

臺北市立大安高級工業職業學校專題製作競賽  
「專題組」作品說明書



群別：電機與電子群

作品名稱：自動販書機

關鍵詞：現金支付、滾筒輸送帶、人機介面

## 目錄

壹、摘要.....	1
貳、研究動機.....	1
參、主題與課程之相關性或教學單元之說明.....	2
一、硬體製作.....	2
二、電路雕刻.....	2
三、程式撰寫.....	2
肆、研究方法.....	3
一、研究流程.....	3
二、使用材料及工具.....	4
(一)、元件介紹.....	4
(二)、軟體介紹.....	6
伍、研究結果.....	8
一、操作步驟.....	8
二、付款.....	9
(一)、紙鈔機.....	9
(二)、投幣機.....	9
三、書櫃移動.....	10
(一)、橫向推動開關.....	10
(二)、直向推動開關.....	10
四、成果展示.....	11
(一)、人機介面.....	11
(二)、書櫃的移動.....	12
(三)、取書動作.....	14
陸、討論.....	15
一、馬達選用.....	15
二、直向移動.....	15
三、軸心問題.....	15
柒、結論.....	15
捌、參考資料及其他.....	16
一、書籍資料.....	16
二、電子網路資料.....	16

## 表目錄

表 1 時間分配表 .....	3
表 2 直流減速馬達規格 .....	4
表 3 L293D 規格 .....	4
表 4 SG90 伺服馬達規格 .....	4
表 5 HC-SR04 規格 .....	5
表 6 JY-926 投幣機規格 .....	5
表 7 人機介面規格 .....	5

## 圖目錄

圖 1 傳統書局 .....	1
圖 2 自動販書機 .....	1
圖 3 繪製電路圖 .....	2
圖 4 實際電路圖 .....	2
圖 5 Arduino 程式 .....	2
圖 6 研究步驟 .....	3
圖 7 直流減速馬達 .....	4
圖 8 L293D .....	4
圖 9 SG90 伺服馬達 .....	4
圖 10 HC-SR04 .....	5
圖 11 JY-926 投幣機 .....	5
圖 12 人機介面 .....	5
圖 14 blender 動畫 .....	6
圖 13 blender Logo .....	6
圖 15 Arduino Logo .....	6
圖 16 Altium Designer Logo .....	6
圖 17 FreeCad Logo .....	7
圖 18 RDWorks Logo .....	7
圖 19 TinkerCAD Logo .....	7
圖 20 Usart 程式介面 .....	8
圖 21 操作步驟 .....	8
圖 22 捲鈔機外觀 .....	9
圖 23 光敏電阻與捲鈔機 .....	9
圖 24 投幣機外觀 .....	9
圖 25 齒輪尺調結合馬達 .....	10
圖 26 馬達推動書櫃 .....	10
圖 27 EMT 滾筒 .....	10
圖 28 大齒輪與小齒輪 .....	10
圖 30 購買介面 .....	11
圖 29 購買按鈕 .....	11
圖 31 付款畫面 .....	11
圖 32 向右橫推書櫃 .....	12
圖 33 橫推馬達復歸 .....	12
圖 34 滾筒直向帶動向前推動 .....	13
圖 35 前推停止與橫桿左推 .....	13
圖 36 滾筒直向帶動向後推推 .....	13

圖 38	SG90 將門關閉.....	14
圖 37	SG90 將門開啟.....	14
圖 39	模擬電路圖.....	14

# 【自動販書機】

## 壹、摘要

電子書的出現、網路書店的普及以及疫情的影響下，越來越多的書店關門大吉，在路上看到的書店數，一年比一年的少，在這繁忙的世代中已經很少會有人看到書店後會停下腳步進入書店，所以我們希望能做出一台機器來賣暢銷書，讓各位在經過時能夠慢下步調看看近期的暢銷書以及新書，機器的使用不會過於複雜，避免消費者對於操作複雜而卻步。

