

逢甲大學學生報告 ePaper

3D 列印彩色外掛模組渲染技術及視覺監控性能之研發

3D printing color plug-in module rendering technology and visual monitoring performance of the research

作者：廖偉程、楊祖侑、許碩祐、林驛達

系級：機械與電腦輔助工程學系四年丙班

學號：D0339855、D0339456、D03085730、D03395150

開課老師：鄧錦坤

課程名稱：專題實作(三)

開課系所：機械與電腦輔助工程學系

開課學年：106 學年度 第 1 學期



中文摘要

(1)目的：近年來 3D 列印等快速成型（RP，Rapid Prototyping）之盛行，而 FDM（熔融沉積成型，Fused Deposition Modeling）因入門門檻低，所以容易入手。目前市面上以 FDM 系統之 3D 列印機佔市場率較高。但現有 3D 列印機以單色列印為主，對設計師、藝術家而言，其作品無法以彩色的樣貌呈現，唯之可惜。

(2)過程及方法：我們構想出設計彩色外掛模組，該模組是以三原色及有機溶劑的四個墨水匣，有機溶劑為清潔管線剩料，其開關用電磁閥，使用 Matlab 與 Arduino Mega2560 做連結控制，並用內建 GUI 建置人機介面。當顏料經開關送入混色槽，並藉由噴頭對單一白色線材 PLA 上色。視覺監控是為了分析上色的均勻度及穩定性，我們自製固定大小的試片，並修改其列印 G-Code 程式碼，使其列印方式單一，試片成品將放置於暗箱進行拍攝，並經由 Matlab 影像處理，將 Pixel 與明暗度數據化後繪製分析圖，藉由分析圖導出外掛模組(例如:顏料之濃度、上色噴頭之壓力、電磁閥開關頻率、上色層數)與 3D 列印(例如:列印速度、列印溫度)之關係。

(3)結果：經自製人機介面 GUI 撰寫外掛模組程式，能依據使用者之顏色需求做調控，其外掛模組設計之成品符合預期，能穩定染色於 PLA 白色線材上，並沿鐵氟龍管線輸入進 3D 列印機列印成彩色元件，而經視覺模組分析試片，從其數據得知顏料採用 Mr.color 之模型漆，而上色層數採四層效果最佳。

關鍵字： 3D 列印、機器視覺、FDM

Abstract

(1)Purpose: In recent years, 3D printing and other rapid prototyping are very prevalent. Because the price of FDM 3D (Fused Deposition Molding) printer is low, it is easy to start. Currently, FDM system takes a great part on the market. But the existing 3D printing machines print models in monochrome. For designers, artists, their works can not be presented in colors that is unfortunate.

(2)Process: We think of the design of color plug-in module which have three primary colors (blue、red、yellow) and organic solvents in the four ink cartridges, organic solvents are to clean residual material in the flow tube. The four solenoid valves control the flow of ink cartridges, and we use Matlab connect to the Arduino Mega2560 to control valves, using built-in GUI function to build machine interface.

Visual monitor is to analyze the uniformity of color and stability, we made a fixed size of the test piece, and modify its printing G-Code to make it a single way to print, test pieces will be placed in the Camera obscurato and use Matlab to capture images, Pixel and the brightness of the data will be drawn to the analysis chart, by analyzing the plot to export plug-in module (such as: the concentration of paint, color nozzle pressure, solenoid valve and switching frequency) and 3D printing (such as speed、temperature) of the relationship.

(3)Result: We use Matlab GUI function to write the colorful plug-in module program, according to the users' needs to be adjusted. The plug-in module design finished as expected, stably stained in PLA white wire, and along the Teflon line into the 3D Printing machine printed into color components. The visual module analyzes test specimens. From the data, we found out that the paint used Mr. color model paint and the four layers are the best result.

Keyword : 3D Printer、Machine Vision、FDM

目 次

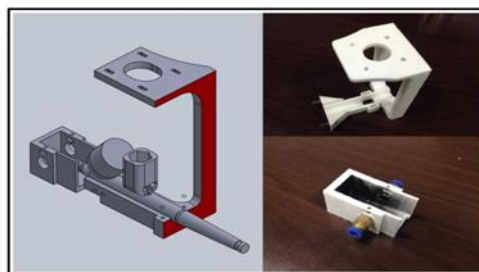
中文摘要	1
英文摘要	2
1.研究動機	4
2.文獻回顧	6
2.1.1 彩色3D列印機	7
2.1.2 視覺監控	8
3.研究方法	11
3.1 彩色外掛模組外殼設計	11
3.1.1 設計流程架構	11
3.1.2 彩色噴頭模組	12
3.1.3 外殼設計圖	14
3.1.4 試片設計	18
3.1.5 顏料選用	19
3.1.5.1 顏料數據分析	20
3.1.5.2 顏料分析結論	23
3.1.6 電路設計	24
3.1.6.1電路設計圖	27
3.2 視覺模組	28
3.2.1 鏡頭模組	28
3.2.2 光源模組	29
3.2.3 影像處理	30
3.2.4 影像分析數據	31
4.結論.....	37
5.參考文獻	41

1.研究動機

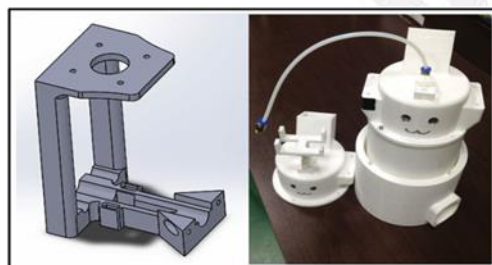
追溯到參與黃學長創辦的 Maker 性質的學藝性社團，名為 OwO(Original wonderful organization)，參與第一次社課後，開始對 3D 列印萌生興趣，之後便持續接觸相關領域，並與之參賽 2016 年全國大專院校產學創新實作競賽，入圍決賽並榮獲傑出獎，其作品原創為黃信傑學長的科技部計畫「3D 列印彩色外掛模組(單線多色)-以 FDM 為例」(MOST 105-2815-C-035-064-E)，此作品非常創新的且有可行性，但可惜之處為整體機構設計不夠完善、無完整分析系統且採用手塗上色線料的方法(圖 1)，造成沒有足夠的有效數據且沒有完善的機構設計(圖 2、3、4)，因此我們改善其原創並建立有效的分析系統(視覺影像分析)及機構設計。



(圖1)



(圖2)第一代

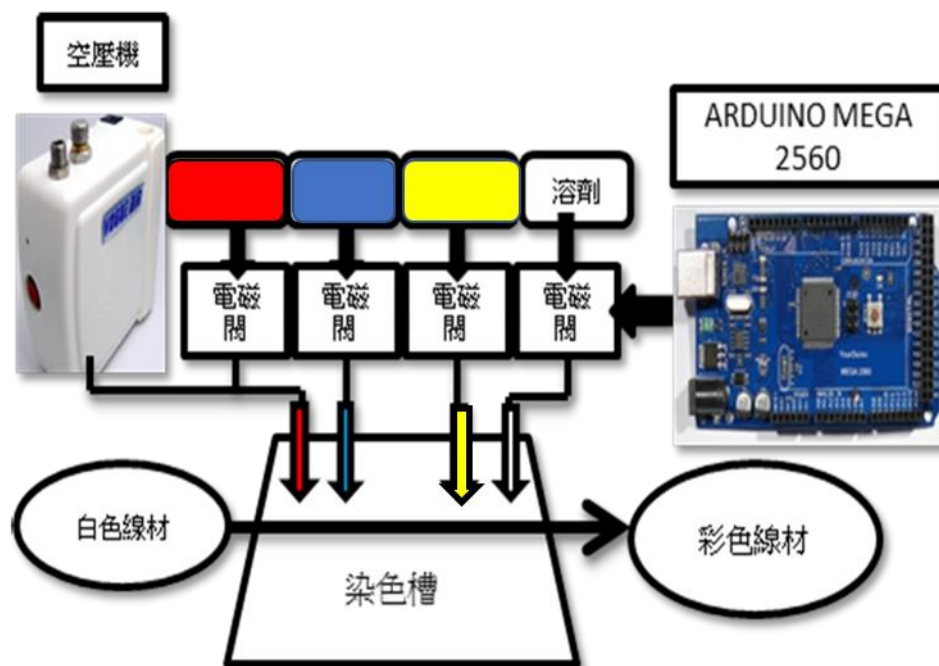


(圖3)第二代



(圖4)第三代

我們建置一套新的模組(圖 5)，機構先用 UGNX 繪圖軟體繪製，並挑選適當彩料製作外殼，經受力分析後，開始製作。而模組是用顏料三原色(紅、黃、藍)作為顏色的基底，以三個墨水匣分別置入三原色，另外加一個墨水匣裝入有機溶劑，目的為清除管線之殘料，其控制閥採用 12 伏特的單向電磁閥，控制器採用 Arduino Mega 2560，並搭配 Matlab 軟體撰寫，目的是用 Matlab 內建 GUI 撰寫程式並設計人機介面，方便使用者操作。



(圖5)新外掛模組概念圖

建立機器視覺影像辨識研究，目的在於分析外掛模組染色的狀況是否穩定，並建立一套完善的分析系統，藉由此系統分析大量試片，將其資料圖像數據化，比對分析後，調整外掛模組的性能與參數。

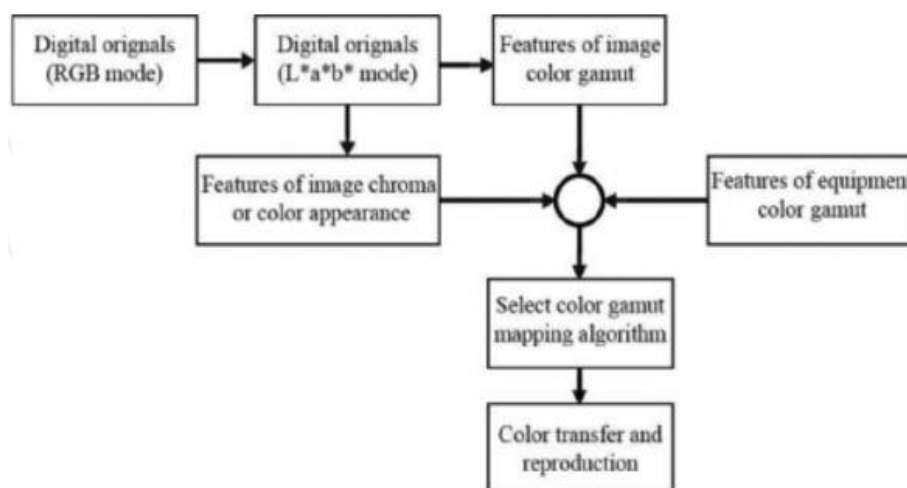
利用 Webcam 攝影機去做影像擷取之動作，隨即將影像傳送回 Matlab 軟體來做讀取之動作，並同步判斷影像中物體顏色對於預設的值，是否有所缺陷，並同時以影像色彩分布圖來呈現，使我們可清楚哪部分動作，會造成染色不均，或者確認零件有無損壞，進而達到維修調整簡易化。針對影像辨識處理上，我們將擷取的圖像灰階化，由於灰階化圖像較適合人眼的觀察，故將圖像灰階化，而呈現的數值會有所不同，比較其數字，並繪製成折線圖，以 X 軸為 Pixel，以 Y 軸為明暗度從該圖可以更清楚瞭解色彩的染色狀況。

2.文獻回顧

文獻探討與回顧分為彩色 3D 列印機模組與視覺監控模組兩大部分，現有國外大廠及研究論文針對彩色列印研究，其資訊對本研究有極大的參考價值，也可針對專家所提出的論點加以改善創新。而視覺模組可協助本研究分析上色狀況並比較前後圖像訊號之差異，藉由此誤差來調整彩色外掛模組達最佳化，故參考各論文利用影像分析來協助尋找產品之瑕疵。

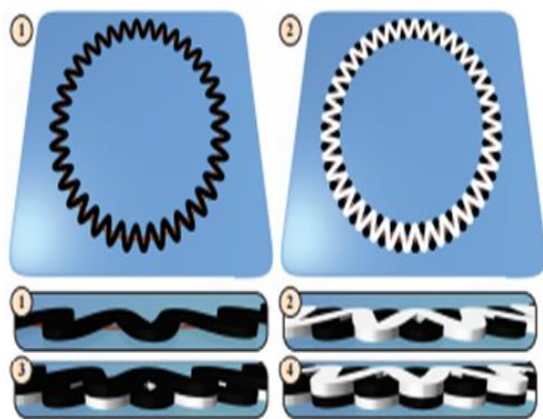
2.1.1 彩色 3D 列印機

Guangxue Chen, Chen Chen, Zhaohui Yu, Hao Yin, Liuxi He and Jiangping Yuan[2]Color 3D Printing: Theory, Method, and Application，研究每一層列印過程的彩色 3D 列印製造技術，利用數位的墨水噴頭噴在每層的圖像列印面上，而這種低價位的彩色列印技術是有發展性的，他提供了一個模組可以與原 3D 列印機結合，從這個概念來設計與製造(圖 6)，最後，有這種快速圖像列印的方式，可以確保有彈性的製造方式去呈現彩色的文化與藝術品。然而，現今 3D 列印的製造技術可分為六大種類(粉末列印、塑膠列印、紙張堆疊列印、金屬列印、食物列印及有機體列印)，此外更具發展性的是玻璃列印，可製造出非常驚人的藝術作品，是非常有前瞻性的新製造方式，目前這七種列印模式皆遭遇同樣的瓶頸，無法以低價位的方式列印出彩色的產品，而本研究就是試以圖像模型製造方式呈現彩色模型。

