

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學(一)科

第一名

052308

圖形化物聯網小型折線機之研究

學校名稱：國立嘉義高級工業職業學校

作者： 職二 何哲豪 職二 陳家芮 職二 呂柏翰	指導老師： 黃永國 張智賢
---	-----------------------------

關鍵詞：彎線機、MediaTek7688、圖形化

得獎感言

圖形化物聯網小型折線機之研究心得

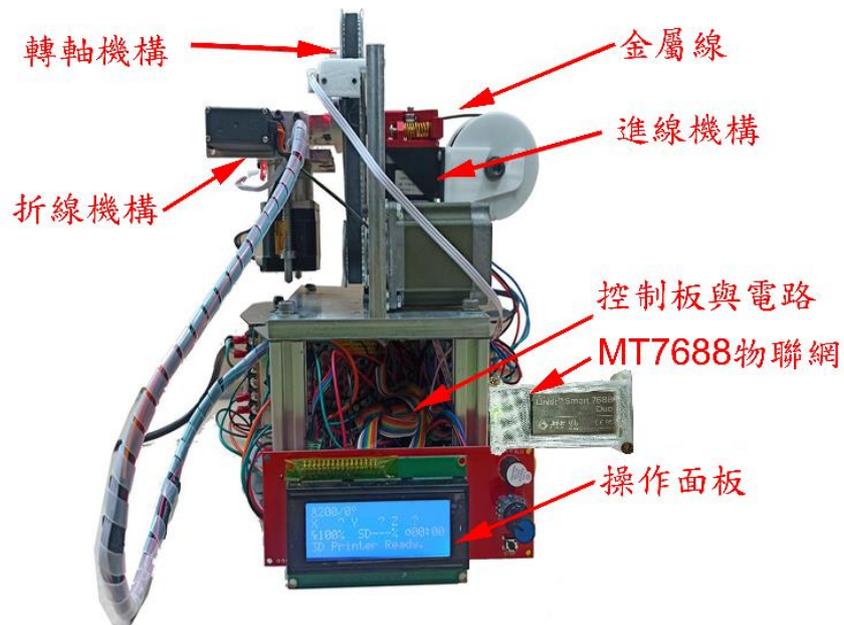
這屆的全國科展剛好遇到疫情正值嚴重的時期，所以採用線上比賽的方式，這樣的比賽方式讓我們感到緊張，從原本的三張大海報變成了 12 頁的簡報，讓我們刪掉了許多重要的資訊，而我們較有自信的機器做動也無法呈現給評審，所以整個作品只能靠 12 頁的簡報和 5 分鐘的報告來讓評審們了解，要如何報告也讓我們傷透了腦筋。

當我們得知要線上比賽時都是使用 google meet 和夥伴練習，但是在比賽前幾週卻發現要使用沒有接觸過的 Microsoft team 進行比賽，於是我們趕緊習慣這個軟體並比照比賽時主辦單位提供簡報控制權的作法來練習，而網路的快慢會影響報告，所以在練習時我們試著把電腦的網路降速，嘗試模擬最壞的狀況，讓我們得以在比賽時表現得相當順利。

開始決定要做這台機器時，每位成員都把自己在學校的休息時間付出在這台機器上，過程中當然辛苦，但是我們都非常有動力做這台機器，因為看著機器一步一步的組裝起來，到可以做動，心中非常有成就感，而在過程中我們也學習到了更多課本中學不到的技能，像是不同的加工法、pythons 等等，都是我們能學習到比別人多的地方，雖然我們犧牲掉了休息時間，但能夠學習更多的東西是非常值得的。

在整個研究過程中，參加了大大小小的比賽，我們經歷了許多我們不曾遇到也不知道如何解決的問題，隊友們絞盡腦汁思考解決辦法，有時甚至因為想法不同、意見不合時會互相爭執、抵觸，甚至曾經一度想放棄，但老師在旁的叮嚀與指導真的幫助了我們許多，在每次遇到困難必須打掉重練時給予了我們很大的信心，才能重整旗鼓，繼續下去，所以對於未來的參賽者，我們想說，不管在研究過程中經歷了多大的困難都不要輕易放棄，既然都已經堅持到這裡，就不能有半途而廢的想法，要去面對事情、解決問題，畢竟努力不一定會成功，但不努力一定會失敗。

如今回首那些過程，真的非常辛苦，時常必須放學後留在學校討論、練習，休假時間也經常到學校與老師討論，但現在能獲得這些經歷與成果，感覺一切都相當值得，至少我們每天都過得很充實，得獎後也很開心、喜悅。



摘要

生活中網路商店或夜市常看到業者手工用鋁線在折造型，這些造型必須應用手工方式生產，所以生產效率及重現性低，且這類型的塑性加工在課堂上我們只能觀看一些影片來教學，無法實際進行操作。本專題用單折彎頭來進行金屬線之折線加工，以課堂所學知識及加工技術背景進行開發，主要以 3D 列印機的 Arduino+RAMPS1.4 控制器為基礎，自行設計及加工折線機構、進線機構、轉軸機構與螺桿機構開發出小型折線機。利用 Python 程式語言開發出將圖型座標轉換為 NC 碼，透過 MT7688 物聯網方式，直接控制所需的機械動作，做出所需的作品，讓使用者只需畫圖即可做出成品，不需學習機器控制語法。本專題可自動化加工生產、具有 3D 折線功能、折不同軟硬度的材料、操作介面簡便、體積小、成本低。

壹、研究動機

在機械製造的課堂上，我們有學到塑性加工的製造方法，老師也有提供現有工業界在折彎機的操作影片，影片中折彎機加工方式及其功能引起我們是否能應用在一些工藝品的設計及加工方面的聯想。

而在生活中網路商店或夜市常看到業者手工用鋁線在折造型，這些造型必須應用手工方式生產，所以生產效率及重現性低，因此藉由折線機可以提高生產效率以及產品一致性，造型的選擇也更多元化。在造形方面可藉由 CAD 軟體進行繪製，再利用 Python 程式語言對繪製之圖形進行 NC 碼轉換，實現圖形化編程之目的，可簡化機台操作，只需簡單教育訓練，即可生產出複雜的產品及大量產品複製生產。現 3D 列印之控制套件可直接讀取 NC 碼進行步進馬達之控制，結合以上概念，形成本研究之動機。

本研究的目標設定在設計一台微型化、數值化(使用 NC 碼控制)、成本低、體積小，利用繪圖軟體繪出造型後再折線機折出。剛好我們團隊在高二時有 3D 列印機的製作經驗，具有基本的電路裝配概念和原理，所以組裝控制板時更加快速，利用步進馬達驅動旋轉頭，促使旋轉銷可做雙向轉動將從進線機構所輸送過來的材料進行折線設計。

貳、研究目的

現今業界所生產用的彎線機，大台動輒好幾十萬，不僅價錢高，體積也大，勢必要挪出不小的空間擺設機台，且專用彎線機適用於大量生產用，價格昂貴不易普及到每位學生製作。而規格小的雖然只要幾千塊就買的到但通常功能較單一只能折彎較簡單之造型，實用性不高。

因此，我們的圖形化物聯網小型折線機適合學校實習工廠，使學生了解原理，而不是課本裡簡單的文字敘述，而且設計圖形簡單，可以配合高二電腦輔助設計(CAD)和高三的電腦輔助製造(CAM)課程做出，讓課程內容能夠更加豐富。

本研究開發出的圖形化物聯網小型折線機有以下特點:

- 一、 由 AUTO CAD 軟體進行繪圖，對於特殊造型可於繪圖軟體匯入後進行描圖設計。
- 二、 可自動化加工生產。
- 三、 具有 3D 折線功能，例如彈簧。
- 四、 在學校課程中做為塑性加工單元之教具使用。
- 五、 可折不同軟硬度的材料，如：鋁線、銅線等
- 六、 操作介面和 3D 列印機方式相同，成本低操作簡便。
- 七、 體積小、成本低，一般高職生所學的專業知識即可製作完成及圖案設計及機台操作。
- 八、 機台控制方面利用物聯網，設備與電腦不需放在一起即可操作，免除插拔 SD 卡的動作。

參、研究設備及器材

一、研究設備與機台

研究設備及器材:

(一) 車床

(二) 銑床

(三) 加工中心機

(四) 鑽床

(五) 刀具及量具

(六) Arduino-RAMPS 運動控制板

(七) 步進馬達

(八) Solidworks 、AutoCAD、Python 及 Mastercam 軟體

開發機台所需材料:

表(1) 機台所需材料			
項次	設備名稱	規格備註	備註
1	折線機構	中碳鋼、低碳鋼、彈簧	依各零件設計尺寸加工
2	進線軸心	中碳鋼	依各零件設計尺寸加工
3	螺桿機構	中碳鋼	依各零件設計尺寸加工
4	轉軸機構	低碳鋼，鋁材，皮帶	依各零件設計尺寸加工

肆、研究過程或方法

一、研究流程

在初步和老師討論後，分析本研究將會面臨到的技術問題及一些專業問題，我們擬定的研究開發策略流程如圖(1)所示，開發的重點在於融合我們現有所學的各项專業知識及機械零件加工的能力，由現有的專業知能、技術能力來設計折線機的機械結構及電控系統，各項開發工作及日程則由實驗記錄本進行記錄。由於開發當中不可預期的問題點會陸續出現，所以零件的設計變更及修正應無法免。



圖(1)圖形化物聯網小型折線機之研究策略流程

二、文獻探討

因現有的折線機大都是屬於工業界使用的專業機台，他們在機台的設計方面比較屬於專用機的功能，控制系統也使用工業用的控制器，相較於我們的研究目標在於機台微型化、控制數值化、成品多樣化、成本低，有很大的不同。但折線(塑性加工)的原理及加工的步驟是相同的，因此在文獻探討方面，我們就現有工業界使用的機台進行資料蒐集、研究及分類。

(一)多折彎頭折彎機

使用多頭變形折彎頭，利用不同形狀折彎頭折彎金屬產生塑性變形，不同之折彎頭可折出不同的形狀，或是利用擠壓的方式達到金屬線變形的目的。如 CMM-12-430R 圖(2) 轉線機無凸輪 12 軸電腦多功能彈簧機[1]，無凸輪、無搖臂設計(調機速度比傳統凸輪機快達 50%以上、生產速度快、定位精準、運行穩定)、整體框架結構：轉線部分框架與面板為整體鑄造一次加工完成。具有強度更高，不易變形，經久耐用等特點、送線箱結構：棄用傳統拼鉚結構，採用整體鑄造整體加工工藝，具有同心度更高，送線更穩，轉線更快的特點、全新操作系統：3D 動畫操作界面，更直觀、更簡便。帶 ERP 數據採集端口，彈簧外徑尺寸自動檢測補償功能、多模式智能運行模塊、雙滾動式導軌、長久保持精度、無撞機發和發熱、複合刀具完成所有工序，刀具損耗低、智能模塊，自動檢測及報警、Windows 視窗操作、中英文顯示、易學易用、 Windows 是圖操作、中英文顯示、易學易用。機台規格與參數如圖(3)。