在成品中，主要分成兩個部分外櫃和內櫃，我們把紙鈔機、投幣機以及人機固定在外櫃上，並將書擺放在內櫃中當消費者使用人機確定要購買哪本書之後，螢幕上面會要求付款，接著消費者可以利用紙鈔機以及投幣機進行付款，付款完成後藉由連接著齒輪的減速馬達帶動我們設計的滾筒以及橫推機構，內櫃便會開始移動將消費者所選取的書本送至門口，當書本送達至門口後書櫃會停止移動，伺服馬達會將門打開讓消費者將書本取出，再藉由超音波感測器偵測書本取出，並將門關閉。

## 貳、研究動機

在台灣實體書店逐漸式微，隨著科技的進步，電子書的普及和網路書店的發展令越來越多的實體書店逐漸沒落（如圖 1），在路上已經漸漸地看不到書店的影子了，或許在未來的哪天就再也看不見實體的書店但是實體書本還是仍然有它的價值，所以我們想做出一台機器，放在路上販售書，讓經過的人能夠從這人來人往的氛圍中稍微停下腳步看看近期的暢銷書或是新書。我想書店代表的是一個時代的足跡，或許未來實體書店不復存在，但是我們想能夠以我們所製作出的販書機來取代這一部分（如圖 2），甚至也可以配合文化部做一些特別的活動來推廣閱讀的發展，而使現在匆忙的世代中稍稍的慢下生活的步調享受閱讀的魅力。



圖 1 傳統書局



圖 2 自動販書機

## 參、主題與課程之相關性或教學單元之說明

### 一、硬體製作

我們使用了 Tinkercad 繪製出我們所想的機構，再利用高二下實習課學到的 3D 列印機列印出來我們所需的機構；而在內櫃的部分，因為 3D 列印出來的機械強度不夠高，所以我們用了高二下學的 RDWorks 繪出我們的機構所需雷切的部分，再利用科內的雷射切割機切割木板，最後再將兩者組合出我們的機構。

### 二、電路雕刻

在高一的基本電學實習課，我們學習如何使用麵包板拉接線。但是我們這次的專題中線路非常的多，如果使用麵包板接線，在線很多的情況下極有可能會接錯，並且麵包板很佔空間，所以我們使用了 Altium Designer 繪製電路板(如圖 3、圖 4)。製作出來的電路板減少了所佔的空間、減少了接線錯誤的情況，也使的線路更加整潔。

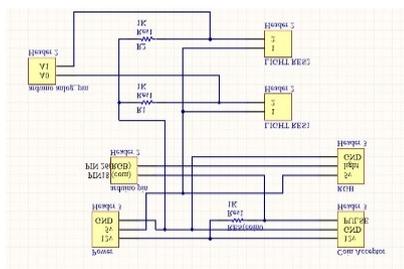


圖 3 繪製電路圖

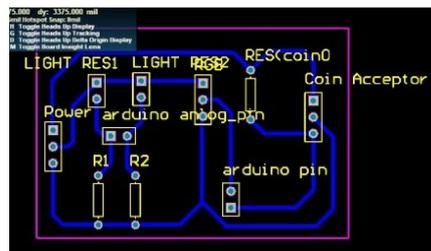


圖 4 實際電路圖

### 三、程式撰寫

我們使用高二課堂上學到的 Arduino IDE 撰寫硬體控制程式(如圖 5)，利用紙鈔機以及投幣機產生的脈波信號，偵測支付的金額，並藉由程式在人機上顯示已投入的金額；而馬達的運轉是透過程式控制，進行書櫃的移動及門的開關。

```
1 #include <Arduino.h>
2
3 #include <Wire.h>
4 #include <Servo.h>
5 #include <Stepper.h>
6 #include <EEPROM.h>
7
8 #include <Stepper.h>
9 #include <Stepper.h>
10 #include <Stepper.h>
11
12
13 #define STEP_PIN 4
14 #define DIR_PIN 5
15 #define ENA_PIN 6 // 馬達的使能
16
17 #include <Stepper.h>
18
19 #include <Stepper.h>
20 #include <Stepper.h>
21 #include <Stepper.h>
22 #include <Stepper.h>
23 #include <Stepper.h>
24 #include <Stepper.h>
25 #include <Stepper.h>
26 #include <Stepper.h>
27 #include <Stepper.h>
28 #include <Stepper.h>
29 #include <Stepper.h>
30 #include <Stepper.h>
```

