

# 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(一)科

佳作

032805

智能擦窗戶機器人開發之研究

學校名稱：新北市立二重國民中學

作者：  國二 王奎榮  國一 王皓民	指導老師：  鍾兆晉  陳玟光
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：智能擦窗戶機器人、硬體支架設計、  
Arduino 控制板與程式設計

## 摘要

本研究基於機器人能取代人類作危險且重複的工作為觀點出發。探討擦窗機器人的設計結構及操控程式，利用 Arduino 控制板，結合馬達、感測器、支架及輪子來驅動。完成主體後，再以三階段的控制研究:移動測試、使用者操作、智能感知逐步達成擦窗戶機器人的自動化及智能化。在吸附方式上使用自由度較高的磁鐵，透過吸附在玻璃的力量加上移動來擦拭、清潔。製作過程中，逐一測試機器所需的不同物件，透過各種資訊軟體作模擬及設計，最終完成此智能擦窗機器人的雛型，希望藉由此研究達到拋磚引玉，讓更多科學愛好者共同投入機器人研究的學問中。

## 壹、研究動機

過去關於洗窗工人冒著生命危險在高樓洗窗時不慎失足從高樓摔下的案例層出不窮，看到這種新聞難免令人哀悼，這激起了我們對於無辜受害者的憤慨。於是，我們思考到能夠利用自動化之機器人來取代，可減少人員傷亡，因此我們便開始在網路上查詢關於解決此問題之方法。在網路上，我們發現雖然有關於擦窗戶機器人相關論文，但在擦窗戶機器人構造之研究卻罕有提及，且現今擦窗戶機器人的問題多半是要價不斐，價格大多約 10000 元以上，更為重要擦窗戶機器人相對於掃地機器人之使用頻率低，多數民眾不願意花太多金錢購買擦窗戶機器人。在資料查詢中更鮮少人能夠實際利用市面上機器人來完成結構、程式等之分析。在初步了解後，我們決定先以小型、較符合單一住戶使用的擦窗戶機器人為主。因此，我們利用了市面上已產品化之擦窗戶機器人來研究、分析並改良，想自行製作一款擦窗戶機器人。此外，機器人無疑是對於未來社會能夠具有重大貢獻之工具，無論是取代高危險性之工作、還是取代需勞力性之工作，都能有其相當大之效用。這使我們更想將以產品化之擦窗戶機器人加以延伸，結合新創意能夠增強清潔功能且試圖降低成本製作的費用，創造出與市面上機器人有獨特差異性、在價格方面也降低許多的擦窗戶機器人。

## 貳、研究目的

- 一、 搜尋市面上符合實驗設計的機器原型。
- 二、 探討機器人適合之程式模組。
- 三、 設計機器人硬體並使其最佳化。
- 四、 研究擦窗戶機器人支架與零件之擺放。
- 五、 研究機器人固定在窗戶的方式，並測試關於磁力吸附在窗戶厚度之極限。
- 六、 探討關於在行進誤差下的校正方法。
- 七、 設計出自己的擦窗戶機器人。
- 八、 比較此機器人與市面上擦窗戶機器人性能之差異。

## 參、研究設備及器材

為完成這個智能擦窗戶機器人，我們測試數種方式的組合，所需要的研究設備與器材請參照表 1。

表 1、研究設備與器材

設備名稱	規格	數量	單位	總價格	用途
杜邦線	母接母	24	條	50	連接控制板與 sensor shield
oBot 套件 (取代 mBot)	14*13*5 cm	1	台	1450	主要控制板
直流馬達	HN35GBE-1640Y	2	顆	980	機器人
超音波感測器	HC-SR04	4	個	200	偵測有無靠近到窗框
傳輸線	USB TYPE B	1	條	內建	
12V 變壓器		1	個	50	加強馬達力量
感測器擴充板	Arduino sensor shield V5.0	1	塊	200	減少因共用接腳而導致的線路雜亂
超音波感測器 支架	HC-SR04 支架	4	個	40	固定於支架上
橡膠萬向輪	Φ20mm	8	顆		減少移動時摩擦力
輪胎皮	130*700*3 (mm)	1	片	60	增加 3D 列印輪胎摩擦力
螺絲	M3 螺絲	8	顆	10	固定於支架上

銅柱	M3 銅柱	4	支	5	固定於支架上
Autocad	2D 繪圖軟體	1	款		將支架描繪出來
3D 列印輪胎	PLA	2	顆		輪胎
強力磁鐵		8	顆	20*20*4mm	吸附功能
刮刀		4	條		刮除水分
科技泡棉		30	片		擦拭玻璃
Tinkercad	3D 列印軟體	1	款		將輪子描繪出來
MBlock	程式軟體	1	款		撰寫 Arduino 程式
Inkscape	製圖軟體	1	款		繪製示意圖
材料費	支架板子	4	塊		製作支架

## 肆、研究過程或方法

以下為智能擦窗戶機器人的設計架構，我們依照實驗之流程安排實驗以及在不同部分分類實驗並實際操作克服難點，流程請參照圖 1、圖 2。

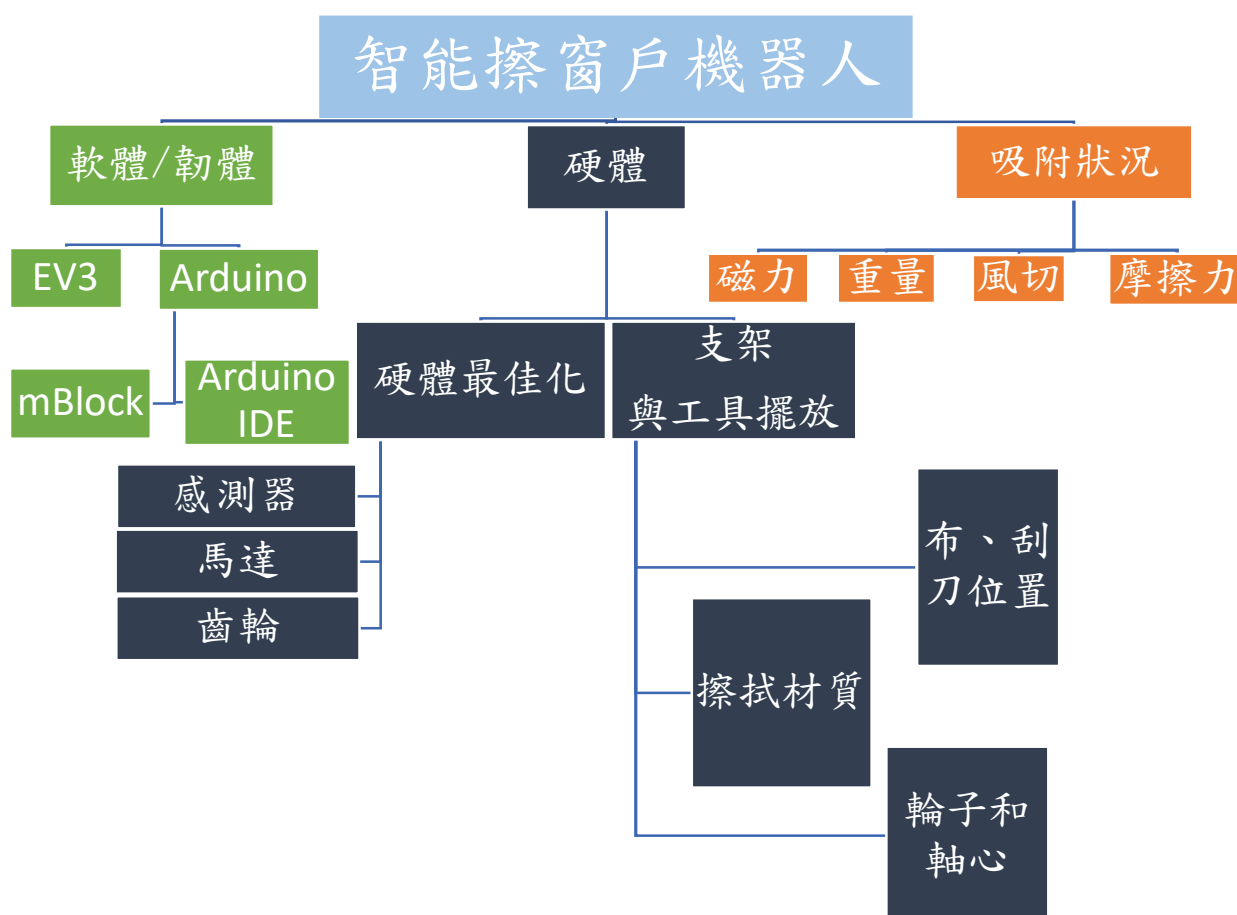


圖 1、智能擦窗戶機器人分析研究架構圖。

我們根據 Cleanbot- I 擦窗機器人的智能化技術以及 EDAS R-100 的結構分析，得知智能擦窗戶機器人必備的元件須含智能車元件（oBot 套件）、磁鐵、馬達、感測器、輪子以及支架等，故推得我們的實驗架構。



圖 2、智能擦窗戶機器人實驗步驟流程圖。

元件組裝及實驗進行，每個步驟都須通過一再的測試、重複的實驗，才能找到符合的元件，遇到錯誤或失敗時則請教老師或專家。整體來說，最困難的地方在於支架的整體設計，不但得要完全針對 oBot 套件對於支架進行加工，還得精準量測支架之孔距

並攻牙，更必須考量到重量如何改善以及磁鐵、超音波感測器、馬達及萬向輪如何擺放，經過仔細考量，研究出擦窗戶機器人之實驗步驟流程。

### 一、 搜尋市面上符合實驗設計的機器原型

- (一) 利用網路搜尋及實際購買機器人參考。
- (二) 分析對可操作機器人行動的相關論文，挑選合適的設計模式。

### 二、 探討機器人適合之程式

#### (一) 查詢符合研究需求之語言

1. 利用網路搜尋程式語言與其對應硬體。
2. 分析不同程式搭配相對硬體之優劣。
3. 選擇較符合本組設計需求之程式語言。

#### (二) 撰寫擦窗戶機器人程式

1. 購買 Arduino 及 mBlock 撰寫之相關書籍。
2. 參考書籍並針對不同機器人零件作使用測試。
3. 撰寫出使用者控制行徑、藍牙遙控行徑以及智能行徑之程式。
4. 偵錯並修正出完整的擦窗戶機器人三階段程式。

#### (三) 設計擦窗戶機器人的擦拭行徑

1. 利用查詢網路相關文獻。
2. 分析資料或論文中擦拭行徑的原理，並作為參考。
3. 了解原理後，嘗試研發不同之擦窗路徑。

### 三、 研究機器人硬體最佳化

#### (一) 比較馬達差異

1. 利用網路研究各種馬達規格。
2. 實際操作不同馬達驅動方式。
3. 比較不同馬達驅動方式，選擇最適合做為擦窗戶機器人之馬達。

#### (二) 比較 Arduino 感測器之性能，選擇適合之感測器

1. 購買不同 Arduino 感測器並利用書籍參考撰寫程式。
2. 參考市面上機器人使用之感測器，並了解運作原理。
3. 分析不同感測器之差異。
4. 比較不同感測器對於擦窗戶機器人在極端環境下是否可偵測。