但此種製造機為了因應每種不一樣的產品都需要不同的模具和刀具來操作，產品的形狀較受限制，屬於專用機大量生產型，若要生產不同之產品則需導入相對應之模具，相較於其他構造較簡單之折彎機顯得較為複雜且價格昂貴，在規格方面，此種製造機若要成為多功能性的機台，則體積和重量也會相對來的龐大，佔用空間大。



圖(2) CMM-12-430R 轉線機無凸輪 12 軸電腦多功能彈簧機

規格及參數表：

型号	CMM-12-450R轉線機		
線徑	1.2~4.5mm		
最大送線指令值	10000.00mm		
最小送線指令值	0.01mm		
最大送線速度	100m/分鐘		
最大送線長度	無限長		
軸數	12軸		
伺服電機輸出總功率	24000W		
輸入電壓	380V		
電腦規格	奔騰工業電腦		
工序數據儲存量	2000個以上		
氣壓系統	氣壓	8~8KG/cm	
	探針	3個	
機器尺寸	厚度	2200mm	
	寬度	1760mm	
	高度	2100mm	
機器重量	3800KG		

圖(3)機器規格和參數

(二)單折彎頭折彎機

利用折彎頭的旋轉進行折彎，如全自動電腦剝線折彎機圖(4) [2]，純銅高速步進電機、液晶數控觸摸屏、採用進口設備及原料，利用特殊熱處理，刀片比一般更鋒利耐用、.彎度正反可任意折彎、數控控制板電路箱，機台規格與參數如圖(5)。

雖然此種折彎機體積比起上述之彈簧機相對較小，重量也較輕，但是機台的功能和在折彎造型的選擇上就打折了，且此種折彎機在折彎頭的限制下，只能折出平面二維的造型，實用性較低。



圖(4):全自動電腦剝線折彎機

產品型号	ZS-06
外型尺寸	430*380*380mm
重 量	55KG
PLC控制	台灣台達
滑 軌	台灣上銀直線滑軌
功 率	180W~600W
切割長度	0.1-99999.9mm
剝 頭	0.1-50mm
折彎長度	任意可調
切割線徑	硬線0.1-6mm ²
切割公差	0.002xLmm以內※L
刀具材料	進口高速鋼
驅動方式	四輪
折彎段數	10段
存 儲	200數據

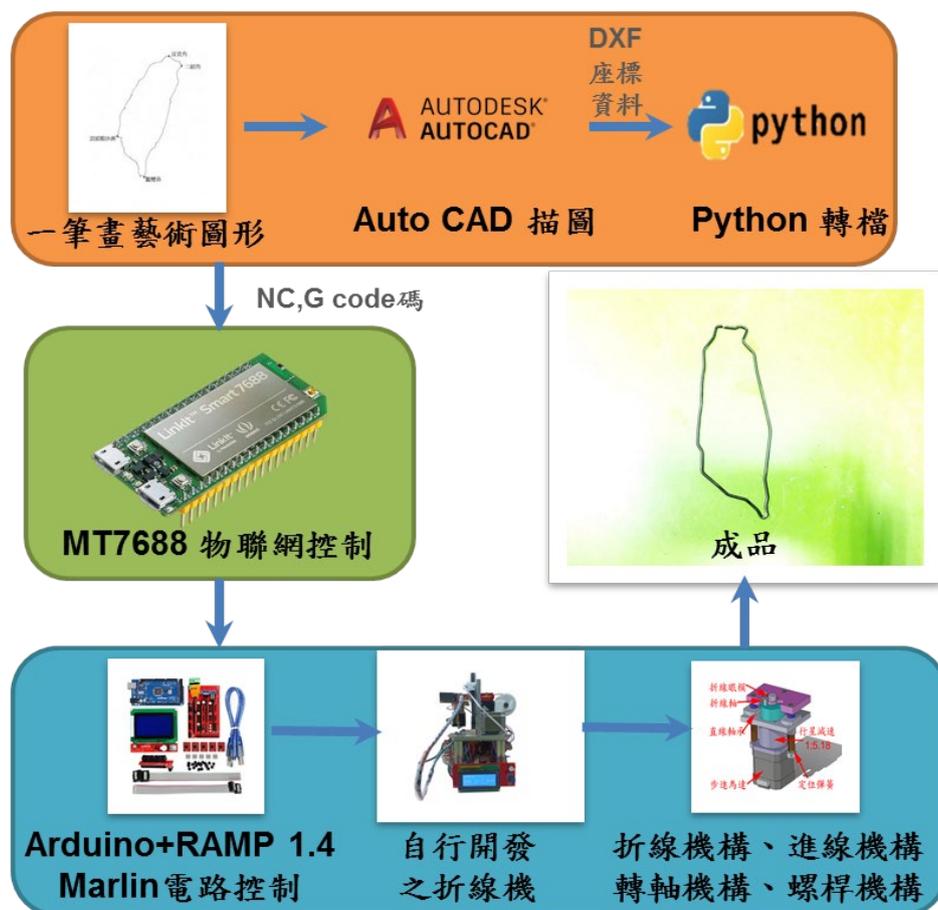
圖(5):機器規格和參數

經過上面文獻的探討與比較，在研究的製作及課程的限制下，我們決定開發一台圖形化物聯網小型折線機，使用單一折彎頭的類型，可以減小體積、重量，開發的技術較符合我們現有的專業素養，材料方面也相對較便宜，產品可以多樣性。

三、概念發想結構圖與機台開發

由上述所蒐集到折彎機的資料分析及分類後，我們定出折彎機的功能及所使用的折彎原理，進行機台的設計開發，我們把本研究成品開發過程所必須使用的各項敘述作細部分類，形成一個概念發想結構圖如圖(6)所示，圖中顯示，前半段為數據轉換，後半段為機台的機構及控制系統。

在前半段數據轉換方面即為的產品圖檔繪製到產生機台控制方式，(CAD 的 dxf 檔到 NC 碼)；在我們開發折線機的功能中有一項的目標在於在現實生活中常看到許多一筆劃的藝術圖形，這些圖形折出後可用於一些廣告燈條的骨架或是一些裝飾。我們想藉由折線機折彎金屬材料將圖形實體化，做到隨畫隨折的功能，折線機可以同步及正確的折出我們在 CAD 上所畫出的圖形。所以折線機的操作方面我們構思使用 3D 列印機的操作方式，即由 SD 卡輸入 NC 碼進行折彎機自動化產品加工，但又考量到操作者的專業背景，我們使用 Python 撰寫一個轉換程式對設計者的圖檔轉換為 NC 碼，所以操作者只需再 CAD 軟體上繪製圖形後，交由後半段機台的機構及控制系統即可折出產品，操作方式和 3D 列印機相似，實用性相當高，在後半段機台的機構及控制系統則採用 3D 列印的電路控制以及自行設計及製造加工的機構，如折線、進線、轉軸、螺桿機構等等，如圖(6)所示。



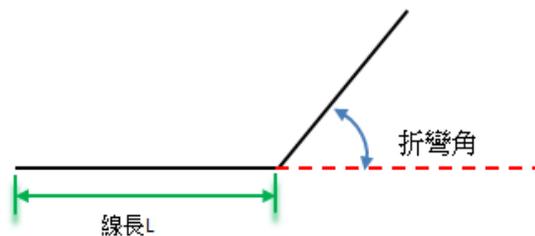
圖(6)圖形化物聯網小型折線機之研究概念發想圖

- 如前文所述的構想概念，整個機台的研究開發過程，我們可分為五大部分
- (一)NC、G code 碼 python 程式語言轉檔功能
 - (二). 折線機構
 - (三). 進線機構
 - (四). 轉軸機構
 - (五). 螺桿機構

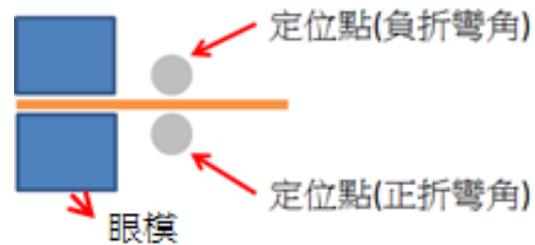
至於折線的各项動作及時間參數則由 NC 碼來控制，下文分別討論各項機構系統及運動控制系統的細部設計及設計過程中的各種因素及考量點，最後開發出整個機台，當然現實情況及實作過程所遇見的困難，使得細部設計不斷變更，此種狀況再所難免。

四、線長和折彎角之關係

本專題所針對的是金屬線的折彎工作如圖(7)所示，可以看到兩線段與折彎角的關係我們希望能將繪製的圖形，用 Python 轉出讓機器工作。

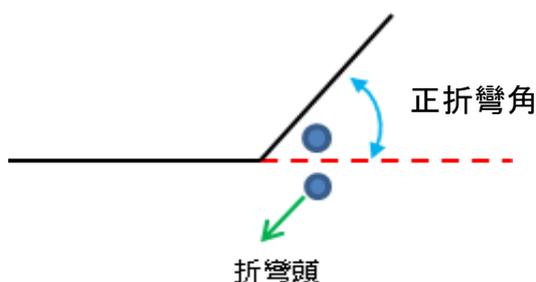


圖(7)兩線段與折彎角

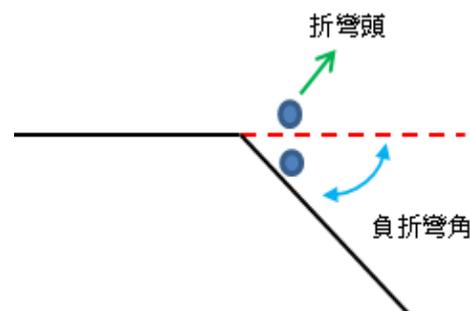


圖(8)折彎角 2 個定位點

由於機構採用一個折彎頭，但是工件成品的折彎角有正負 2 個方向，我們設定了兩個定位點如圖(8)所示，折彎頭遇到正折彎角時，機器工作是往逆時針方向工作如圖(9)所示。當遇到負折彎角必須切換折彎頭在金屬線的下方到負折彎點往順時針方向工作如圖(10)所示。我們利用步進馬達加螺桿機構來讓折彎頭有 2 個定位點。



圖(9)正折彎頭點



圖(10)負折彎頭點

我們將折線機所要折出的圖形，再將其匯入 CAD 中，藉由手動描圖的功能沿著圖形邊緣一筆劃繪出造型，存成 DXF 檔，再由本研究所撰寫的 Python 轉檔程式，把 DXF 檔轉換成金屬線長及折彎角度後，輸出 NC 碼格式，再上機控制各個步進馬達進行折彎動作。因此本專題使用 Python 軟體撰寫一個專門計算金屬線長及折彎角的轉換程式並且可以輸出 NC 碼，金屬線長 L (公式 1) 及折彎角 X (公式 2) 的計算方式如下：