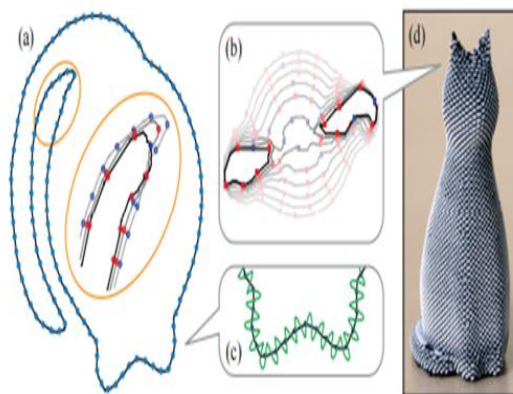


(圖 6)

B. Lévy and J. Kautz[3]，Dual-Color Mixing for Fused Deposition Modeling Printers，此研究介紹如何以 FDM 雙噴頭之黑白 3D 列印機，去做連續列印不同色調之圖像，研究的重點在於如何精細地交錯兩種顏色，以及如何使兩種噴頭切換時所產生的時間差最小化，並探討如何控制其顏色出料情況。其原理在於如果是針對固定排色的物件，可利用層疊排列以及相位、振幅之變化的不同，即可得到多種排列狀態之分佈(圖 7)；如果是要列印不規則之物件，必須考慮各個重點部位的波長、相位角、振幅等，以及多邊形的輪廓投影技術，並透過 G-Code 去進行列印模型之動作，以得到一特殊排列之物件。此研究顯示結果，在單層中，不需要高頻率的做噴頭切換，列印機可利用適當的幾何偏移量以減少時間的消耗，並做多層重疊，即可獲得色調之變化，並可將其原理以及紋理映射之協調，得到一不規則紋路之立體物件(圖 8)。

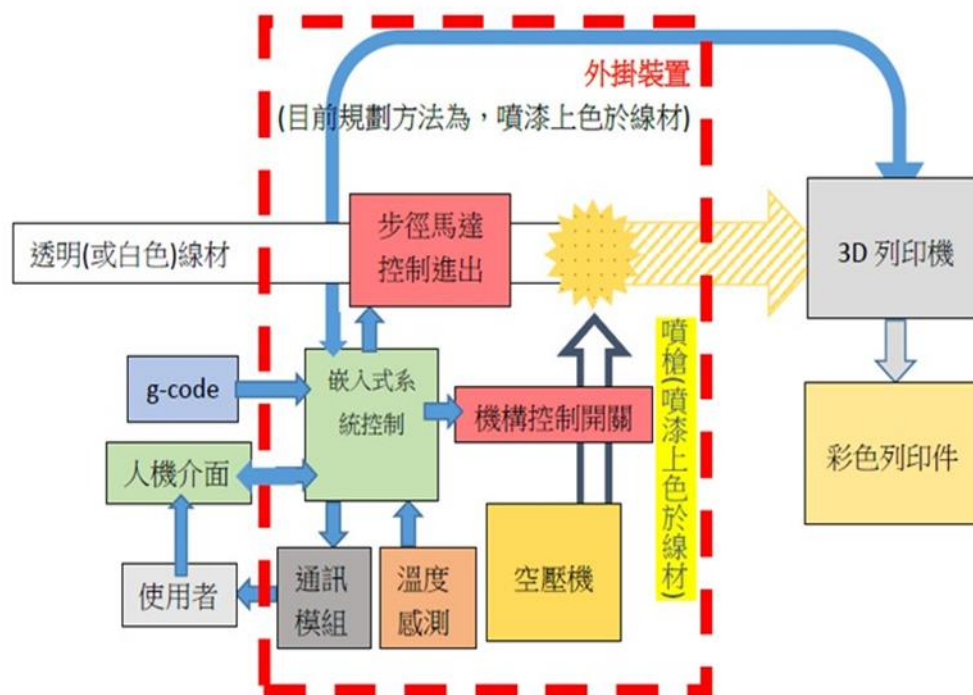


(圖 7)



(圖 8)

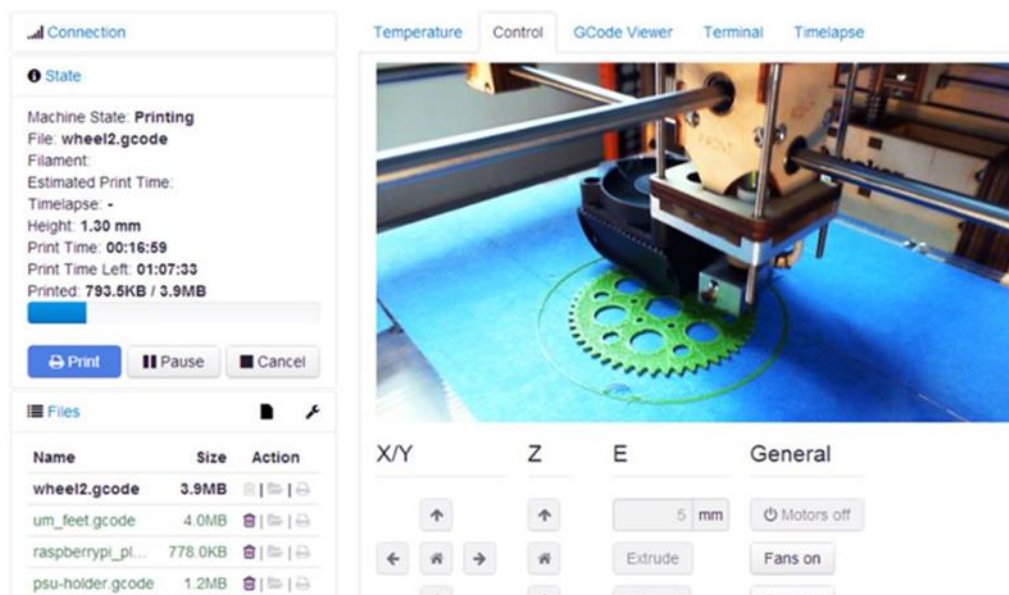
黃信傑[4]，3D 列印彩色渲染概念之上色機構設計與實務技術分析，是針對 FDM 系統之 3D 列印機(圖 9)，大多的機台都是以單線單噴頭為主，所以單次只能以單色進行列印，若需要印製多色，則需要備有多色線材，並暫停工作去處理線材更換，既不省時也費力，非常不方便，因此，為改善其不便，其概念創新，可惜之處為尚未完全自動化，機構還不夠完整，故我們將重製一套外掛模組裝置，並加裝視覺分析模組來輔助。



(圖9)

2.1.2 視覺監控

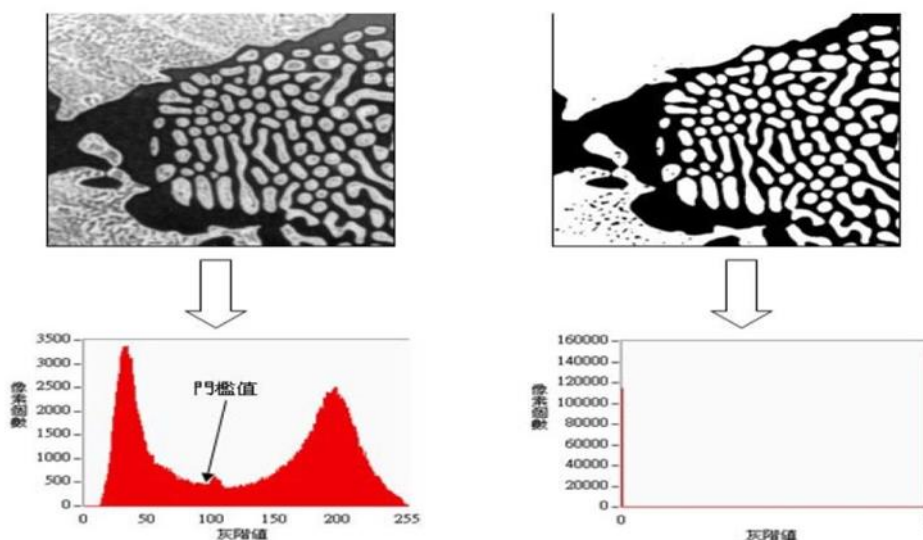
OctoPrint[5]，是由軟體工程師 Gina Häußge 研發，其原始概念是將電腦與印表機分離，然後衍生出網頁瀏覽遠端操作與監控 3D 列印機運作的狀況(圖 10)，不論在何地，只要手機有網路的環境下就可以對 3D 列印下指令，不僅如此，還可藉由切片軟體(G-code)隨時了解列印的路徑，也搭載溫度保護裝置，整體的主要架構是透過 webcam 做視覺監控，控制方面是用 Rasberry Pi，其特色是兼容各種 3D 列印機，可和各種電子元件及軟件 (Marlin、Sprinter 及 Smoothie) 連接在一起運作，而且開放全部的資訊於開源社團。



(圖10)

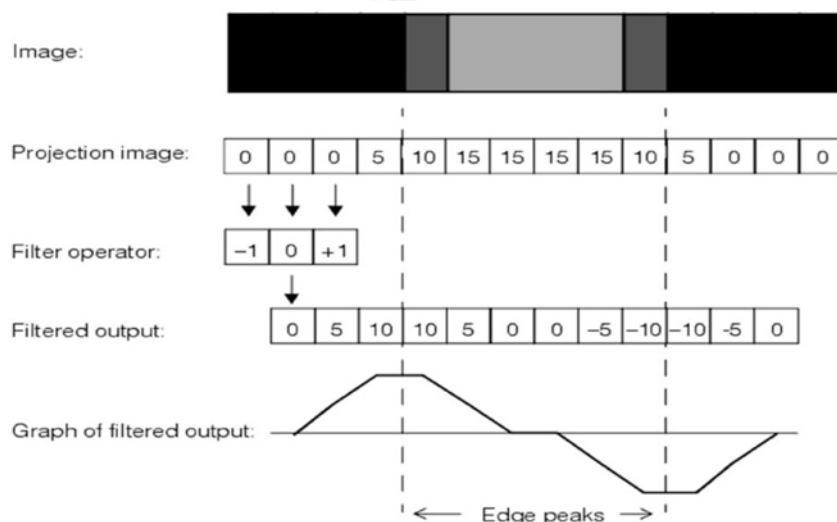
Santosh Kumar Sahoo[6], A Robotic Assistance Machine Vision Technique for an Effective Inspection and Analysis, 此研究目的是分析微軟開發的軟件 framework 使用物件檢測更容易, 並搭配機器視覺來使其效益達到最大, 而擷取影像軟體是使用 Labview 及 vision builder, 擷取大量圖像經壓縮、修復、多媒體資料流, 善用軟體內建功能 image processing 後經影像處理分析演算, 找出物件瑕疵的原因。搭配微攝影機 (NI Smart Camera 1722), 其影像解析度為 1280x1024, 且具有 7.4x7.4 μm pixel, 而控制板為機器人。

黃凱豐[7]手機保護面板之自動化光學檢測系統, 以 CCD 攝影機為基礎架構, 透過影像擷取待測物件之正背光影像, 再經二值化處理(Thresholding Processing)、邊緣偵測(Edge Detection)、圖形匹配(Pattern Matching)、顆粒分析(Particle Analysis)後, 並比對分析。整體系統分為三大類 (光、機、電), 最後透過 Labview 整合視覺取像模組 (光照明影像感測器與鏡頭之選配、影像感測器)、機構模組 (CCD 機構模組、光源機構模組)、電控模組 (DAQ 訊號擷取模組、馬達運動控制模組、電控盤), 並建置人機介面, 方便操作人員使用, 研發出可檢測 PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)面板中的 Logo 異常、刮痕、粉塵及針孔, 藉由機器視覺自動判別其瑕疵狀況(圖 11)。



(圖 11)

林義祥[8]機器視覺應用於照相手機鏡片模組邊緣瑕疵檢測，是針對塑膠光學鏡片模組研究，並分析邊緣的瑕疵問題，其影像處理是採相關係數法，是尋找物件灰階模型與影像的統計相似度 (Statistical Similarity) 的方法，來決定物件的絕對位置。並使用美商康耐視公司視覺卡尺分析技術，是以影像灰階投影的方式，找出邊緣資訊，並用二度運算(圖 12)，獲得明顯的邊緣峰值。