圖 5 Arduino 程式

## 肆、研究方法

### 一、研究流程

在六月底決定專題題目後，便開始構想整體的架構以及功能，便開始著手進行，先用好了人機的使用介面，接著全力進行機構的部分，同時也開始寫程式，到了 11 月大致的結構已完成，而到了 12 月便設計了電路也開始把程式和機構結合起來，最後到了 1 月，做出了成品並測試功能。(專題的時間分配及研究步驟分別如下表 1 及圖 6)

表 1 時間分配表

	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
1.資料蒐集								
2.元件採購								
3.外殼設計								
4.程式撰寫								
5.電路製作								
6.成品測試								

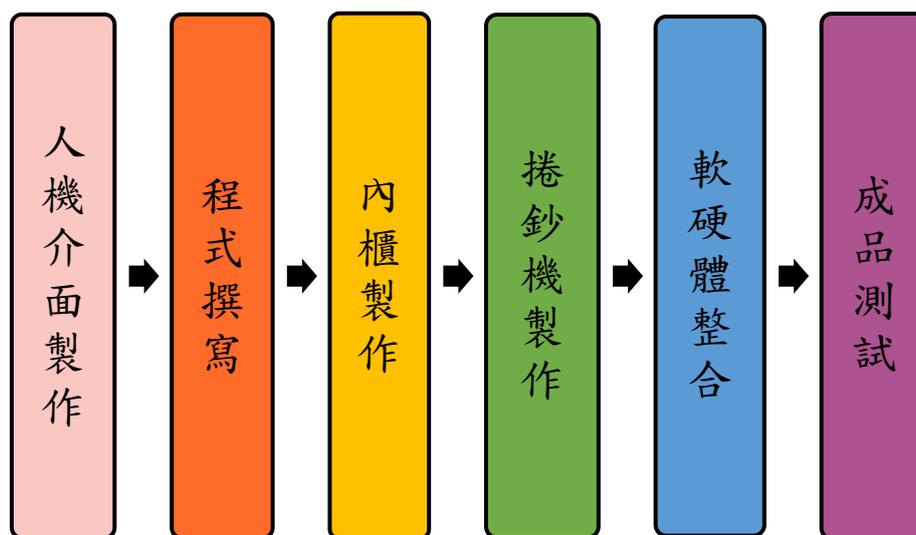


圖 6 研究步驟

## 二、使用材料及工具

### (一)、元件介紹

#### 1、直流減速馬達& L293D 馬達驅動元件

直流減速馬達(如圖 7)是將齒輪箱安裝在直流馬達，可有效降低馬達輸出轉速並增大輸出轉矩，馬達內部連接齒輪箱而獲得較大的扭力，並藉由馬達與齒輪的連接，帶動滾筒及橫推機構，進行書櫃的移動。(表 2 為直流減速馬達規格)



圖 7 直流減速馬達

表 2 直流減速馬達規格

工作電壓	5~12V
額定轉速	27~60rpm
最大轉矩	2.7 kg-cm

L293D 馬達驅動元件(如圖 8)可提供雙向直流馬達驅動電流，內部有兩組驅動組，負責讓馬達進行正反轉的控制。若沒有這顆 IC 馬達無法進行橫向正反轉，為了達到我們的動作要求，因此選擇使用這個 IC。(表 3 為 L293D 規格)



圖 8 L293D

表 3 L293D 規格

工作電壓	4.5V~36V
輸出電流	600mA
瞬間峰值輸出電流	1.2A

#### 2、SG90 伺服馬達

SG90 伺服馬達(如圖 9)透過訊號線傳送 PWM 脈波來控制軸柄的停止位置，負責帶動門的閉合。(表 4 為 SG90 伺服馬達規格)



圖 9 SG90 伺服馬達

表 4 SG90 伺服馬達規格

工作電壓	4.8V~6V
旋轉度數	0.12 秒/60 度
最大轉矩	1.4 kg-cm

#### 3、HC-SR04 超音波感測器

超音波模組 HC-SR04(如圖 10)，用來測量書本及櫃頂的距離來判斷書本是否被取出。(表 5 為 HC-SR04 規格)