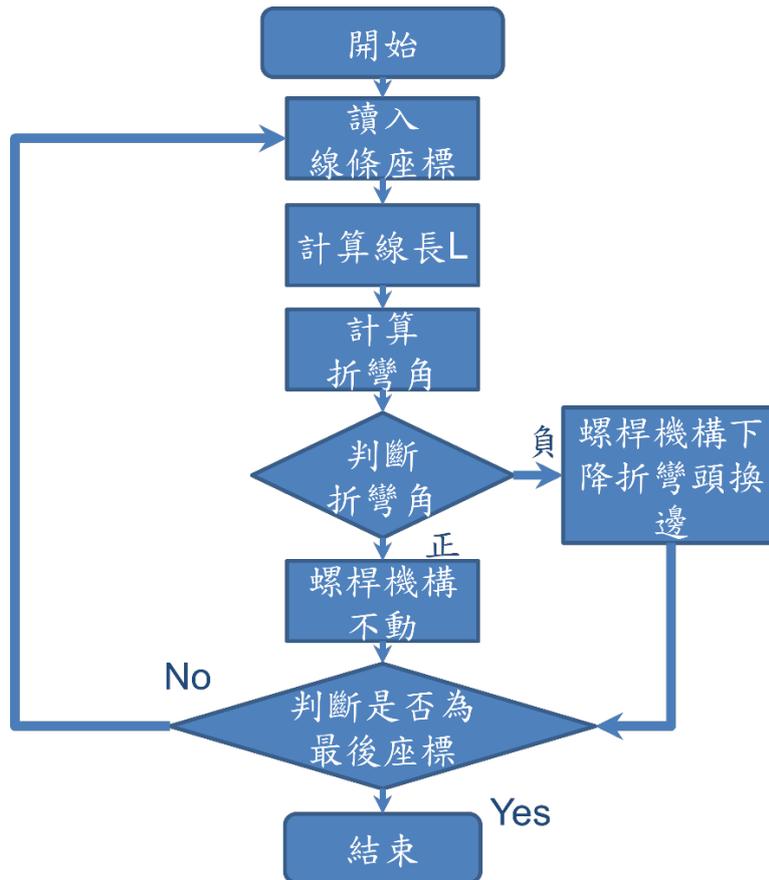
$$L = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (\text{公式 1})$$

在計算折彎角方面，正常來說求 2 個向量夾角用內積公式(公式 2-1)就可以計算，然而求得的結果不包含方向資訊，如果需要方向資訊的話需要引入向量的外積，在這裡我們引用下方(公式 2-2)來判斷，裡面由於 u, v 是二維平面上的向量，公式如下：

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = |\mathbf{u}||\mathbf{v}| \cos \theta \quad \text{or} \quad \theta = \cos^{-1}\left(\frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{|\mathbf{u}||\mathbf{v}|}\right) \quad (\text{公式 2-1})$$

$$\begin{aligned} \mathbf{u} \times \mathbf{v} &= \begin{vmatrix} \mathbf{u}_2 & \mathbf{u}_3 \\ \mathbf{v}_2 & \mathbf{v}_3 \end{vmatrix} \mathbf{i} - \begin{vmatrix} \mathbf{u}_1 & \mathbf{u}_3 \\ \mathbf{v}_1 & \mathbf{v}_3 \end{vmatrix} \mathbf{j} + \begin{vmatrix} \mathbf{u}_1 & \mathbf{u}_2 \\ \mathbf{v}_1 & \mathbf{v}_2 \end{vmatrix} \mathbf{k} \\ &= (\mathbf{u}_2\mathbf{v}_3 - \mathbf{u}_3\mathbf{v}_2)\mathbf{i} - (\mathbf{u}_1\mathbf{v}_3 - \mathbf{u}_3\mathbf{v}_1)\mathbf{j} + (\mathbf{u}_1\mathbf{v}_2 - \mathbf{u}_2\mathbf{v}_1)\mathbf{k} \end{aligned} \quad (\text{公式 2-2})$$

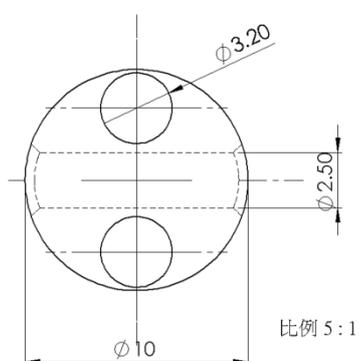
但在平面時 u_3, v_3 都為 0。因此 u 向量和 v 向量之外積 = $(u_1v_2 - u_2v_1) * \mathbf{k}$ ，所以透過向量外積可以求得向量方向之正負號，結合向量的內積重新計算帶有正負方向的夾角，這裡面順時針旋轉為負，逆時針旋轉為正，程式的流程圖如圖(11)所示：



圖(11)程式的流程圖

五、折線機構

Ø10、Ø13 及 Ø16，如下 Autocad 圖所示，因眼模側面需鑽一個直徑 2.5 的孔作為材料輸出且上方兩個 M3 螺絲孔須避免貫穿到，加起來總長已到 8.5 所以最小眼模 Ø10 已經是我們所能加工到的極限，如圖(12)所示。而此眼模設計主要目的為當線材由後方擠出機輸送過來時做為其支撐點及更換不同線徑時使用，加工成品如圖(13)所示。



圖(12) AutoCAD 眼模工作圖



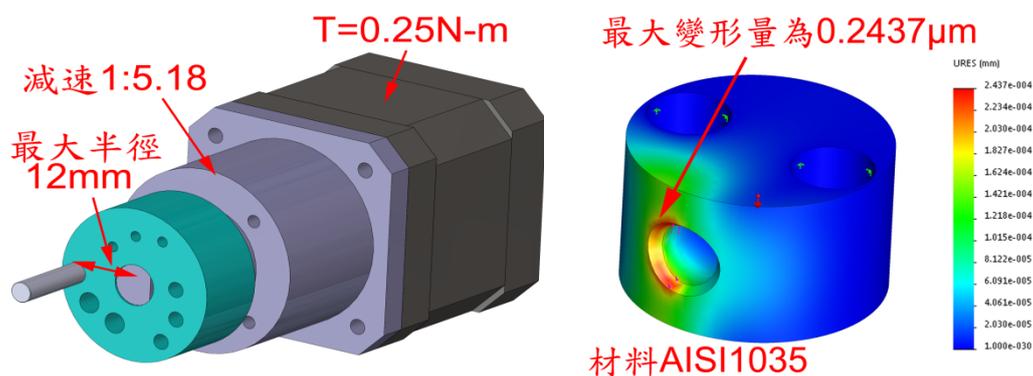
圖(13)眼模成品

六、折彎頭設計及分析

本研究折線機之折線機構主要選用 42 步進馬達，因相較於 57 步進馬達體積較小，而選用 35 步進馬達扭力不足、不易取得且價格相對 42 步進昂貴。在行星減速比方面有 1：3 和 1：5.18 兩種作選擇，但因配合所需的扭力我們採用 1：5.18。馬達扭矩為 $T=0.25\text{N}\cdot\text{m}$ 、減速比 $e=1:5.18$ 、折線軸中心距 $R=12\text{mm}$ 如圖(14)所示，可透過以下公式計算出馬達作用力大小。

$$\frac{T}{E} = F \times R$$

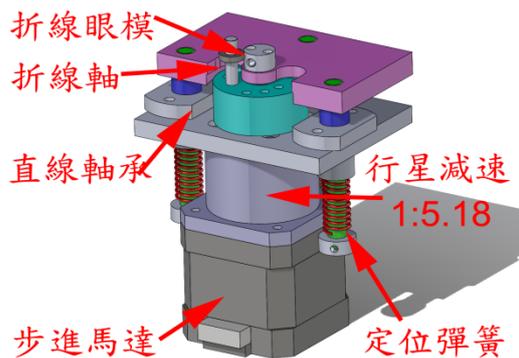
故得到馬達作用力最大為 $F=107.92\text{N}$ ，故利用 Solidworks simulation，將材料設為 AISI1035 的鋼料，設定兩個圓孔為固定孔，設眼模倒角邊為受力面，當承受馬達的最大作用力時，材料變形量僅有 $0.2437\mu\text{m}$ 圖(15)，因此我們選用該設計。



圖(14)馬達作用力分析

圖(15)眼模受力分析

因為我們需要兩個定位點，故設計如圖(16)所示，整個折線運動主要由最下方之 42 步進馬達搭配減速機構運作，上方折線軸將由折線眼模所輸送過來的材料進行折彎工作。而定位彈簧和直線軸承目的為用在當折彎造型之角度為正負相反時，藉由螺桿機構運動使折線頭向下運動，使折線軸切換正負兩定位點，再向上回到初始位置，圖(17)為折線機構。



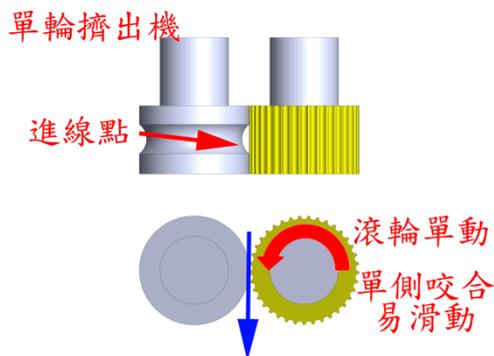
圖(16)折線機構詳圖



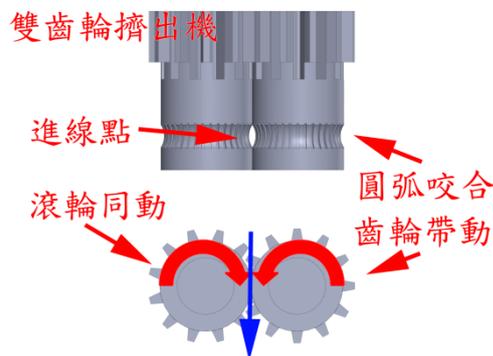
圖(17)折線機構

七、進線機構

為了降低開發時間，故我們選用現成的進線機構，我們設定目標為 $\varnothing 2$ 的鋁線，市面上的 3D 印表機所使用的擠出機為 $\varnothing 1.75$ ，透過實驗一般的擠出機可帶動 $\varnothing 2$ 的鋁線，但市面上有許多設計，大部分以都是單輪的擠出機，如圖(18)所示，單輪的擠出機有好安裝易維修的優點，在進線穩定度不如雙齒輪擠出機。雙齒輪擠出機如圖(19)所示，滾輪同動進線穩定，且進線點為兩圓弧面，大大增加咬合面積，故本研究選用雙齒輪擠出機。

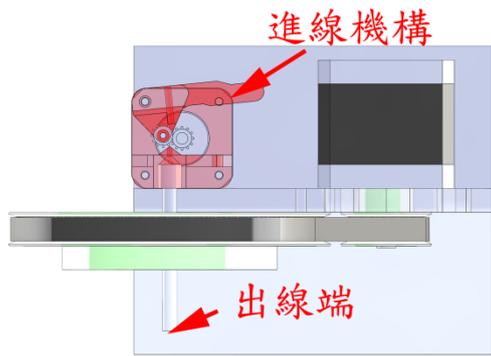


圖(18):單輪擠出機

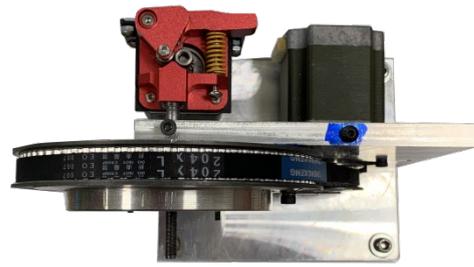


圖(19):雙齒輪擠出機

進線機構主要包含 42 步進馬達、雙齒輪擠出機以及進線軸心，如圖(20)所示，主要運作為將線材從機台後方進線機構輸入，藉由擠出機兩齒輪摩擦將線材運送到出線端之眼模。此機構之設計目的為幫助後端準備折彎之線材輸送到前端折彎機構進行折彎。圖(21)為進線機構成品。