#### (三) 研究輪子配合馬達軸心之製作：自製 3D 列印輪胎之比較

1. 透過網路搜尋是否有現成之輪子可使用。

2. 分析選擇之馬達下孔徑大小。
  3. 透過簡易 3D 列印軟體將設計圖透過 Tinkercad 繪圖軟體繪圖。
  4. 製作並調整出不同孔徑、輪子直徑、3D 列印強度以及材質。
- (四)比較分析製作出的 3D 列印輪子，選擇出較適合擦窗戶機器人之輪子。
- (五)研發擦窗戶機器人支架與零件之擺放
1. 透過草圖畫出機器人之支架。
  2. 利用游標卡尺測量零件之精準尺寸。
- 四、針對不同材質進行支架製作(木頭、鋁板、壓克力及電木)
- (一)利用 Autocad 2D 繪圖軟體將支架描繪出來。
  - (二)進行 NC 加工及線鋸機，製作出擦窗戶機器人之支架。
  - (三)分析何種材質適合製成擦窗戶機器人之支架。
  - (四)利用支架雛型做改良，減輕重量及改變外型零件擺設。
- 五、研究機器人固定在窗戶的方式，並研究關於磁力吸附在窗戶厚度之極限。
- (一)將強力磁鐵吸附於不同厚度之玻璃上。
  - (二)透過彈簧秤掛於磁鐵上，對磁鐵施加重力，測試磁鐵吸附之極限。
  - (三)將施加給磁鐵的重力加上彈簧秤重量透過 Sigmaplot 製作回歸線圖，計算出函式。
- 六、探討關於在行進誤差下的校正方法。
- (一)請教師長並實際測試，思考出解決在行進時誤差的方法。
  - (二)著手進行擦窗戶機器人校正。
- 七、比較此機器人與市面上擦窗戶機器人性能之差異
- (一)透過上述分析及比較的結果，進行統整並再次比較兩者差異。
- 八、自製智能擦窗戶機器人
- (一)透過以上統整，將所有研究結果結合，製作出擦窗戶機器人。
  - (二)將擦窗戶機器人的缺點改良，繼續開發自製擦窗戶機器人。

## 伍、研究結果

### 一、 搜尋市面上符合實驗設計的機器原型

(一) 在市面上的擦窗戶機器人大致上分為機器人磁力吸附以及真空吸附，磁力吸附中機器人最具代表性的是 EDAS-R100，而在真空吸附中則是 Ecovacs glassbot G850，詳細的上述機器人圖片如圖 3。



圖 3、市面上擦窗戶機器人之圖片。

透過圖片可清楚了解到此兩款機器人為市面上較為常見的款式，而我們經過謹慎分析後，認為如果有經費購買 Edas R-100 是較佳的選擇，礙於 arduino 的限制，無法良好的收放真空幫浦達到吸附作用，所以我們以 Edas R-100 為參考範本，開始我們自製智能機器人的實驗。

### 二、 探討機器人適合之程式

(一) 研究快速上手且適合的語言(Mindstorms 及 mBlock)

我們在透過網路資料查詢，常被用在操控機器人的模組有 LEGO 公司的 Mindstorms EV3 和開放原始碼的 Arduino 模組這兩種組合去比較，其分析如表 2。

表 2、EV3 及 Arduino 之比較表

	價格	擴充性	程式
EV3	貴	低	簡易 (Mindstorms)
Arduino	便宜	高	複雜 (Arduino IDE)



依據表 2 可得知，ardunio 的對於擦窗戶機器人的適用性顯然遠遠超過 EV3，畢竟 EV3 是針對較初級之使用族群使用，但在程式方面，Arduino IDE 的撰寫難度卻也大幅的上升。依據上表我們選擇了 Arduino 搭配 mBlock 來當我們製作的基本模組。

## (二) 撰寫擦窗機器人的程式:

程式控制我們分了三階段來逐步完成。詳細情形參照圖 4。



圖四、簡易控制程式碼。

我們透過最為簡易的控制方式，模擬擦窗戶機器人的行徑。由這個圖 4 程式可以知道，在此程式中，主要測試的並非智能行徑，而是針對目前實驗用的玻璃板來設計。此程式雖不是智能擦窗戶機器人的標準程式，但能模擬實際爬行於窗戶上的行進問題，藉此找出關於馬達是否能夠正常於垂直受力的情況下運作。

### 1. 藍芽模組開發

我們利用藍芽模組來達到遙控的功能，也就是透過半自動的方式來執行擦窗戶機器人的任務，在遇到特殊情況無法透過智能感測解決時，也能切換至此方式，進而避免擦窗戶機器人無法順利解決障礙。對於擦窗戶機器人藍芽模組的開發程式詳如圖 5

```

#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <SoftwareSerial.h>

double angle_rad = PI/180.0;
double angle_deg = 180.0/PI;
char ccc;

void setup(){
  Serial.begin(57600);
  pinMode(10,OUTPUT);
  pinMode(5,OUTPUT);
  pinMode(11,OUTPUT);
  pinMode(6,OUTPUT);
  digitalWrite(10,1);
  analogWrite(5,0);
  digitalWrite(11,1);
  analogWrite(6,0);
}

void loop(){
  if((Serial.available()) > (0))
    ccc = Serial.read();
  }
  if(((ccc)=='F')){
    digitalWrite(10,1);
    analogWrite(5,255);
    digitalWrite(11,1);
    analogWrite(6,255);
  }
  if(((ccc)=='B')){
    digitalWrite(10,0);
    analogWrite(5,255);
    digitalWrite(11,0);
    analogWrite(6,255);
  }
  if(((ccc)=='L')){
    digitalWrite(10,1);
    analogWrite(5,255);
    digitalWrite(11,1);
    analogWrite(6,100);
  }
  if(((ccc)=='R')){
    digitalWrite(10,1);
    analogWrite(5,100);
    digitalWrite(11,1);
    analogWrite(6,255);
  }
  if(((ccc)=='S')){
    digitalWrite(10,1);
    analogWrite(5,0);
    digitalWrite(11,1);
    analogWrite(6,0);
  }
}
}

```

圖 5、擦窗戶機器人藍芽控制程式碼。

由此圖 5 可知，由於 mblock 沒有藍牙模組的程式模組，因此我們使用 Arduino IDE 撰寫程式碼，並利用 Arduino Bluetooth RC Car app 程式，遙控擦窗戶機器人。

## 2. 智能感知

撰寫擦窗戶機器人程式我們構想的擦窗戶機器人程式，透過兩個超音波感測器來偵測周圍的情況，改良原先市面上觸碰感測器的缺陷，利用判別式撰寫路線行徑模式如圖 6。



圖 6、擦窗戶機器人擦拭行徑程式。

依據圖 6，由於 mblock 程式擦窗戶機器人程式無法使用遞迴程式，因此在克服擦窗戶機器人程式碼方面，我們必須使用多個迴圈，使用二分法不斷的假設可能性，在目前我們的擦窗戶機器人程式可以於左右兩側的邊框放置使用，但在邊框以外的部分則必須繼續探討研究。

### (三) 設計擦窗戶機器人的擦拭行徑

要能有效率的擦拭窗戶，必須要考量窗戶的形狀及大小，設計出擦拭的路徑，並且做到能夠完整擦拭每個角落。我們做了下面的幾種分析：

1. Z 形擦拭：適合擦拭較為寬大的窗戶（較不會因為靠近窗戶邊緣而不斷改變方向）
2. N 形擦拭：適合擦拭較為狹窄的窗戶（同上述之理由）。
3. T 形擦拭：誤差極小，使用原地自轉，較不會因玻璃差異而導致極大誤差。
4. 混合擦拭：適合擦拭較髒的窗戶，但會花費較多的時間在路徑移動上。

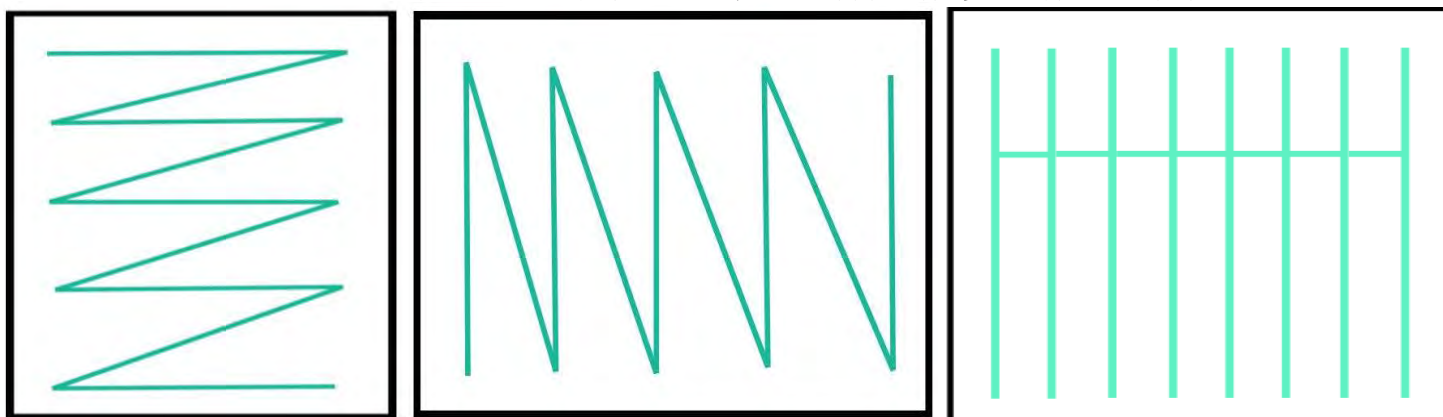


圖 7：擦拭方式示意圖。

根據圖 7 所示，我們可得知擦窗戶機器人的擦拭行徑大致可分為 N、Z 形以及 T 形最為合適，考量到擦窗戶機器人本身的陀螺儀仍在開發階段，因此克服誤差最佳的路徑解決方法便是 T 形擦拭，不但程式簡易、誤差小在感測器的夾角過小問題也得以解決。

### 三、設計機器人硬體並使其最佳化

#### (一)比較馬達差異

我們查詢並歸類了關於各類馬達之性能，包括接線以及特性，詳細的比較如表 3。

表 3、步進馬達、伺服馬達、直流馬達比較表

	步進馬達	伺服馬達	直流馬達
接線	4~6 條	3 條	2 條
特性	可正反轉，超過轉到的角度就停止	可正反轉，轉到一定的角度就停止	只能純轉動，若是要控制角度及速度需用 L298N 驅動板或編碼器

透過表 3 之分析，我們決定使用直流馬達作為擦窗戶機器人之馬達，因為在不對於精準控制之要求的馬達是直流馬達，且直流馬達的程式較單純，並不像前二者那樣複雜，在市面上也相對種類較多、較好取得，在扭力及速度方面也可以透過齒輪比來調整。