圖 10 HC-SR04

表 5 HC-SR04 規格

工作電壓	5V
精度	3mm
量測範圍	2~450cm

#### 4、JY-926 投幣機

JY-926 投幣機(如圖 11)，適用於各國硬幣和各種代幣。智慧 CPU 程式控制，計分準確，識幣精確度高。不需經由電腦，自動設定程式。智慧防電擊及電磁干擾程式，自動檢測故障。可同時接收多種幣，可自行設定不同脈波比例，並將脈波傳輸到 arduino MEGA2560，進行脈波判斷，而去判斷幣值。(表 6 為 JY-926 投幣機規格)



圖 11 JY-926 投幣機

表 6 JY-926 投幣機規格

工作電壓	12V
工作電流	65mA
輸出信號	脈波

#### 5、人機介面

人機介面(如圖 12)是一種提供操作者與自動化設備溝通的數位產品。人機介面提供多樣化的通訊埠方便於與各式各樣的設備作通訊，觸碰式面板可讓操作者直覺的進行參數設定，液晶螢幕則可呈現給操作者機台設備的各項監控數據，是我們主要的輸入元件及顯示面板，操作者可藉由人機介面選取購買之書籍，並藉由人機介面顯示已投入之金額。(表 7 為人機介面規格)



圖 12 人機介面

表 7 人機介面規格

工作電壓	4.65-6.5V
工作電流	85mA
尺寸	2.4 寸

## (二)、軟體介紹

### 1、blender

blender(如圖 13)是一款 3D 建模設計軟體。我們使用 blender 繪製動畫，模擬我們機構的動作，可以清楚地展現如何透過馬達、齒輪、滾筒以及微動開關進行書櫃的前後運輸以及左右橫推的動作。(如圖 14 所示)。



圖 13 blender Logo

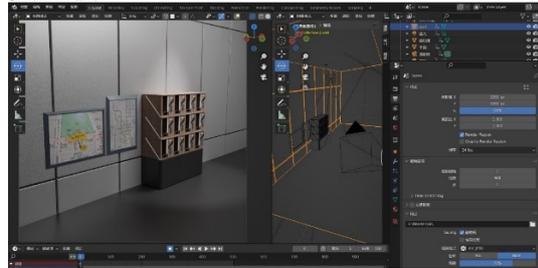


圖 14 blender 動畫

### 2、Arduino IDE

Arduino IDE(如圖 15)是一個硬體程式語言編寫軟體。由於它在控制單晶片的方便性，可以輕鬆連結硬體套件，作為人機、投幣機訊號的接收終端，以及馬達的控制，所以我們選擇 Arduino IDE 作為硬體程式編寫的核心。



圖 15 Arduino Logo

### 3、Altium Designer

Altium Designer(如圖 16)是一款電子設計自動化軟體，可以輕鬆進行繁雜的電路板設計，我們用使用它做電路板，簡化了線路。



圖 16 Altium Designer Logo

#### 4、FreeCAD

FreeCAD(如圖 17)是一款開放原始碼的免費 3D CAD 建模器，支援有限元素法以及建築資訊模型軟體，也可以配合 Python 去開發更多的功能。

FreeCAD 在設計複雜機械物件上的能力相較 blender 好，所以我們在設計齒輪及齒條時是使用 FreeCAD 製作出來後再將模型丟至 cura 進行 3D 列印。



圖 17 FreeCaD Logo

#### 5、RDWorks

RDWorks(如圖 18)是一款繪畫雷射切割檔案的軟體，特色是利用分色可同時進行切割、畫線以及雕刻的功能。那也因為在使用上不難操作，雷射機可以切木頭以及壓克力板，所以我們在切書櫃內部的零件上方便又快速



圖 18 RDWorks Logo

#### 6、TinkerCAD

TinkerCAD(如圖 19)是一套 3D 雲端建模工具，。TinkerCAD 是我們會繪製 3D 列印的齒條及齒輪所使用到的，網站內部有著許多的內建模型，也有操作教學來帶領初學者入門，網站上也可以參考許多其他人製作的作品集。