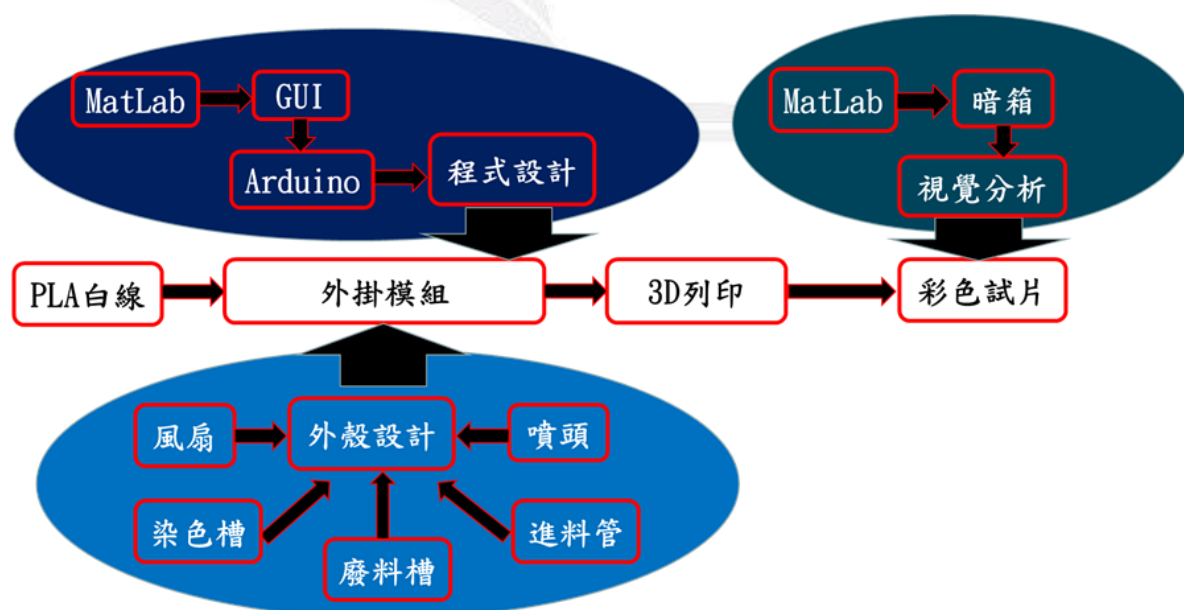
(圖 12)二度運算

3. 研究方法

3.1 彩色外掛模組外殼設計

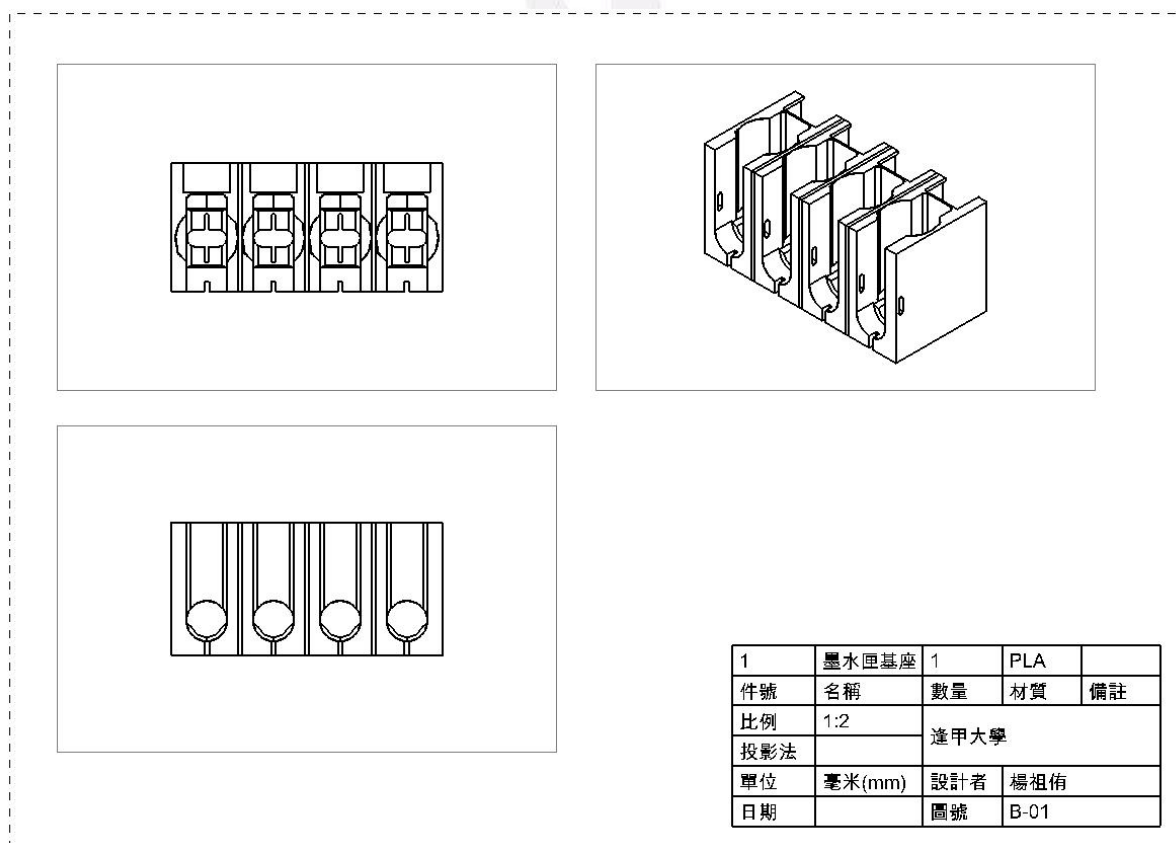
從建置外殼開始，藉由 UG_NX 繪圖軟件繪製外殼，依照電路板、抽風機、風扇系統、混色槽及廢料槽的大小及放置位置設計，並開始選擇材料，主要以兩大方向選用，鋼材及塑膠，由於顏料是採用模型漆，需添加硝基系有機溶劑，噴漆時會產生刺鼻味，所以外裝抽風機，故噴漆加工區必須為密閉，材料則選用聚甲基丙烯酸甲酯（Polymethylmethacrylate，簡稱 PMMA，英文 Acrylic），又稱壓克力，選定好材料後，使用分析軟體，計算其厚度安全值，並將草圖組裝成 3D 模型，若不符合修改虛擬模型尺寸，若符合分析則開始製造原型機，用雷射雕刻機進行鑽孔加工及組裝測試。

3.1.1 設計流程架構



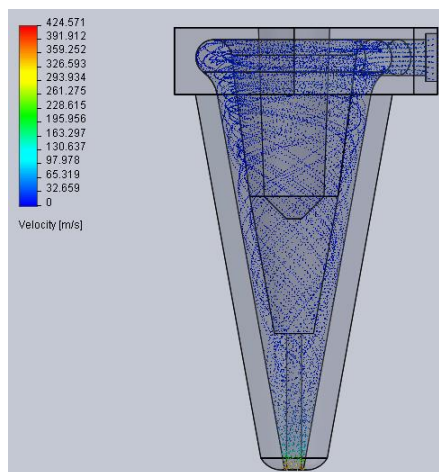
3.1.2 彩色噴頭模組

以三原色為色盤基底，分別填裝在三個外掛墨水匣再搭配第四個裝有有機溶劑之墨匣，目的為清洗管路及染色槽內剩餘之顏料。針對四個墨水匣及管路配合設計出第五代模組，並使用 UG_NX 繪製墨水匣與電磁閥基座(圖 14)，此外也經過簡單的流體分析(圖 15、16)，經 3D 列印機製造，外加 Vogue HS-08 迷你空壓機，而控制器採 Arduino mega 2560 控制單進單出電磁閥，以不同開關頻率來調整墨水流量，其開關有 $2^3=8$ 種方式(8 種顏色)，空壓機給予壓力將顏料送進染色槽裡並混合成所需之顏色，當白色線材尚未進入擠出料頭前，會先經過彩色外掛模組，經噴頭上色後，透過軟硬體之間互相之搭配，在相對應之線材位置、時機點上相對應之顏色，進而達到單線多色之目的。

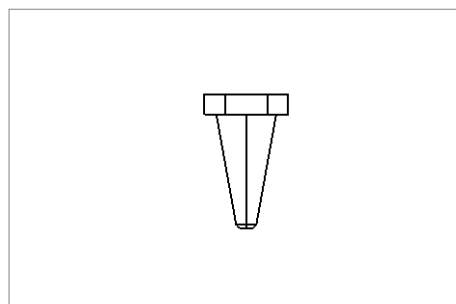
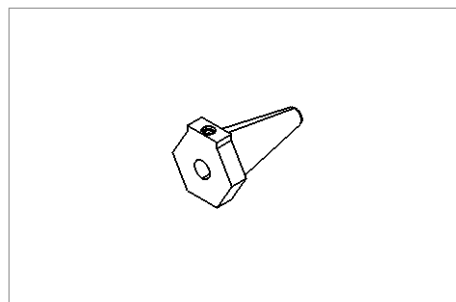


(圖 14)

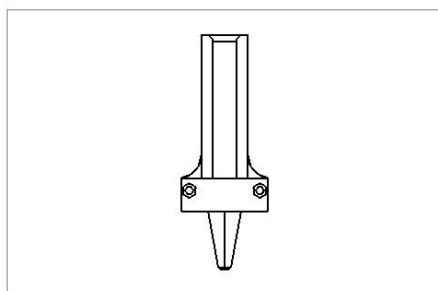
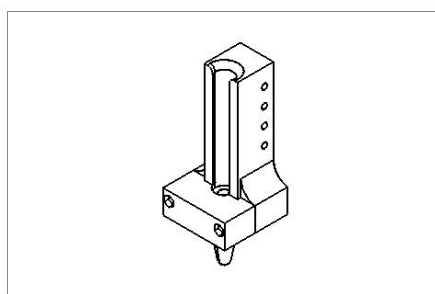
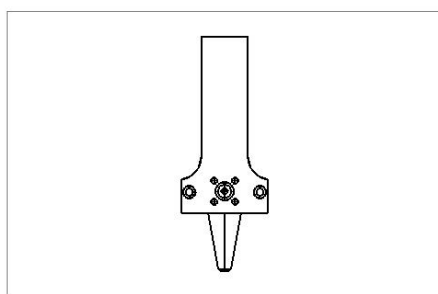
本機構設計理念為效仿噴筆原理，但為符合整個染色模組機構，我們特別設計了此噴嘴（如圖 17），此噴嘴能有效的裝置自行研發之顏料混合槽，同時配有空壓機之管路，使的顏料在混合槽經均勻攪拌後，利用空壓機之驅動力，在出口處形成噴霧化，達到均勻彩色噴墨的目的。



(圖 15)



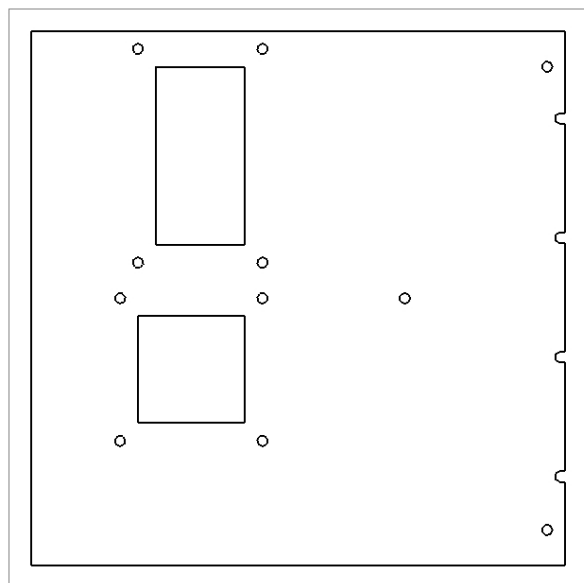
(圖 16)



2	噴頭模組	1	PLA	
件號	名稱	數量	材質	備註
比例	1:2	逢甲大學		
投影法		設計者	楊祖侑	
單位	毫米(mm)	圖號	E-02	
日期				

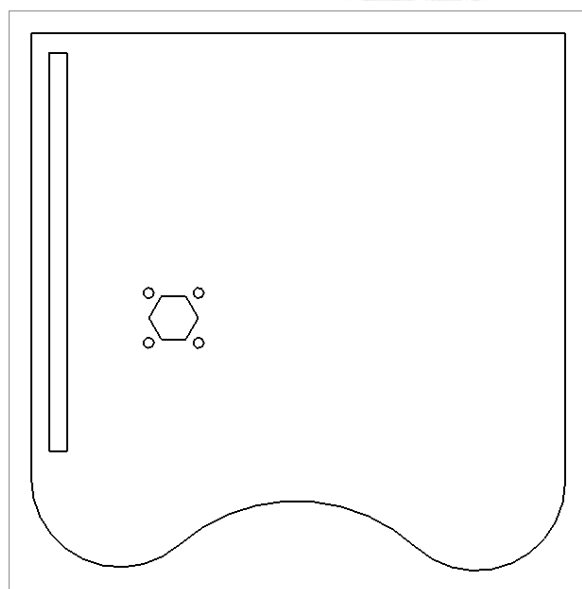
(圖 17)