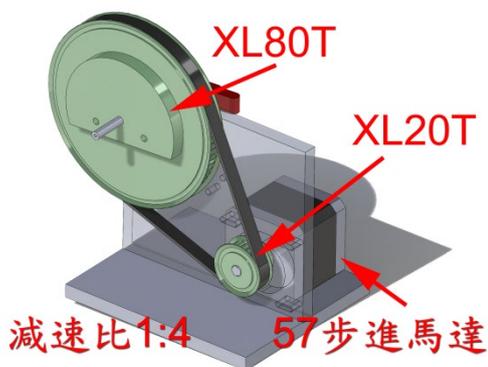
圖(20)進線機構設計圖



圖(21)進線機構成品

八、轉軸機構

設計轉軸機構的主要目的是為使折線機構能夠旋轉，使折線可以多維折彎讓產品更加多元化。本研究設計如圖(22)所示，主要包含 80T 和 20T 兩種皮帶輪配合 XL 確動皮帶，由 57 步進馬達帶動皮帶輪轉動，使折線機構能夠 360° 旋轉出三維造型，如彈簧名片夾等等，圖(23)為轉軸機構成品。

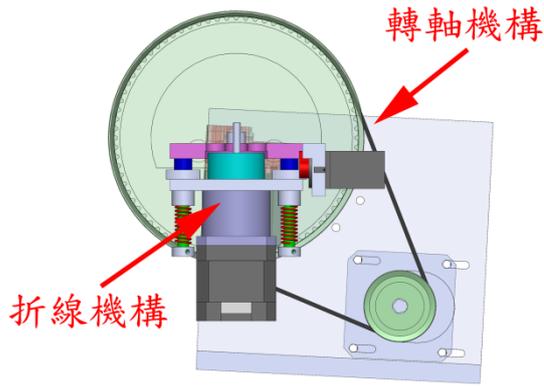


圖(22)轉軸機構詳圖



圖(23)轉軸機構成品

皮帶盤方面我們之所以選用直徑 80 與 20 的尺寸產生 1:4 的減速比，主要原因為配合折線機構的體積大小使折線機構大約位於大確動皮帶盤的 1/2 如圖(24)所示，若選用更小之確動皮帶盤則考慮到無法支撐折線機構，而如選用更大之尺寸則體積不符合微型化設計。圖(25)為轉軸機構正面。



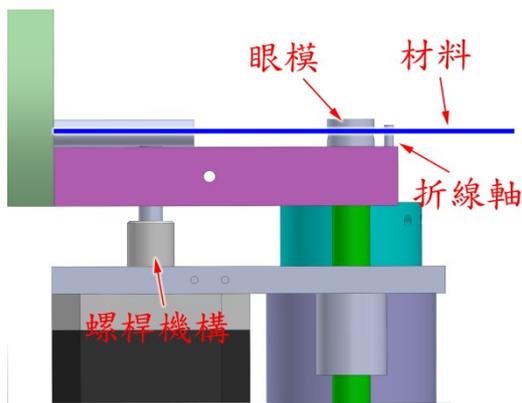
圖(24)皮帶與折線機構示意圖



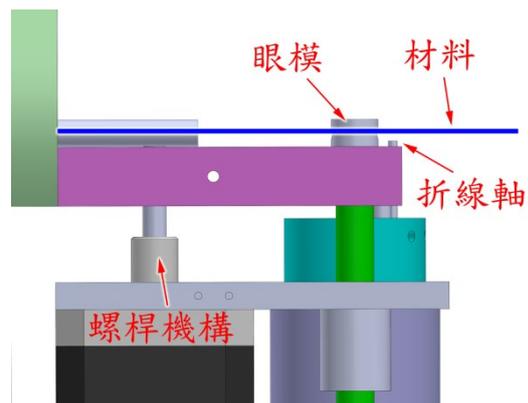
圖(25)轉軸機構正面圖

九、螺桿機構與剪線刀頭

當折線機構要切換不同定位點時，會撞到工件。我們想用使螺桿讓折線頭上下作動如圖(26)和圖(27)所示，當折線軸要退回時，主要會由步進馬達來驅動螺桿將底板向下壓等待軸到位時，再使馬達反向使折線頭上升。螺桿機構設計主要目的為能使底板上下作動，進而折出正負角度。

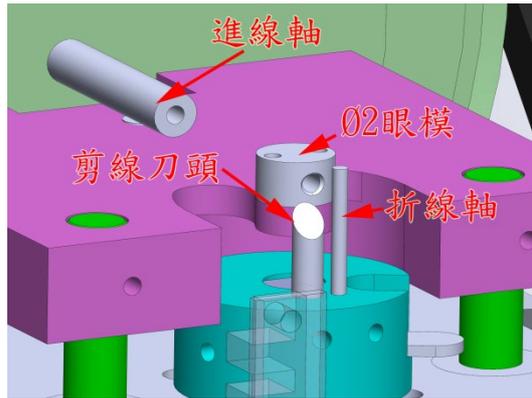


圖(26)折線機構上升

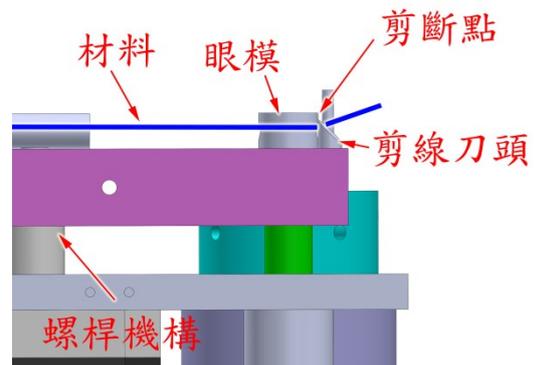


圖(27)折線機構下降

剪線刀頭，我們希望當折彎完成時，可以自動將成品剪下，使用者無須手動剪線，達到量產的功能，因此我們在折彎頭的側邊設計了剪線刀頭，如圖 28 所示。用作斷掉的鑽頭研磨出刀角，利用螺桿上升剪線，圖(29)為剪線示意圖。



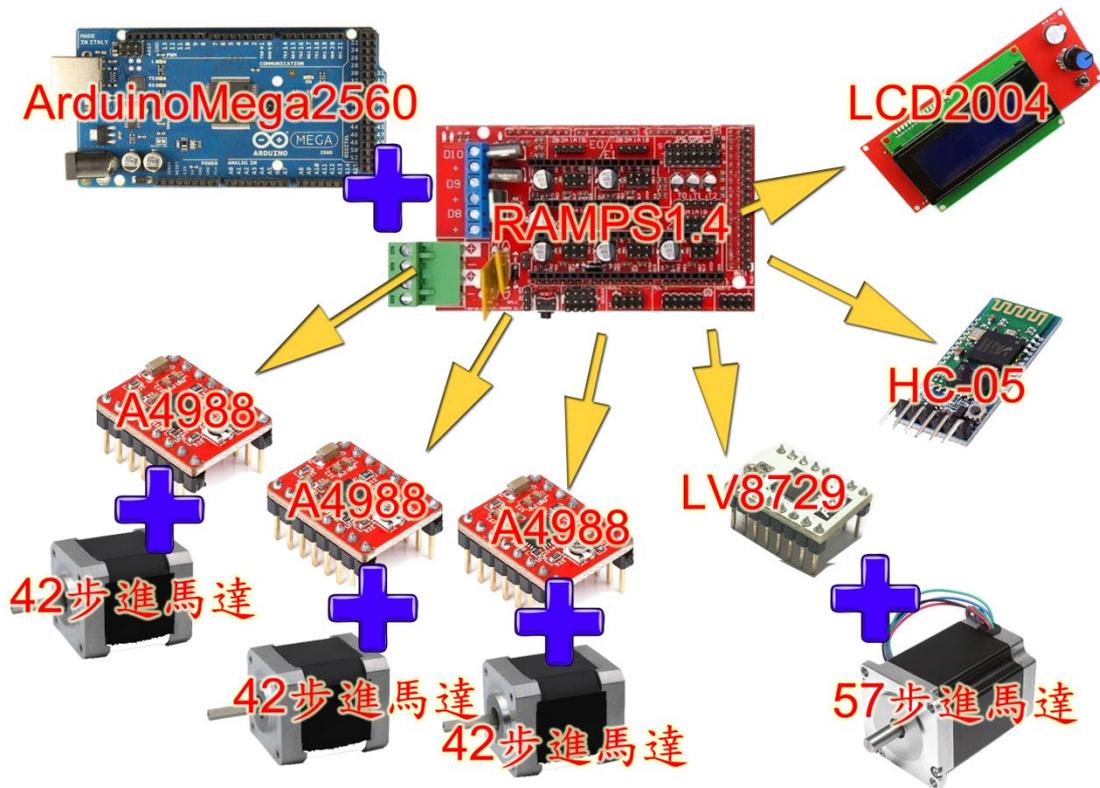
圖(28)剪線刀頭設計圖



圖(29)剪線刀頭剪線

十、電路控制

因為我們學過 3D 印表機製作，所以我們一樣選用 Arduino+RAMPS1.4 作為我們的電路控制系統，因為它成本低、模組多且易於操作。本研究用了三個 42 步進馬達與一個 57 步進馬達與一個。我們選用了 A4988 來控制兩個 42 步進馬達，該驅動最小細分為 1/16，加上 1.8°的步進馬達，可達到一轉為 3200 的 Step。驅動 57 步進馬達為 S109，A4988 能提供最大電流為 2A，S109 能提供 4A 的電流，可驅動 57 步進馬達，該驅動最小細分為 1/32，可達到一轉為 6400 的 Step。所有控制如圖(30)所示。



圖(30)電路控制圖

韌體部分有 GRBL 及 Marlin 可以選用，在這邊我們選用 Marlin，因為我們希望未來可以不接電腦直接運行，可做小量生產使用設備。Marlin 本生具有溫度 PID 控制、步進馬達控制、可顯示 LCD、可讀取 SD 卡、有 TX/RX 序列埠控制，最重要的是能讀取 NC 指令[4]，Marlin 相關修改如下表(2)：

表(2) Marlin 修改列表
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#define TEMP_SENSOR_0 999
#define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 100
#define EXTRUDE_MINTEMP 170
#define USE_XMIN_PLUG
#define USE_YMIN_PLUG
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true #define
Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {46.1, 284, 4571, 140 }

```
#define DISABLE_Z true

#define X_MAX_POS 125

#define Y_MAX_POS 125

#define EEPROM_SETTINGS

#define LCD_LANGUAGE tw

#define SDSUPPORT

#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER
```

十一、數值控制介面及操作系統

可透過 LCD 面板如圖(31)利用物聯網控制，讀取 NC Gcode 檔或用在 ramps1.4 上加裝的 HC-05，透過藍牙控制機器，在本專題中，我們將 NC Gcode 檔裡的 E 定義為擠出機所伸長之材料長度，X 為折彎軸旋轉角度，Y 為旋轉軸旋轉角度，M280P0S0 與 M280P0S90 分別是控制折彎軸下降及上升的指令，圖(32)為轉出的 NC Gcode 檔。