圖 19 TinkerCAD Logo

## 7、Usart

Usart 是一款編輯人機界面的軟體(如圖 20)，相較於其他軟體較容易上手的使用介面及方便更改使用的需求，可達到高度客製化，所以我們使用 Usart 來編輯人機界面的畫面及功能。

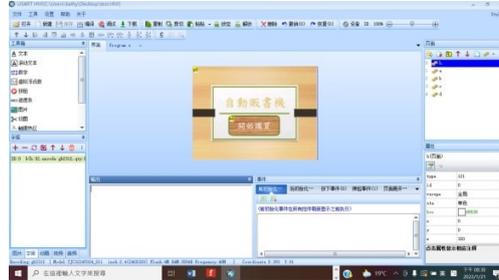


圖 20 Usart 程式介面

## 伍、研究結果

### 一、操作步驟

當消費者按下人機上的開始購買後，人機會進入購買的商品介面，接著選擇欲購買的商品後，人機上會顯示該商品的金額以及目前已投入的金額，付款的部分則是使用鈔票或是硬幣，投入的金額會馬上反應至人機上；當付款完成後系統則會開始動作，將消費者購買的書本運送出來，當選擇的書本被送達至門口後門將會打開，即可取出書籍，當書籍取出後，3 秒門即關上。(操作步驟如圖 21 所示)