3.1.3 外殼設計圖



1	上殼	1	PMMA	
件號	名稱	數量	材質	備註
比例	1:2	逢甲大學		
投影法				
單位	毫米(mm)	設計者	廖偉程	
日期		圖號	A-01	

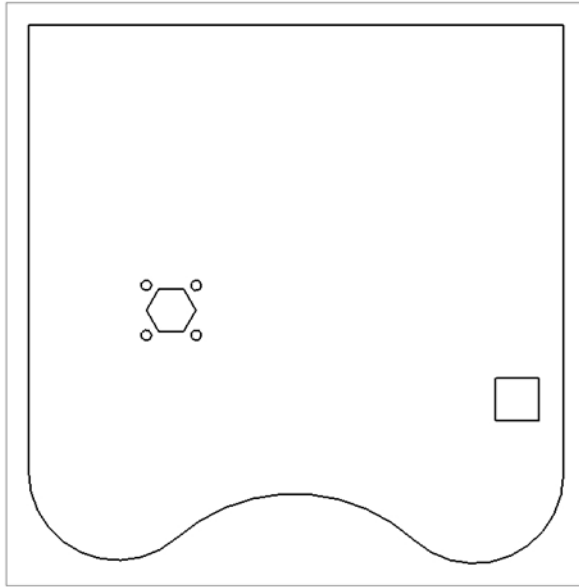
(圖18-1)外殼設計圖



2	右側殼	1	PMMA	
件號	名稱	數量	材質	備註
比例	1:2	逢甲大學		
投影法				
單位	毫米(mm)	設計者	廖偉程	
日期		圖號	A-02	

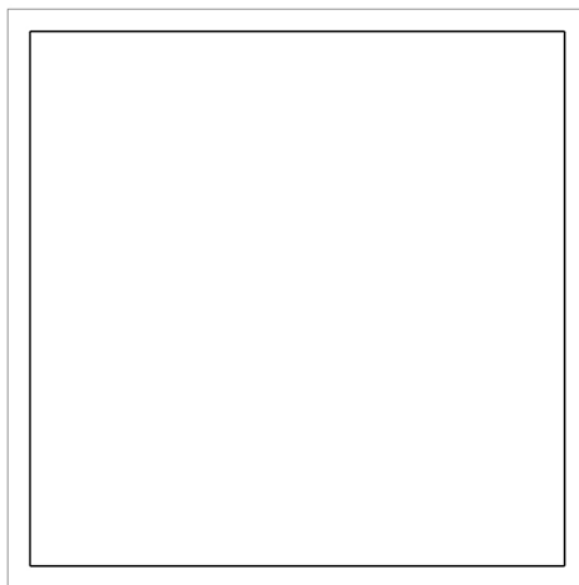
(圖18-2)外殼設計圖

3D 列印彩色外掛模組渲染技術及視覺監控性能之研發



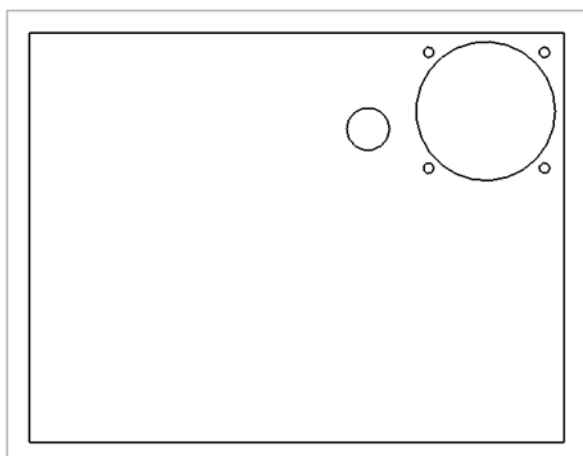
3	左側殼	1	PMMA	
件號	名稱	數量	材質	備註
比例	1:2	逢甲大學		
投影法		設計者	廖偉程	
單位	毫米(mm)	圖號	A-03	
日期				

(圖18-3)外殼設計圖



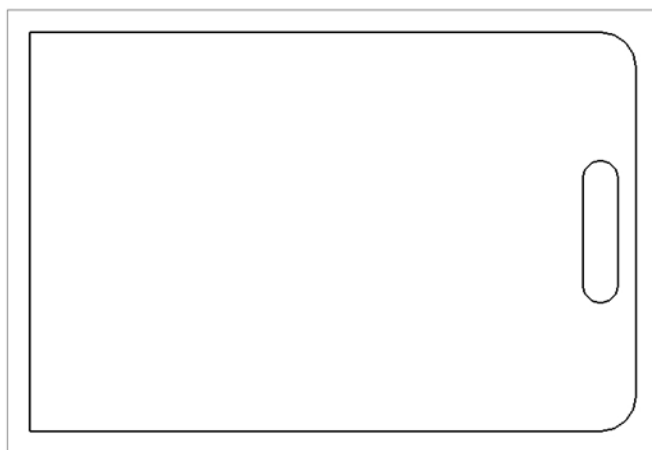
4	底殼	1	PMMA	
件號	名稱	數量	材質	備註
比例	1:2	逢甲大學		
投影法		設計者	廖偉程	
單位	毫米(mm)	圖號	A-04	
日期				

(圖18-4)外殼設計圖



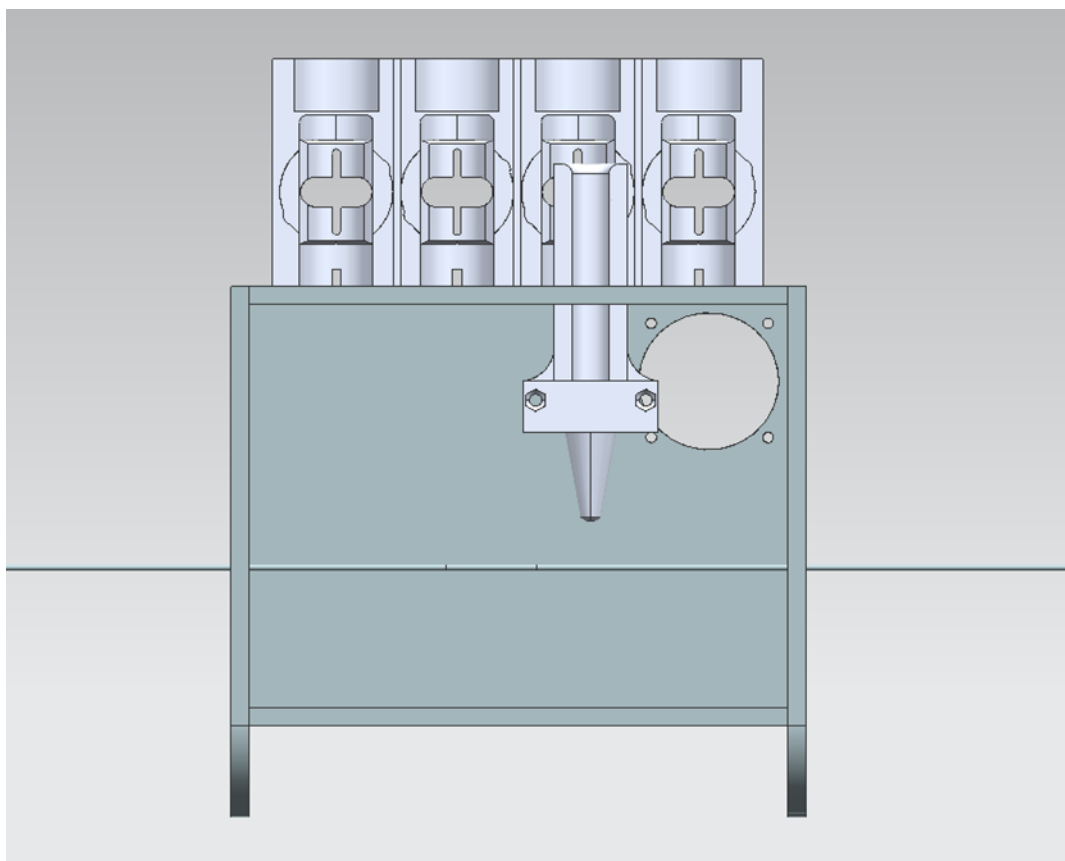
5	背殼	1	PMMA	
件號	名稱	數量	材質	備註
比例	1:2	逢甲大學		
投影法		設計者	廖偉程	
單位	毫米(mm)	圖號	A-05	
日期				

(圖18-5)外殼設計圖



6	拉門	1	PMMA	
件號	名稱	數量	材質	備註
比例	1:2	逢甲大學		
投影法		設計者	廖偉程	
單位	毫米(mm)	圖號	A-06	
日期				

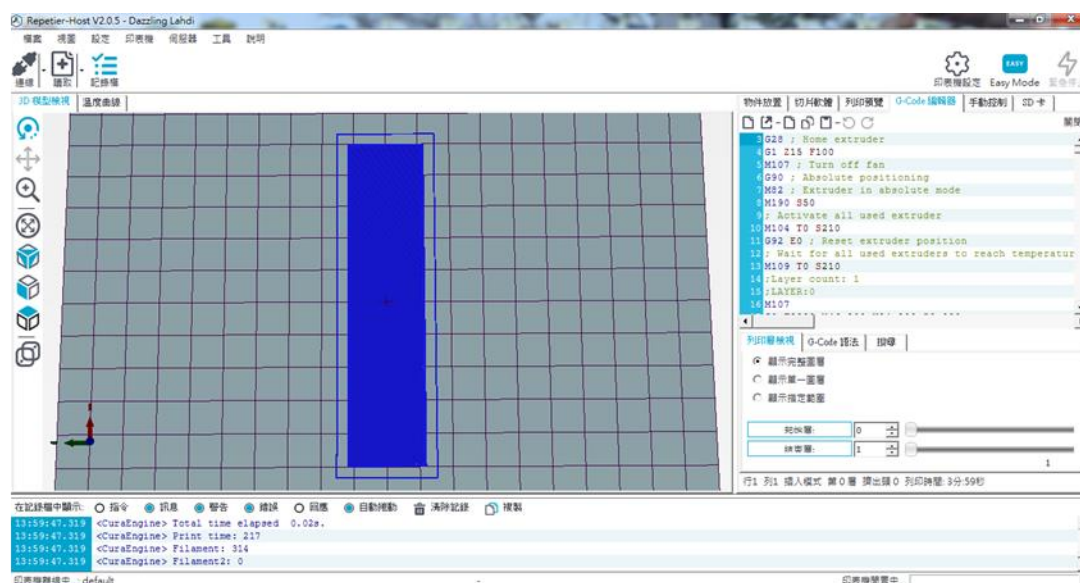
(圖18-6)外殼設計圖



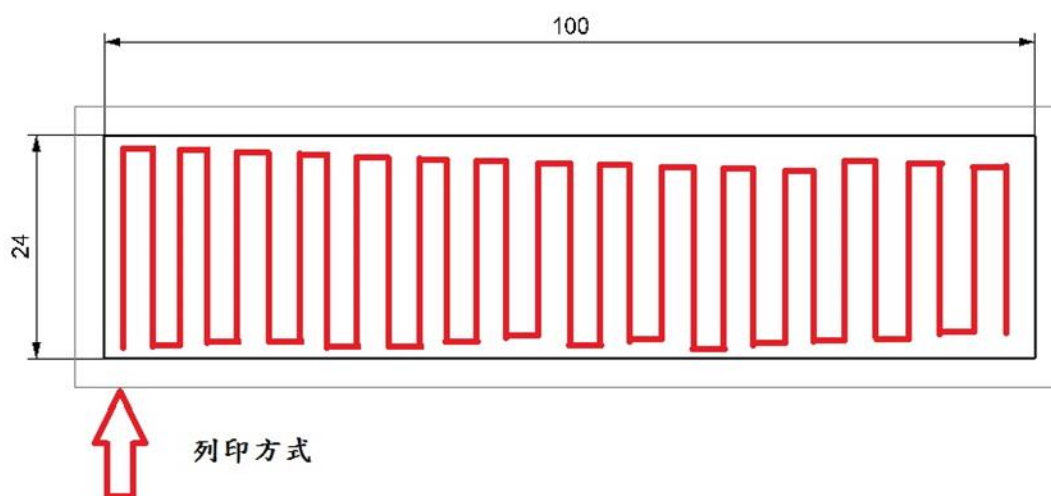
(圖18-7)外殼設計圖

3.1.4 試片設計

為了使視覺分析模組更精確，我們自製固定大小的試片，首先先估算直徑 1.75mm、長 20cm 的 PLA 白色線料的體積，並使用繪圖軟體繪製長方形試片，並用 Cura 切片軟體去估算每層體積及厚度，調整試片長寬，最後確切尺寸為 100mm*24mm*0.20。將該試片圖檔導入 G-Code 軟體(圖)，修改其列印程式，目的是達到視覺分析與列印方向相同。



(圖 19)



(圖 20)

