開關及感測器屬電子機械式，電配盤內感測器分別為溫度控制開關(圖 9)，主要控制降溫系統，防水型全自動光控開關(圖 10)與數位計時器(圖 11)，控制遮蔭補光照明系統；價格方面經濟實惠設備也易取得，實現價格低廉且自動化溫室之電控設備。

控制部分分為手動與自動選擇兩部分，選擇自動化時開啟感測器，環境因子改變時，電子機械感測器並判斷是否超過設定參數，是否需開啟設施，如(圖 12)此自動化系統的流程動作。

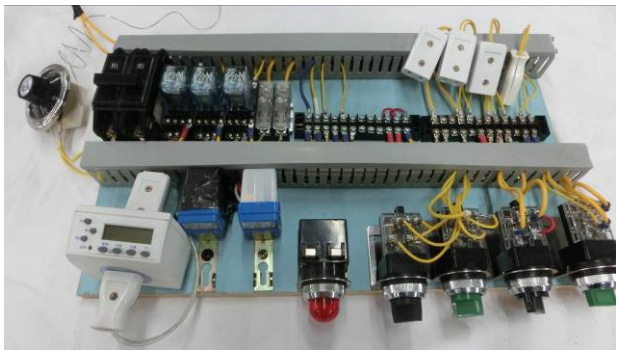


圖 8.便攜式配電盤

圖 9.溫度開關

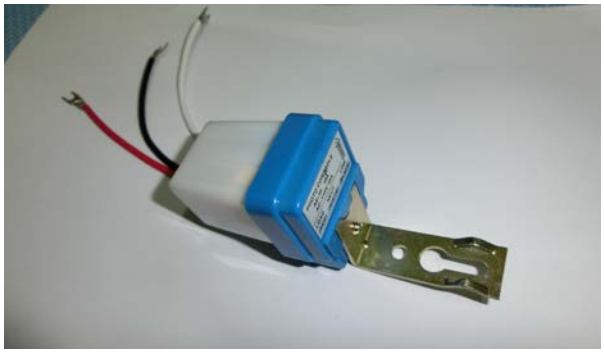


圖 10.防水型光控開關

圖 11.數位式計時器

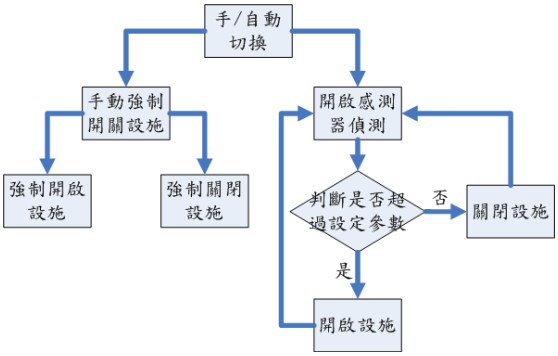


圖 12.自動化流程圖

四.結果與討論

4.1 微型溫室架構

選 5mm 厚度之壓克力當作微型溫室披覆材質，進行透光度試驗判斷是否有達到當初原本設計要求；進行三次試驗，每次進行 27 次量測，試驗平均結果如下表一，綜合平均後選用壓克力板透光度為 91.09%有達到當初所預期，詳細數據請參考附錄表二。

次數 / 測量光度	第一次	第二次	第三次
溫室外界光度	14922Lux	20962Lux	18848Lux
溫室內光度	13585Lux	19100Lux	17174Lux
透光率	91.04%	91.11%	91.12%

表一.溫室披覆材質透光率

4.2 降溫系統

降溫系統部分主要探討水牆效率結果及濕度對水牆降溫的影響，進行 27 天水牆內外溫濕度及乾濕球度記錄，每天三個時間段進行量測，分別為 9:00、12:00、15:00，依據水牆效率公式來進行估算:

$E_{ff}=(T_d-T_e)/(T_d-T_w)$

T_d: 大氣溫度(即為外界之乾球溫度)

T_e: 通過水牆後的空氣溫度(即為溫室內之乾球溫度))

T_w: 大氣溫度的濕球溫度

水牆效率亦是系統降溫能力的決定性因子，但是水牆效率並不等於水牆系統的降溫能力。除水牆之外尚有一些其它因子會影響系統的降溫能力，經分析統計後微型溫室水牆效率相關資料如下表二，詳細資料請參考附錄表三。

27 天 數據平均	9:00	12:00	15:00
平均溫室 內外溫度差	2.7℃	1.76℃	1.5℃
水牆 平均效率	64.02%	58.43%	54.89%
平均溫室 內外濕度差	9%	10%	9%

表二.影響水牆效率之因素

目前台灣在風機水牆法之設計優良者其效率在 75 - 85 %，影響其效率原因有許多，主要受到設施的氣密程度，水牆的操作狀況或者是水牆厚度有關等等。

在影響水牆降溫效果最主要還是在於降溫的能力受到大氣相對濕度的限制，由於風機水牆法是使用蒸發冷卻原理來進行降溫，大氣的相對濕度愈低，水分的蒸散量愈大，降溫效果愈佳。相反的，大氣的相對濕度愈高，水牆的降溫效果愈差。

參考陳加忠老師關於溫室水牆的文章中提到，在美國加州南部，大氣為 35℃與 10%RH，通過水牆之空氣溫度可降低至 18℃以下。在台灣夏天，大氣為 35℃與 55%RH，通過水牆的溫度其降溫極限為 26.5℃。

台灣的溫室設計即基於此降溫極限。在夏季通過水牆的溫度最低為 26.5℃，實際之效果因水牆效率無

法到達 100%，因此只有 28℃之效果。為使水牆降溫能夠充份發揮，必須增大風扇的通風量以降低溫室之溫度梯度差。以台灣現有的溫室設計，配合遮蔭網使用，可以使得水牆與風扇之間的空氣，其溫度梯度維持於±2℃以內。

微型溫室降溫效果不佳可能有以下幾種因素所產生:

(1) 在水牆的材質上的選擇:

水的流通性無法均勻附著在水牆上，導致風在負壓進入狀態時，空氣與水的接觸面上可能不足，無法使微型水牆表面完全潮濕。

(2) 抽風量大小:

由於微型溫室採抽風扇當作風機使用，在風速與水牆間的調配上無法做到完美，風速加大會增加溫室內外的壓差，降低空氣與水牆的接觸時間也會降低水牆的效率。

(3) 尺度效應影響:

設備經一定比例縮小微型化後，產生尺度效應，影響其降溫效果；設備雖然以等比的方式進行縮小，但是在物理量的部份卻無法達到跟原尺寸相等，例如水牆中水分子粒徑大小，無法與設備一樣等比縮小。

在降溫系統的風場方面，溫室內各個點放置尼龍繩來了解風的流動，利用繪圖方式呈現微型溫室風流方向，從(圖 13，14)中可得出風向主要集中在與風機平行的方向，來了解微溫室內之氣密程度。

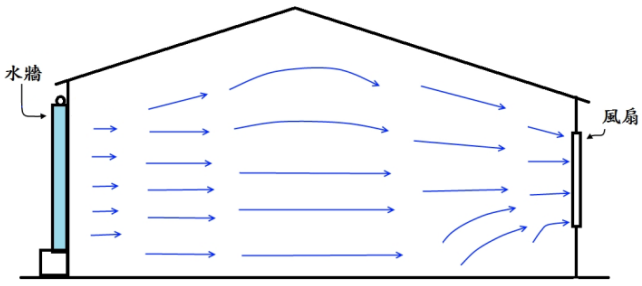


圖 13.風場流向(1)

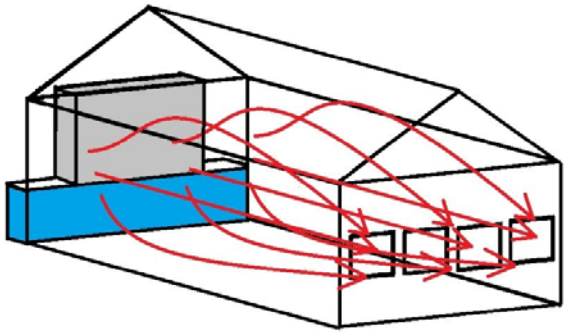


圖 14.風場流向(2)

4.3 遮蔭補光照明系統

4.3-1 遮蔭部分

主要針對作物種類不同，對光源的適應性也不同的狀態下來進行設置，希望給予種植作物之最佳生長需要，微溫室遮蔭系統遮蔭效果進行 27 次測量，試驗平均結果如下表三，詳細資料請參考附錄表四。

外界光度	遮蔭後光度	透光率	實際遮蔭效率
12632 Lx	5113 Lx	41%	59%

表三.遮蔭網透光率及遮蔭效果

4.3-2 補光照明部分

皆採用 T5 燈管，T5 燈管進行長時間點燈測試，濕度影響與防水措施上，其穩定性與耐用性佳，損壞部分目前尚未發生。

微型溫室補光部分採用混光方式，採用藍、紅燈作為補光使用，而照明則使用白燈模擬夜間作業作為照明用途。補光可改變植物光照長度，而晝夜的長短對植物生長的影響稱為光周現象，它對植物的生長發育有重要的作用，植物對晝夜長短的感應系統都在葉片中，控制光照時間的長短，可調整作物的開花時間、生長週期等等。

補光照明設施架設於微型溫室的中心點，其補光照明測量，將微型溫室劃分為九個點(圖 15)，進行各點補光光度測量及照明光度測量，各自進行 9 次測量，可了解補光照明設施在微型溫室內光場分布的情況，試驗平均結果如下表四，詳細數據請參考附錄五。

平均補光照明光度 / 量測點	照明 (Lx)	藍光 (Lx)	紅光 (Lx)
1	813	388	830
2	966	457	978
3	866	421	903
4	999	474	1017
5	1181	539	1153
6	1046	490	1051
7	889	390	835
8	930	436	934
9	853	392	839

表四.補光照明九點光場平均值

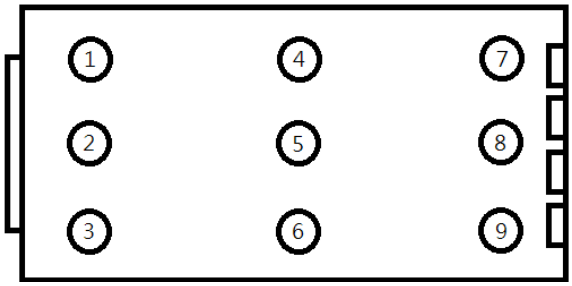


圖 15.光量測點分布

將量測數據與栽培作物生長條件進行分析探討後發現，結球白菜屬於中光性植物，最適光強度範圍約在 10k～40k Lux，對於弱光耐受性也較強；由於目前裝設之補光設備還是無法滿足植物之需求，在本研究中只當作模擬使用，單純進行補光照明控制測試。

夜間補光是依照光度開關電路，並串接計時開關來進行光照，當光亮度下降到設定值時，光度開關會開啟抗干擾延遲電路，約十秒的判定是否為干擾訊號，再把訊息傳遞至計時開關，計時開關設定在時間內會直接開啟，如果在設定的計時時間外，將會無法開啟。

夜間補光時序大約為從早上六點至晚上十點，光照長度設定為 16 小時，主要原因於陰天或是被遮擋光線時，少於設定的光度時，皆開啟夜間補光，達到提供作物的生長所需光源及日照長度。