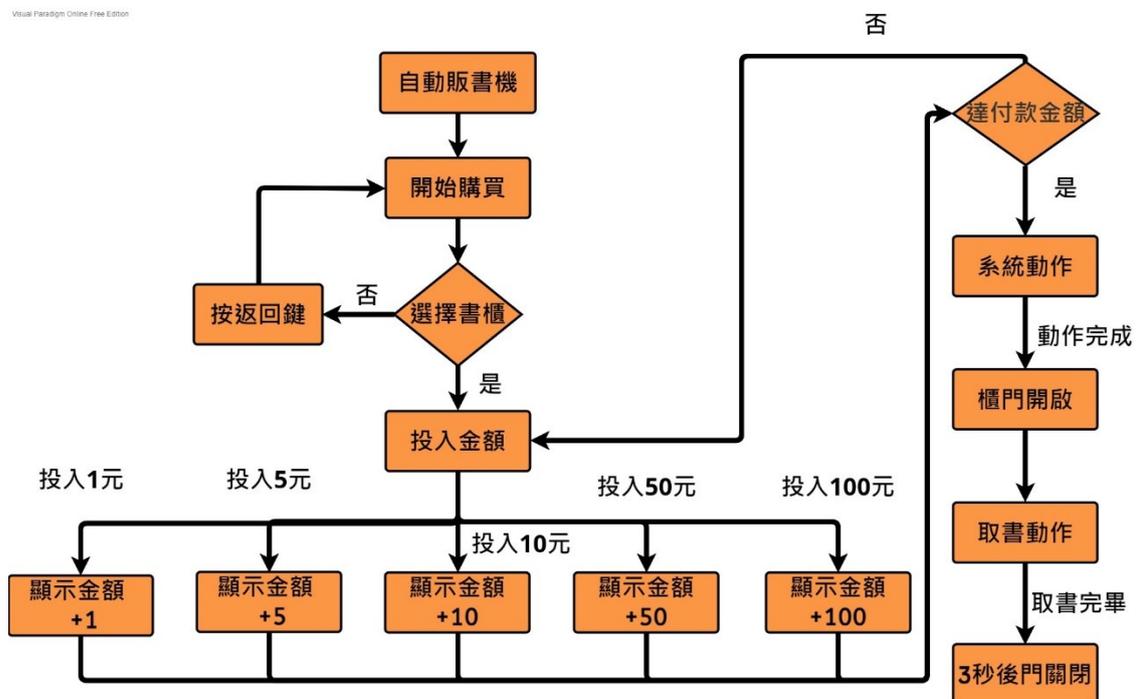


圖 21 操作步驟

## 二、付款

付款的部分，我們的販書機能夠以鈔票及硬幣進行現金付款。我們有裝設一部紙鈔機以及一台投幣機於機器上。

### (一)、紙鈔機

我們使用 3D 列印作為板子以及兩顆 N20 減速馬達，以及筒狀的木棍來捲動紙鈔(如圖 22)，透過光敏電阻判斷是否有紙鈔投入(如圖 23)，進行捲鈔的動作。



圖 22 捲鈔機外觀



圖 23 光敏電阻與捲鈔機

### (二)、投幣機

我們使用了市面上販售的投幣機(如圖 24)，透過設定投幣機調整不同硬幣投入所輸出的脈波，再藉由程式偵測脈波，判別其所投入的幣值。



圖 24 投幣機外觀

### 三、書櫃移動

#### (一)、橫向推動機關

透過 3D 列印製作的齒條及齒條，與減速馬達接合後(如圖 25)，即可利用馬達提供的轉矩提供齒輪及齒條轉動讓書櫃進行移動(如圖 26)。

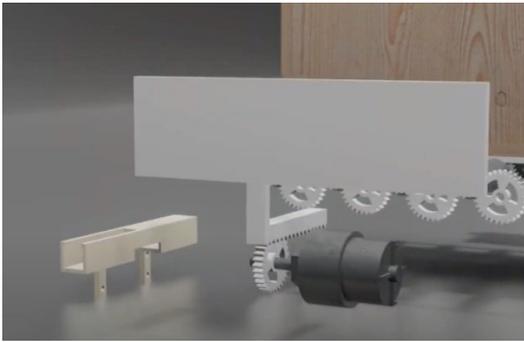


圖 25 齒輪尺調結合馬達

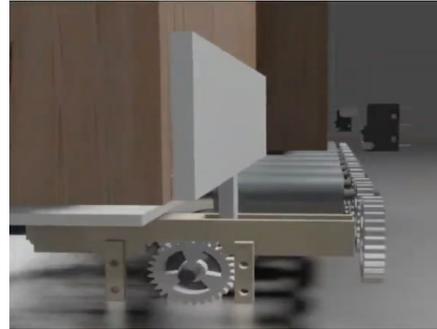


圖 26 馬達推動書櫃

#### (二)、直向推動機關

為了讓書櫃能夠前後移動，我們使用 EMT 製作滾筒(如圖 27)，讓減速馬達去帶動大齒輪及小齒輪之後(如圖 28)再去帶動滾筒運轉。另外也有使用到軸承，來減少齒輪跟木板的摩擦所造成的損失。

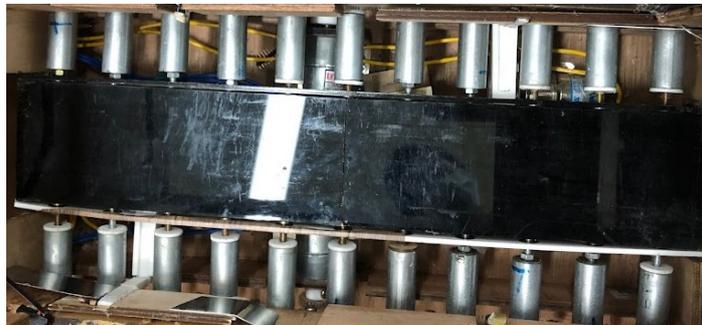


圖 27 EMT 滾筒



圖 28 大齒輪與小齒輪

#### 四、成果展示

##### (一)、人機介面

按下人機上的購買按鈕(如圖 29)後進入購買介面(如圖 30)，共有 1~9 號書櫃，選擇欲購買之書籍後即進入付款畫面(如圖 31)，在付款頁面，消費者可以知道應該付款的金額以及已經付的金額，那如果發現選錯的話，也可以點選右下角的小房子按鍵回到首頁重新操作，付款完成後系統即開始動作。



圖 29 購買按鈕



圖 30 購買介面



圖 31 付款畫面

## (二)、書櫃的移動

當付款完成後，機器會開始運轉將消費者購買的書運送出來。首先左上角的橫推馬達即開始向右推動書櫃(如圖 32)，進行右推的動作；當書櫃碰到極限開關後，橫桿復歸，碰到極限開關後(如圖 33)，換成左下的直推馬達動作，將書櫃向前輸送(如圖 34)；當書櫃碰到極限開關後，右下的橫推馬達開始向左推動書櫃，進行左推的動作(如圖 35)，當書櫃碰到極限開關後，右上馬達開始運轉，將書櫃向後輸送(如圖 36)，當書櫃碰到極限開關後即完成一輪動作，如果說這時在門口的書並不是消費者所購買的書，機器會重複循環動作直至消費者購買的書被送達至門口。