圖(31)折線機控制面板

```
G28
G91
G1E3.99F500
G4P179.
M280P0S0
G1X28F5000
G1X20F5000
G4P72
M280P0S90
G1X-20F5000
G1X-28.79F5000
G1X28.79F5000
G1E5.00F500
G4P300.
G1X-28.79F5000
G1X28.79F5000
G1E6.0F500
G4P420.
```

圖(32)Python 轉出的 Gcode 檔

十二、物聯網 MT7688 控制

我們轉好的 Gcode 檔需要透過 SD 卡存取，這樣的插拔動作並不方便，且目前許多電腦沒有大 SD 卡的插槽。為了方便控制，我們開始思考改善這個問題，最初我們使用藍芽控制，我們用藍芽 HC-05，設定非常簡單就可以控制我們的折線機，在我們把檔案移到機器上的 SD 卡時，希望在機器上執行不要透過電腦時，我們發現傳輸速度相當慢。因此我們換用 MediaTek LinkIt™ Smart

MT7688，雖然也可以使用 Raspberry Pi，但體積跟成本考量，如表(3)，我們選擇了 MT7688，讓我們的折線機能夠物聯網控制，也改善傳輸問題。

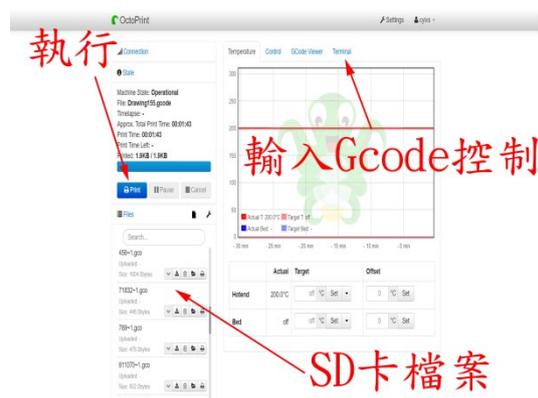
表(3)：物聯網控制方法比較

名稱	傳輸方式	體積	成本	傳輸速度
HC-05	藍芽	最小	最低	低
Raspberry Pi 4B	WiFi	中	高	高
MT7688	WiFi	小	低	高

MT7688 體積相當小，只需用 USB 便能與折線機連線如圖(33)所示。我們的 MT7688 使用 MT15.05.01 的韌體，裡面是 OpenWrt Linux，可以設定許多不同 WiFi 也可以自由安裝許多套件，因此我們安裝上 Octoprint，如下圖(34)，就可以從筆電直接控制我們的折線機；操作時折線圖形透過 Python 轉檔後由 MT7688 物聯網傳至機台做出折線動作，並且由操作介面可以看到機器目前的狀態。



圖(33)MT7688 僅需要 USB 就可以控制 Arduino



圖(34)OctoPrint 的功能

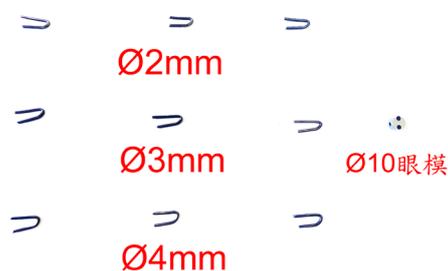
十三、眼模與折線軸選用之實驗

我們設計了三個不同尺寸的眼模，以 F100°/min 針對長 Ø2X10mm 的鋁線折彎，Ø10、Ø13 及 Ø16 折彎測試，使用量角器測出角度分別為 48°、53°、56° 度如圖(35)所示，可以發現使用愈大的眼模，所產生的折彎角度就會越大，因 Ø10 的折角可以最小到 48°，因此我們選用 Ø10 作為我們的眼模。接下來改用 Ø2、Ø3、Ø4 三種不同的折線軸測試，在相同參數下折出來的型狀角度都一

致，如圖(36)所示，但最小折彎伸出量分別為 3.5mm、4mm、4.5mm，因此我們選用 $\varnothing 2$ 的折線軸。



圖(35)不同直徑眼模



材料： $\varnothing 2$ mm AL

圖(36)直徑 13 眼模

十四、異質材料折線之實驗

我們另外使用材料折彎，分別是花卉常用的 $\varnothing 1$ mm 包紙鐵線， $\varnothing 1.2$ 、 $\varnothing 1.4$ 、 $\varnothing 1.6$ mm 鐵線、 $\varnothing 1.6$ 與 $\varnothing 2.0$ mm 銅線。材料硬度為鐵>銅>鋁，經過實驗，我們的折彎機可以折 $\varnothing 1.2$ mm 以下的鐵線、 $\varnothing 1.6$ 以下的銅線，鋁線則是 $\varnothing 2$ mm 以下。如圖 37 所示。



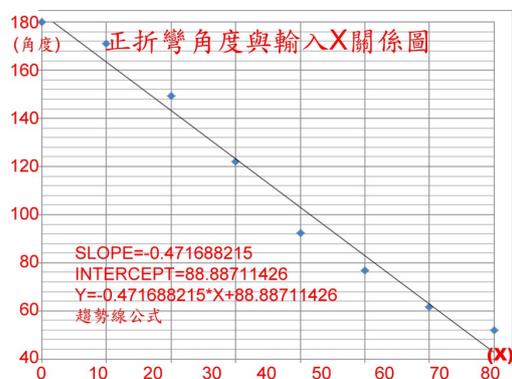
圖(37)市售材料實驗

十五、N C 碼折彎角與成品折彎角度關係之實驗

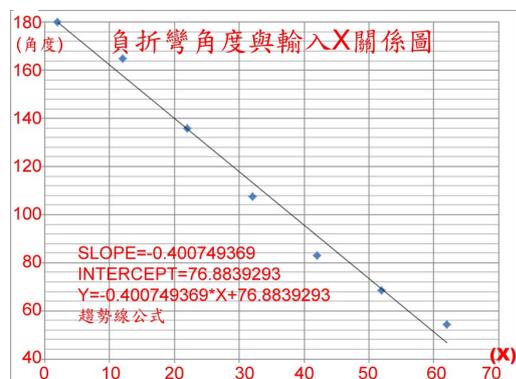
我們在操作機器時發現當 X 輸入 90 度時實際折出來的角度並非真正 90 度，因此我們經由實驗尋找出 X 與折彎角是否有線性關係，並且分正折彎角實驗與負折彎角實驗。正折彎角為折彎頭逆時針轉，負折彎角為折彎頭順時針轉，此實驗之目的主要是為找出 N C 碼折彎角和實際折彎機折出角度之對應關

係。

實驗的結果，經 Excel 使用最小誤差平方法擬合出一條對應之線性直線方程式，計算之成果如圖(38)及圖(39)，X 軸為折彎角，y 軸為兩條金屬線之夾角，夾角使用量角器量出。



圖(38)正折彎角與數值 x
對應關係與公式



圖(39)負折彎角與數值 x
對應關係與公式

由上圖可知，實驗結果是由 Excel 擬和出的線性方程式分別為：

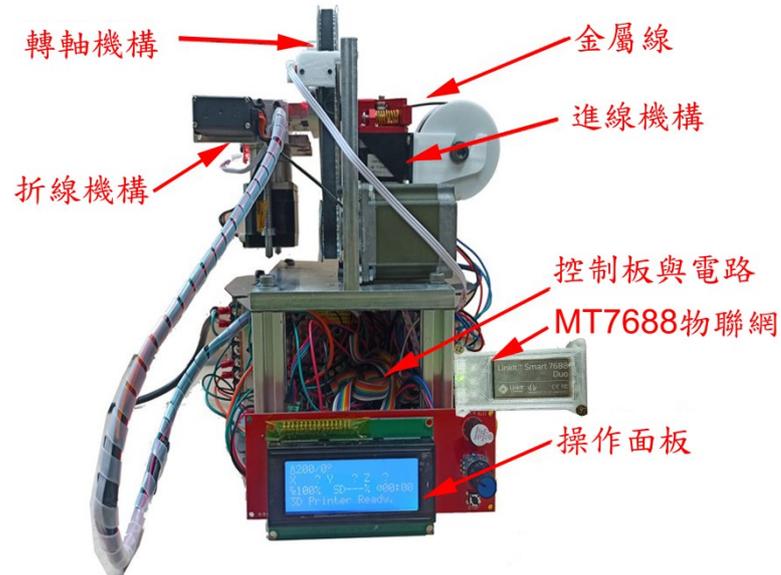
$$Y = -0.47169X + 88.88711 \quad \text{正折彎}$$

$$Y = -0.40075X + 76.88393 \quad \text{負折彎}$$

公式(4)和公式(5)為正負折彎角之線性方程式，由此式可以計算出兩金屬線段之夾角，兩公式之所以不同，初步判斷為正負折彎角定位點之差異，在實驗時，初步判定正負定位點位置的角度差值為 28 度。公式中 X 值為實際折彎角度，Y 值為機器數值。

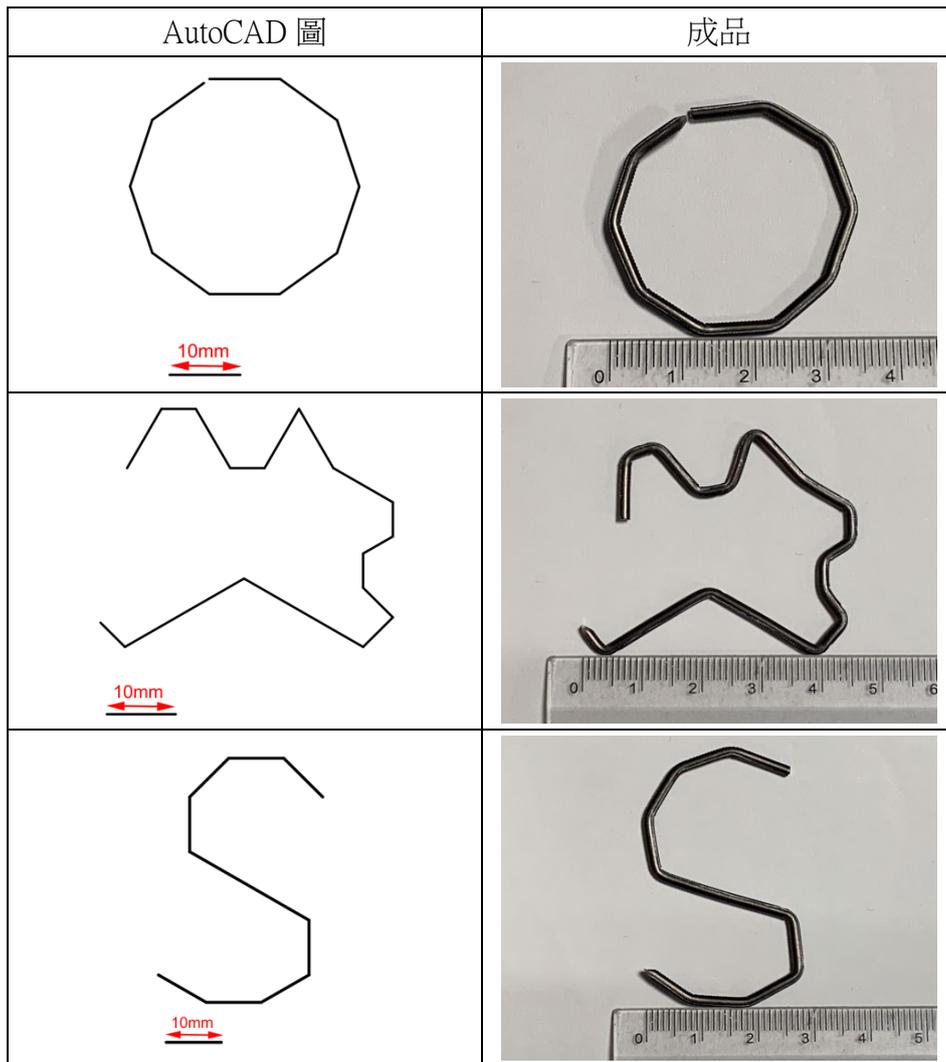
伍、研究結果

由上述的各項機構及控制電路驅動馬達等組裝完成後如圖(40)所示。再經由 CAD 進行產品設計繪圖、NC 碼轉檔等步驟進行機台的各項測試及參數調整。



圖(40)機台完成圖

圖形化物聯網小型折線機製作完成後，我們進行一系列折線產品的設計及生產，首先驗證平面圖形的金屬線產品，線材使用一般手工藝品所使用的鋁線，圖形之 CAD 設計圖和產品之比較如下圖(41)所示。