### 1. 馬達內齒輪比較

馬達內齒輪也會影響到扭力以及馬達是否適合作為機器人的關鍵，金屬齒輪及尼龍塑膠齒輪詳細的分析如表 4。

表 4、金屬齒輪、尼龍塑膠齒輪比較表

	金屬齒輪	尼龍塑膠齒輪
優點	堅固、散熱快、齒輪不易變形、承受較重的重量	重量輕、耐腐蝕
缺點	容易生鏽，不可放在潮溼的地方，相對重量也較重	無潤滑的使用情況下，導致容易發熱膨脹導致變形，也沒辦法承受較重的機器人、容易磨損

由此表 4 之比較可得知，機器人較為適合的齒輪是屬於金屬齒輪，畢竟能夠承受的重量較大，雖會導致重量較重，但相對於塑膠齒輪是較符合需求的齒輪。

### (二)比較 Arduino 感測器之性能，選擇適合之感測器

我們使用超音波感測器來做為擦窗戶機器人之感測器，若是使用碰撞感測器，感測器必須四角上才能感測到，且在外型上也會有所限制，必須使用工字型的外觀，且會與市面上機器人的性能相似。至於在接腳上我們使用 sensor shield V5.0 來簡化接腳的複雜程度，感測器詳細性能之比較如表 5。

表 5、Arduino 感測器性能比較表格。

	接腳	方便性	距離	角度
超音波	GND Echo Trig Vcc	高	2 ~ 450cm	15°
紅外線	Vout Vcc GND	低	2~80cm	35°
碰撞	GND Vcc OUT	高	無	無

### (三)3D 列印製作合適孔徑搭配輪子

我們使用最為簡易的 3D 列印程式 Tinkercad，利用 Tinkercad 製作擦窗戶機器人輪子之圖如圖 8。

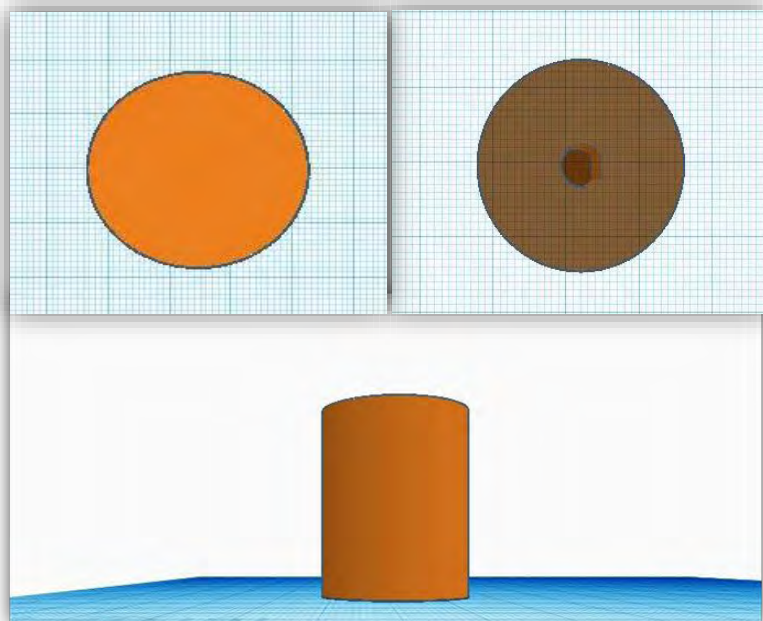


圖 8、擦窗戶機器人之輪子設計圖。

我們想到利用 3D 列印來製作輪子是因為:

1. 可以調整任何大小和形狀的孔徑。
2. 可以製作任何大小和形狀之輪子形狀之輪子形狀。
3. 可以配合輪胎皮製作輪廓。

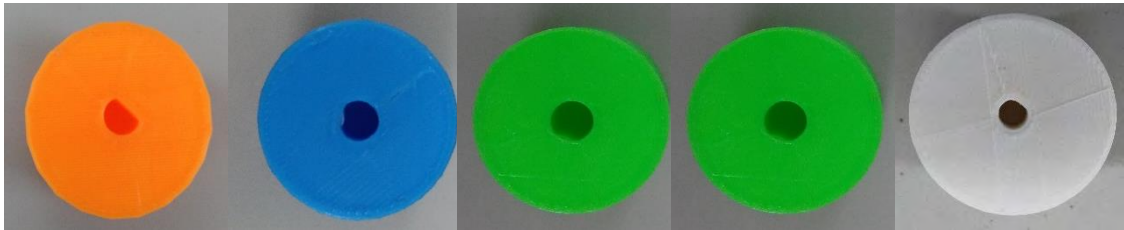
然而，真正開始製作之後，我們發現了不僅要考量輪胎的大小、厚重力、穩固性等因素都必須仔細思考。所以我們嘗試了四代 3D 列印輪胎，針對尺寸、強度使用 PLA 生物分解性塑膠製作 3D 列印之輪子，詳細的實驗過程與比較如下。



表 6、自製 3D 列印輪胎之比較

	第一代	第二代	第三代	第四代	第五代
	3D 列印	3D 列印	3D 列印	3D 列印	3D 列印
D 型孔徑 (mm)	6Φ*5.4	6Φ*5.6	6Φ*5.6	6Φ*5.6	6Φ*5.6
外徑 (mm)	28*28*36	28*28*36	40*40*36	40*40*36	40*40*36
強度 (%)	30	30	30	100	100
材質	PLA	PLA	PLA	PLA	ABS

示意圖



#### 四、研發擦窗戶機器人支架

##### (一) 研究擦窗機器人的布、磁鐵和刮刀的擺設位置

在製作此支架時，我們將手繪設計圖利用 autocad 的 CAD 檔轉換成 CAM 檔轉換成程式再將其鋁板進行 NC 加工，下列為利用 autocad 繪圖軟體製作支架之設計圖，詳細情形如圖 9。

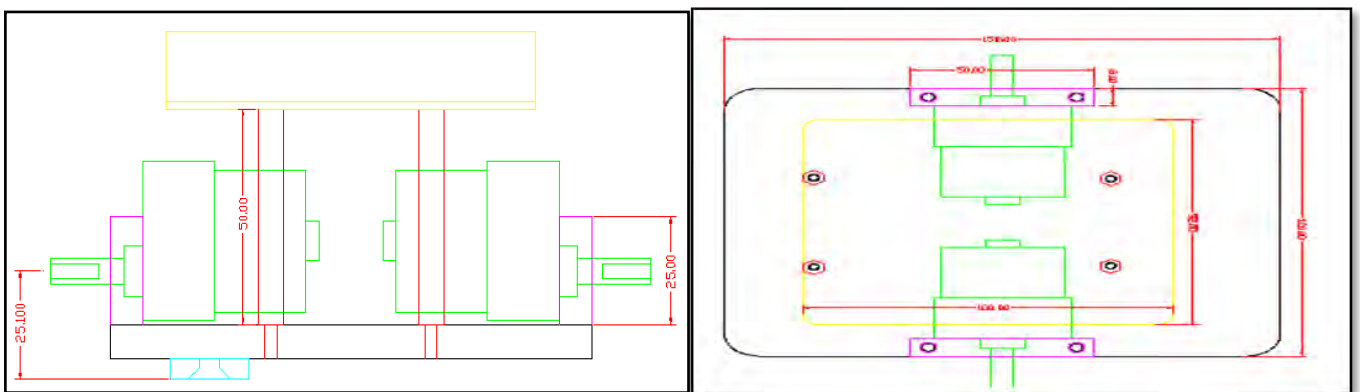


圖 9、Autocad 製作支架之示意圖。

根據圖 9 我們使用軟體 Autocad 來切割出支架的結構，再用螺絲及銅柱把切割出來的東西作組合。而利用 Autocad 製作支架之優點如下：

1. 切割時精準度高、製作誤差小

## 2. 可任意設計出所需的板子形狀和大小

我們透過木板以及鋁板做為擦窗戶機器人第一代以及第二代，關於第一、二詳細之比較如表 7。

表 7、擦窗戶機器人支架二代比較表

	第一代支架木板	第二代支架鋁板	第三代支架壓克力板
優點	加工非常容易，只需用線鋸機來切割，在重量方面也很輕	加工雖較木板困難，但仍算易加工之材料，重量方面同樣極輕	加工較鋁板困難，但密度極小，因此在重量部份較鋁板輕
缺點	質地過軟，針對木板加工時在攻牙部分會因抗拉力不足而導致螺紋會在攻牙完會因無法負荷馬達的高扭力，導致解體。	並沒有太大的問題，雖重量仍較塑膠輕，但由於塑膠製模非常高，若非量產擦窗戶機器人，鋁板還是較佳之選擇	壓克力板本身的材質較脆，在針對較為精密的攻牙時無法使用，也較不耐撞擊，但相對來說受到重量加速度的力較小。

其實製作第一代的支架時，我們發現木板原有的牙因抗拉力不足，在將螺絲鎖死時，組合之版子一經輕微拉扯即會崩牙。也因此才思考改用鋁板，在市面上多數擦窗戶機器人之支架都是使用塑膠做為支架材料，但非量產情況下，製作成本



圖 10、木板崩牙圖片。

非常高，且不易加工。在第三代的壓克力板，我們使用鎖螺母的方式代替攻牙，將擦窗戶機器人的元件組合起來，解決了壓克力板材質本身較脆的問題。

### (二) 研究擦窗戶機器人的布、磁鐵和刮刀的擺設位置

我們將擦窗戶機器人利用以下設計圖的方式，將零件如:高科技泡棉、磁鐵、刮刀、感測器等來模擬、配合擦窗戶機器人之支架，詳細之情形如圖 11。



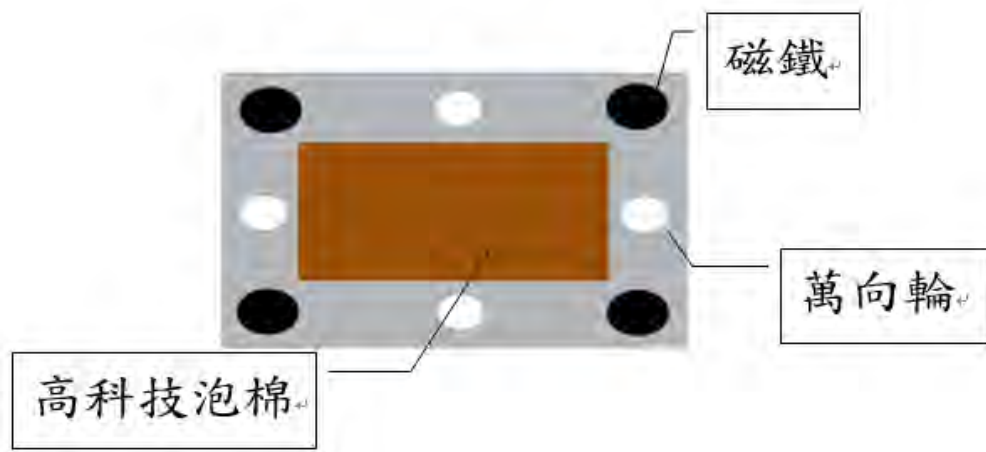


圖 11、擦窗戶機器人零件擺放示意圖。

圖 11 採用磁力的方式:

優點:體積小操作方便。

缺點:不可清潔太厚的窗戶、不可清潔無框的窗戶。

### (三) 研究擦拭材質的優缺點

我們研究了關於擦拭材質之優缺點，擦窗戶機器人之擦拭材質會影響到擦窗戶機器人的構造以及清潔度，擦窗戶機器人擦拭工具能力之比較詳細比較如表 8。

表 8、擦拭工具能力比較表

	優點	缺點
抹布	價錢便宜、吸水能力強	容易發臭、容易藏污納垢、沾染油性不易清洗乾淨
高科技海綿	價錢低、方便，清潔度高	有化學成份美耐皿
菜瓜布	用粗糙的摩擦方式把污垢帶起	可能會刮傷窗戶

五、研究機器人固定在窗戶的方式，並研究關於磁力吸附在窗戶厚度之極限  
擦窗戶機器人的固定方式對於固定方式之分析如表 12。

表 12、擦窗戶機器人固定方式比較表

	吸盤	磁鐵（使用釹鐵硼磁鐵）
優點	價格便宜，重量輕	方便，不需像吸盤一樣控制收放，所佔空間少，總體積自然小
缺點：	難控制，須準確調整真空泵收放時機，且在移動時必須脫離真空狀態，所以易掉落	價格較貴，磁力也可能對 arduino 機板造成影響

原先我們在網路上搜尋到一款爬牆機器人，並想透過爬牆機器人吸盤之構造來延伸到參窗戶機器人，在市面上擦窗戶機器人如 ECOVACS GLASSBOT G850 也是利用相似的真空幫浦來達到吸附作用，因此我們想利用吸盤達到真空吸附效果，詳細情形如圖 13。

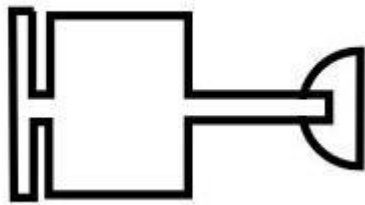


圖 13、吸盤真空幫浦原理示意圖。

根據表十一及圖 13 並實際使用爬牆機器人，吸盤或是真空幫浦並不適合作為我們研究之機器人，畢竟在技術以及金錢方面並沒辦法能夠徹底研發利用 arduino 控制真空幫浦的方法，且若使用真空幫浦也會使得重量較重，因此我們選擇對於現階段我們能夠使用的磁鐵作為固定的方式。我們必須利用磁鐵來做為擦窗戶機器人之固定方式，因此我們透過推算來表達玻璃厚度以及兩粒磁鐵最大之負荷重量，以便於針對不同的窗戶厚度設定範圍並安裝不同大小之磁鐵，詳細關係如圖 14、圖 15。

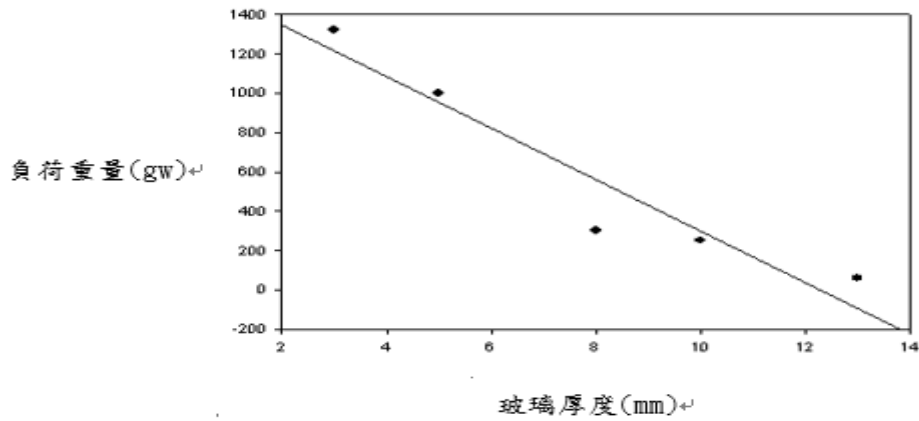


圖 14、兩顆強力磁鐵吸附玻璃之最大厚度回歸線圖 ( $r^2=0.91$ ,  $y=-131.18x+1610.19$ , t-test)。

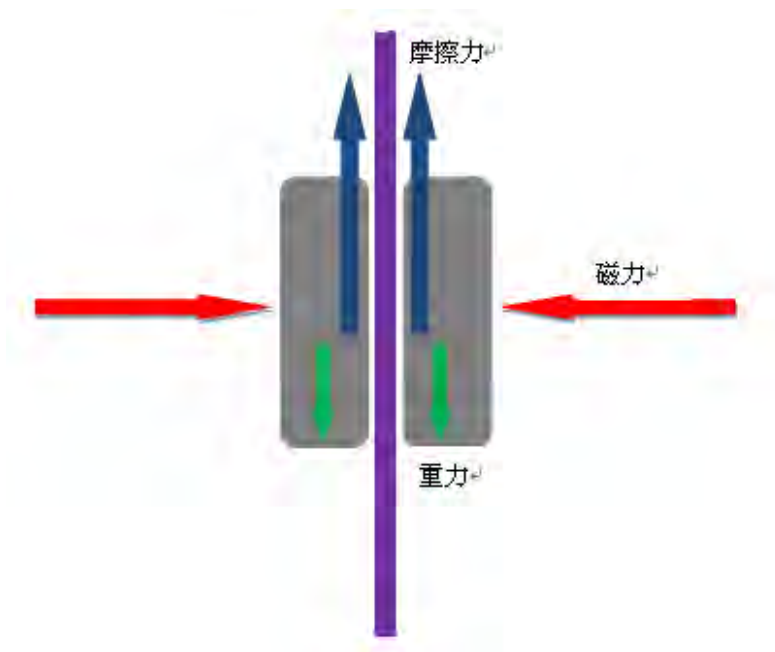


圖 15、擦窗戶機器人之本體受力圖。

根據上圖所示，透過數據計算回歸線圖可大約推算此機器人所需之磁鐵數，本機器人預估之重量大約 0.9KG 左右，因此將玻璃厚度預設為 10mm，磁力最大負荷重量約 300g 左右，因此機器人所需之單面磁鐵數大約為三顆左右，為了保險起見，在玻璃厚度小於 10mm 時使用四顆磁鐵做固定，而玻璃厚度大於 10mm 則將再研究另一款增加吸力，針對不同玻璃厚度使用之擦窗戶機器人。

我們自製擦窗戶機器人與市面上擦窗戶機器人性能比較，將與市面上擦窗戶機器人異同之處利用研究結果之表格呈現，我們自製擦窗戶機器人價格較低廉，並在感測器上勝過市面上擦窗戶機器人，在噪音方面，不會有上述 Ecovacs 擦窗戶機

器人要採用風機設計而發出高分貝之真空幫浦抽真空時之運作聲音，也不需外接電源，只需要電池便可運作。

## 六、探討關於在行進誤差下的校正方法。

### (一) 避免剛開機時資料偵測錯誤

為了避免開機時的偵測錯誤，我們將擦窗戶機器人撰寫了預開機程式，也就是在接上電源後，程式執行開始時先延遲幾秒，讓擦窗戶機器人剛開始時的變數、數值能夠重新啟動，使擦窗戶機器人正常運作。

### (二) 可加裝陀螺儀偵測行進路線偏差

我們測試了陀螺儀作為擦窗戶機器人在行進時的相對定位工具，透過短時間內不斷定位並偵測，若擦窗戶機器人行進產生誤差，則會進行微調，使擦窗戶機器人能夠正常行進。但由於陀螺儀使用有許多技術需克服，目前正在研究中。

### (三) 改良胎皮黏貼於輪胎的方式

在過程中，大多會造成行走路線傾斜的原因是胎皮，而我們使用 3D 列印的輪胎，並無可直接使用的胎皮，必須剪胎皮後再黏於輪胎。因為是手工黏貼，會導致無法完全貼合於輪胎，進而無法完全固定於窗戶上，引發兩端摩擦力不同，行駛產生偏差。因此必須不斷嘗試，才能剛好吻合。

## 七、比較此機器人與市面上擦窗戶機器人性能之差異

我們把市售最常見的兩台擦窗機器人規格與我們的機器人作比較，請參見表 13。

表 13、市面上機器人與自製機器人性能差異表

	EDAS-R100	ECOVACS GLASSBOT G850	自製智能擦窗戶機器人
吸附方式	磁力	真空幫浦	磁力
移動方式	輪胎	類似履帶	輪胎
感測器	碰撞感測器	碰撞感測器	超音波感測器
重量	不含水 1.4 kg / 含水 1.5 kg	1.3kg	0.9kg
分貝	< 62 dB	65 Db	60dB
外接電源	不需外接電源	需外接電源	不需外接電源
擦拭工具	泡棉	包圍式清潔抹布	泡棉
價格	13000	13800	5000

根據此表 13，可發現本機器人最為特殊的地方莫過於超音波感測器，此機器人利用超音波感測器作為機器人感測器的優點是較能躲避窗戶上的障礙，如窗戶鎖，不會因為機身因遭擋住而導致感測器無法感測，也同時降低了對於擦窗戶機器人本身的限制，不但在外型上可以有更多的開發性，也降低了關於發生上述情況處理的困難性，而在價格方面也相較於市面上機器人便宜許多。