圖 32 向右橫推書櫃



圖 33 橫推馬達復歸



圖 34 滾筒直向帶動向前推動



圖 35 前推停止與橫桿左推



圖 36 滾筒直向帶動向後推推

### (三)、取書動作

當欲購買之書已輸送達至門口時，SG90 伺服馬達動作將門打開(如圖 37)，消費者即可進行取書的動作，取書完成後，超音波感測器感測到書櫃內部的書已被取出之後，3 秒後伺服馬達會將門關閉即完成取書的動作(如圖 38)。



圖 37 SG90 將門開啟



圖 38 SG90 將門關閉

### 五、成品電路圖

利用 Fritzing 模擬實體電路圖(如圖 39)。

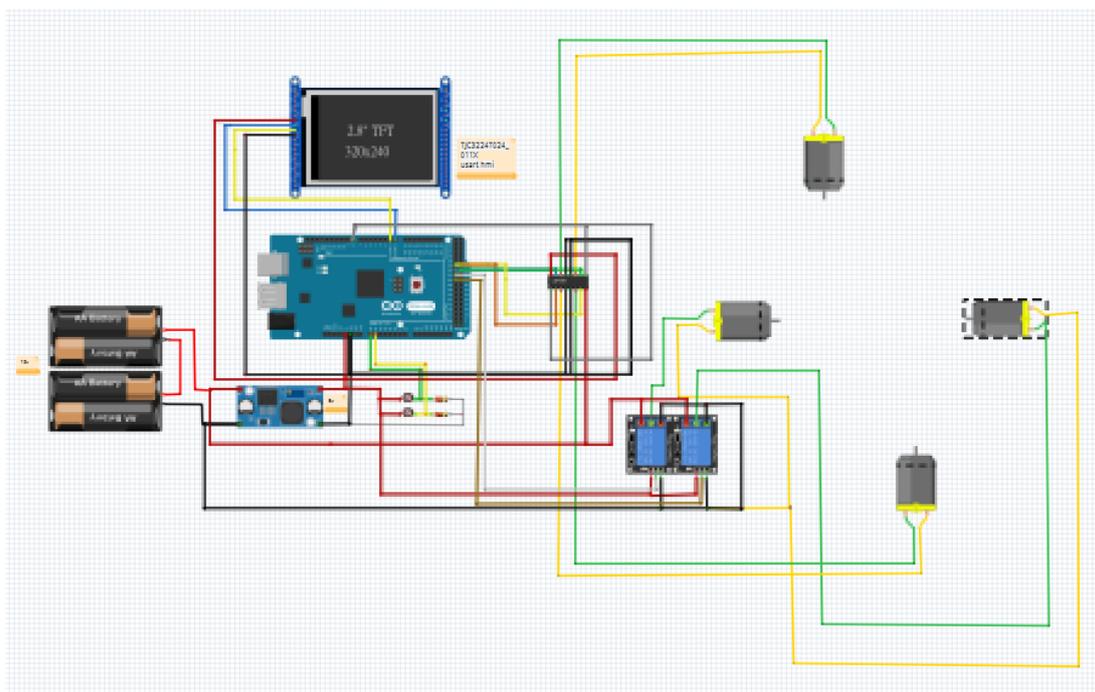


圖 39 模擬電路圖

## 陸、討論

### 一、馬達選用

一開始，我們選用的是步進馬達，但步進馬達使用的是簡易的開迴路系統，並無回授功能，且轉矩不足無法推動內部的書，造成販書機無法正常運作。所以我們最後選擇 30RPM 以及 60RPM 的減速馬達以小體積來提供大轉矩推動我們的書櫃。

### 二、直向移動

在直向移動上，最一開始在滾筒運轉上因為阻力過大造成滾筒無法順利運轉，而且有滾筒傾斜的問題，造成我們的書櫃無法順利移動，最後我們則是使用了軸承來減少摩擦力所以最後才能讓書櫃順利移動。