4.4 灌溉補水系統

採用水用電磁閥搭配數位式定時器來進行植物水源供給與水牆蓄水槽補水，水壓來自於自來水本身，每分鐘可供給約為 8 公升水量，由於農作物在不同時期所需水分含量各不同，目前採取搭配不同管徑之管材及供水時間，來進行水量調節的部分。

4.5 電控系統

系統有分為手動與自動化兩種模式，自動化模式，主要依照作物生長的環境因子來進行環境控制，溫室環境因子大致分為溫度、濕度、光度及 CO_2。本研究由於技術與設備之局限性，僅採用環境因子中的溫度、光度為控制要素來進行栽培環境的調節

溫室內環境溫度的部份主要利用溫度感應開關搭配降溫系統來進行調節，以定溫在 25℃的方式，利用恆溫器(圖 16)來進行溫度感應開關反應時間與溫度範圍誤差試驗，進行 27 次測量，試驗平均結果如下表五，詳細資料請參考附錄表六。

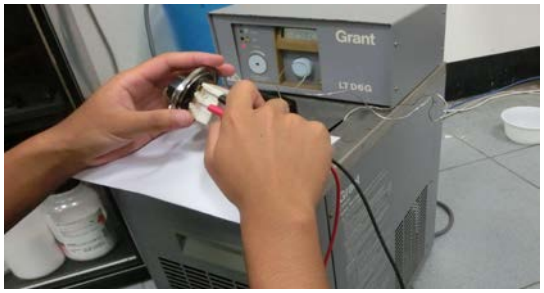


圖 16.利用恆溫器量測誤差值

設定溫度 (℃)	關閉誤差範圍(%)	導通誤差範圍(%)	反應時間 (s)
25	3.68	2.71	4.33

表五.溫度誤差範圍

對於農作物生長方面主要以光感應開關與數位式定時器結合再搭配遮蔭補光照明系統來進行農作物生長調節，以定光度在 130 LUX 的方式，利用手電筒穩定光源與遮光網調節光度(圖 17)，進行光感應開關反應時間與光範圍誤差試驗，進行 27 次測量，試驗平均結果如下表六，詳細資料請參考附錄表七。

圖 17.利用手電筒與遮光網量測光控開關誤差

設定光度 (Lux)	關閉誤差範圍(%)	導通誤差範圍(%)	反應時間 (s)
130	12.71	13.39	12

表六.平均光度誤差範圍

本研究所設計之控制系統並不比一般學術研究的自動化溫室設備精密且精準，一般農友在進行溫室栽培種植時，對於環境感測儀器精密度的要求上並不需要這麼高，而在農作物生長方面對於作物生長環境彈性也很大，所以使用精準度較低的簡易型感應開關設備，其實就能夠達到環境調節之需求。

畢竟精密溫室的維護建構部分成本相對較高，對農友的負擔更重，反之本研究之簡易型控制系統採用的溫度、光度、定時開關，容易取得，價格維護上平價許多，拆裝與維護方面更是快速方便，降低維護對作物生長的影響。

4.6 作物生長試驗

微型溫室系統完善後，進行作物生長試驗，挑選結球白菜來當作栽培作物，從種苗公司採買幼苗後分別在室外、微溫室、一般網室進行定植，探討微型溫室系統是否適合植物栽種及需要改進的地方。

在生長試驗部分以圖片方式及口感食用兩方面，來進行判別作物生長的樣態，分別以生長 20 天與 30 在各環境生長之大白菜來進行分析，如(圖 18~圖 23)所示。

圖 18. 室外定植 20 天後

圖 19. 網室定植 20 天後

圖 20. 微型溫室定植 20 天後

圖 21. 室外定植 30 天後

圖 22. 網室定植 30 天後

圖 23. 微型溫室定植 30 天後

對照各環境在定植 20 天跟 30 天結球白菜生長情況後發現，室外組生長最佳，其次為網室；分析探討後發現作物生長差異性，主要受到光度的影響，將各環境太陽光之光度進行量測，以一天三時段，每時段進行 27 次量測，如下表七，詳細數據請參考附錄表八，即可清楚的了解各環境光度值，因微型溫室在結構強度上不足，並不適合放在無遮蔽物之環境，微型溫室目前放置於農機工廠遮雨棚下(圖 24)，造成植物所需的光源不足，影響作物生長速率。

栽種環境 / 量測時間	室外光度值 (Lux)	網室光度值 (Lux)	溫室外光度值 (Lux)	溫室內光度值 (Lux)
9:00	56661.11	42590.52	9446.93	8502.23
12:00	78843.78	59826.30	10761.04	9369.87
15:00	20658.93	13201.74	7096.81	6387.13

表七.栽種光度平均記錄

圖 24.農機工廠遮雨棚

在口感食用方面，比較口感後發現，結球白菜鮮嫩度以及口感上，微型溫室＞網室＞室外種植，雖然微型溫室由於光度因素在生長速率上並無較優異，但是在生長的品質上，由於微溫室進行環境溫度調節，相對所生產的結球白菜品質較室外與網室更佳。

五.結論

農作物生長所需之環境條件彈性較高，相對於工業用感測元件，溫室栽培系統對於感測控制元件之靈敏度可相對降低，故使用機械式感應開關即可達到需求，相對的在造價與成本上可大幅下降。

微型溫室系統因許多環境變因、控制變因及技術上因素，無法以等比方式來完全模擬出業界自動化精密溫室，但是在溫室設施栽培設備的電路控制上可以進行模擬，作為建構實體溫室前的電控方面進行實際演練。

本研究利用微型溫室系統模組，來進行簡易型控制系統開發，進行試驗後可有效控制自動化溫室之相關系統例如降溫系統或是遮蔭補光系統等等，達到溫室環境調節之目的。

六.致謝

感謝專題指導老師洪辰雄老師，不僅讓我們更深入了解溫室層面的相關資訊與問題，而且盡所知的溫室資訊指導我們，在加上實驗室的振凱學長以及同學們的協助，不厭其煩解決專題上的困惑及指正，才能如期完成，沒有大家的協助，就不會有今日的成果。

七.參考文獻

[1] 方煒。溫室環境控制工程，種苗生產自動化技術通訊，第三期第98008 號，種苗生產自動化技術服務團，台北：財團法人農業機械化研究發展中心，1998。

[02]方煒。(2002)農業設施環境因子量測與記錄。農業感測器專業訓練班講義。台北：國立台灣大學農業機械工程學研究所

[3] 方煒。 1994。本省精密溫室環控極限與環控設備使用效率之探討。國科會計畫報告書。NSC83-0409-B-002-094.

[4]方煒。1992。發展本土化精密溫室與植物工廠之可行性分析。國科會計畫NSC82-0409-B-002-028。台大農業機械工程學系。

[5] 方煒。1998。溫室降溫方法。種苗生產自動化技術通訊第三期第98004 號。財團法人農業機械化研究發展中心。

[6]方煒譯。 1992。溫室作業機械及設備。 環控農業機械工程研討會專輯。台北：財團法人農業機械化研究發展中心。

[7] 方煒。溫室環控總論

[8]陳世銘，農業自動化科技開發應用，農政與農情，第79 期，1999，P59-P65。

[9] 方煒。水牆操作實務 Titles

The manufacture of model green house system

Author`s Name: Che-Wei Hsu ,Jui-Kai Liang

Teacher Name : Chen-Hsiung Hung

Department of Biomechatronics Engineering

National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

This is a study about model greenhouse design and manufacture, which refers to automation systems and common planting facilities in green house. The systems control temperature and lights factors to provide the most suitable environment for planting.

Compared with industry sensors, the request classes of greenhouse sensors could be lower than former ones. The growth condition of crops is flexible, so using mechanical switches could achieve demand and lower the cost. This study is based on greenhouse control system modules which could effectively control whole facilities in greenhouse like temperature control system, lighting system, etc.

附錄

種類	優點	缺點	光透度%	使用年限
玻璃	穿透性佳 熱膨脹小 抗磨損	組裝不易 不耐衝擊 價格高 質量重	71~92	>25
聚乙烯膜	價廉 安裝容易 大面積薄膜	使用年限短 使用溫度低	<85	2~3
聚氯乙烯膜	價廉 易安裝 薄膜 透光佳	易髒	90	>2
壓克力板	穿透性優 抗紫外線 抗風蝕 質量輕 組裝容易	易刮傷 熱膨脹大 久變脆 工作溫度低 可燃材質	83~93	>20
聚碳酸酯板	使用溫度高 耐衝擊 可燃性低	容易刮傷 熱膨脹系數大	79~87	5~12
玻璃纖維聚酯板	價格低 強度高 組裝容易	抗紫外線 抗塵性差 容易黃化	60~88	7~15

表一.不同溫室覆蓋材料之優缺點、透光率及使用年限

光度 / 次數	外界光度 (Lux)	溫室內光度 (Lux)	透光率 %
1	12400	11400	91.94
2	10600	9600	90.57
3	9300	8600	92.47
4	9000	8000	88.89
5	11700	10800	92.31
6	11400	10100	88.60
7	13200	12100	91.67
8	19800	18000	90.91
9	20100	18700	93.03
10	11700	10400	88.89
11	21300	19800	92.96
12	12400	10900	87.90
13	11300	10300	91.15
14	11700	10600	90.60
15	19800	18400	92.93
16	17400	15400	88.51
17	10700	10000	93.46
18	8800	7700	87.50
19	16700	15300	91.62
20	18400	16700	90.76
21	19700	18300	92.89
22	20700	18400	88.89
23	8900	8200	92.13
24	12400	10900	87.90
25	19100	17500	91.62
26	21300	19300	90.61
27	23100	21400	92.64
平均	14922.22	13585.19	90.86

表二. 壓克力透光(1)

光度 / 次數	外界光度 (Lux)	溫室內光度 (Lux)	透光率 %
1	15700	14400	91.72
2	15400	14000	90.91
3	10700	9900	92.52
4	10600	9400	88.68
5	14300	13300	93.01
6	14200	12500	88.03
7	18400	16900	91.85
8	28200	25600	90.78
9	27800	25800	92.81
10	13400	12000	89.55
11	28700	26700	93.03

12	18700	16400	87.70
13	15300	14000	91.50
14	27800	25300	91.01
15	29700	27600	92.93
16	31200	27700	88.78
17	15200	14100	92.76
18	9700	8500	87.63
19	19400	17800	91.75
20	31300	28400	90.73
21	31900	29600	92.79
22	21700	19300	88.94
23	9800	9100	92.86
24	22300	19600	87.89
25	23100	21200	91.77
26	27800	25300	91.01
27	33700	31300	92.88
平均	20962.96	19100.00	91.11

表二.壓克力透光(2)

量測次數	外界光度(Lux)	溫室內光度(Lux)	透光率%
1	13400	12300	90.79
2	14400	13100	89.97
3	11300	10500	92.92
4	9800	8700	88.78
5	11000	10200	92.73
6	13400	11800	88.06
7	15400	14100	91.56
8	21000	19100	90.95
9	25100	23300	92.83
10	10400	9200	88.46
11	27400	25400	92.70
12	13400	11800	88.06
13	13200	12100	91.67
14	26100	23700	90.80
15	28900	26800	92.73
16	30400	27000	88.82
17	13400	12400	92.54
18	7400	6500	87.84
19	18600	17100	91.94
20	30200	27400	90.73
21	30900	28700	92.88
22	19400	17200	88.66
23	8600	8000	93.02
24	19400	17000	87.63
25	20100	18500	92.04
26	25100	22800	90.84
27	31200	29000	92.95
平均	18848.15	17174.07	91.12