#### 八、自製擦窗戶機器人

我們成功利用支架將所有感測器、馬達、萬向輪、輪子、磁鐵及控制板固定。詳細自製擦窗戶機器人一代，作品圖如圖 14、15、16、17、18、19、20。

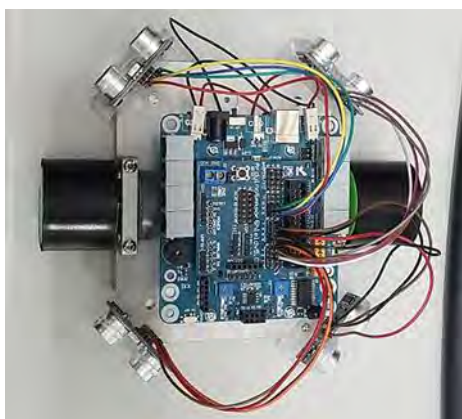


圖 14、內側擦窗戶機器人上視圖

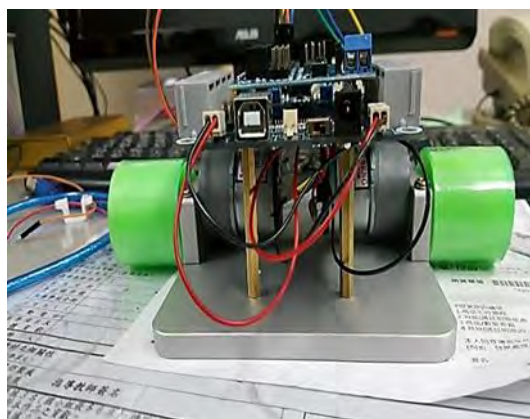


圖 15、內側擦窗戶機器人後視圖



圖 16、擦窗戶機器人吸附至窗戶情形



圖 17、內側擦窗戶機器人組裝情形

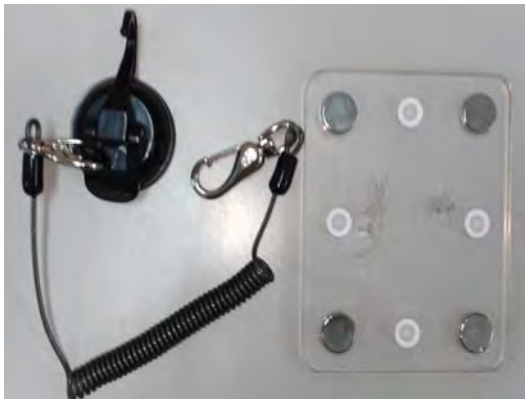


圖 18、外側擦窗戶機器人二代構造。



圖 19、外側擦窗戶機器人三代構造。

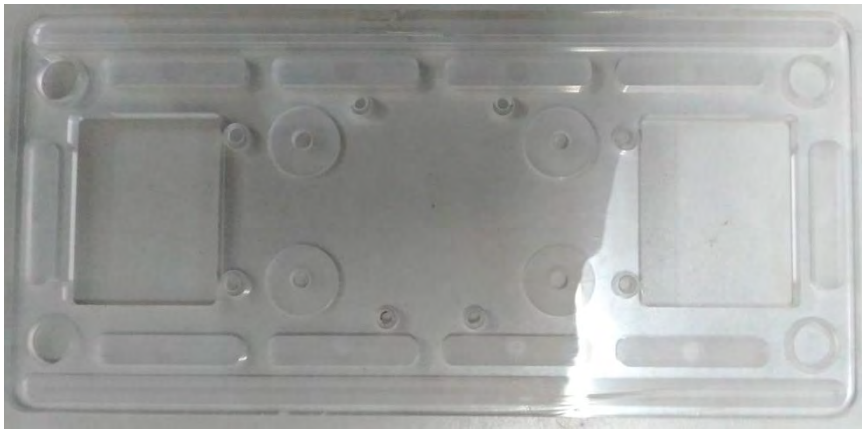


圖 20、內側擦窗戶機器人三代支架構造。

在擦窗戶機器人方面，我們針對於自製擦窗戶機器人一代進行改良，並繼續開發關於自製擦窗戶機器人二代的整體外型擺設，以下為 autocad 支架設計圖。

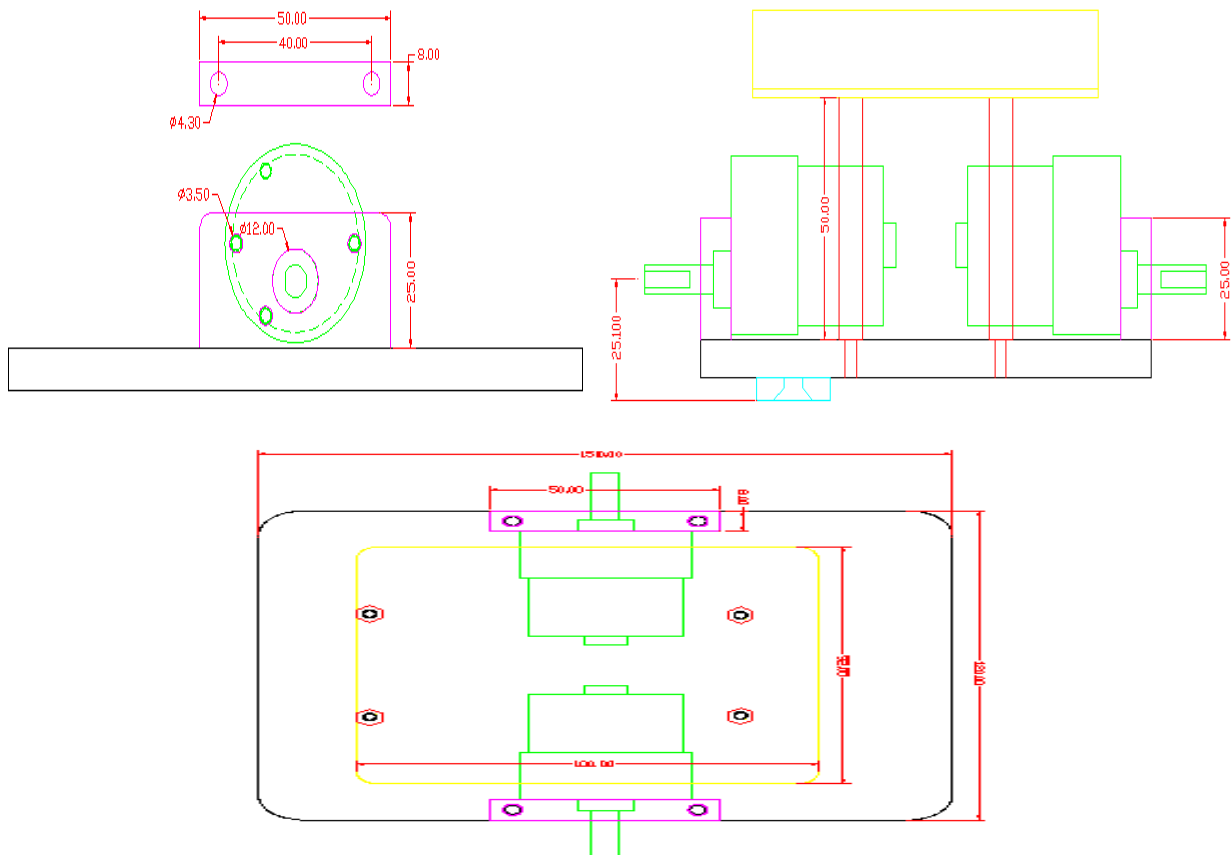


圖 21、擦窗戶機器人二代 autocad 支架設計圖。

依據圖 21 所示，我們除了將擦窗戶機器人支架的整體擺設改良外，在材質部分使用壓克力做為機器人二代的支架，透過螺母來固定零件，避免因為攻牙而導致的板裂，導致解體。

## 陸、討論

依據我們一開始的設計架構去發展實驗，我們在軟體、硬體以及吸附力上都有所鑽研，由於涉及的模組眾多，在最後的部分我們也分這三大項去作討論。

### 一、軟體：

(一)關於操控擦窗戶機器人之簡易程式，最後我們選定了 mblock 及 IDE 去開發程式，此二項工具都是基於 Arduino 為基礎，且在 Arduino 便宜且擴充性較好之情況下，我們選定它作為擦窗戶機器人控制器。但我們發現在擦窗戶機器人行徑路線搭配 mblock 程式碼時，無法使用遞迴，因此在撰寫行徑路線之程式碼時，有一定的難度，必須使用三個判別式來偵測，且目前只研究出關於起始點放置於兩側。

(二)撰寫程式的部分，我們利用判別式當偵測到超音波小於某距離時，會做出對應的動作，至於超音波在解決窗戶鎖的行進路線方面，可以參照圖 22。

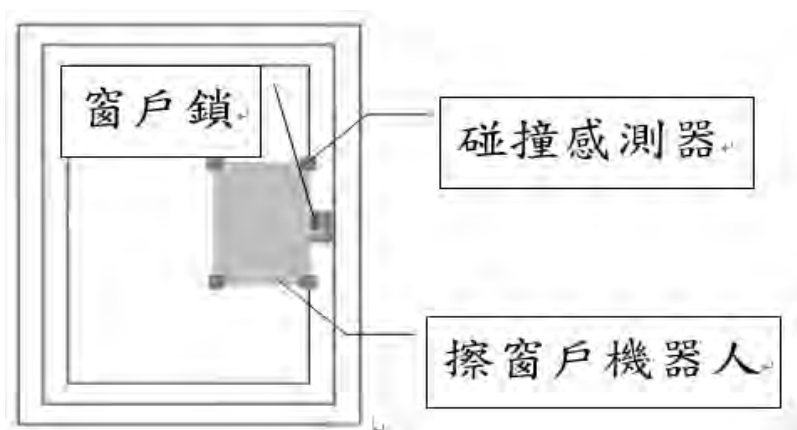


圖 22、碰撞感測器遇窗戶鎖障礙示意圖

根據此圖可得知，在超音波感測器可以較佳的處理突發情形，不會因為無法碰撞到感測器而發生失效的問題，也為較創新之設計。

### 二、硬體：

(一)輪軸的部分，我們使用了 3D 列印軟體 Tinkercad 製作輪子，由於市面上並沒有符合減速直流馬達輪軸之孔徑，因此我們利用學校現有的 3D 印表機。不過在這之中我們也嘗試許多次，不斷改變孔徑，因為在使用 3D 列印會有餘料的情



況，所以會調整比我們測出來的孔徑再大一點點，且每台的 3D 印表機會有個別的差異，不過在嘗試多次之後終於調整好孔徑以及輪徑。

(二)馬達差異部分，我們選用直流馬達，因為它是市面上較為常見之馬達，取得容易且程式單純，雖控制並未較其他馬達精準，但此機器人並不須透過精準移動來前進，而是透過感測器判別式控制馬達。

(三)支架的部分，我們設計出來的支架重量加馬達重量，重量會較重，因此製作完會將中間不需要支撐的地方把機器人的支架掏空，來減輕機器人的重量，讓機器人不會超過磁鐵負荷的重量。為了設計，我們使用鋁合金板進行加工，並在實際製作完之後修正，將多餘的鋁板盡量減輕重量，至於不使用壓克力板的原因是在於若是使用壓克力板，在攻牙方面會導致崩牙甚至板裂。支架的材質選擇主要原因是根據抗拉力以及材質本身硬度，因此選擇密度較低且價格普通之鋁板，且鋁板在氧化後的致密層也能保護鋁板，不因氧化而導致材質脆弱。我們透過 NC 加工加工鋁板，誤差極小（0.1mm 以內）研究擦窗戶機器人的布、磁鐵和刮刀的擺放位我們利用實際之設計圖將 Autocad 畫出精準的圖面，並將科技泡棉、磁鐵、刮刀等工具透過 Autocad 將擺放位置決定，並加工出機器人合適之支架。我們也著手研究出擦窗戶機器人二代，會使用壓克力做為擦窗戶機器人的支架。

(四)感測器的使用，大部分擦窗戶機器人感測器都是使用碰撞感測器居多，但我們在設計方面採用超音波感測器，不但沒有外型上的限制，也不會因為碰撞感測器必須直接在機體四角而採用 EDAS 之工型設計。