3.1.5 顏料選用

市面上顏料種類繁雜，大致上可分為兩大類：有機顏料與無機顏料，前者主要成分為色澱、雙偶氮、單偶氮、酞菁或稠環顏料等幾大類，大部分以水為調和劑，其性能色彩全，優於無機顏料，且相對無機顏料是較無毒。後者主要成分為炭黑及鋇，鋅，鎘，鐵，鈦，鉛等金屬氧化物或鹽，其優點是耐熱，耐溶劑性好，但著色力低，顏色不鮮豔，部分的金屬鹽和氧化物毒性大。

為了選用適當的顏料，故於市面上分別購買兩種常見的水性顏料及兩種硝基漆顏料，硝基漆需以天那水調和稀釋，而水性顏料以水調和稀釋，三種顏料（表 1）比例以 1:3、1:2、1:1（顏料:溶劑）做三次測試。分別將四種顏料噴於直徑 1.75PLA 上，每段線長 20cm，每上完色就使用游標卡尺測量其厚度平均值，乾後置入 3D 列印機進行同形狀大小列印測試，最後，將該試片置入視覺模組分析，數據化比對分析。

顏料	Mr.color 模型漆	壓克力 顏料	廣告 顏料
特性	油性	水性	水性
溶劑	天那水	水	水
第一次濃度測驗(顏料:溶劑)	1:1	1:1	1:1
第二次濃度測驗(顏料:溶劑)	1:2	1:2	1:2
第三次濃度測驗(顏料:溶劑)	1:3	1:3	1:3
影像擷取亮度	150	150	150

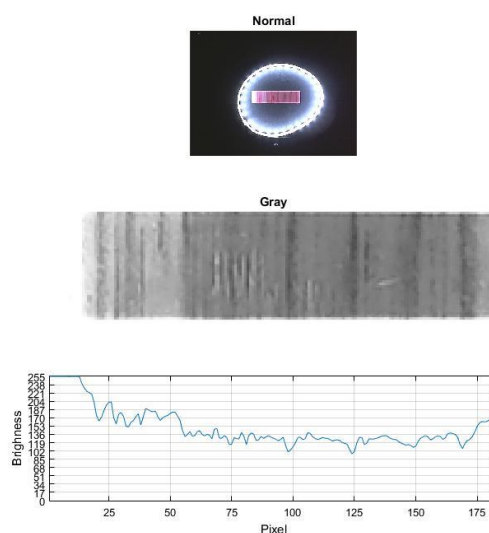
(表 1)

3.1.5.1 顏料數據分析

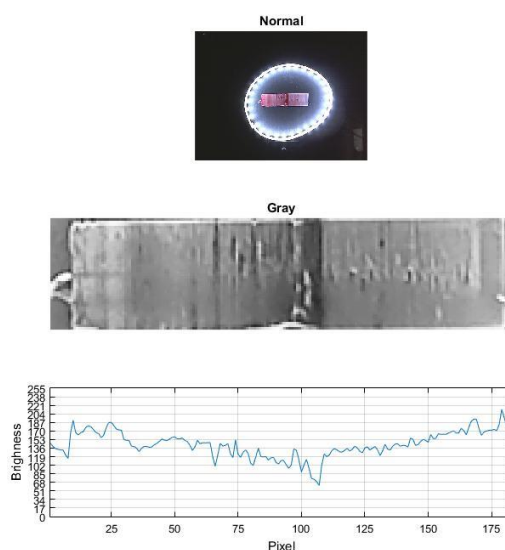
顏料	Mr.color
濃度(顏料:溶劑)	1:1
影像擷取亮度	150
顏料均勻度	無
明亮度	無
試片狀況	無破損
備註	噴不出顏料 (濃度過高)

無法上色，顏料濃度過高。

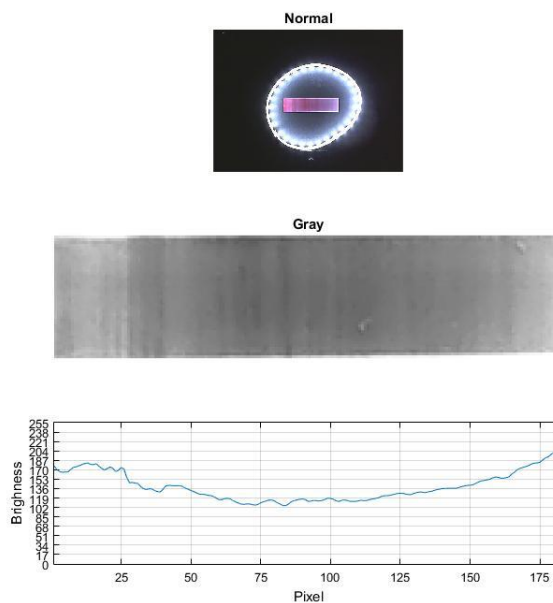
顏料	壓克力
濃度(顏料:溶劑)	1:1
影像擷取亮度	150
顏料均勻度	差
明亮度	起伏大
試片狀況	良好
備註	噴色順暢



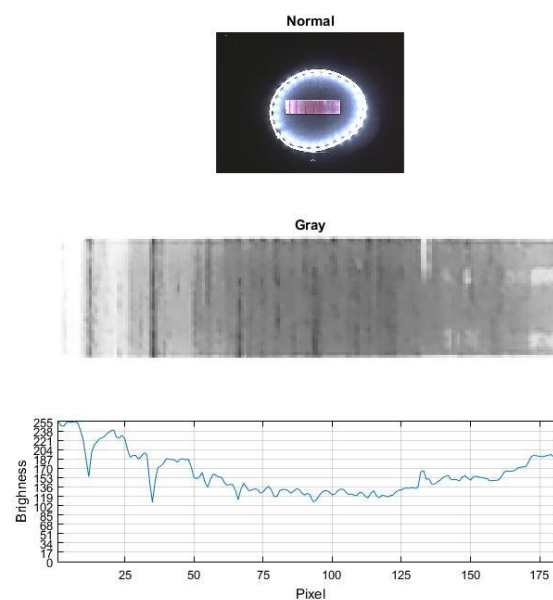
顏料	廣告顏料
濃度(顏料:溶劑)	1:1
影像擷取亮度	150
顏料均勻度	差
明亮度	起伏大
試片狀況	破損
備註	噴色順暢 列印不順



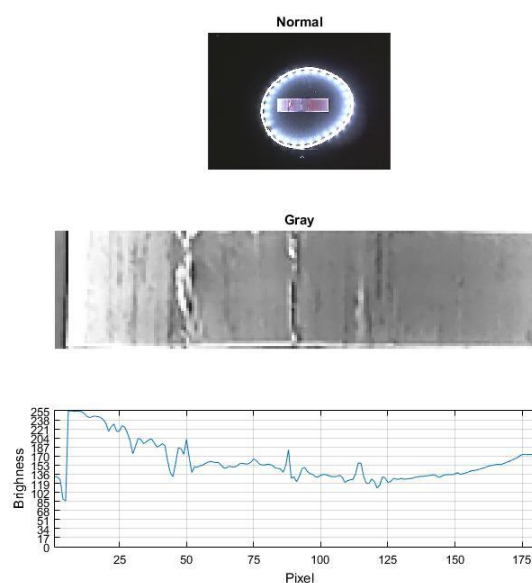
顏料	Mr. color
濃度(顏料:溶劑)	1:2
影像擷取亮度	150
顏料均勻度	良好
明亮度	平均
試片狀況	無破損
備註	噴色不順 (濃度過高)



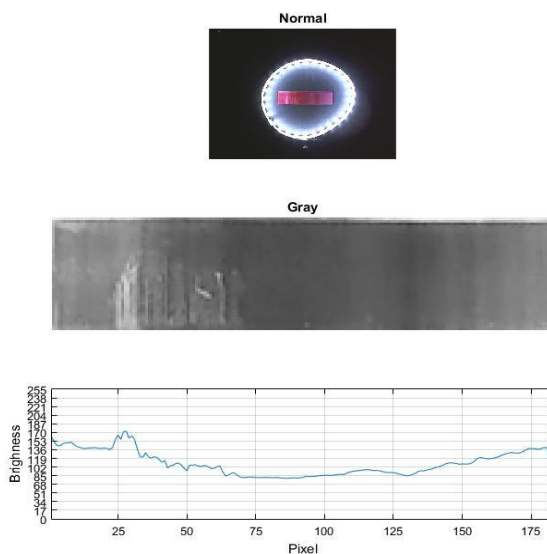
顏料	壓克力
濃度(顏料:溶劑)	1:2
影像擷取亮度	150
顏料均勻度	差
明亮度	起伏大
試片狀況	良好
備註	噴色順暢



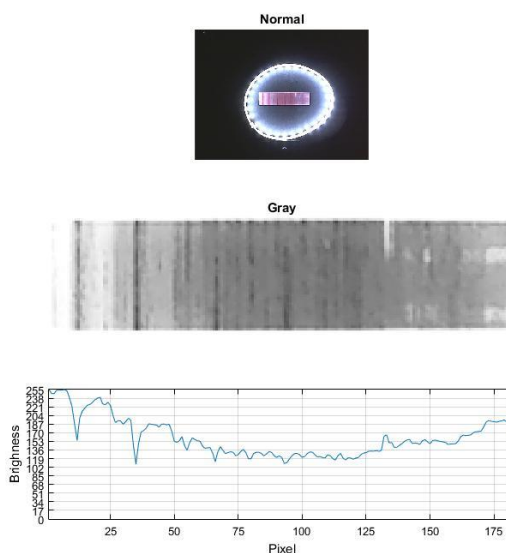
顏料	廣告顏料
濃度(顏料:溶劑)	1:2
影像擷取亮度	150
顏料均勻度	差
明亮度	起伏大
試片狀況	破損
備註	噴色順暢 列印不順



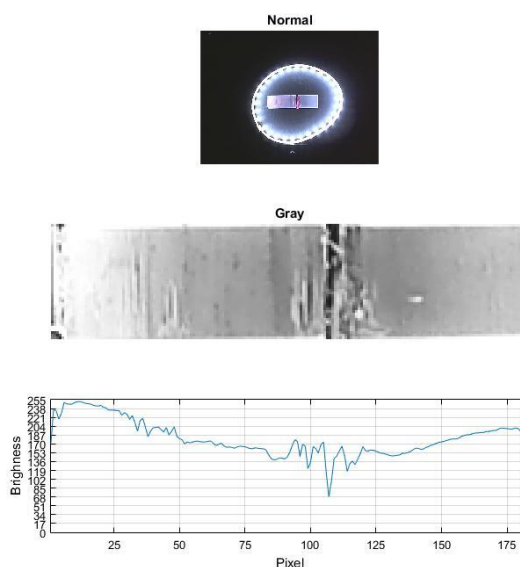
顏料名稱	Mr. color
濃度(顏料:溶劑)	1:3
影像擷取亮度	150
顏料均勻度	良好
明亮度	平均
試片狀況	良好
備註	噴色流暢



顏料名稱	壓克力
濃度(顏料:溶劑)	1:3
影像擷取亮度	150
顏料均勻度	差
明亮度	起伏大
試片狀況	破損
備註	噴色流暢



顏料	廣告
濃度(顏料:溶劑)	1:3
影像擷取亮度	150
顏料均勻度	差
明亮度	起伏大
試片狀況	破損
備註	噴色流暢 列印不順



3.1.5.2 顏料分析結論

分別比較三種顏料後，如數據所顯示，水性顏料(壓克力、廣告顏料)經過 3D 列印高溫後，無法耐熱，容易脫落，導致無法附著於線料上，因此列印出來的試片非常不均勻，且試片容易破損，造成其破損是因為顏料融化堆積在噴頭，出料不順造成試片表面有毛邊，經過視覺分析後，明顯看出折線圖起伏非常大，明亮度也偏大，因此，水性顏料效果不如預期，不採用水性顏料。