表二.壓克力透光(3)

09:00	外界溫度℃	溫室內溫度℃	大氣濕球溫度℃	外界濕度(%)	溫室內濕度(%)
4/10	26.2	24.3	23	69%	79%
4/11	25.3	23.6	22	69%	79%
4/12	24.7	22.9	22	71%	80%
4/13	24.5	22.7	21	72%	83%
4/14	26.4	23.8	22	68%	77%
4/15	26.2	23.6	22	69%	78%
4/16	26.4	23.9	23	68%	78%
4/17	28.6	26.2	25	71%	80%
4/18	28.6	26	25	68%	76%
4/19	25.7	23	22	73%	84%
4/20	29.1	26.1	25	71%	81%
4/21	26.4	24	23	74%	84%
4/22	25.2	23.2	22	79%	86%
4/23	26.2	23.6	22	73%	82%
4/24	29.3	26.8	25	72%	81%
4/25	28.4	25.6	24	71%	80%
4/26	25.1	23.1	22	73%	84%

4/27	23	21	20	80%	87%
4/28	27.3	25	24	71%	81%
4/29	28.3	25.8	24	70%	79%
4/30	28.7	26.2	25	73%	83%
5/1	28.6	25.8	24	80%	86%
5/2	22.5	20.8	19	79%	87%
5/3	26.3	24	23	78%	84%
5/4	28.1	26.2	25	70%	79%
5/5	28.3	25	24	74%	81%
5/6	29.2	26.7	25	72%	80%
平均	29.2	26.7	25	72%	80%

表三.09:00溫濕度數據

12:00	外界溫度℃	溫室內溫度℃	大氣濕球溫度℃	外界濕度(%)	溫室內濕度(%)
4/10	27.6	25.8	25	65%	71%
4/11	27.3	25.4	24	65%	72%
4/12	25.5	23.8	23	66%	73%
4/13	25.2	23.4	22	68%	79%
4/14	27.9	26.1	25	63%	74%
4/15	27.6	25.7	24	64%	76%
4/16	28.4	26.6	25	66%	78%
4/17	30.7	28.9	27	66%	77%
4/18	30	28.2	27	63%	76%
4/19	27.9	25.9	24	71%	83%
4/20	30.2	28.3	27	66%	76%
4/21	27.8	25.9	24	70%	81%
4/22	26	24.3	23	75%	84%
4/23	28.7	26.8	26	69%	79%
4/24	31	29	28	68%	77%
4/25	30.8	29	28	67%	78%
4/26	27.5	25.6	25	71%	81%
4/27	24.3	22.7	21	82%	87%
4/28	29.5	27.6	27	64%	76%
4/29	30	28.3	27	61%	73%
4/30	30.9	28.9	27	68%	79%
5/1	28.6	26.5	26	78%	86%
5/2	23.2	21.9	21	82%	87%
5/3	28.2	27.9	27	74%	83%
5/4	29.4	27.6	26	67%	78%
5/5	29.6	27.9	26	67%	77%
5/6	30.1	28.3	27	65%	76%
平均	30.1	28.3	27	65%	76%

表三.12:00溫濕度數據

15:00	外界溫度℃	溫室內溫度℃	大氣濕球溫度℃	外界濕度(%)	溫室內濕度(%)
4/10	26.7	25.3	24	67%	77%
4/11	26.5	24.9	24	67%	77%
4/12	24.7	23.4	22	69%	76%
4/13	24.5	22.8	23	70%	80%
4/14	27.2	25.6	24	66%	76%
4/15	26.9	25.3	24	67%	78%
4/16	27.7	26	25	69%	79%
4/17	30	28.3	27	63%	78%
4/18	29.4	27.8	27	69%	77%
4/19	27.3	25.6	24	74%	84%
4/20	29.5	27.7	26	70%	78%
4/21	27.1	25.5	24	72%	78%
4/22	25.2	23.7	22	78%	85%
4/23	28	26.3	25	73%	80%
4/24	30.3	28.7	27	70%	78%
4/25	30.1	28.6	27	71%	79%
4/26	26.8	25.6	24	73%	82%
4/27	23.4	23	22	83%	87%
4/28	28.6	27.3	26	69%	78%
4/29	29.3	27.7	26	64%	76%
4/30	30.1	28.5	27	71%	81%

5/1	27.9	26.5	25	80%	86%
5/2	22.7	21.3	20	82%	87%
5/3	27.4	25.9	25	76%	83%
5/4	28.7	27.1	26	67%	78%
5/5	28.7	27.4	26	67%	79%
5/6	29.4	27.8	27	65%	78%
平均	27.6	26.1	24.8	71%	80%

表三.15:00溫濕度數據

次數	外界光度(Lux)	遮網後光度(Lux)	透光效率	實際遮光效率
1	13240	5428	41%	59.00%
2	11231	4380	39%	61.00%
3	12113	4845	40%	60.00%
4	10214	4290	42%	58.00%
5	15311	6278	41%	59.00%
6	18275	7676	42%	58.00%
7	16212	6323	39%	61.00%
8	15122	6049	40%	60.00%
9	13664	5876	43%	57.00%
10	10081	4032	40%	60.00%
11	9822	3929	40%	60.00%
12	8042	3297	41%	59.00%
13	11251	4388	39%	61.00%
14	12654	5062	40%	60.00%
15	11876	4750	40%	60.00%
16	10942	4596	42%	58.00%
17	9516	3902	41%	59.00%
18	8164	3511	43%	57.00%
19	7612	3425	45%	55.00%
20	10223	4396	43%	57.00%
21	11325	4983	44%	56.00%
22	10976	4171	38%	62.00%
23	16451	6580	40%	60.00%
24	19240	7888	41%	59.00%
25	17461	6461	37%	63.00%
26	13642	5320	39%	61.00%
27	16421	6240	38%	62.00%
平均	12632.63	5114	41%	59.33%

表四.遮光率

次數 / 區域 Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	836	798	802	812	791	781	826	813	854
2	1021	989	1011	972	982	877	951	943	945
3	864	846	799	795	851	862	943	912	923
4	1103	991	1107	991	983	897	998	961	963
5	1324	1256	1135	1241	1230	1145	1098	1089	1109
6	1095	1085	978	1156	893	997	1098	1042	1067
7	811	854	867	866	798	913	956	987	951
8	989	977	952	894	795	930	964	912	953
9	798	789	845	862	911	916	887	832	841

表五.白光照明光度記錄(1)

次數 / 區域 Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	841	789	887	831	791	798	813	845	878
2	1102	996	1013	983	897	998	887	943	982

3	795	897	921	932	797	856	997	964	968
4	1059	1076	1024	978	899	1056	1107	1005	945
5	1253	1211	1165	1235	1150	1045	1165	1052	1103
6	1012	1065	1087	1165	891	992	1094	1056	1098
7	836	802	792	795	813	854	867	801	956
8	969	987	956	943	949	798	903	956	946
9	793	791	845	921	823	888	799	836	856

表五.紅光補光區光度記錄(2)

次數 區域 Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	836	798	802	812	791	781	826	813	854
2	1021	989	1011	972	982	877	951	943	945
3	864	846	799	795	851	862	943	912	923
4	1103	991	1107	991	983	897	998	961	963
5	1324	1256	1135	1241	1230	1145	1098	1089	1109
6	1095	1085	978	1156	893	997	1098	1042	1067
7	811	854	867	866	798	913	956	987	951
8	989	977	952	894	795	930	964	912	953
9	798	789	845	862	911	916	887	832	841

表五.藍光補光區光度記錄(3)

次數	設定溫度℃	導通溫度℃	關閉溫度℃	反應時間(S)
1	25	25.6	24.3	3
2	25	25.5	24.1	3
3	25	25.7	24	3
4	25	26.1	24.3	5
5	25	26.1	24.3	5
6	25	25.9	24	5
7	25	26	24.3	5
8	25	26.2	24.5	5
9	25	26.3	24	5
10	25	26.1	24.1	3
11	25	25.7	24.2	4
12	25	26.3	24.3	6
13	25	26.1	24.7	5
14	25	25.8	24.5	4
15	25	25.8	24.1	4
16	25	25.7	24.6	4
17	25	26.3	24.6	5
18	25	26.2	24.7	5
19	25	26.3	24.5	5
20	25	25.6	24.2	3
21	25	25.9	24.3	4
22	25	25.7	24.6	3
23	25	26.4	24	6
24	25	25.7	24.5	4
25	25	26.3	23.9	5
26	25	25.8	24.5	4
27	25	25.7	24.6	4
平均	25	25.96	24.31	4.35
誤差		3.68%	2.71%	

表六.溫度誤差

次數	設定光度 Lux	導通光度 Lux	關閉光度 Lux	反應時間 (s)
1	130	118	156	2
2	130	102	158	3
3	130	115	145	2
4	130	110	150	2
5	130	110	145	2
6	130	112	148	2
7	130	108	152	3
8	130	117	157	2
9	130	115	144	2
10	130	109	149	2
11	130	110	155	2
12	130	119	136	2
13	130	120	141	1
14	130	108	155	3
15	130	125	137	1
16	130	122	139	1
17	130	115	143	2
18	130	119	151	2
19	130	116	144	2
20	130	105	150	3
21	130	107	151	3
22	130	102	159	3
23	130	113	148	2
24	130	115	144	2
25	130	110	152	1
26	130	120	132	1
27	130	122	139	1
平均	130	113.48	147.41	2
誤差		12.71%	13.39	

表七.光度誤差

次數	野外 (Lx)	網室 (Lx)	溫室外 (Lx)	溫室內 (Lx)
1	54207	42682	9697	8727
2	54388	44268	9389	8450
3	55747	42493	9531	8578
4	57669	40637	9266	8339
5	56215	43842	9236	8312
6	57993	40258	9082	8174
7	54953	43236	9623	8661
8	58713	44378	9267	8340
9	59237	40268	9556	8600
10	59588	44641	9489	8540
11	55557	41936	9505	8555
12	56775	43248	9121	8209
13	56913	44534	9287	8358
14	53336	44606	9669	8702
15	55730	42304	9679	8711
16	56081	42778	9389	8450
17	55540	42362	9009	8108
18	54694	42473	9451	8506
19	53180	41212	9925	8933
20	59373	43204	9440	8496
21	59723	44765	9056	8150
22	54895	44940	9149	8234
23	56860	40563	9831	8848
24	55837	44215	9080	8172
25	54025	41269	9788	8809
26	56555	40922	9622	8660
27	53792	43973	9525	8573
平均	56207	42815	9432	8489

表八.09:00光度記錄(1)

次數	野外 (Lx)	網室 (Lx)	溫室外 (Lx)	溫室內 (Lx)
1	75079	56907	10310	9279
2	81699	57333	9693	8724
3	84838	61154	10133	9120
4	73544	56644	10377	9339
5	75875	56327	10177	9159
6	76656	59357	10171	9154
7	81242	56949	11588	10429
8	70301	55058	11547	10392
9	81065	57982	10952	9857
10	74440	56287	10897	9807
11	83788	56223	9642	8678
12	78509	55199	11287	10158
13	81892	61280	11485	10337
14	71382	60672	9906	8915
15	78389	60802	9610	8649
16	80264	57997	10204	9184
17	74740	56119	11143	10029
18	82020	59349	9726	8753
19	73330	61201	10838	9754
20	79015	62125	10307	9276
21	71919	63227	10628	9565
22	78791	58233	11999	10799
23	81830	62536	10155	9140
24	77324	60660	10600	9540
25	83702	56389	10285	9257
26	76276	59116	9588	8629
27	80814	58972	10633	9570
平均	78101	58670	10514	9426