圖(41)折線產品 CAD 設計及成品比較

由上述之成品實作結果可知，本專題撰寫之軟體可以計算 CAD 圖形中的座標與折彎角度，並且正確的自動產生控制之 NC 碼機台也可根據 NC 碼正確的折出我們所設計出之圖形，實現圖形化產品設計及生產製造的功能，折線產品也相當多元化，當需求者有任何想折之圖形，由 CAD 軟體繪出後，即可折出，本研究機台之操作控制由 3D 列印機相似，操作相當方便，僅需一些教育訓練即可進行折線產品的設計及生產。

陸、討論

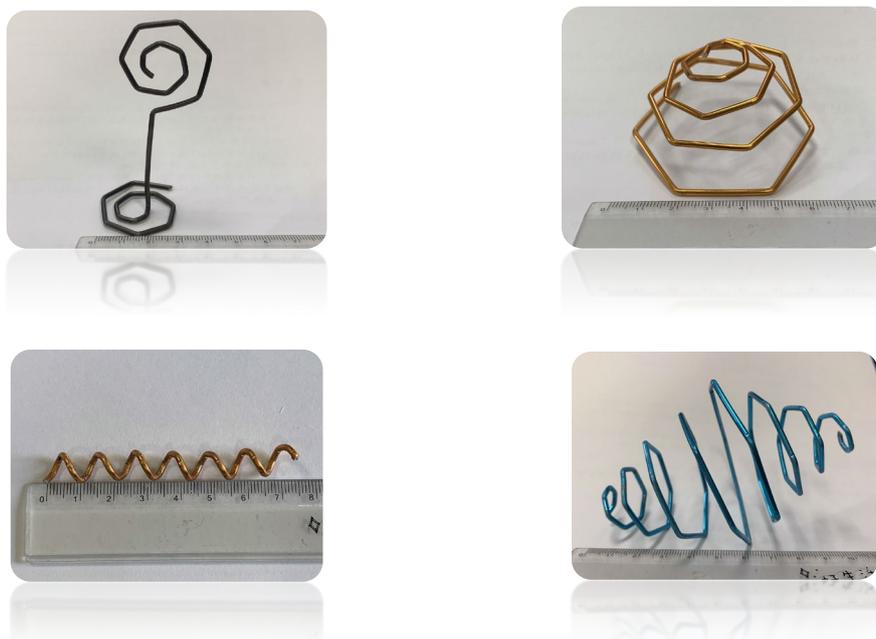
一、各種折彎機結構及功能比較

市面上常用的折彎機和本研究所開發的圖形化物聯網小型折線機的比較，如下表(4)所示：

表(4)：折彎機比較表					
名稱	座標系統	折彎頭	控制系統	圖形化	成本
本研究開發之圖形化物聯網小型折線機	軟體自行產生	單折	多元化	一般使用軟體	低
多折彎頭折彎機	人為計算	多折	專用機	專用軟體	高
單折彎頭折彎機	人為計算	單折	專用機	專用軟體	高

二、3D 折線產品製作

本研究除了平面的折彎功能外，在機構方面多了一個折彎頭轉軸功能，可以讓折彎頭旋轉，因此可折出 3D 的產品如彈簧等形狀。目前所折出的產品如下圖(41)所示：



圖(41)折線機三維產品

柒、結論

經過幾個月不斷討論，設計，零件製作，終於完成一部完整機台並且經過不斷的測試以獲取最佳參數進而可達到當初所設定的目標。以下幾點是本專題製作所得到的結論:

- 1.本研究開發之圖形化物聯網小型折線機具有圖形化之功能，操作簡便，不需複雜的操作步驟即使無經驗也可自行設計自己想要折的圖形進行成品加工。
- 2.機台開發成本低
- 3.工業類專用有圖形化功能，但為專用軟體，本機台所使用為一般 CAD 教育版，不用成本。
- 4.可提供藝術工作者進行藝術創作，不需教育訓練。
- 5.控制碼為自行開發軟體產生，不需經人為計算。
- 6.可折出三維造型。
- 7.具物聯網功能方便操作。

捌、參考文獻

- 1.永騰彈簧機械。MM-12-430R 轉線機無凸輪 12 軸電腦多功能彈簧機。檢自：
<http://www.vinstoncnc.com/430rzhuanxianjiwutulun12zhoudiannaoduogongnengtanhuangji.html>
- 2.展晟。全自動電腦剝線折彎機。檢自：<http://www.chn-zhansheng.com/dianyuanxian/20190628469.html>
- 3.ProgrammerSought,Find 2 vector clockwise (minimum angle) rotation angle Python ,
<https://www.programmersought.com/article/90377149699/>.
- 4.Marlin,What is Marlin? , <https://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html>.
- 5.林英明、徐文法、林彥伶 (民 108)。機械製造 I 。全華圖書股份有限公司。
6. 葉倫祝 (民 108)。機件原理 I 。全華圖書股份有限公司。
7. 許中原 (民 108)。電腦輔助繪圖實習 AutoCAD 2018 教學講義(附範例光碟) 。全華圖書股份有限公司

【評語】 052308

1. 本作品具有應用性和創客性質，以 3D 列印機的 Arduino+RAMPS1.4 控制器為基礎，利用 Python 程式語言開發出將圖型座標轉換為 NC 碼，設計及整合加工折線機構、進線機構、轉軸機構、與螺桿機構等，開發出小型折線機。從設計構想到完成充滿巧思，作品完成度高，研究報告說明清楚，折線成果也符合設計者原先的期望，有商品化的可能，是個很好的作品，值得鼓勵。
2. 不論是科研成果或是商品開發，都應有量化數據佐證較好，建議建立評估基準與分析討論，來比較目標圖形與實作成果之間的差異。此比較成果後續也可作為進步改善項目的基礎。
3. 不同材料和不同尺寸之線材的塑性變形特性不同，因此回彈角度大小具有差異。建議思考如何建立出多種線材和多種尺寸線材的操作機制和控制方法，如理論解析各種材料特性、建立實作參數表、或規劃正式彎折前的特性校正程序等。
4. 文中對於名詞的使用要統一，如摺線機、折彎機、彎線機、轉線機等，若為不同機種應要加以明確解釋。
5. 整體而言，作品設計具有實用性，團隊在簡報內容與時間掌握相當好。

作品簡報

組別:高級中等學校組

科別:工程學科(一)

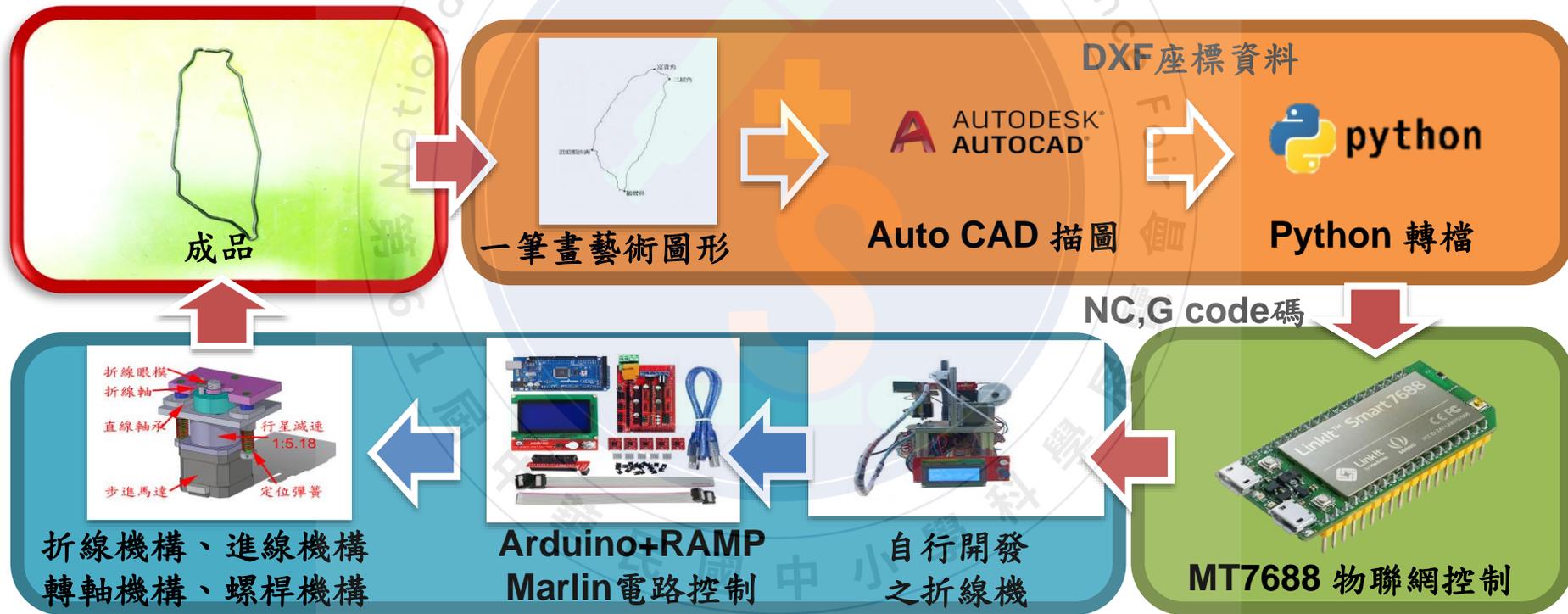
作品名稱:

圖形化物聯網小型折線機之研究

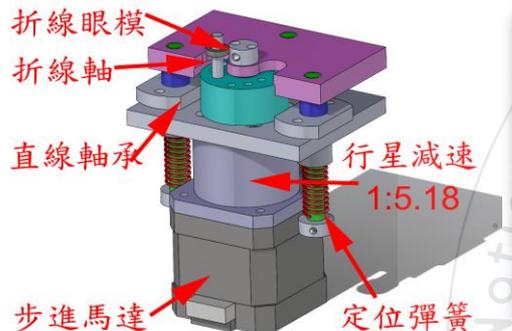


研究動機與目的

在機械製造的課堂上，老師提供現有工業界在折彎機的操作影片，影片中折彎機加工方式及其功能引起我們是否能應用在一些工藝品的設計及加工方面的聯想，目標設定在設計一台微型化、數值化、成本低、體積小，利用繪圖軟體繪出造型後再折線機折出。