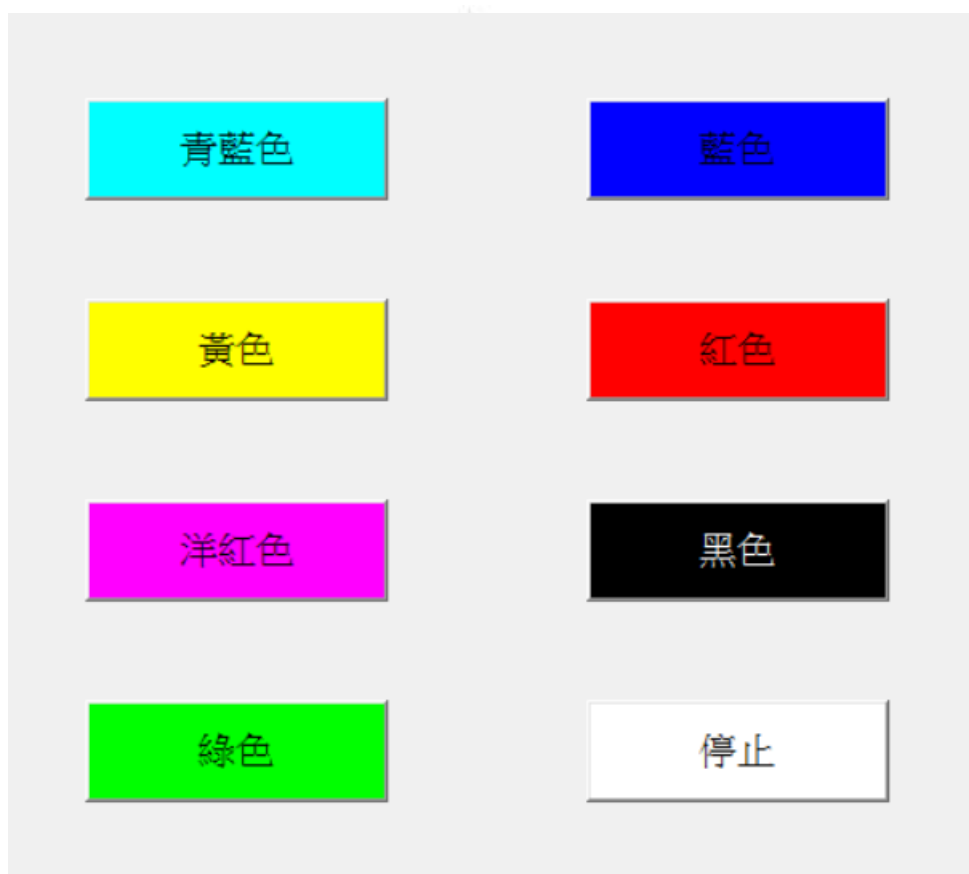
油性顏料效果非常好，經列印高溫，依舊呈現良好的顏色光澤，且顏料不易融化堆積在噴頭，因此試片表面平滑且沒有毛邊。分別測試三種濃度後，根據數據顯示，1:3(顏料:溶劑)效果最好，經視覺分析後，其數據明亮度平均，折線圖起伏不大且穩定，優於其他兩種水性顏料，因此決定採用 Mr.color 之油性模型漆。

顏料名稱	模型漆	壓克力	廣告顏料
均勻度	良好	差	差
明亮度	良好	起伏大	起伏大
最佳濃度	1:3(顏料:溶劑)	1:3(顏料:溶劑)	1:3(顏料:溶劑)
試片狀況	無破損	破損	破損
噴色順暢	順暢	順暢	順暢
列印順暢	順暢	差	差


(表 2)

3.1.6 電路設計

電路設計分為兩大方向：第一部分是以前 Matlab 連結 Arduino Mega2560 控制板，進行電磁閥的控制，並使用 Matlab 內建功能 GUI 建置人機介面(圖 21)，使操作者方便操作，此外能進一步調整每個電磁閥開關之頻率，使用者能依個人顏色需求調整顏料比例。但由於 Arduino Mega2560 控制板電壓輸出最多達 5V，而電磁閥(表 3)需要 24V，因此無法直接控，故加裝小型 SSR (Solid State Relay)固態繼電器，採用 D3P-052 之型號(表 4)，以及 24V 的外接電源。



(圖 21)

規格	直動式,常閉型	
介質	水	
反應時間	6-20毫秒	
環境溫度	-10°C至 +40°C	
溫度範圍	0°C至 100°C	
安裝	線圈在上，M5 尖頭螺絲固定	
磁頭和可動鐵	不鏽鋼 430 FR	
密封材料	EPDM	
閥體材料	PP + FIBER GLASS 1/8(黑色) 1/4(白色)	
分磁環	銅	
功率	AC 6.8VA (保持) DC 5W	
電壓	AC 24 110 220 50/6 HZ DC 24	
電壓允許變動	-10% 至 +10%	
耐熱等級	CLASS B 130°C	
連續使用	100%	
導線長度	30 CM(12")	


(表 3)

項目		符號	D3P-052	單位		
輸出	最大電壓	V_{OMAX}	50	V_{DC}		
	負載電壓範圍	Pure D.C	V_o	3~50		V_{DC}
		Bridge		35		V_{rms}
		Rectification				
	最大負載電流	I_{OMAX}	2.0	A_{DC}/A_{ms}		
輸入	最大輸入電流	V_{LMAX}	24	V_{DC}		
	最大輸入電壓	Z_{IN}	1.5	$K\Omega$		
一般參數	介質耐壓	V_{ISO}	2,500	V_{ACrms}		
	絕緣電阻	R_{ISO}	$10^8(MIN)$ DC500V	Ω		
	工作溫度範圍	T_{OPR}	-20~+80	$^{\circ}C$		
	儲存溫度範圍	T_{STG}	-30~+100	$^{\circ}C$		

(表 4)

第二部分則是二相步進馬達的控制，外掛模組需要一顆馬達將線料帶進外掛模組進行染色，由於每條線料需要上色至少四次，因此馬達需要重複正反轉，帶動線料來回，重複上色達到最佳染色的效果，而我們採用的二相步徑馬達型號為 Nema17(42mm)，馬達規格如下(表 5)，此馬達為 3D 列印常用馬達，需要一塊來帶轉換和過流保護的 DMOS 微步驅動器，故採用 A4988，其特性能驅動 3~35V，2A 以下的步進馬達，能有五種不同的步進模式：全、半、1/4、1/8 和 1/16，可變電阻可調節最大電流輸出，從而獲得更高的步進率，自動電流衰減模式檢測/選擇過熱關閉電路、欠壓鎖定、交叉電流保護，接地短路保護和加載短路保護。

項目	規格
步距角	1.8度/步
步距角精度	±5%度/步
電阻值	10.0 ± 10% Ω / 相
電感值	20 ± 20% mH / 相
升溫	80°C Max (額定電流, 兩相)
環境溫度	-20°C ~ 50°C
絕緣電阻	100M _Ω , Min, 500V DC
介電強度	500V AC/min
徑相精度	0.02mm Max (450g Load)
軸向精度	0.08mm Max (450g Load)
最大徑向力	28N (20mm from the flange)
最大軸向力	10N



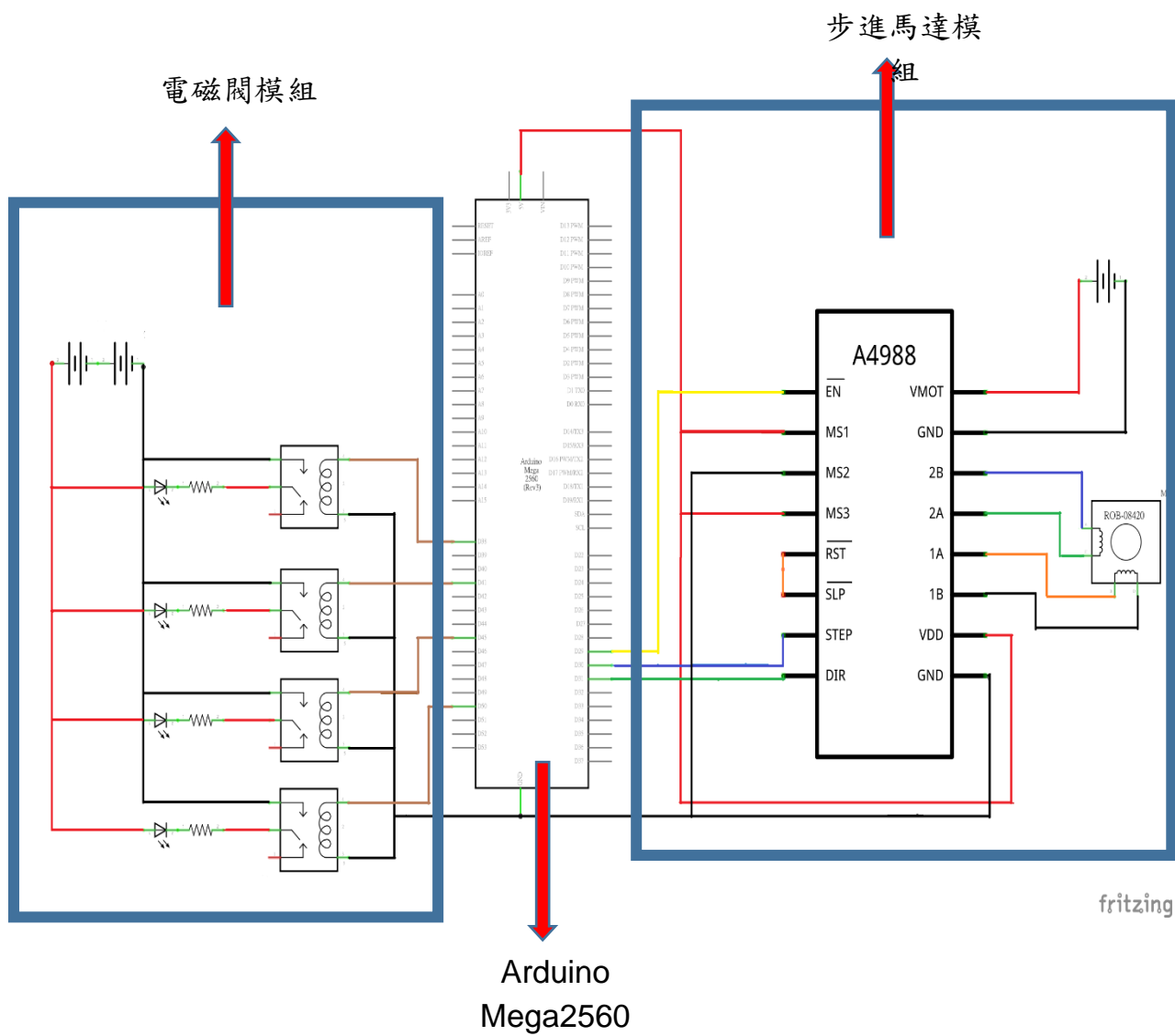
(表 5)

MS1	MS2	MS3	步進模式	相位
L	L	L	1	2
H	L	L	1/2	1-2
L	H	L	1/4	W1-2
H	H	L	1/8	2W1-2
H	H	H	1/16	4W1-2



(表 6)

3.1.6.1 電路設計圖



(圖 22)

3.2 視覺模組

機械視覺模組[13]主要分成三大部分，鏡頭模組、光源模組及影像處理演算法分析。鏡頭模組是比較 CCD 及 CMOS 的差異，根據本研究之需求會選擇鏡頭較小型且解析度較高。而光源模組有各種不同的燈泡，會影響其鏡頭擷取影像之清晰度，故列出各種燈泡之優缺點及燈光照射的方式，並分別分析其特性選用其最適當的燈泡。影像處理的部分，主要將所擷取之圖像進行灰質化及數值化，分析其數據，找出外掛模組染色不均勻或不穩定，並調整其模組之機構及程式。

3.2.1 鏡頭模組

比較 CCD 與 CMOS 攝影機之差異性[14]，兩者影像感測器都是利用矽感光二極體（photo-diode）進行光與電的轉換，若在相同解析度的情況下比較，CMOS 價格較便宜，但是 CMOS 產生的圖像品質較低，而 CCD 在處理影像訊號能順序地將每個畫素的電荷信號傳入緩衝器中，並由底端的線路導引輸出至 CCD 旁的放大器進行放大，串聯後再由 ADC 輸出，此相對 CMOS 過程較複雜，但具有較良好的感光及解析度，由以下(表 7)說明兩體差異，故本研究使用 CCD 攝影鏡頭。

	CCD	CMOS
感光	單一感光器	個別感光器皆連結放大器
靈敏度	高	低
成本差異	高	低
解析度差異	較優	較差
雜訊比（噪聲）	低	高
功耗差異	高	低
反應速度	慢	快

(表 7)

3.2.2 光源模組

為提升取像的品質，將格外加裝一組光源模組，而依據不同照射的方式，也會影響其品質優劣，其照射方式大致分為五種，直向型前光源、擴散型前光源、環狀型前光源、低角度前光源及同軸光光源[15]，分別比較其特性(表 8)，本研究採取環狀型前光源，其特點為適用於檢測物為圓形狀，它能夠均勻的照射在檢測物上，也能改變其打光的高度，調整至最適當的照射角度提升取像品質。最後選用環狀七段式 LED 燈(圖 23)，特性為不用濾波且使用壽命高。

	鹵素燈 (Halogen)	高週波螢光燈 (Fluorescent)	LED燈
亮度	有限	中上	高
最大壽命 (HR)	2000	3000	100000
照明效果	光線均勻	光線均勻	光線誤差小，無須濾光
功率	50W	50W	5W
約略價位 (NT)	低	低	中高

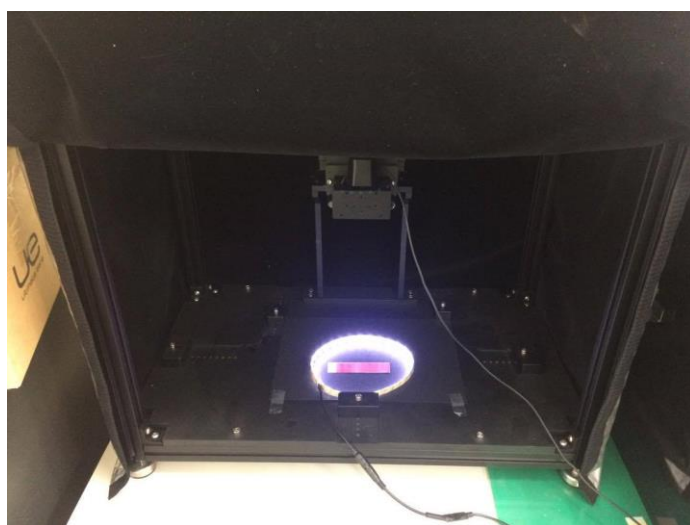
(表 8)