表八.12:00光度記錄(2)

次數	野外 (Lx)	網室 (Lx)	溫室外 (Lx)	溫室內 (Lx)
1	18676	12618	6355	5720
2	18843	14581	6919	6227
3	18262	13317	7368	6631
4	22615	13903	7795	7016
5	19960	13769	7891	7102
6	20187	13871	6453	5808
7	21946	13632	6565	5909
8	21003	14427	7720	6948
9	18106	12254	7402	6662
10	22684	14003	7468	6721
11	20925	14368	7659	6893
12	18943	14267	6832	6149
13	18565	14543	7687	6918
14	22718	13086	6391	5752
15	19239	12146	6539	5885
16	22232	12023	7221	6499
17	19939	12740	7995	7196
18	21247	14234	6683	6015
19	19016	13091	7517	6765
20	18761	12758	6776	6098
21	18587	13826	6410	5769
22	22411	12296	7021	6319
23	18855	14867	6112	5501
24	19800	13326	7891	7102
25	18179	14770	6109	5498
26	18023	13192	6401	5761
27	22270	13743	6227	5604
平均	20074	13543	7015	6314

表八.15:00光度記錄(3)

渦輪式發電機之試製

學生姓名：鍾晨信、蔡侑儒
指導老師：洪辰雄 老師

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本研究利用的是渦輪增壓原理，利用引擎燃燒後的廢氣推動渦輪葉片，使進氣端的葉片獲得動力，利用這股動力，我們把它裝上支架和釹鐵硼磁鐵，就類似機車發電機電盤，再把機車內部發電線圈套入，並接上整流器，就形成利用引擎燃燒廢氣發電的渦輪發電機。但渦輪增壓器葉片轉數變化動輒數萬或數十萬轉，因此葉片軸心必須極輕量以及堅固，才能應付在高轉數扭矩變化的力量，我們設計支架的重量和發電機線圈與釹鐵硼磁鐵之間相吸的阻力，皆會影響葉片軸心的轉數變化，並改變釹鐵硼磁鐵與發電機線圈對發電量的影響。

一、前言

目前油電車在未來汽車工業裡所扮演的角色，全球各大車廠都有看法。不過支持 Hybrid 油電動力車在未來發展的企業，的確不在少數。在現今高油價社會中 Hybrid 系統的油電混合車款越來越流行，原因在於既可以使用純電力、純汽油以及油電混合模式，大大提升了不同狀況使用的效率，在都會走走停停與高速公路行駛中，都有節能的優異表現，但是就如同純電動車一般，電池的科技仍和復電系統研發技術的是最大的隱憂。

在 Hybrid 的車種中，電池主要是低速行駛中提供馬達的動力來源，僅適合走走停停的都會中使用，因為該系統的設計，主要還是利用引擎運轉時將部份產生的電力儲存於電池中，提供短暫的電力在靜止中、起步等等。以往汽油車最耗油的狀態下作動，因此該系統的電池電容量並不高，長時間使用下，還是以汽油引擎作動的機率較高。

Hybrid 油電動力車的充電方式主要可分成兩種，一種是在車輛減速時，透過位於引擎與變速箱間的線圈回充電量，另一種則是透過位於引擎旁的發電機，在車輛高速巡航時，將電量回充電池內。前者在踩煞車踏板時，會感受到車輛減速的過程較為漸進，原因在於車輛減速是透過線圈發電時產生的阻力來減慢車速，而非完全依賴來令片與碟盤來獲得制動力，目的在將動能轉為電能再次利用。而後者則是在不增加引擎負荷下，將機械能轉換成電能。這兩種方法皆是利用線圈與動能的轉換，而達到發電的效果。

相較於純電動車，油電車具有以下優勢：適用範圍廣，即使跑長途旅行也不用擔電力會用完；產品相當成熟，成本也較低，較能獲得消費者青睞；燃油引擎較耐操，不用擔心萬一馬達過熱、電壓不足或電路系統出問題時，車輛說不動就不動；只要稍微加大電池容量，並加入 Plug-In 功能，就可讓油電車的省油效益大幅提高。

二、理論分析

2-1 渦輪原理

內燃機要能夠做功主要是靠燃料在汽缸內燃燒推動活塞來產生機械能，由於進入汽缸的燃料量受到活塞吸入空氣量的限制，因此發動機所產生的功率也會

受到限制，如果發動機的性能已處於最佳狀態，要增加輸出功率只能通過壓縮更多的空氣進入汽缸來提升容積效率，從而提高燃料爆炸所產生的推力。

因此在目前的技術條件下，渦輪增壓器是唯一能使內燃機在排氣量不變的情況下增加輸出功率的機械裝置。我們平常所說的渦輪增壓器其實就是一種空氣壓縮機，通過壓縮空氣進入汽缸來增加發動機的容積效率，一般來說，渦輪增壓是利用內燃機排出的廢氣慣性衝力來推動渦輪內的葉片，葉片又帶動同軸另一端的葉片，壓送由空氣濾清器送來的空氣，使之增壓進入汽缸。

當內燃機的轉速增加，廢氣排出速度與渦輪轉速也同步增加，壓縮更多的空氣進入汽缸，空氣的壓力和密度增大燃燒更多燃料，就能夠增加內燃機的輸出功率。大家可能會覺得渦輪增壓裝置非常複雜，其實並不複雜，渦輪增壓裝置主要是由排氣端和進氣端所組成。

首先是渦輪的排氣端與發動機排氣歧管相連，排氣口則接在排氣管上。
增壓器的進氣端與空氣濾清器管道相連，排氣口接在進氣歧管上，最後渦輪葉片分別裝在渦輪室和增壓器內，二者同軸聯接形成一個渦輪增壓器。

2-2 三相交流發電機

機車的三相交流發電機是屬於電磁感應原理，感應線圈固定不動，感應磁場變動的方式，線圈為固定物，電盤則由曲軸帶動旋轉，當電盤旋轉時，電盤上的磁鐵與線圈做切割,並在線圈中感應出電壓與電流,這些感應出來的電壓與電流,使用整流器做全波整流,而三相交流電需經六顆整流粒做全波整流後，以脈動直流輸出。

2-3 渦輪式發電機設計概念

交流發電的原理使用曲軸帶動電盤，而渦輪發電機使用渦輪軸心的轉速帶動磁鐵，渦輪增壓器係利用引擎排放的廢氣帶動葉片，葉片的轉速達到六萬至十萬轉，因為轉速非常高，所以葉片軸心必須非常堅固並且需要平衡，我們用軸心做為動力來源，在這個堅固的軸心上，設計出符合軸心驅動的支架，使用 CNC 機台加工，達到精密且平衡的支架，再利用 AB 膠將釹鐵棚磁鐵固定在支架上，做為類似電盤的機構。

本研究所使用的三相交流發電機是以 YAMAHA 底下的迅光摩托車系上三相交流發電機,內部發電器材,如發電線圈、整流器，還有用鋁板拼成的支架，好讓機件可以架設在正確的位子。結合這五項物件，做為渦輪發電機成品(圖一)。

（圖一）渦輪發電機成品

三、實驗器材與設備

3-1 IHI RHF4 渦輪

RHF4 渦輪(圖二)是採用滾珠軸承的新一代高性能渦輪，運轉阻力小、加速快、反應迅速，最高轉速可達十九萬轉，耐熱溫度可達攝氏 950 度，空氣流量介於每分鐘 1~9.4 立方米的空氣量，適用於中小型排氣量車型 400cc-2000cc，柴油引擎適用馬力介於 46~130PS(1HP=1.01386PS=746W)、汽油引擎適用馬力介於 62~177PS。

（圖二）RHF4 渦輪

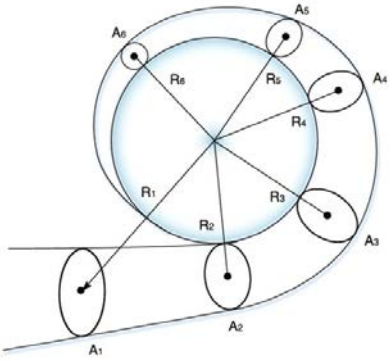
RHF 系列渦輪是 IHI 公司專配於低排氣量引擎使用的系列渦輪(圖三)，產品自身設計具有低 A/R 值。一般而言，渦輪號數大小取決於 A/R 值，A 指的是渦輪進氣道中的最小截面積，R 則是指吸氣端的葉片中心點至進氣道截面中心點的距離(圖四)，A 除以 R 所得數值愈大，表示渦輪內部可承受的壓力愈大，因此是判斷渦輪大小很重要的數據之一。但目前市售渦輪種類眾多，滾珠軸承、雙通道、葉片大小、葉片重量和軸承偏心率都對渦輪的輸出效能有很大影響。A/R 值小的屬於低轉速取向渦輪，A/R 值大的為高轉速取向渦輪。

本研究使用這樣大小的渦輪，是適用於我們一般常見排氣量的引擎，也就是說排氣量介於 400cc-2000cc，當發動引擎怠速，到一般我們常使用的轉速範圍，皆可以推動本渦輪，並達到工作理想的範圍。

		Type	RHF3	RHF4
Item	Air Flow Rate (at: πc=2.0)	m³/min ft³/min	0.75~6.3 26.5~222.5	1.0~9.4 35.3~332.0
	Maximum Pressure Ratio		2.7	2.7
	Maximum Speed	X10³rpm	250	190
	Maximum Allowable Gas Temperature	°C	950	950
		°F	1742	—
	Weight (without waste-gate valve)	kg	(1.9)	(2.6)
		lb	(4.2)	(5.7)
	Diesel Engine Application	Ps	20~100	46~130
	Gasoline Engine Application	Ps	27~135	62~177
External Dimensions	A	m/m	135	167
	B		22	37
	C		133	163
	D		88	102
	E		58	65
	F		65	74
	G-1 with Waste-Gate Valve		162	190
	G-2 without Waste-Gate Valve		(136)	(155)
	H-1 with Waste-Gate Valve		135	125
	H-2 without Waste-Gate Valve		(127)	(125)