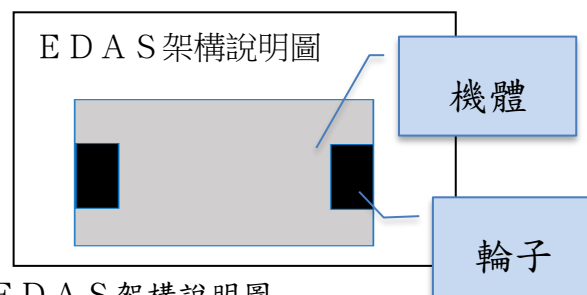


圖 23、E D A S 架構說明圖



(五)行進誤差避免的方式，大致上由陀螺儀校正以及本身輪胎胎皮去修正，原先實際上的擦窗戶機器人無法順利的在窗戶上行駛，大都是因為擦窗戶機器人會因死角或是行徑路線偏差而導致。因此，利用陀螺儀可以有效避免在死角時因無法感測而引發整體擦拭行徑無法順利執行。

三、吸附力：確認關於磁力吸附在窗戶厚度之極限：透過 Sigmaplot 將兩顆磁鐵對應物體厚度，研究在不同物體厚度之負荷重量並推算出函式，在未來針對不同玻璃厚度而可透過玻璃厚度劃分不同之磁鐵數量之機器人。

## 柒、結論

就如同工業發展程式一般，我們經過多次的比較及修正、改善完成作品。首先我們發現使用鋁板作為擦窗戶機器人的支架最為適合，因為木板在製作過程中抗拉力不足會導致崩牙，且鋁板有密度低、好加工及抗拉性佳等優點。我們也自製擦窗戶機器人一代改良，以 autocad 將擦窗戶機器人不同版本支架描繪出來。

再來，我們不僅改良了支架的問題，還結合 3D 列印軟體 Tinkercad 調整孔徑及尺寸，找到適合馬達孔徑的輪子，在價格方面也低於市售擦窗戶機器人許多。此外，我們也運用了超音波技術取代市售擦窗戶機器人皆採用的碰撞感測器，在解決障礙方面優於原有市售擦窗戶機器人之碰撞感測器。另外重量方面，本機器之重量大約 0.9KG，較現有機種少了約 1/3 重量，不僅如此，本研究利用程式搭配 Arduino 板完成並製作擦窗戶機器人，具有自動化、智能化的特點，朝工業 4.0 發展。

雖然外觀簡單，但整體來說，我們設計的擦窗戶機器人注重使用著的痛點在：重量、價格、噪音改善(分貝數)、用電與其他資源、吸附力，都勝過目前市售機種，雖有部分可能需微調，但未來十分具有發展性。

在未來，我們將會繼續改良自製擦窗戶機器人，包括擦窗戶機器人在極端環境下的穩定性，在高樓層的風切下不因受力過大而墜落，發生危險，我們將會運用特殊圖形外殼來減少風阻，使擦窗戶機器人能夠更加安全、放心的被使用。更為重要的是，在校園中我們甚至可以直接運用此機器人來解決清理窗戶的問題，避免在學校的外牆窗戶也發生危險事件。完成後也可實際應用在校園中，落實校園創客，創客校園的科技行動學習歷程。

## 捌、參考資料

- 一、 曹永忠、許智誠、蔡英德。Arduino 雙軸直流馬達控制。P80~87。
- 二、 周延武、宗光華。2002。Cleanbot- I 擦窗機器人的智能化技術。
- 三、 2015。用 mBlock 玩 Arduino - Starting from Scratch。
- 四、 周忠信，吳奕宏，謝翰誼。2017。Arduino 初學完全指南。

## 玖、附錄

### 名詞解釋

攻牙：是指在一個洞裏作出陰螺紋（內螺紋），就可以將螺絲鎖上。

抗拉力：即抗拉強度是在外力作用下，材料抵抗破壞的能力。

## 【評語】 032805

1. 擦窗戶機器人的研發可以減低危險以及取代人工。機器人在窗戶上的黏附、脫離、移動是很重要的研究領域。
2. 本作品可以強化黏附脫離移動的說明。為何輪胎皮要以 3D 列印？黏附作用主要是靠磁鐵的作用，磁鐵旁又有萬向輪減低摩擦，磁鐵是否有跟玻璃接觸(會刮傷玻璃嗎?)，或是磁鐵外圍有包覆著清潔布(另一種選項)。
3. 黏附的方式在計算上不能單以摩擦力與磁力之間的關係，依舊需要計算由於重力分布造成的力矩，使得因為磁力吸附在窗上的機器人不會因為自身重量分布大於磁力而掉落。特別是體積變大產生的尺度(SCALING)效應也是未來可以探討的重點。



# 摘要

本研究基於機器人能取代人類作危險且重複的工作為觀點出發。探討擦窗機器人的設計結構及操控程式，利用**Arduino**控制板，結合馬達、感測器、支架及輪子來驅動。完成主體後，再以三階段的控制研究：**移動測試、使用者操作、智能感知**逐步達成擦窗戶機器人的自動化及智能化。在吸附方式上使用自由度較高的磁鐵，透過吸附在玻璃的力量加上移動來擦拭、清潔。製作過程中，**逐一測試機器所需的不同物件，透過各種資訊軟體作模擬及設計**，最終完成此智能擦窗機器人的雛型，希望藉由此研究達到拋磚引玉，讓更多科學愛好者共同投入機器人研究的學問中。

## 壹、研究目的

- 一、搜尋市面上擦窗戶機器人。
- 二、探討機器人適合之程式模組。
- 三、設計機器人硬體並最佳化。
- 四、研發擦窗戶機器人支架與零件之擺放。
- 五、研究機器人固定在窗戶的方式，並研究關於磁力吸附在窗戶厚度之極限。
- 六、探討關於在行進誤差下的校正方法。
- 七、比較此機器人與市面上擦窗戶機器人性能之差異。
- 八、設計出自己的擦窗戶機器人。

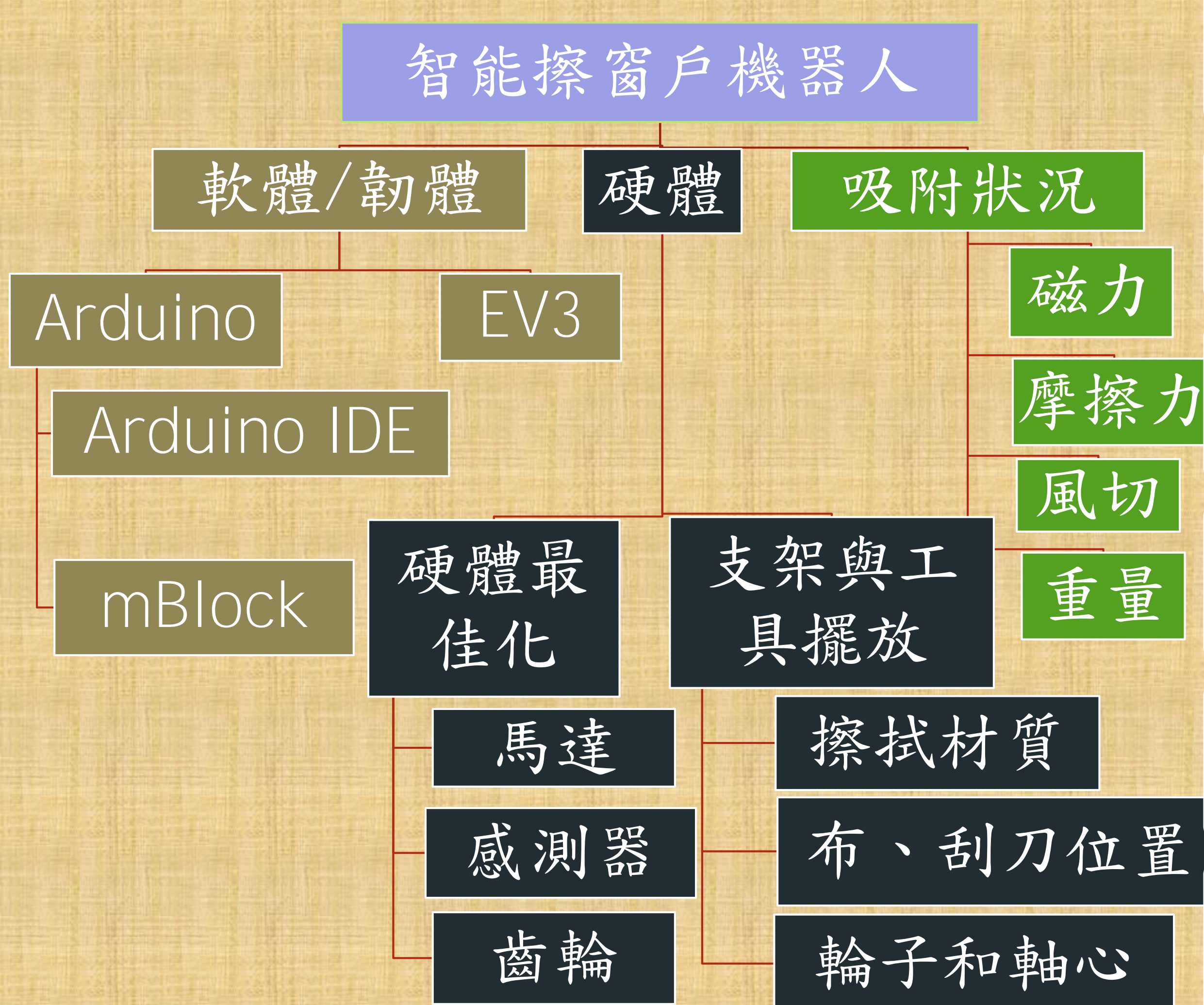
## 貳、研究器材

此研究器材僅列舉較重要之器材，其餘之器材詳如報告書。

 oBot	 馬達	 超音波感測器
 萬向輪	 磁鐵	 程式縮圖

## 參、研究過程與方法

### 3-1 架構



### 3-2 步驟

- 步驟一：收集資料
- 步驟二：磁鐵、輪子與馬達搭配測試
- 步驟三：機器人支架與擦拭材質設計，並整體測試
- 步驟四：窗戶邊界感應器選擇
- 步驟五：探討關於在行進誤差下的校正方法。
- 步驟六、結合創意改良

### 3-3 方法

1. 就如同**工業發展**一般，每項元件我們都經過多次的比較及修正、改善完成作品。
2. 以**autocad**將擦窗戶機器人不同版本支架描繪出來。
3. 結合**3D列印軟體Tinkercad**調整孔徑及尺寸。
4. 運用了**超音波技術**取代市售擦窗戶機器人的碰撞感測器。
5. 設計的擦窗戶機器人注重使用著的痛點在：**重量、價格、噪音改善(分貝數)、用電與其他資源、吸附力**。

## 肆、研究結果與討論

	EDAS-R100	ECOVACS GLASSBOT G850	自製智能擦窗戶機器人
吸附方式	磁力	真空幫浦	磁力
移動方式	輪胎	類似履帶	輪胎
感測器	碰撞感測器	碰撞感測器	超音波感測器
重量	不含水 1.4 kg / 含水 1.5 kg	1.3KG	0.9KG
分貝	< 62 Db	65 dB	60db
機體單雙面	雙面吸附 單面擦拭	單面吸附 單面擦拭	雙面吸附 單面擦拭
外接電源	不需外接電源	需外接電源	不需外接電源
擦拭工具	泡棉	包圍式清潔抹布	泡棉
價格	13000	13800	5000