### 三、軸心問題

原先只使用木板作為軸心固定，但是經由實測之後軸心還是會大幅偏移，而導致直向移動時，櫃子的搖晃幅度會很大，所以我們改採 3D 列印，與滾筒內部做接合，使得軸心偏移的角度較小，進而讓書櫃直向的移動較為平穩。

### 四、捲鈔機

因為紙鈔長度的不同，所以我們嘗試利用減速馬達捲入紙鈔的時間判斷紙鈔的幣值，但我們發現，紙鈔的皺褶度會影響到捲入的時間，會將較短的百元鈔辨識成千元鈔，所以我們最後放棄做紙鈔幣值的判斷，改成只限投百鈔。

## 柒、結論

自動販書機在不斷的改良與嘗試後，採用人機作為主要控制介面，消費者可以從介面中選取他們想購買的書以及在介面上看到付款是否成功並且透過 MEGA2560 來控制整體的硬體電路，從而達到我們預期的成果。但是我們的販書機還是有進步的空間，我們目前的機器是無法找零的，對於消費者來說，準備剛好的零錢是有點不方便，另外是紙鈔機的鈔票辨識，目前不論投入什麼進入紙鈔機中，都會判斷成百元鈔。為了解決這些問題，我們期望改以悠遊卡或是其他行動支付工具來取代現金支付，這樣一來也不會有找零以及鈔票辨識的問題，另外也想建立平台網站讓消費者可以在網站上查詢近期的暢銷書榜以及附近販書機的位置；雖然我們的機構更節省空間，還有修改的地方，希望能用金屬的齒輪代替壓克力齒輪，減少耗損也增加強度。

在一份完整的專題中，需要的不僅僅是電路板雕刻、程式撰寫、結構設計等等專業技能，更多時候需要的是團隊合作的默契和溝通以及精細的分工，在彼此的磨合之下，成品才有可能誕生。而在製作途中，也碰上了大大小小的問題，此時就需要全組的同心協力，在網路上尋找是否有可行

的解決方法，或是詢問不同領域的專業人士，將資料加以整合利用，解決發生的種種問題。因此最終才能順利完成硬體以及軟體的整合，都是全組人員的心血和付出，也相信這次的專題經歷，除了增加了我們自學的能力，更是培養了我們面對困境的態度，不會逃避、凡事力求完美，在時間的高壓下，達成理想的目標。這些，都是在未來的路中必備的心理素質，同時我們也相信，這會是高職生涯中無法取代的一個美好回憶。

## 捌、參考資料及其他

### 一、書籍資料

1. 柯雲龍、潘建安(2012)。機械原理 II。台北市：台科大圖書。
2. 楊得明、陳伯爵(2018)。電工機械 I。新北市：科友圖書。
3. 黃仲宇、梁正(2016)。基本電學。台北市：台科大圖書。
4. 趙英傑(2020)。超圖解 Arduino 互動設計入門。台北市：旗標。

### 二、電子網路資料

1. Arduino 入門篇，認識 Arduino。2021 年 08 月 06 日。取自 <https://blog.jmaker.com.tw/arduino-tutorials-1/>
2. MG90S 全金屬齒舵機伺服規格。2022 年 01 月 09 日。取自 <https://www.taiwaniot.com.tw/product/mg90s-14g%E5%85%A8%E9%87%91%E5%B1%AC%E9%BD%92%E8%88%B5%E6%A9%9F-servo-%E4%BC%BA%E6%9C%8D%E6%A9%9F/>
3. JY-926 投幣機規格。2022 年 01 月 09 日。取自 <https://www.ruten.com.tw/item/show?21008285913133>
4. 人機介面規格。2022 年 01 月 09 日。取自 <http://wiki.tjc1688.com/doku.php?id=1.%E4%BA%A7%E5%93%81%E9%80%89%E5%9E%8B%E5%8F%8A%E8%A7%84%E6%A0%BC%E4%B9%A6:1.%E9%80%89%E5%9E%8B%E6%89%8B%E5%86%8C>
5. HC-SR04 超音波感測器模組。2022 年 01 月 09 日。取自 <https://www.electroschematics.com/hc-sr04-datasheet/>