( ) is the value for those without a waste-gate valve

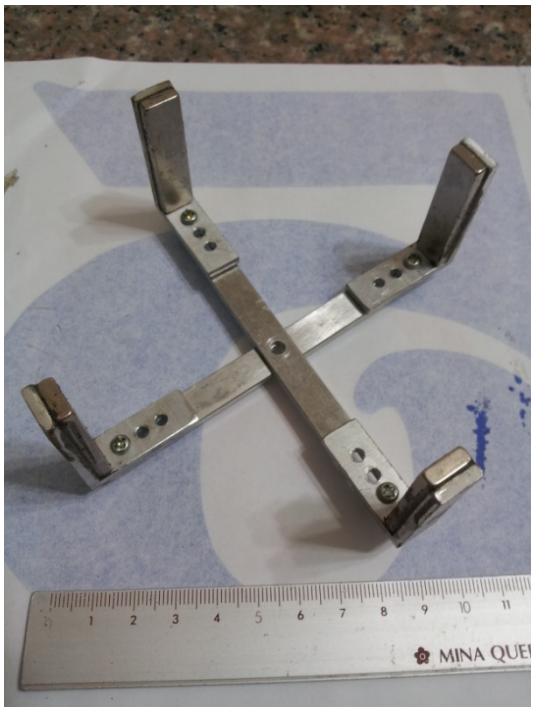
（圖三）RHF 系列渦輪



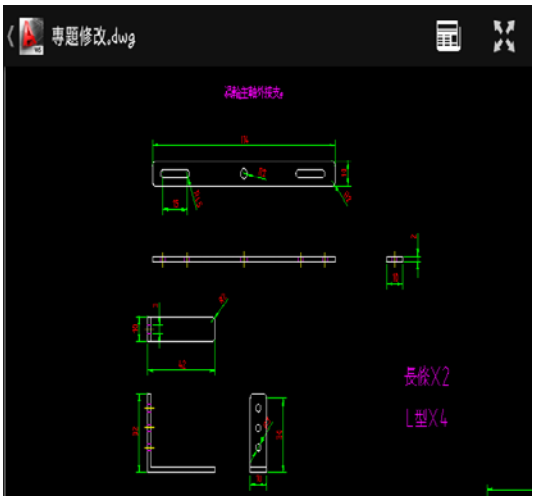
（圖四）葉片 A/R 值

3-2 釹鐵硼磁鐵支架

釹鐵硼磁鐵支架(圖五)的設計，利用 AutoCAD 程式繪製(圖六)出來，並使用較輕的鋁片(6061)做為材料，此支架的運用，必須使轉動的力量傳遞到磁鐵上，也就是從進氣端葉片軸心做出延伸並搭配釹鐵硼磁鐵的設計，使得釹鐵硼磁鐵在發電線圈外做環繞切割的動作。釹鐵硼磁鐵本身具有強大的吸力，並非一般的磁鐵可以比擬的，所以在磁鐵與發電線圈的距離，必須做為可調整的，這樣一來不用擔心會有磁力過強而導致渦輪推力不足的情況或距離過遠而造成發電量不足的情況。



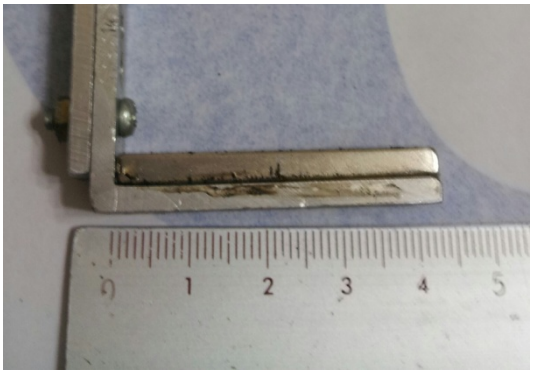
（圖五）釹鐵硼磁鐵支架



（圖六）AutoCAD 程式繪製

3-3 釹鐵硼磁鐵

釹鐵硼磁鐵(圖七)為目前各種磁鐵材質中磁力最強的磁石，製造方式為粉末成型後，經燒結加工而成。釹鐵硼中含有大量的稀土元素釹、鐵及硼，其特性硬而脆。由於表面極易被氧化腐蝕，釹鐵硼必須進行表面塗層處理。而我們選用的釹鐵硼磁鐵尺寸大小為長40mm、寬 10mm、高 4mm，此形狀大小，剛好符合我們發電線圈切割的部分，沒有多餘的材料和重量。



（圖七）釹鐵硼磁鐵

3-4 渦輪葉片軸心

渦輪葉片軸心(圖八)直徑為 4mm，是為非常細的軸心，因為軸心的設計原本不是用於重負載，是用於空氣推動葉片，而葉片壓縮空氣之使用，但必須負荷在極高轉速下做變化、扭矩的負荷、排氣葉片的高溫，故使得軸心多做鍛造處理，軸心強度也夠強。

（圖八）渦輪葉片軸心

3-5 發電線圈

發電線圈(圖九)使用是以 YAMAHA 底下的迅光摩托車系上發電組，其發電組為三相交流式發電機，磁場切割出來的電動勢為三相交流式，外接整流器後，穩壓並使其發電變為直流電，這些直流電可以用來供應車上負載所需，並穩壓高於電瓶電壓約為 14.4V，回充致電瓶。

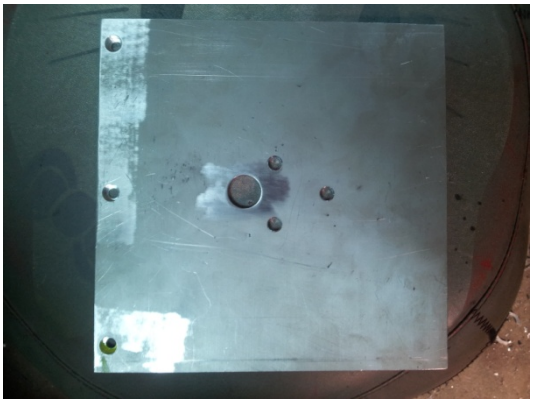
（圖九）發電線圈

3-5 整體架座

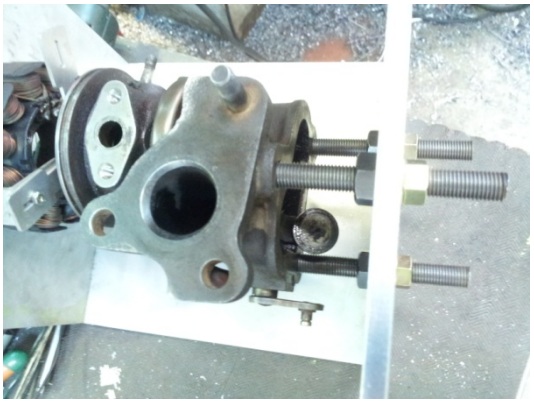
在資源不足的情況下，無法將整組渦輪發電組架設於引擎排氣管上，而使用金屬鋁片，將主要的零件架設起來，讓強大的磁力可以在正確的空間下切割磁力線，而排氣動力來源改成用空氣壓縮機的氣壓。以下為架座製造過程(圖十至十四)。

(圖十)鋁片切割過程

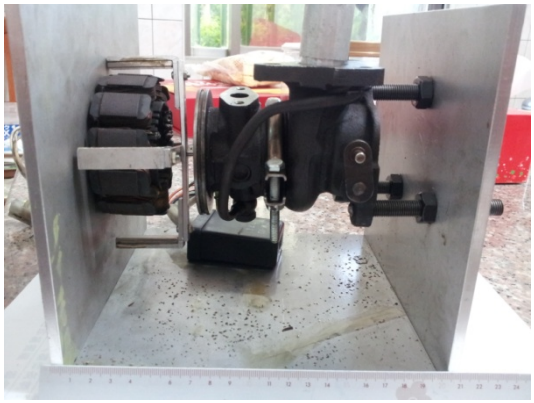
(圖十一)鋁片鑽孔



(圖十二)鋁片修導角



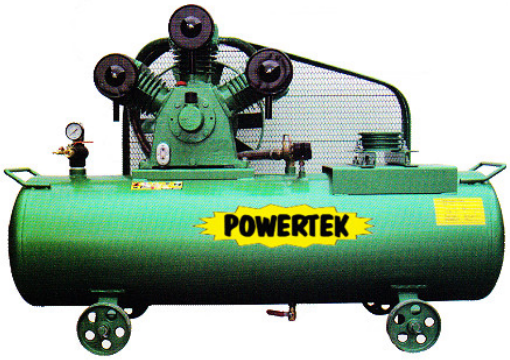
(圖十三)鋁片組合



(圖十四)座架完成

3-6 空氣壓縮機

空氣壓縮機(圖十五)使用型號 TA-100，其壓縮機為活塞式空氣壓縮機，缸數為三個，壓縮壓力達到 7.0kg/cm2。其規格表(圖十六)



(圖十五)空氣壓縮機

(圖十六)空氣壓縮機規格表

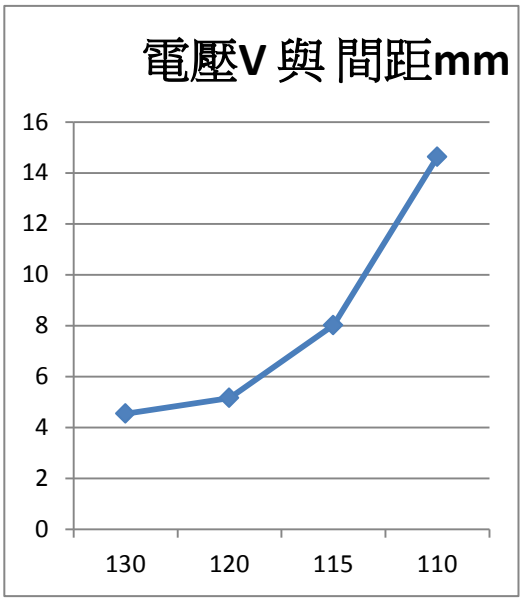
四、結果與討論

本發電機的設計原本用引擎廢氣為動力來源，在資源不足的情況下，空氣壓縮機為本次實驗的動力來源，雖然與廢氣推動的方式相同，但排氣廢棄有相當的高溫，兩者之間還是有些微的差距。

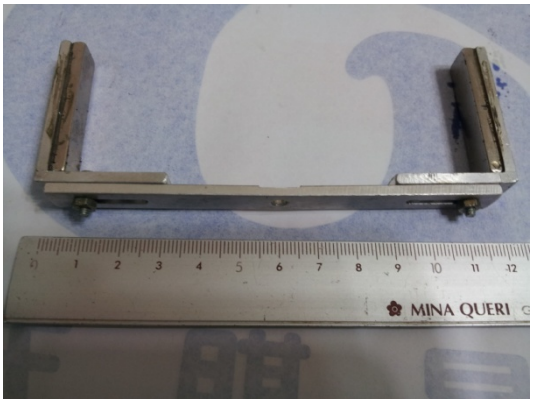
由於空氣壓縮機所吹出的高壓空氣，是使用空氣槍作為噴嘴，其噴槍口截面積非常小，是為達到高流速而設計的，但是渦輪葉片的推動，其設計經計算過後的截面積大小，當足夠空氣流量通過時，就能推動葉片，並達到高轉速，而非利用高流速的空氣，如果使用空氣壓縮機高流速的空氣，則很難將葉片推至工作範圍轉速。

所以我們利用適合其排氣端口大小的管子(如圖十七黑色箭頭)，其目的用來將噴槍噴嘴口高流速的高壓氣體分散，而達到足夠力量和流量可以推動葉片，使釹鐵硼磁鐵支架旋轉，進而切割磁力線產生電壓，這股力量必需要大於磁鐵的吸力，好讓足夠的氣流量讓葉片加速。