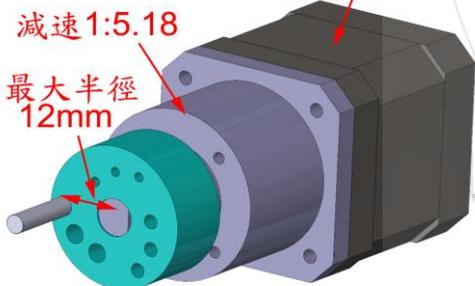


設計與加工過程-折線機構



Start 折線機構3D設計

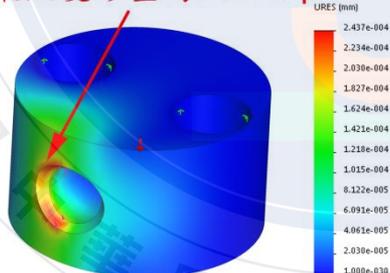
$T=0.25\text{N}\cdot\text{m}$



馬達設計



最大變形量為 $0.2437\mu\text{m}$



材料AISI1035作用力107.92N

Simulation計算

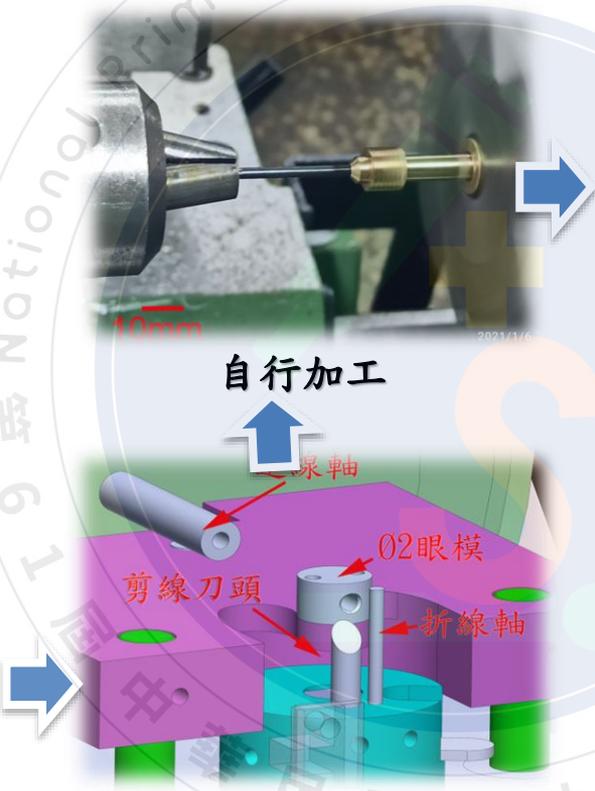
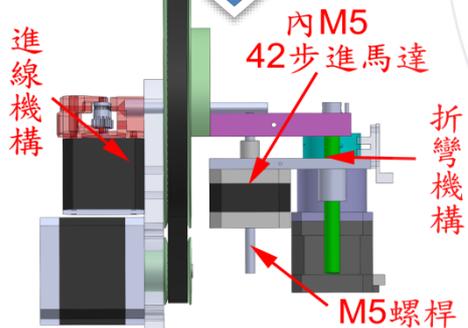
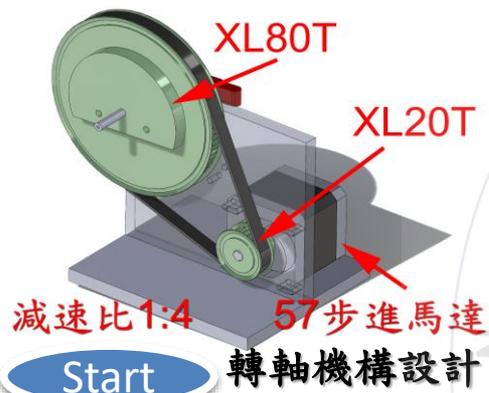


折線機構成品

Finish

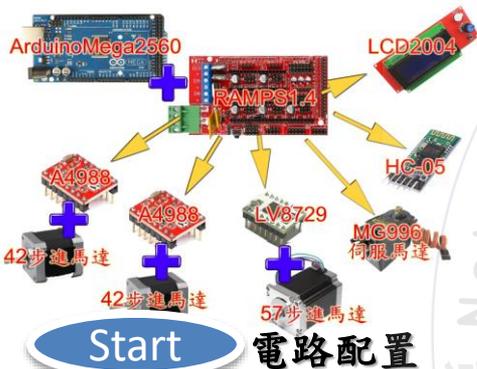
設計與加工過程

轉軸機構、螺桿機構 剪線刀頭機構



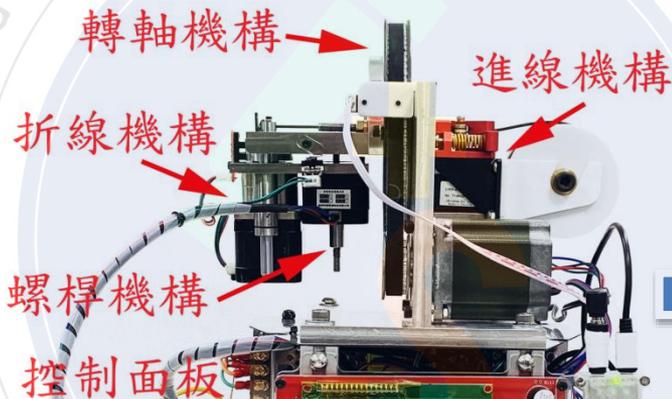
設計與加工過程

電路配置與 Arduino Marlin設定

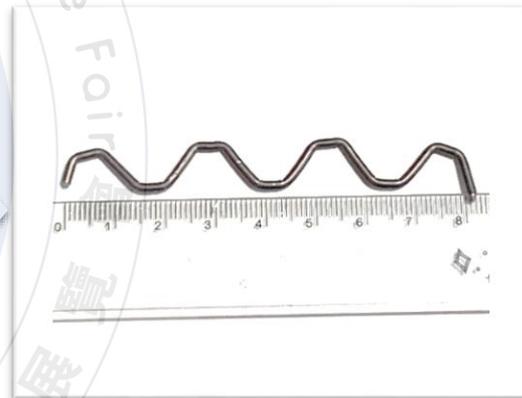


```
Marlin Configuration v1.8.12
Configuration
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFP
#define TEMP_SENSOR 0 999
#define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 200
#define USE_XMIN_PLUG
#define USE_YMIN_PLUG
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 46.1, 284, 10, 140 }
#define DISABLE_Z true
#define X_BED_SIZE 127
#define Y_BED_SIZE 360
#define EEPROM_SETTINGS
#define SDSUPPORT
#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER
```

Arduino Marlin設定



組裝完成



Finish

實驗結果



材料：Ø2 mm AL

不同折線頭折線實驗



量表最小刻度0.01mm

進線重現性實驗



不同眼模折線實驗



進線速度實驗

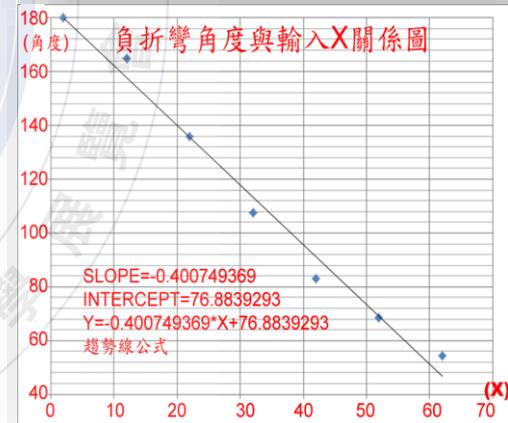
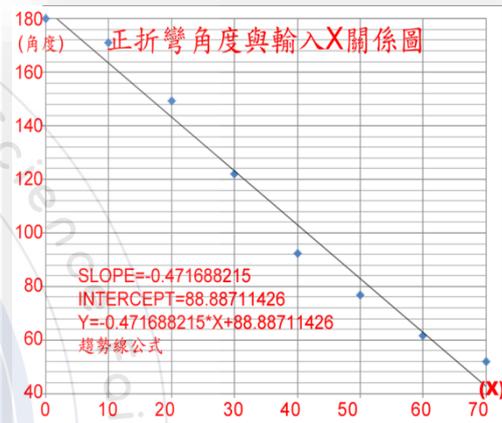
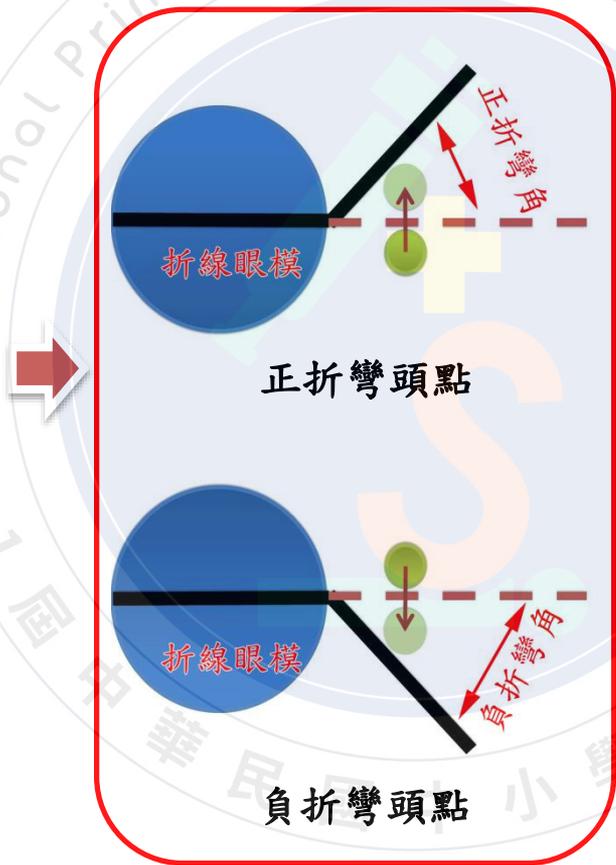
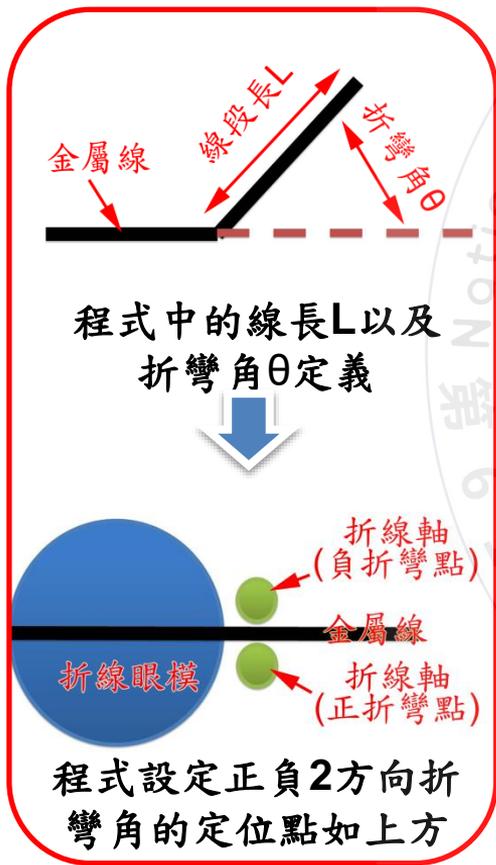