表一、自製擦窗戶機器人與市售擦窗戶機器人比較表  
由表一可得知自製擦窗戶機器人與市面少性能差異。




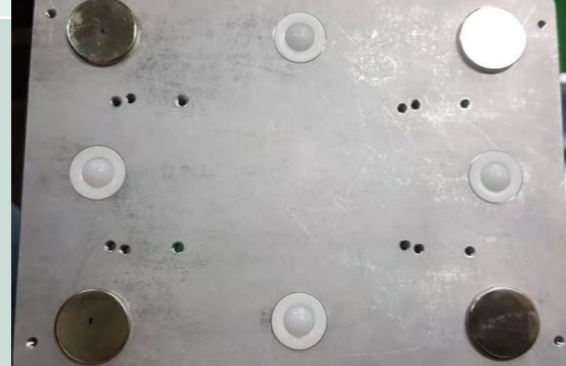

# 肆、研究結果與討論

表二、步進馬達、伺服馬達、直流馬達比較表

	步進馬達	伺服馬達	直流馬達
特性	超過轉到的角度就停止。	轉到一定的角度就停止。	只能純轉動。
比較結果	我們決定使用直流馬達作為擦窗戶機器人之馬達，直流馬達的程式較單純，並不像前二者那樣複雜，在市面上也相對種類較多、較好取得。		
圖片			

由上表可得知三種馬達的性質比較。

表四、擦窗戶機器人支架二代比較表

	第一代支架木板	第二代支架鋁板	第三代支架壓克力、電木
優點	加工非常容易，只需線鋸機來切割，在重量方面也很輕。	加工雖較木板困難，但仍算易加工之材料，重量方面同樣極輕。	加工較鋁板困難，但密度極小，因此在重量部份較鋁板輕。
缺點	質地過軟，針對木板加工時在攻牙部分會因抗拉力不足而導致解體。	並沒有太大的問題，雖重量仍較塑膠重，但鋁板不錯之選擇。	第三代之支架本身的材質較脆，也較不耐撞擊，但相對來說重量更為輕盈。
圖片			



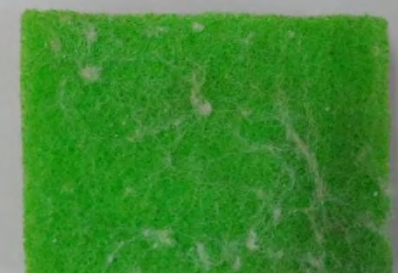
由上表可得知不同代擦窗戶機器人支架優缺點比較。

表三、Arduino感測器性能比較表

	超音波	紅外線	碰撞
接腳	GND Echo Trig Vcc	Vout Vcc GND	GND Vcc OUT
方便性	高	低	高
距離	2~450cm	2~80cm	無
角度	15°	35°	無
研究結果	我們使用超音波感測器來做為擦窗戶機器人之感測器，在外型上不會因為因障礙影響碰撞感測器會有所限制，進而影響外觀。		
圖片			

由上表可得知擦窗戶機器人適合的感測器比較。

表五、擦拭工具能力比較表

	抹布	高科技海綿	菜瓜布
優點	價錢便宜、吸水能力強。	價錢低、方便，清潔度高	用粗糙的摩擦方式把污垢帶起
缺點	容易發臭、容易藏污納垢、沾染油性不易清洗乾淨	有化學成份美耐皿	可能會刮傷窗戶
研究結果	我們採用了較方便的高科技泡棉做為擦窗戶機器人的擦拭工具，並同時利用刮刀來去除使用含水科技泡棉殘留於窗戶的水分，達到清潔的效果。		
圖片			

由上表可得知不同擦拭工具在玻璃上適應性高低。

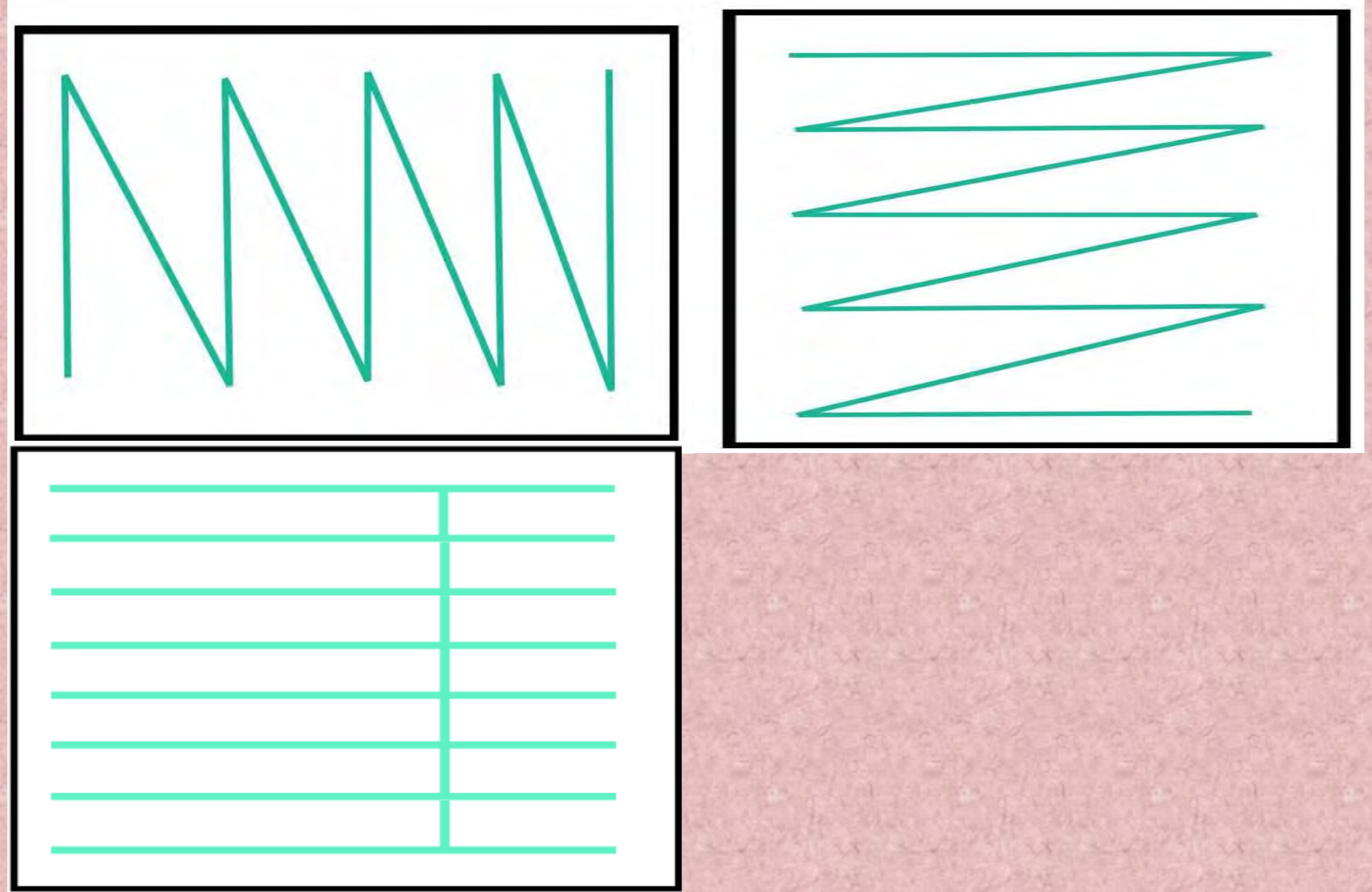
```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <SoftwareSerial.h>

double angle_rad = PI/180.0;
double angle_deg = 180.0/PI;
char ccc;

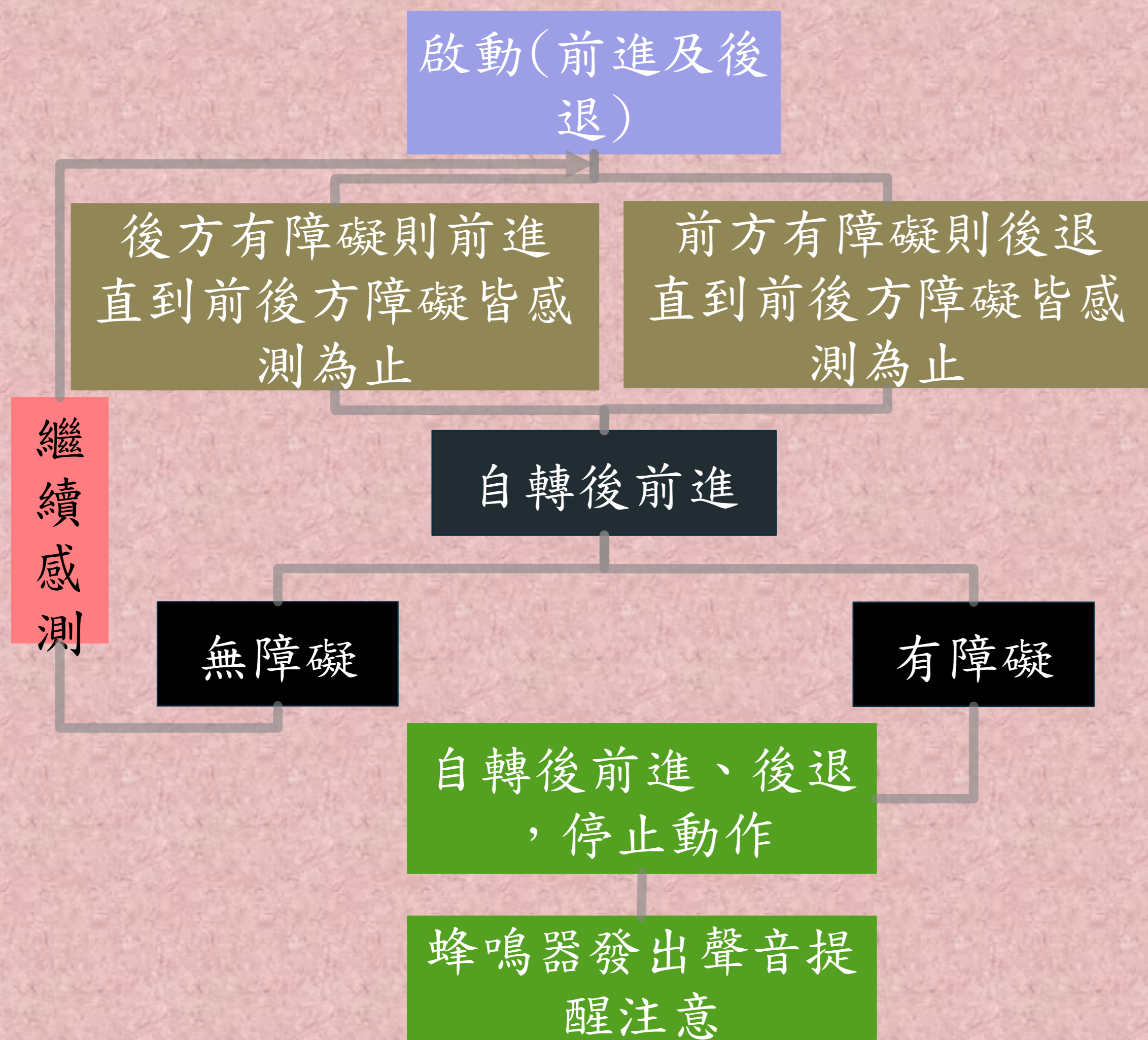
void setup(){
  Serial.begin(57600);
  pinMode(10,OUTPUT);
  pinMode(5,OUTPUT);
  pinMode(11,OUTPUT);
  pinMode(6,OUTPUT);
  digitalWrite(10,1);
  analogWrite(5,0);
  digitalWrite(11,1);
  analogWrite(6,0);
}

void loop(){
  if((Serial.available()) > (0)){
    ccc = Serial.read();
  }
  if(((ccc)=='F')){
    digitalWrite(10,1);
    analogWrite(5,255);
    digitalWrite(11,1);
    analogWrite(6,255);
  }
  if(((ccc)=='B')){
    digitalWrite(10,0);
    analogWrite(5,255);
    digitalWrite(11,0);
    analogWrite(6,255);
  }
  if(((ccc)=='L')){
    digitalWrite(10,1);
    analogWrite(5,255);
    digitalWrite(11,1);
    analogWrite(6,100);
  }
  if(((ccc)=='R')){
    digitalWrite(10,1);
    analogWrite(5,100);
    digitalWrite(11,1);
    analogWrite(6,255);
  }
  if(((ccc)=='S')){
    digitalWrite(10,1);
    analogWrite(5,0);
    digitalWrite(11,1);
    analogWrite(6,0);
  }
}
```