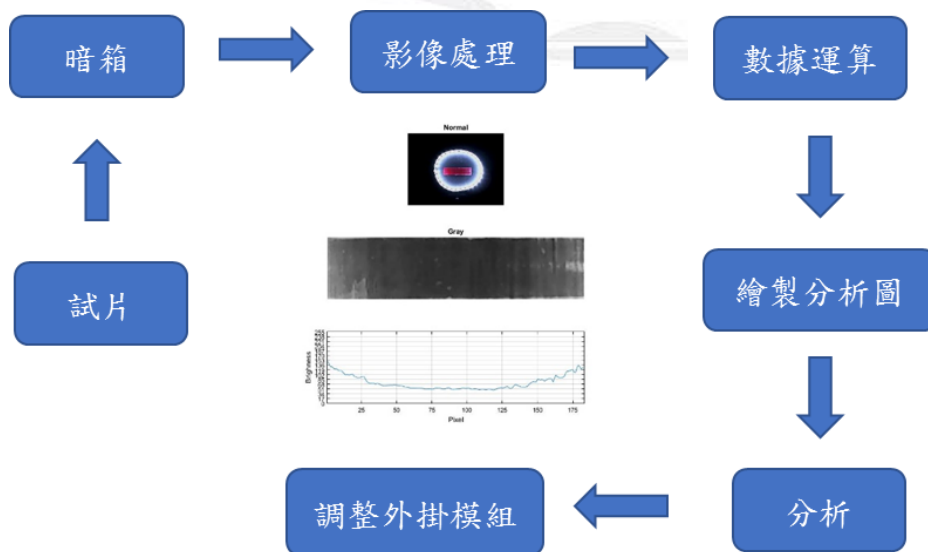
(圖 23)

3.2.3 影像處理

利用 Matlab 軟體做影像處理，首先將單一顏色試片放置於暗箱(圖 24)，並用環狀七段 LED 作為光源，利用 Matlab 的 `cam.Brightness`、`cam.Resolution`、`imcrop` 及 `rgb2gray` 指令做影像處理及控制 Webcam，擷取之影像進行數據運算，根據其列印的方向，平均每一行的每一個 Pixel 明亮度，並繪製折線圖，以橫軸為 Pixel，以縱軸為每一行明亮度平均值，根據該圖之折線圖的起伏可以觀察出其顏色的穩定性及鮮明度。



(圖 24)

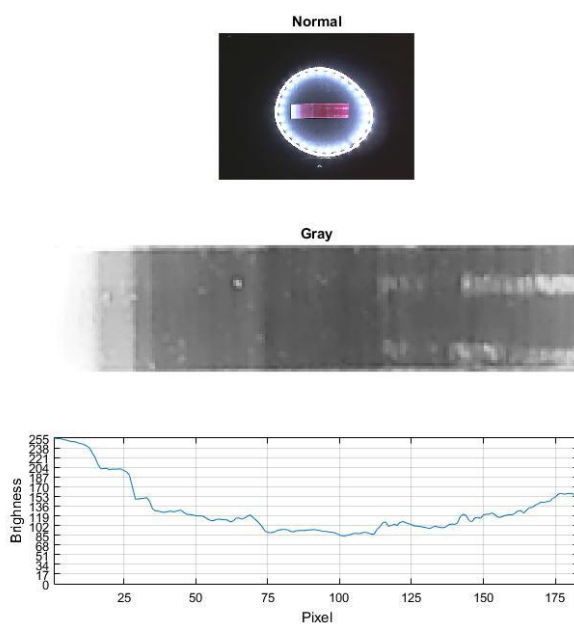


(圖 25)

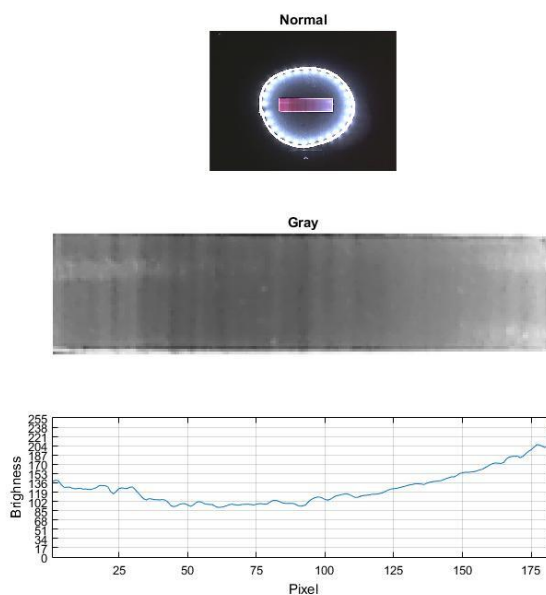
3.2.4 影像分析數據

視覺分析之目的是用來分析外掛模組染色的穩定性，我們使用新版外掛模組進行 20cmPLA 的染色，分別測試噴頭上色來回一次、二次、三次、四次、五次，在個別列印試片，並用視覺分析其上色穩定性，選用最適當的上色來會次數，修改外掛模組程式。

如下 26、27 圖為來回上色一次的分析結果：

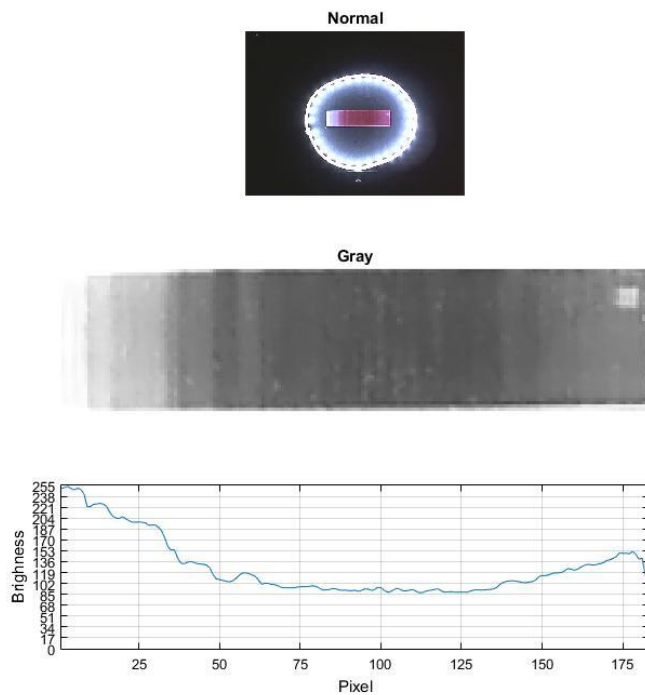


(圖 26)

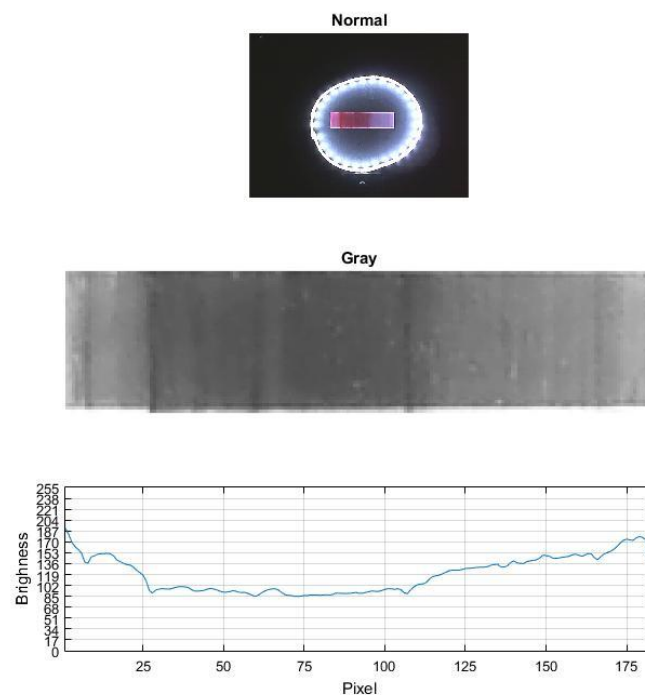


(圖 27)

如下 28、29 圖為來回上色二次的分析結果：

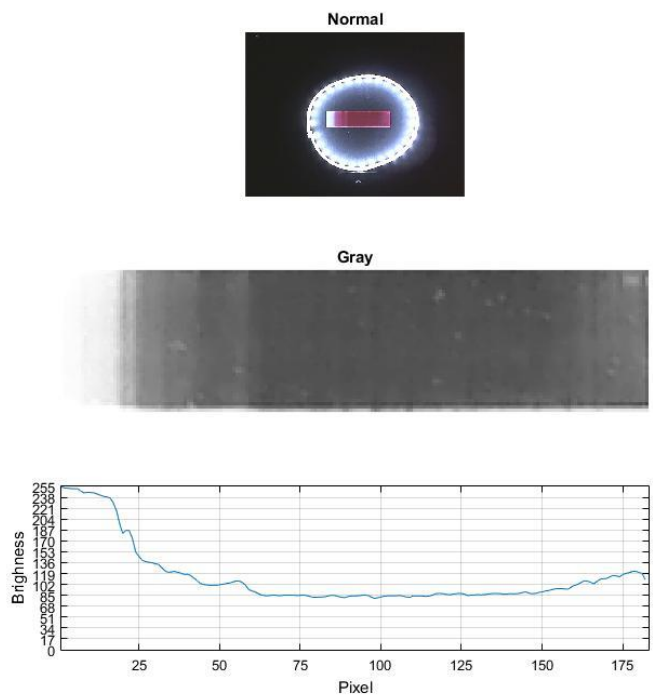


(圖 28)

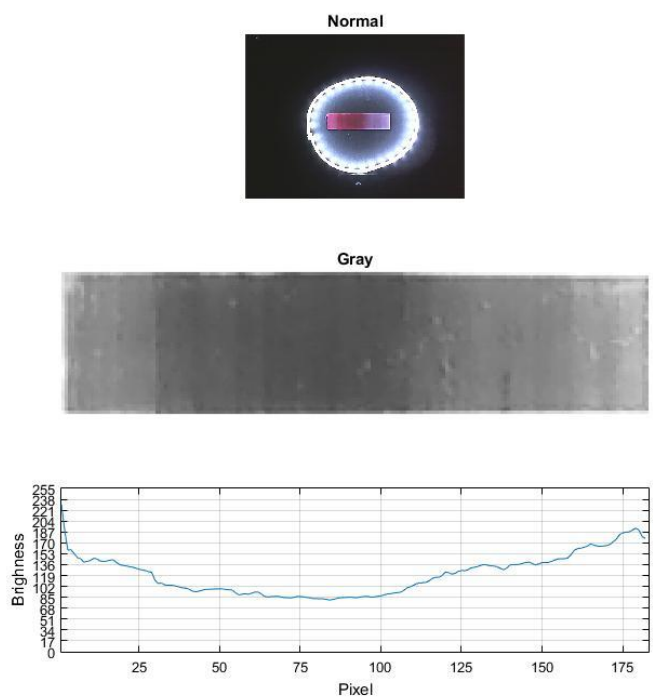


(圖 29)

如下 30、31 圖為來回上色三次的分析結果：

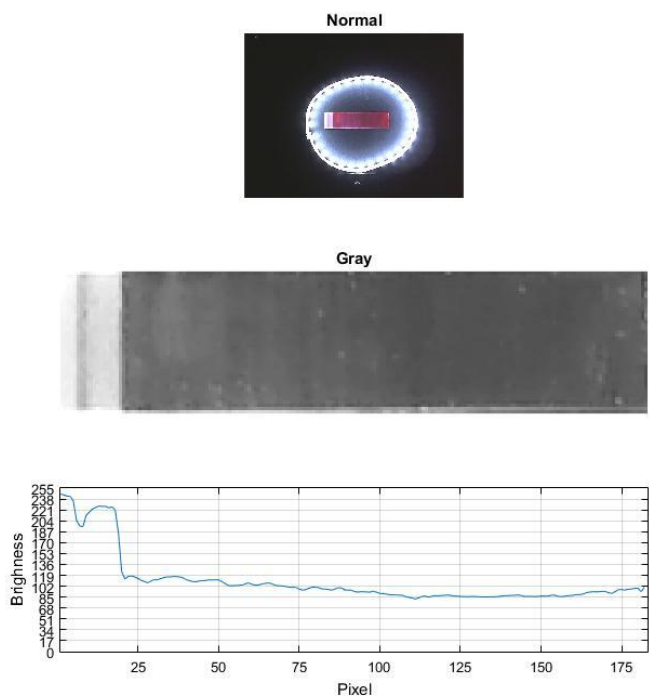


(圖 30)