異質折彎實驗



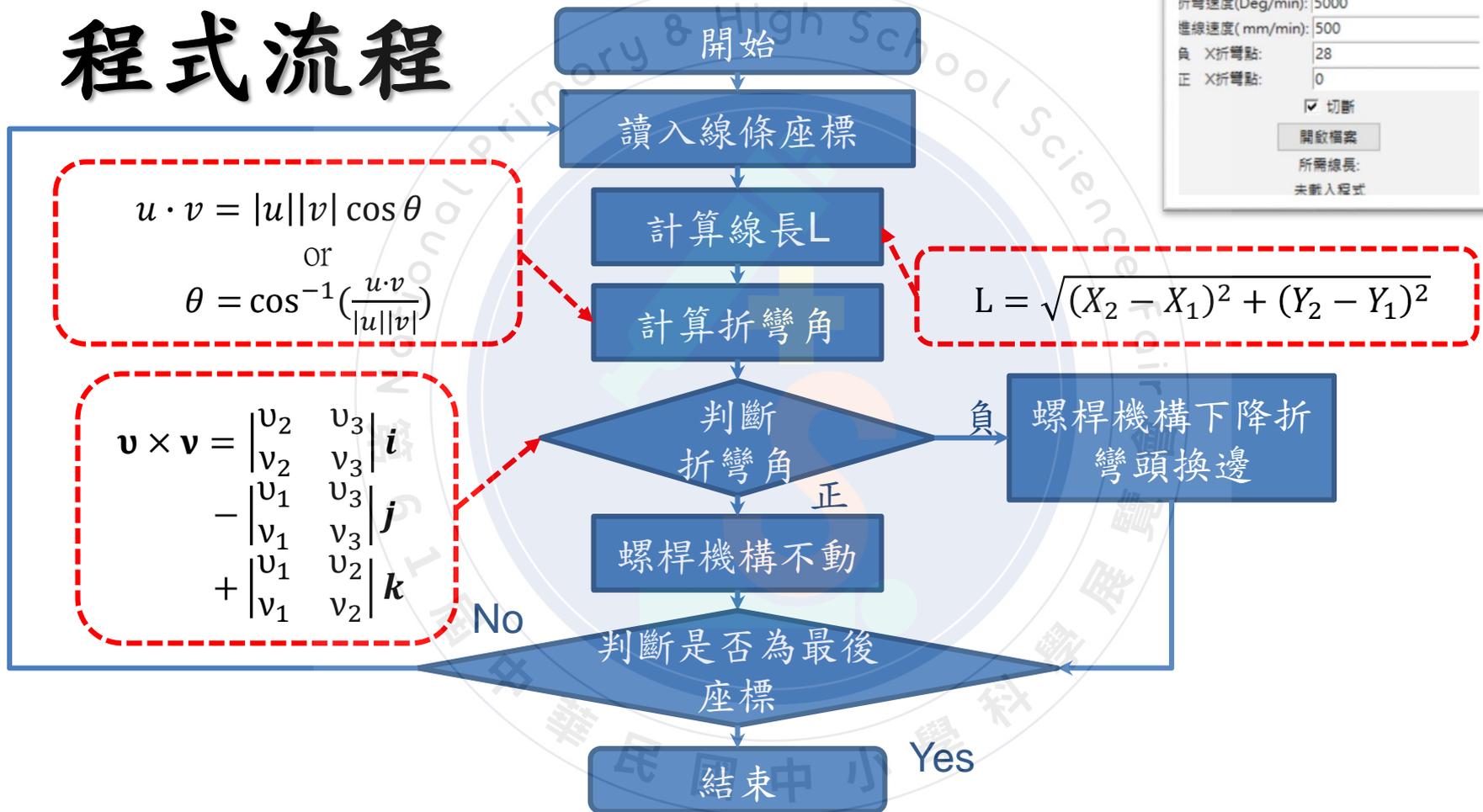
剪線點實驗

Python程式設計



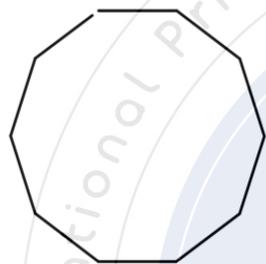
正負折彎角與數值X對應關係與公式

程式流程

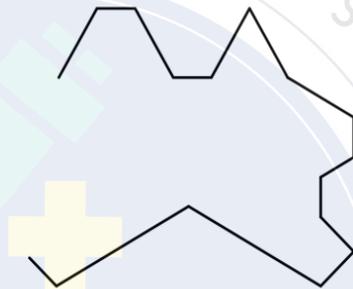
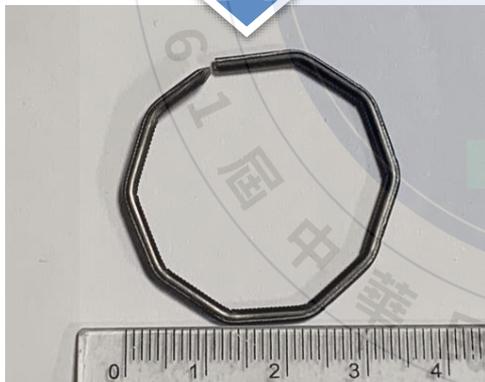


程式轉換測試

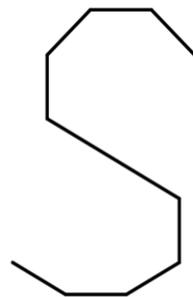
AutoCAD
DXF
向量圖檔



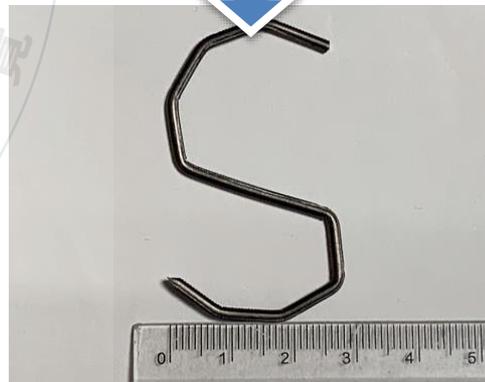
10mm



10mm



10mm



經程式轉換
加工程品

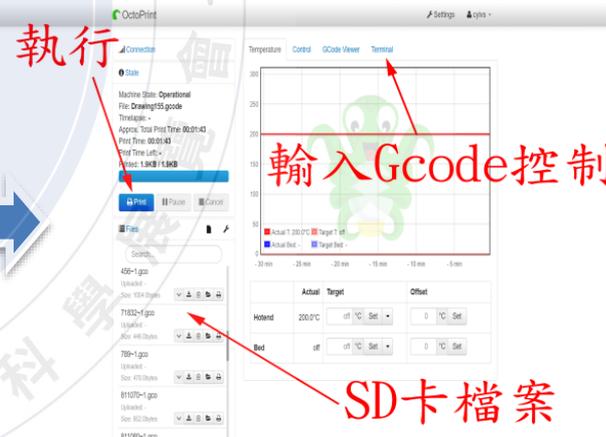
物聯網控制-MT7688

名稱	傳輸方式	體積	成本	傳輸速度
HC-05	藍芽	最小	最低	低
Raspberry Pi 4B	WiFi	中	高	高
MT7688	WiFi	小	低	高

我們的MT7688使用MT15.05.01的韌體，裡面是OpenWrt Linux，可以設定許多不同WiFi也可以自由安裝許多套件，因此我們安裝上Octoprint，就可以控制我們的折線機

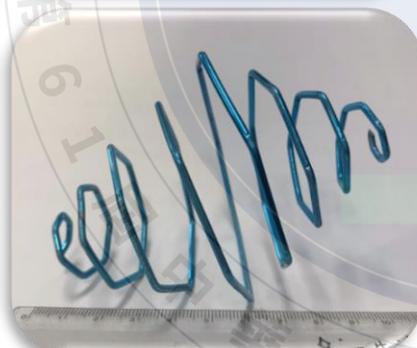
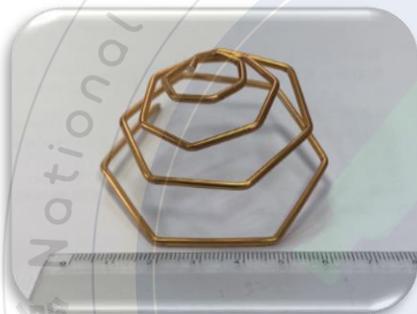
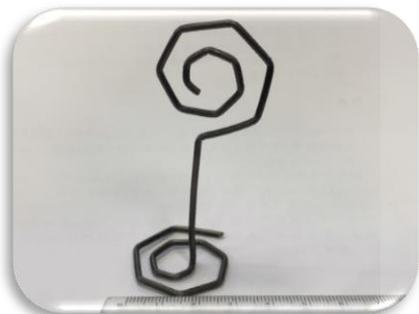


MT7688用USB 控制Arduino



Octoprint的功能

各種折彎成品及各種射出機構特性之比較



	本研究折線機	多折彎頭 折彎機	單折彎頭 折彎機
座標系統	軟體自行產生	人為計算	人為計算
折彎頭	單折	多折	單折
控制系統	多元化	專用機	專用機
圖形化	一般使用軟體	專用軟體	專用軟體
成本	低	高	高

結論

1. 本研究開發之圖形化物聯網小型折線機有圖形化之功能，操作簡便，有物聯網，不需複雜的操作步驟即使無經驗也可自行設計自己想要折的圖形進行成品加工。
2. 機台開發成本低。
3. 工業類專用有圖形化功能，為專用軟體，本機台所使用為一般CAD。
4. 可提供藝術工作者進行藝術創作，低教育訓練。
5. 控制碼為自行開發軟體產生，不需經人為計算。
6. 可折出三維造型。

文獻探討

1. 永騰彈簧機械。MM-12-430R 轉線機無凸輪12軸電腦多功能彈簧機。檢自：
<http://www.vinstoncnc.com/430rzhuaxianjiwutulun12zhoudiannaoduogongnengtanhuangji.html>
2. 展晟。全自動電腦剝線折彎機。檢自：<http://www.chn-zhansheng.com/dianyuanxian/20190628469.html>
3. ProgrammerSought, Find 2 vector clockwise (minimum angle) rotation angle Python ,
<https://www.programmersought.com/article/90377149699/>.
4. Marlin, What is Marlin? , <https://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html>.
5. 林英明、徐文法、林彥伶 (民108)。機械製造 I。全華圖書股份有限公司。
6. 葉倫祝 (民108)。機件原理 I。全華圖書股份有限公司。
7. 許中原 (民108)。電腦輔助繪圖實習AutoCAD 2018教學講義(附範例光碟)。全華圖書股份有限公司