(圖十七)管子



(圖十八)實測數據



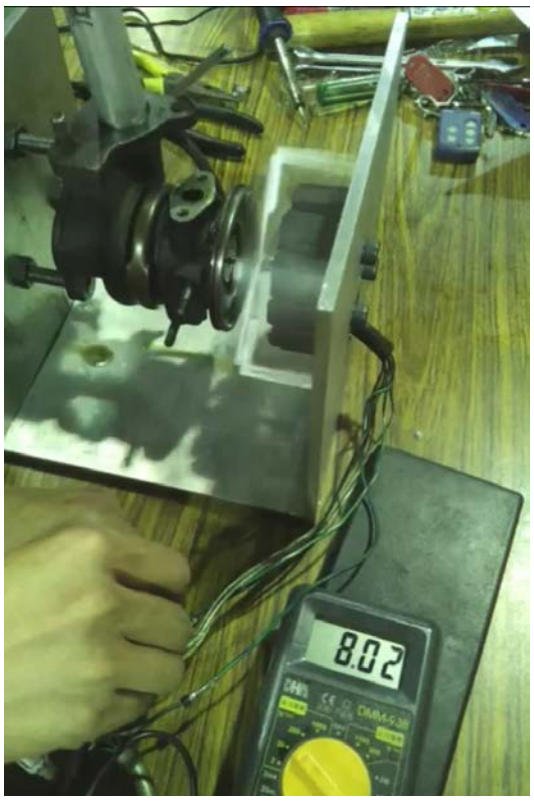
(圖十九)線圈距離

實測數據，因為不同的磁鐵間距會造成電壓大小不一，故使用 4 組間距分別為 130㎜、120㎜、115㎜、110㎜，動力部分維 TA-100 空壓機，每次皆為每平方公分 7 公斤之氣壓。其數據如(表一、圖十八)，各個間距(圖十九)所量測的不同電壓。(圖二十、二十一、二十二、二十三)

間距	130㎜	120㎜	115㎜	110㎜
線圈距離	20㎜	15㎜	12.5㎜	10㎜
電壓	4.29V	5.16V	8.02V	14.63V

(表一)實測數據

（圖二十）



（圖二十二）

（圖二十一）

（圖二十三）

五、結論與建議

實測結果可以看到，當以間距 110mm，做為支架距時，經整流器接出來後，可以由三用電表量得電壓為 14.63V 的電壓，這樣的電壓已高於電瓶電壓，足以回充電瓶。這些利用內燃機廢氣推動的發電機，可以把內燃機的效率提高很多，而這些電量的回充，並搭配油電混合車的電動馬達，驅動油電混合車，可以是一個很好的能源再利用。

本次專題在一開始構思時，到處詢問渦輪本身的設計,好讓我們知道是否適合做為渦輪發電機之器具,但業界的說法是覺得這樣的設計，如果可行，早該發明出來，而且渦輪本身用途不再於發電，如果用再帶動發電機負載，在強度方面上總是有很大的疑慮。在支架的設計，也是有失敗的作品，在這些失敗品中，我們得到了經驗，好讓我們有改良的空間，在這思考改良的地方，問了很多相關知識的前輩，得到很多寶貴的知識，是其中意想不道的收穫。但本小組的實際測量數據和測試儀器有些不足的地方，就已下缺點，提出改良的空間：

1.使用的渦輪與發電機，有些微的老舊，造成渦輪軸心作用時，有些微的運轉阻力，讓實際的空氣流量無法全力推動葉片。發電機部份是中古舊品,在線路上，有磨損漏電，造成切割出來的電，變成熱消耗掉。

2.渦輪發電機本是裝設於內燃機排氣管上，但我們沒有足夠的金經費，找到可以足夠推動葉片的內燃機做測試，若在內燃機排氣端做測試，想必還有多因素必須要考量的，例如擺設位置、排氣溫度對發電機組的影響。

3.釹鐵硼磁鐵架的轉速，也就是渦輪葉片轉速，因為發電機輸出電壓與轉速、線圈匝數、磁場強度、線圈截面積、時間有關，但是沒有光學式測轉速器，就無法得知渦輪葉片轉速受磁力和重量的影響。

4.釹鐵硼磁鐵支架強度問題，第一次在設計支架時，我們使用了 2mm 厚的(6061)鋁合金片，但是在高轉速下因貫性的影響，導致金屬片彎曲片變形，在得知強度不足的情況，做出厚度 3mm 的鋁合金片，雖然強度足夠用空壓機的氣壓，帶動葉片旋轉，但若將支架放在內燃機排氣端的高溫下，可能會有因高溫讓鋁合金片軟化變形的問題，所以必須要讓支架能承受高溫並且輕量化。

六、致謝

感謝洪老師細心指導與教導，並且在我們需要資源時，能非常慷慨的提供，感謝黃信毓學長，在本次試製過程，幫助我們在不了解的地方，提供很多資源與知識，也解決我們一些無法想通的問題，讓我們更順利完成這次研究，還有班上的同學，介紹我們到高雄一間 CNC 機械加工廠，讓我們可以不用花到太多經費，並且能夠做出和我們說想的一樣，達到良好的溝通。

七、參考資料

1.網站:

[1] Turbocharger Specs
http://turbochargerspecs.blogspot.tw

[2] IHI Turbo America
http://www.ihi-turbo.com/turbo_RHE-RHF.htm

[3] THE Turbocharged A-Series Resource
http://www.turbominis.co.uk/forums/index.php?p=vt&tid=306641

[4] 汽車技術網 汽車動力、引擎討論
http://www.autoth.com/forums/showthread.php?t=6096

[5] 台灣寶路多股份有限公司
http://www.carnews.com/article.php?id=16387

[6] YAHOO 奇摩部落格

http://tw.myblog.yahoo.com/mi-fen/article?mid=119&prev=121&next=-1

[7] 維基百科-釹鐵硼磁鐵

[8]隱科技-[Saab 開講](5)15 分鐘搞懂渦輪增壓器的秘密
http://cool3c.incar.tw/article/59060

[9] GOOGLE 圖片搜尋

The Trial of The Turbo Generator

Student: Chen-Hsin Chung, Yu-Ru Tsai

Teacher: Chen-Hsiung Hung

Department of Biomechatronics Engineering

National Pintung University of Science and Technology

Abstract

The study mainly applied to turbocharger, recycled the gas emissions out from the engine then used it to drive the turbine. We set up magnets on turbine fins, and built frames which equipped with solenoid disassembled from scooter electricity generator. Then we set a rectifier on the output side, finally completed a turbine electricity generator model. But the fins are high-speed rotating when turbine operates, we need to both improve the strength and decrease the weights of the materials. In that case, our system could resists grant turning force caused by fins rotation.

不同波長之 LED 對於茼蒿的生長影響

學生姓名：施柏羽、吳宇勝
指導老師：洪辰雄

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本專題所探討的方向為使用不同單色光源進行茼蒿培養栽種，探討 LED 的光質波長是否會促進或抑制植物之生長。本次實驗是以茼蒿為觀察對象，以兩顆單色 5W LED 進行串接作為主要光之來源，並採用多層櫃做為區隔不同光源及觀察對象栽種之場所。此次實驗結果顯示藍色光對於茼蒿的生長，不論是生長天數、高度、株高都優於其他光源下之茼蒿。若以藍光作為的光源，在未來對於茼蒿的生長天數可以大幅的縮短並且增加其產量。

關鍵字：LED、茼蒿、光波長。

一、前言

因為環境變遷造成大家開始使用溫室或是植物工廠來進來葉菜類的栽種，但是在溫室與植物工廠內部假如進行葉菜類栽種都會導致光線不足，故需添加人工光源進行補光，而在光源方面的研究結果，大部份都是採用紅光比例較多的光質去栽種,但是否每種作物對於紅光的效果是最好的，是值得去探討與研究。而本實驗主要以不同波長之 LED 進行茼蒿之栽種，並其測量茼蒿之生長情況,來探討何種 LED 波長最適合於茼蒿生長模式。

全球暖化帶來的氣候異常，使農業出現變化，生產力下降，糧食供需情況惡化。因為全球氣候變遷在各種不利之因素齊聚下，農業在糧食生產上之穩定性波動越來越大；且世界各國糧食資源逐漸減少，人口卻增長迅速 ，在臺灣糧食安全成為了傳統農業所造成之環境負擔與不確定性。如何適應氣候變遷，並在永續農業及有機農業的趨勢下生產農作物，成為農業科技變革的首要課題。未來若反聖嬰現象持續發生，將使原本已顯吃緊的糧食供需狀況變得更嚴峻。先進國家欲以科技改變潛在糧食危機壓力已有多年，也因此 LED 技術成熟，讓植物照明培養栽種作物的未來商機備受青睞。

二、 研究方法與內容

研究一、收集文獻做為實驗的參考

1. 植物對於光的要求

所有的植物中最少有三類感光的色素系統，第一類色素可對光線感應而使植物發生向光性，第二類色素為葉綠素類，葉綠素為接受日光進行光合作用，第三類色素為光敏素(Phytochrome)。光敏素具有兩種狀態：一為能吸收大量紅色光的紅光型；另一狀態可吸收紅外光,稱為紅外光型，這兩種型式的色素可以互相轉化，光敏素會影響植物的生長及發育。植物對光的適應性一般可以從以下三方面來探討：光質、光強度及光照長度。

a. 光質對植物生長的影響一般說來，植物需在日光的完全光譜下才能正常生長發育。許多試驗證明,不同波長的光對植物生長發育有不同的影響。光合作用過程中，只有能被植物光合色素吸收的光譜之波長的光能，才能用於光合生產。不同波長的光對光合作用具有不同的效能，且直接影響光合產物的成分。如紅光利用於糖類化合物的合成，藍光則利用於蛋白質的合成。不同波長的光在誘導形態生成、向光性、色素形成等方面，其作用也不相同。藍光、紫光、青光能抑制植物延長生成和幼芽的分化，使植物變成比較粗比較矮的形態，並引起向光性的敏感和促進花青素的形成；紫外線能誘導植物體內某些花青素的形成。

b. 光強度對植物生長的影響光是植物光合作用的能量來源。在符合的條件下，光強度增高，光合作用的速率會上升，但是也是會有強度限制的到達一定強度，即使把光的強度上升也只是照成反效果光合速率又會逐漸降低。而植物對光照強度的關係，可分為陽性植物、陰性植物和耐陰植物三大類型。（如表一）

表一、植物對光照的強度關係

陽性植物	在強光下才能正常生長發育，而在弱光下會發生生長發育不良的植物。陽性植物要求全日照，呼吸作用和蒸散作用都較強，因此對於高溫、乾旱的環境適應能力也較強。	如：鳳梨、大部分農作物等。
陰性植物	陰性植物的呼吸作用、蒸散作用都較陽性植物為弱。大都生長於環境較為背陰潮濕中的植物。	如：秋海棠、腎蕨等。
耐陰植物	指介於陽性與陰性間的植 物。只是不同的植物其耐陰程度不同而已。	如：黃金葛、袖珍椰子等。

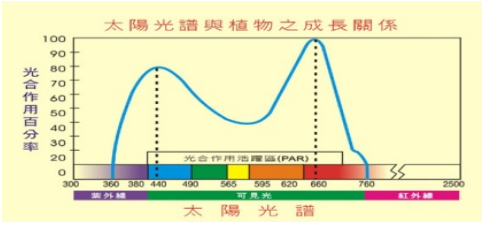
c. 光照長度是指一晝夜間光照的持續時間，它對植物的生長發育有重要的作用。光週現象(Photoperiodism)就是晝夜的長短對植物生長的影響，可以將植物分為長日照、短日照、中間性植物：（如表二）