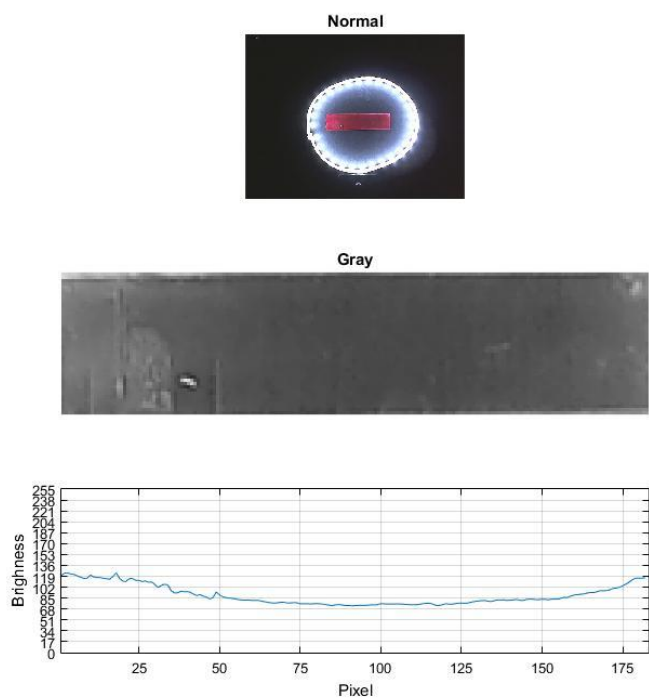


(圖 31)

如下 32、33 圖為來回上色四次的分析結果：

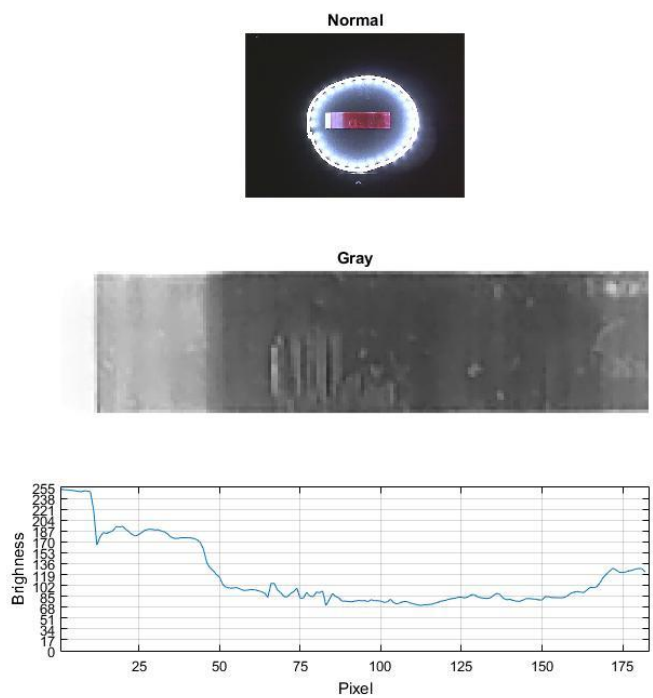


(圖 32)

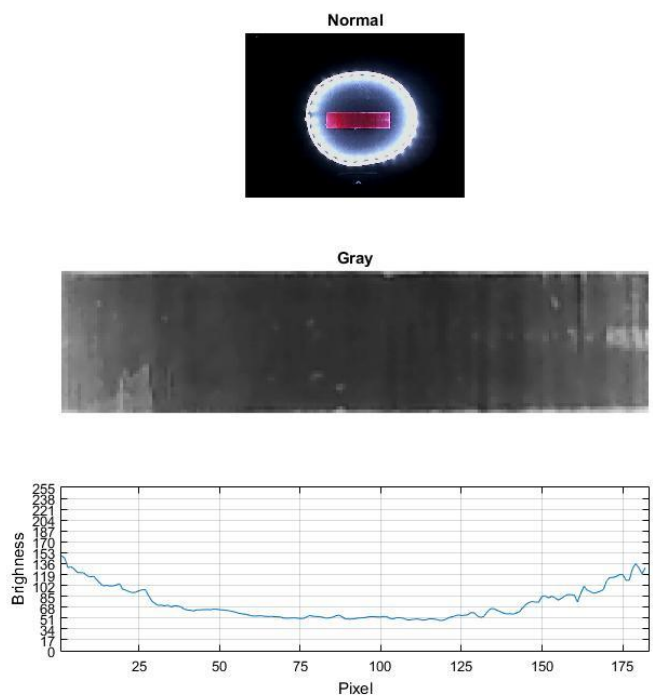


(圖 33)

如下 34、35 圖為來回上色五次的分析結果：



(圖 34)



(圖 35)

根據五次的數據分析後，從影像分析數據可得知，次數越高其上色均勻度越好，但在第五次開始逐漸出現 PLA 表面顏料過多，導致再列印噴頭有堵料的狀況產生，造成試片表面有稍微起毛邊或不均勻的上色狀況出現。其五次分析結論如(表 9)所示，最後，發現第四次為最佳狀態，其上色分析圖成平滑曲線，是最佳的來回次數，故本專題採用。

噴頭上色 來回次數	顏料	擷取亮度	穩定性	亮度平均值
一次	Mr.color	150	均勻度差 折線圖起伏大	125
二次	Mr.color	150	均勻度差 折線圖起伏大	118
三次	Mr.color	150	均勻度中 折線圖起伏小	115
四次	Mr.color	150	均勻度高 折線圖起伏小	102
五次	Mr.color	150	均勻度高 折線圖起伏小	91

(表 9)

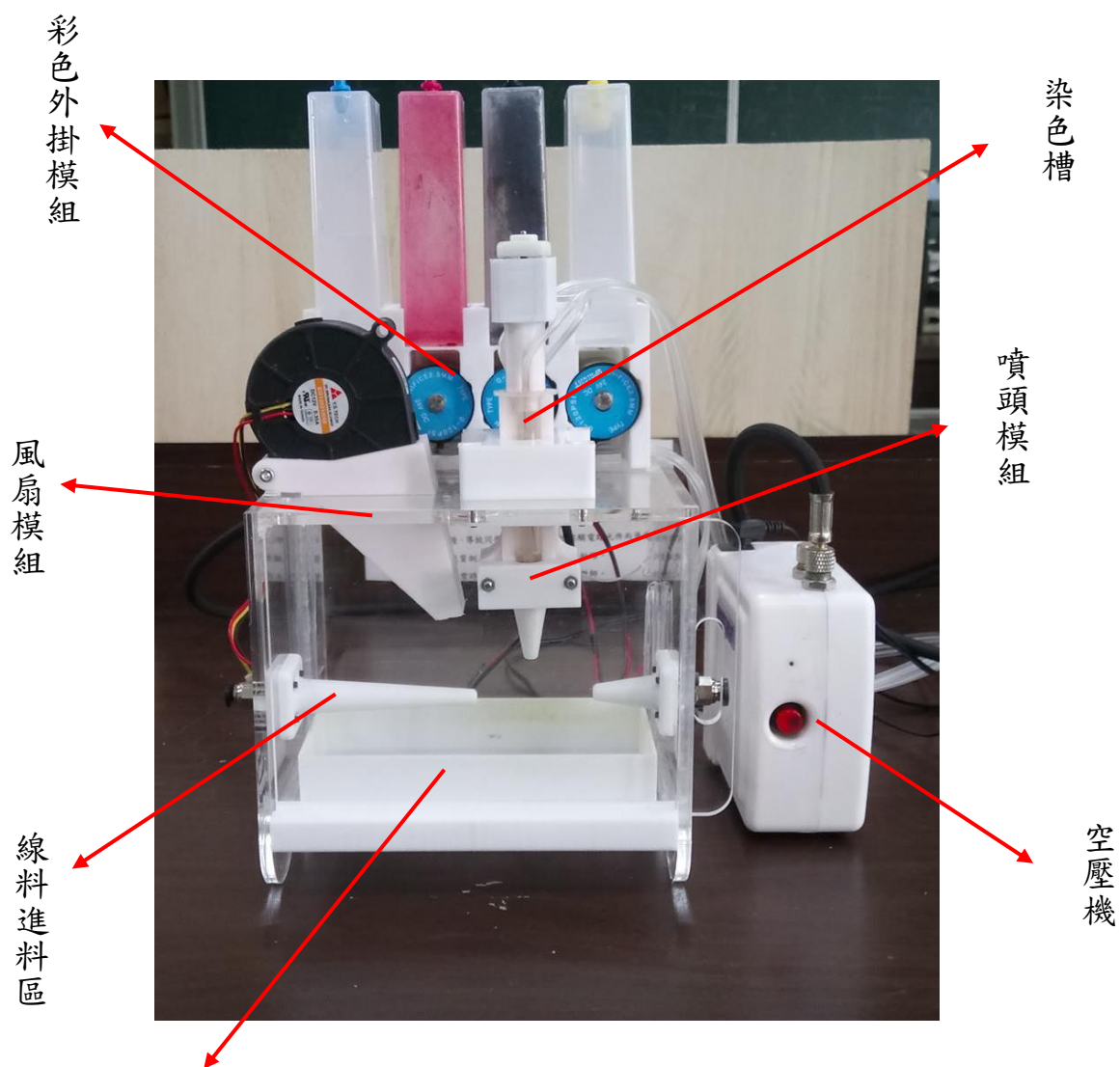
結論與未來展望：

■ 成品介紹之研發成果

本研究，提出一套彩色 3D 外掛染色模組系統，在固有的三原色料分配下，系統可規劃線材染色最佳化路徑及色料混合搭配，我們以自行研發之噴嘴、電磁閥模組，透過控制器、人機介面進行調配，最後利用外殼特殊設計，將所有功能進行整合，以達到彩色上漆機台輕量化之功能。而影像處理分析則為本系統檢測之用，以維護列印產品品質穩定。研究成果包含以下幾項：

1. 本專題研究提出利用 Matlab 軟體配合暗箱儀器，將成品或試片進行彩色列印穩定度辨識，透過 Pixel 明亮度之差異性，做一數據化分析圖，此最大貢獻在於可利用此分析圖，明確地判讀產品列印狀況，以利機具進行校正及修護。
2. 我們加入了自動上色之元素，在 3D 列印機線材進料前，先將白色 PLA 線材導入彩色 3D 外掛染色模組，經由人機介面之設定，電磁閥與馬達即會透過控制器之間的調配，進行染色之 SOP 流程，此優勢在於色料上色是利用數值化之控制，其上漆比例穩定程度將更精準。
3. 為了使得硬體具有精緻輕量之巧思，我們設計一機構外殼，可將噴頭，攪拌混合槽，快速風乾之設備、控制面板等進行整合，同時為維護使用者安全性，再噴漆上色時也有擋板保護措施，染色全系統之整合設計，已有一般平面列印概念之雛形，未來技術如成熟，應能有不錯的發展。

下圖 36 為設計成品：



(圖 36)

下圖 37 為列印成果：



(圖 37)

參考文獻

- [1]Ming-Chin Chuang , Matlab Digital Image Processing
- [2]Guangxue Chen, Chen Chen, Zhaohui Yu, Hao Yin,Liuxi He and Jiangping Yuan , Color 3D Printing: Theory, Method , 2016
- [3]B. Lévy and J. Kautz , Dual-Color Mixing for Fused Deposition Modeling Printers , 2014
- [4]黃信傑，3D 列印單線彩色渲染概念之上色機構設計與實務技術分析，中華民國力學學會第四十屆全國力學會議 2016，中國機械工程學會第三十三屆全國學術研討會論文集
- [5]OctoPrint , <http://octoprint.org/>
- [6]Santosh Kumar Sahoo , A Robotic Assistance Machine Vision Technique for an Effective Inspection and Analysis , International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) Vol. 5, No. 1, February 2015, pp. 46~54
- [7]黃凱豐，手機保護面板之自動化光學檢測系統，碩士論文，國立台灣科技大學機械工程系研究所 2008
- [8]林義祥，機器視覺應用於照相手鏡片模組邊緣瑕疵檢測，碩士論文，國立交通大學工業工程與管理學程 2012
- [9]海孤孃工坊：模型漆種類你知道有什麼嗎？2013/5/13,<http://goo.gl/YZ0G5V>
- [10]reprap.org：Prusa Mendel Assembly (iteration 2)
- [11]3DMaker - 全台首創 3D 列印網：淺談 3D 列印材料應用
- [12][reprap.org](http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4/zh_tw),http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4/zh_tw
- [13]康茂龍，機器視覺監測系統攝影機的運用，印刷科技，第三十卷第三期
- [14]影像感測器，
<http://kcs.kcjh.ptc.edu.tw/~spt/computer/digital-image/CCD-CMOS.htm>
- [15]郭智揚，油路控制閥光學檢測系統之開發，國立台灣科技大學機械工程系碩士論文，2010。

3D 列印彩色外掛模組渲染技術及視覺監控性能之研發

[16]Ming-Chin Chuang , Matlab Digital Image Processing