表二、植物對光週的不同反應

長日照植物	通常在春季黑夜漸漸變短的季節中分化花芽，每日的光照時數超過一定限度(14～17 小時）以上才能開花。長日照時間越長，開花時間越早。	如：牛蒡、小麥、油菜、甜菜、甘藍等。
短日照植物	生長發育過程中需要一段晝短（少於 12 小時，但不少於 8 小時 ）夜長的條件。在一定條件下，暗期越長，則開花越早。	如：大豆、玉米、菸草、棉花等。
中間性植物	植物對光照長短沒有嚴格的要求，即其花芽分化與光周無關，只要其它生長條件合適，在不同的日照長度下都能開花。	如：甘蔗、蘭草、蒲公英等。

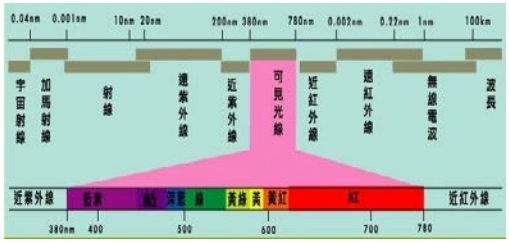
2. 太陽光譜與植物之成長關係

太陽光是一種自然光，由各種不同波長的光所組成。太陽輻射能隨波長的分佈，稱為太陽輻射光譜。波長在390～760nm 的光為可見光，波長小於390nm的光稱為為紫外線，波長大於760nm的光稱為紅外線。不同波長的光其能量不同，它們對植物的生長發育生長有不同的作用。[3]



圖一、太陽光譜與植物之成長關係[10]

不同植物對光譜的要求和反應不同。水稻、小麥、玉米等在紅橙光的照射下，能迅速生長發育，而且早熟。黃瓜在紅橙光長期照射下，植株營養少，產量低；在藍紫光照射下，則能將產量提高。在夜間用強的紅色閃光打破黑暗，可以誘導長日照植物提前開花，抑制短日照植物開花。用淺藍色塑料薄膜覆蓋水稻育秧，其秧苗比用無色的薄膜覆蓋的健壯，這是因為淺藍色薄膜能通過藍紫光的緣故。



圖二、光的波長[10]

3. 茼蒿基本資料

茼蒿(Edible Chrysanthemum)為一、二年生草本，科名：菊科，撥種：秋、冬、春季撥種，以秋、冬季為佳。疏苗：撥種10天後，約生長1～2片葉時可以適時疏苗。追肥：生長期間每10天追肥一次，或少量多次追肥。日照：全日照，日照充足且良好。水分：水分需求大，必需充足。播種方式：撒播種子。採收：大約40～55天即可採收，可連續採收1～2次(視植株生長狀況不一)。食用：全株皆可食用。[12]

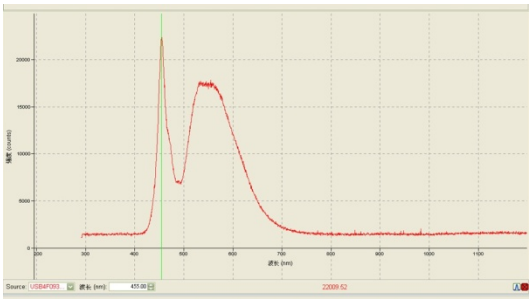
4. LED發光原理

LED是以完全不同的原理而發光。與普通的二極體一樣，採用把P型半導體和N型半導體接合起來的二極體(PN接面二極體)，而該二極體(向P型端加入正極，N型加入負極)中如果順向加入電壓，在P型半導體的內部，產生具有正電荷的電洞(也叫正孔、電洞，半導體結晶，缺少價電子的地方)，在N型半導體的內部，產生具有負電荷的電子，當二者結合時，就會發光。所發出的光的顏色，根據PN接面二極體的製作材料不同而各異，選用不同的材料的PN接面二極體就製作成了各種顏色的LED。

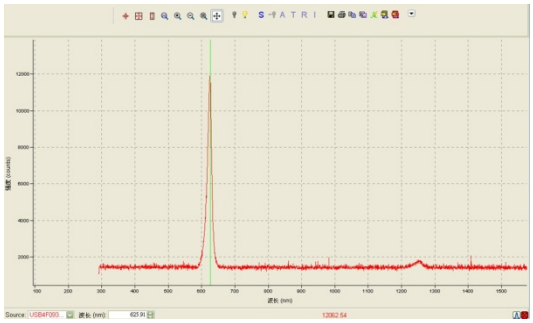
白光LED的發光原理有兩種方法：其一是將光的三原色紅、綠、藍合成白光；其二是用螢光物質塗敷藍光LED，藍色光激發螢光物質產生黃色光，合成黃色光與原有的藍色光而發出白光。無論選用那種方法，藍光LED都是必需的。[13]

研究二、使用光譜分析與控制系統(Ocean optics)量測各色 LED 燈(白、藍、紅、橘、綠)之光源的波長分佈情形和量測方式

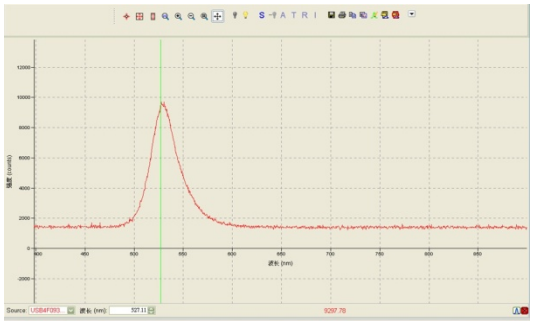
1. 先將各色燈具組接至電源供應器。
2. 開啟 spectra suite 軟體準備量測其感測值。
3. 發光後將光譜儀的感測頭移至燈具下方(距離為 30-50 公分)。
4. 光譜儀以緩慢的速度移動量測數據，取得最佳最明顯之波峰(每次只能抓取某段光譜之一點位置)。



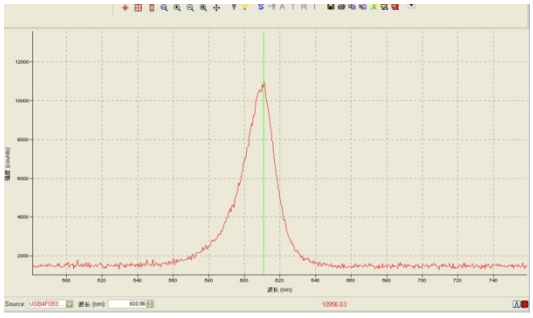
圖三、白光波長 455-554nm



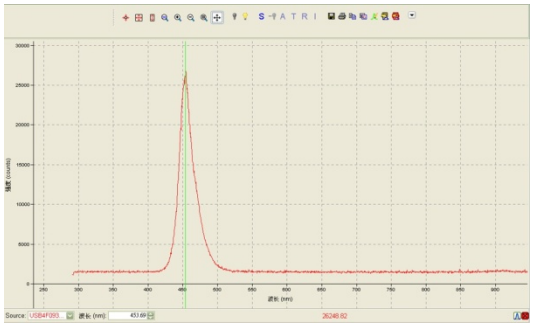
圖四、紅光波長 625.91nm



圖五、綠光波長 527.11nm



圖六、橘光波長 610.10nm



圖七、藍光波長 453.69nm

研究三、使用照度計量測各色 LED 燈(白、藍、橘、綠、紅)之光照度場分佈情形及量測方式

1. 種植前先以空穴盤的基本高度(離燈具 20cm)做為基準並放置畫有九宮格之壓克力板。
2. 將照度計感測位置水平放至於九宮格內。
3. 每色各量測三次取平均值做為種植前的照度分析。

1563.33 lx	1770.67 lx	1644 lx
1596.33 lx	2088.67 lx	1881.33 lx
1428 lx	1766.67 lx	1636 lx

圖八、白光照度

359 lx	417.67 lx	384 lx
455.67 lx	498.67 lx	420.67 lx
362 lx	393.67 lx	371.33 lx

圖九、紅光照度

288 lx	359.67 lx	320 lx
320.67 lx	414.67 lx	347 lx
272.67 lx	324 lx	271.33 lx

圖十、橘光照度

1451.33 lx	1723.33 lx	1597 lx
1533.33 lx	1912.67 lx	1631.33 lx
1347.67 lx	1541 lx	1431.33 lx

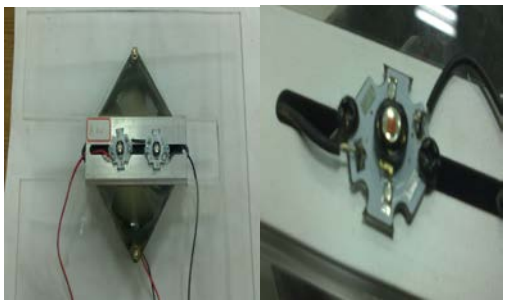
圖十一、綠光照度

173 lx	185.33 lx	204.67 lx
183.67 lx	225 lx	201.33 lx
163.33 lx	165.67 lx	187.33 lx

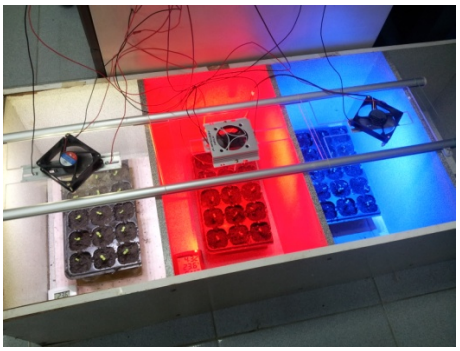
圖十二、藍光照度

研究四、 製作 LED 燈具組及培養環境

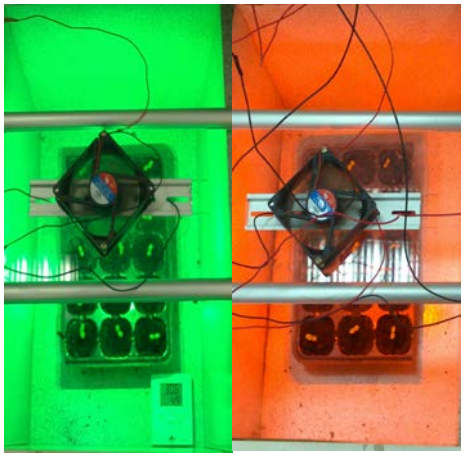
1. 將兩顆 5W LED 燈串聯並以螺絲固定在鋁條上。
2. 再以線鋸在壓克力板(23cm*16cm)上割出一道(20cm*3cm)的缺口，將裝有 LED 的鋁條鑲置於壓克力板上。
3. 並在 LED 燈背側裝上風扇(主要效果為散熱燈具組)。



圖十三、LED 燈具組



圖十四、培養環境



圖十五、培養環境

研究五、筒蒿栽種步驟

1. 浸泡種子
   筒蒿種子再播種前，先泡水並放置於冰箱中進行催芽動作數天。
2. 點播於穴盆中
   以兩個 45 格之穴盆，每個以間格一列種植，使用點播方式每格放置 2～3 顆種子。
3. 覆土並澆水
   撥種後輕輕覆上一層薄土，覆土後要輕灑水，並保持培養土的濕潤。
4. 發芽後疏苗
   撥種後約 4-5 天，筒蒿開始發芽並生長到兩葉時，可以把互相重疊的部分做疏苗。
5. 管理

成長期間每天澆水兩次，並記錄溫、濕度、照度、葉長及株高。

6. 實驗數據分析與統計

此實驗室外對照組採取 50 株樣本數做記錄，各色(白、藍、紅、橘、綠)光源環境室內實驗組每次種植 15 株樣本數做記錄一共三次，對照組與實驗組實驗時間均為 20 天(光照長度為 16 小時)。

圖十九、紅 白 藍光源植株

圖十六、進行催芽動作

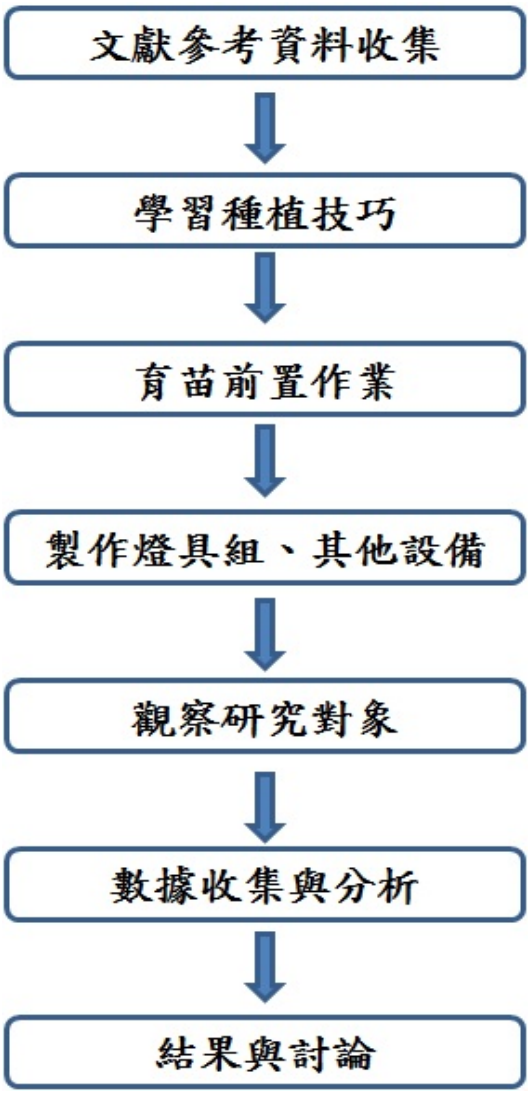
圖二十、橘光植株

圖十七、對照組第二十天植株

圖二十一、綠光植株

圖十八、藍光組第二十天植株

1. 實驗流程



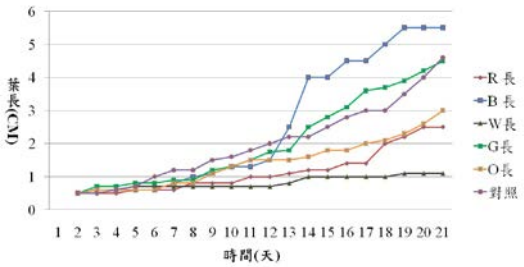
2.實驗材料(如表三)

表三、實驗材料

名稱	規格	數量
電源供應器	30V 4A	1
LED(白、紅、藍、橘、綠)	5W 12V	12
壓克力板	厚度 5.0mm	5
電烙鐵	30W	1
焊錫	1.0mm 17g	1
電氣膠布	18mm	1
數為三用電表	DMM-93B	1
風扇	12V 0.23A	5
茼蒿種子	農友(匙菜種)V095	1
穴盤	45 格型	5
滴管	20CC 型	1
多層櫃	4 格	1
光照計	TES1339	1
光譜儀	Ocean Optics USB4000	1
培養土	興農牌（花蝴蝶）	1
數位式溫、濕度計	溫度:-10°C to +50°C;其解析度為0.1°C 最大及最小值溫度記憶	5
指針式溫、濕度計	HK-5101	1
鑷子	材質：不鏽鋼 重量：150G	1
灑水器	1500CC 尺寸：27x19x15 公分	1
數位計時器	最大負載:1850W，電壓：110V	1

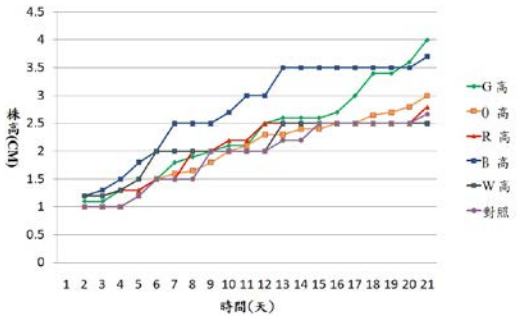
三、結果與討論

1. 茼蒿在的生長情形



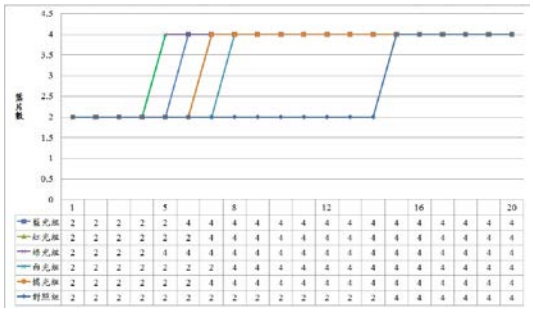
圖十九、各組茼蒿的葉長情形

從圖十九中可以發現，LED 燈藍光組生長的最好，綠光組長的比我們預估中還要好。因為在收集資料及文獻探討中皆表示綠光環境下植物並不會長的很好，這點我們值得探討。



圖二十、各組茼蒿的株高情形

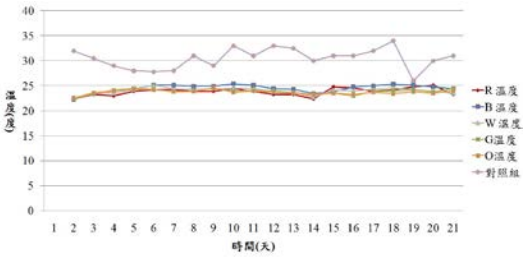
如圖二十表示，室外組的株高長得較好，由於室外組是接收到太陽光(自然光)，因此接收到的光源比較充足，藍光組長的第二佳，由此可知 LED 藍光對於茼蒿的生長需求最高。



圖二十一、各組葉片數比較

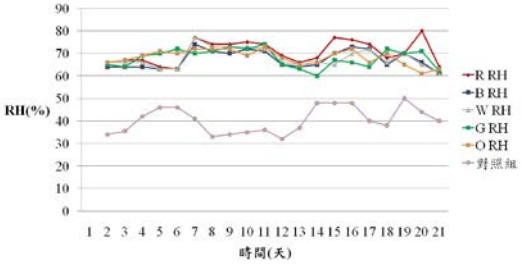
由圖二十一表示，我們葉片數比較以四葉為主，因此葉片數最快長到四片葉子的是藍光組的茼蒿，其餘的組別都落在第五天到第六天長至第四片。

2. 茼蒿在各組的環境比較



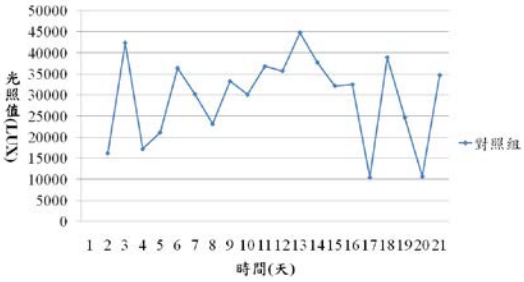
圖二十二、各組茼蒿的溫度比較

由圖二十二表示：室外組平均溫度 30.49℃、紅光組平均溫度 23.9℃、藍光組平均溫度 24.5℃、橘光組平均溫度 23.7℃、白光組平均溫度 24.0℃、綠光組平均溫度 23.8℃。



圖二十三、各組茼蒿的濕度比較

由圖二十三表示：室外組平均濕度 40.4%、紅光組平均濕度 70.7%、藍光組平均濕度 67.4%、橘光組平均濕度 68.4%、白光組平均濕度 67.9%、綠光組平均濕度 68%。



圖二十四、對照組光照度

四、結論

本專題探討 LED 單色光源對於茼蒿的生長影響，經由本實驗可推測出提供溫室或植物工廠內進行茼蒿栽種光源之選擇，在實驗結束後發現到「藍光」對於茼蒿的生長較佳，「綠色」光源對於茼蒿生長的第二好的對於我們所得的知識與資訊不一樣，因此 LED 燈「綠光」對於植物的生長值得我們再去探討。但還有很多的方向及變數沒有去探討到，如：茼蒿的含水率、含糖度、CO_2、光量子數…等方面沒有去探討到。未來本實驗做改良時，可以將本實驗未探討到的變化量做為研究方向，來改善 LED 燈單色光源對於茼蒿的價值性發展，將茼蒿在家庭式或營業式種植做到最高價值性。

五、致謝

首先感謝 洪辰雄老師無私及細心的教導，也感謝研究室林郁舜學長、黃振凱學長、邱馨標學長、陳家祥學長、洪國豐學長及同學們等等不厭其煩的教導和協助我們解決問題，在忙自己的論文還抽空幫助我們解決專題上的疑難雜症，當專題上有困難時適時的提出解決問題的方法，並提供我們所需的資料以及專題上的協助。有這些學長同學的幫忙使得我們專題製作得更加順利，再三感謝這些學長及同學們。

六、參考文獻

[1] 王士瑋、甘廣宙、張培華，以隔絕外來光源種植方式使用 LED 培育植物之研究，私立崑山科技大學 光電工程所 、 國立嘉義大學電機工程系。

[2] 方煒、林清源，2005，發光二極體在生物產業的應用，國立台灣大學生物產業電工程系。

[3] 陳加忠，2010，光線光譜與植物光合作用的關係，中興大學生物系統工程研究室。

[4] 方煒，溫室環控總論，國立台灣大學生物產業機電工程系。

[5] 方煒，2005，人工光源在生物產業的應用，台大生物產業機電工程系。

[6] 陳加忠，2010，是噱頭還是新科技-LED於農業之應用光線光譜與植物光合作用的關係，中興大學生物系統工程研究室。

[7] 陳加忠，2010，設施機械通風技術，中興大學生物系統工程研究室。

[8] 姚銘輝，2010，光度單位問題之探討，農試所農工組。

[9] 梁錦宏，光源的色溫與演色性，天朗照明有限公司。

[10] 東亞照明，照明教室之光源介紹，http://www.chinaelectric.com.tw/case_03.htm

[11] 謝明憲，葉菜類設施栽培管理，台南區農業改良場。

[12] 謝東奇，2012，安心蔬菜自己種，蘋果屋出版。

[13]嘉騰芳夫著，2008，LED 燈飾知識百科，全華出版。

The impact of different wavelengths LED for garland chrysanthemum growth

Students : Po-Yu Shih , Yu-Sheng Wu
Advisor : Chen-Hsiung Hung

Department of Biomechatronics Engineering National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

The main point of the study is about using different monochromatic light on garland chrysanthemum culturing, and then investigating whether the factors would improve or inhibit the growth. The experiment took garland chrysanthemum as the object of observation, and used two concatenated monochrome LED each by 5W as main light source. The multi-layer cabinet was for separating different light sources and as the place for garland chrysanthemum planting. The result shows that Blu-ray is better than other light sources on growth days, growth height, and plant height. So using Blu-ray for light sources can significantly shorten the growth days and increase the production.