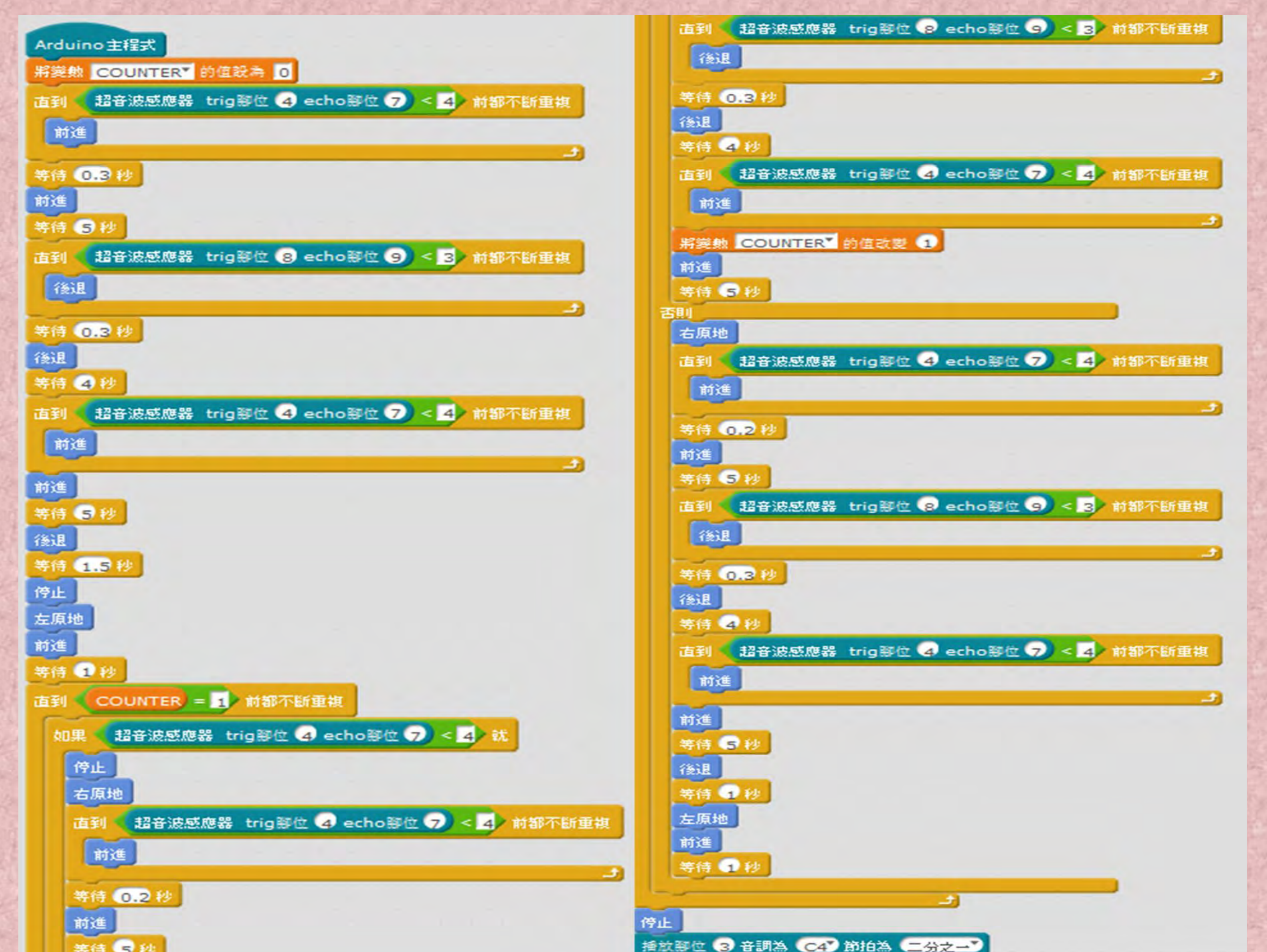
圖一、擦窗戶機器人藍芽模組程式碼



圖二、擦窗戶機器人行徑路線示意圖。

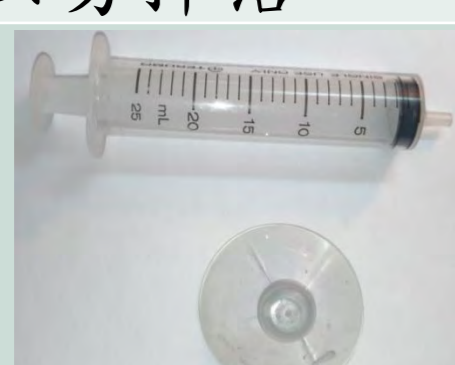
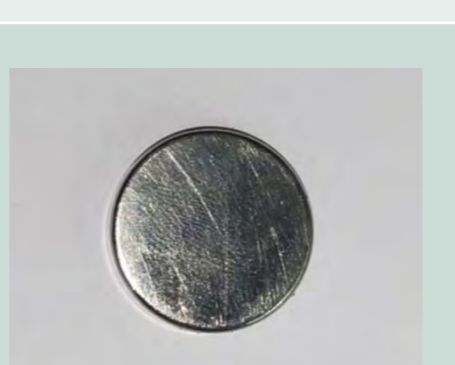


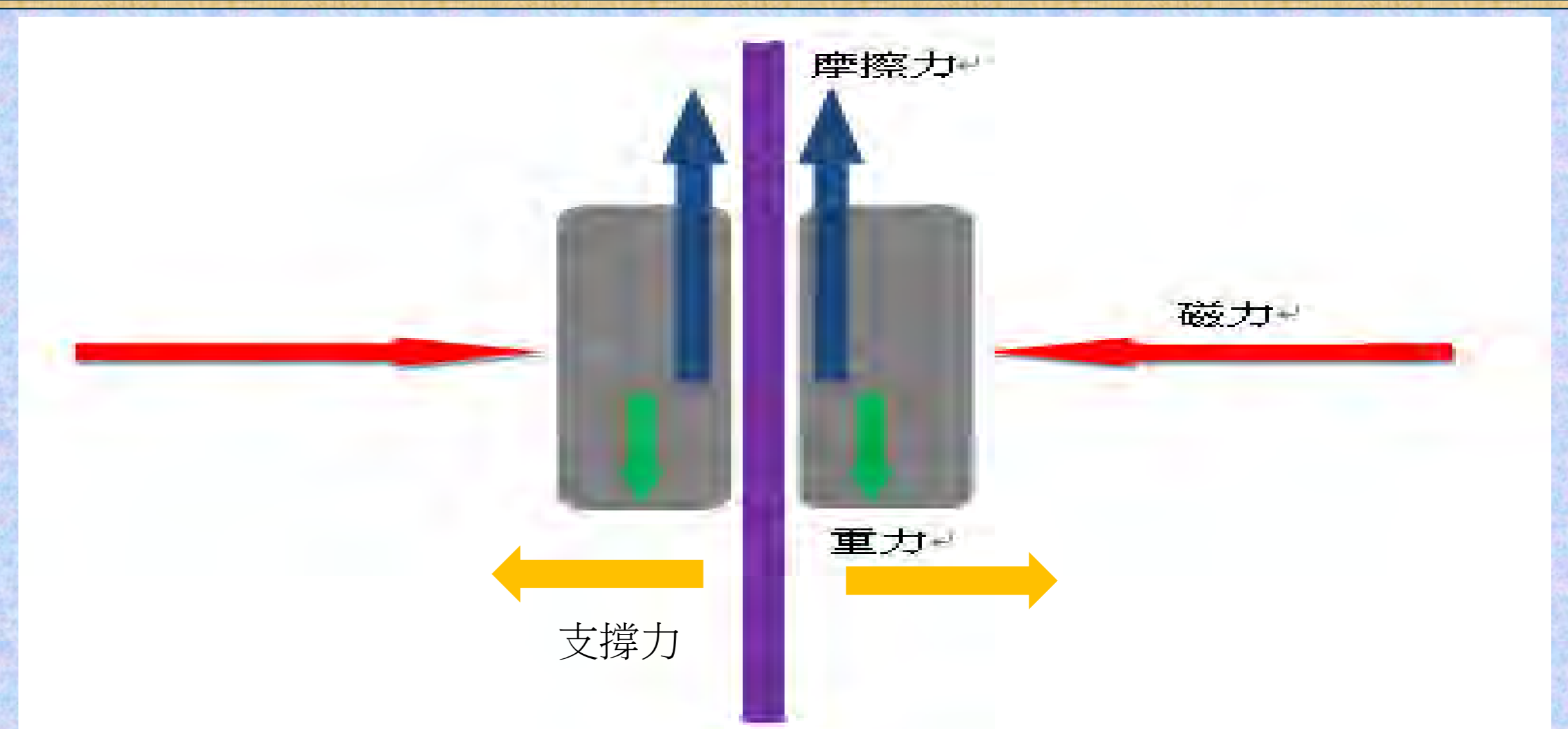
圖三、擦窗戶機器人程式流程圖。



圖四、擦窗戶機器人程式碼

表六、擦窗戶機器人吸附至窗戶情形。

	吸盤	磁鐵 (使用釹鐵硼磁鐵)
優點	價格便宜，重量輕	方便，不需像吸盤一樣控制收放，所佔空間少，總體積自然小
缺點	難控制，須準確調整真空泵收放時機，且在移動時必須脫離真空狀態，所以易掉落。	價格較貴，磁力也可能對arduino機板造成影響。
圖片		



圖五、擦窗戶機器人風切情形。

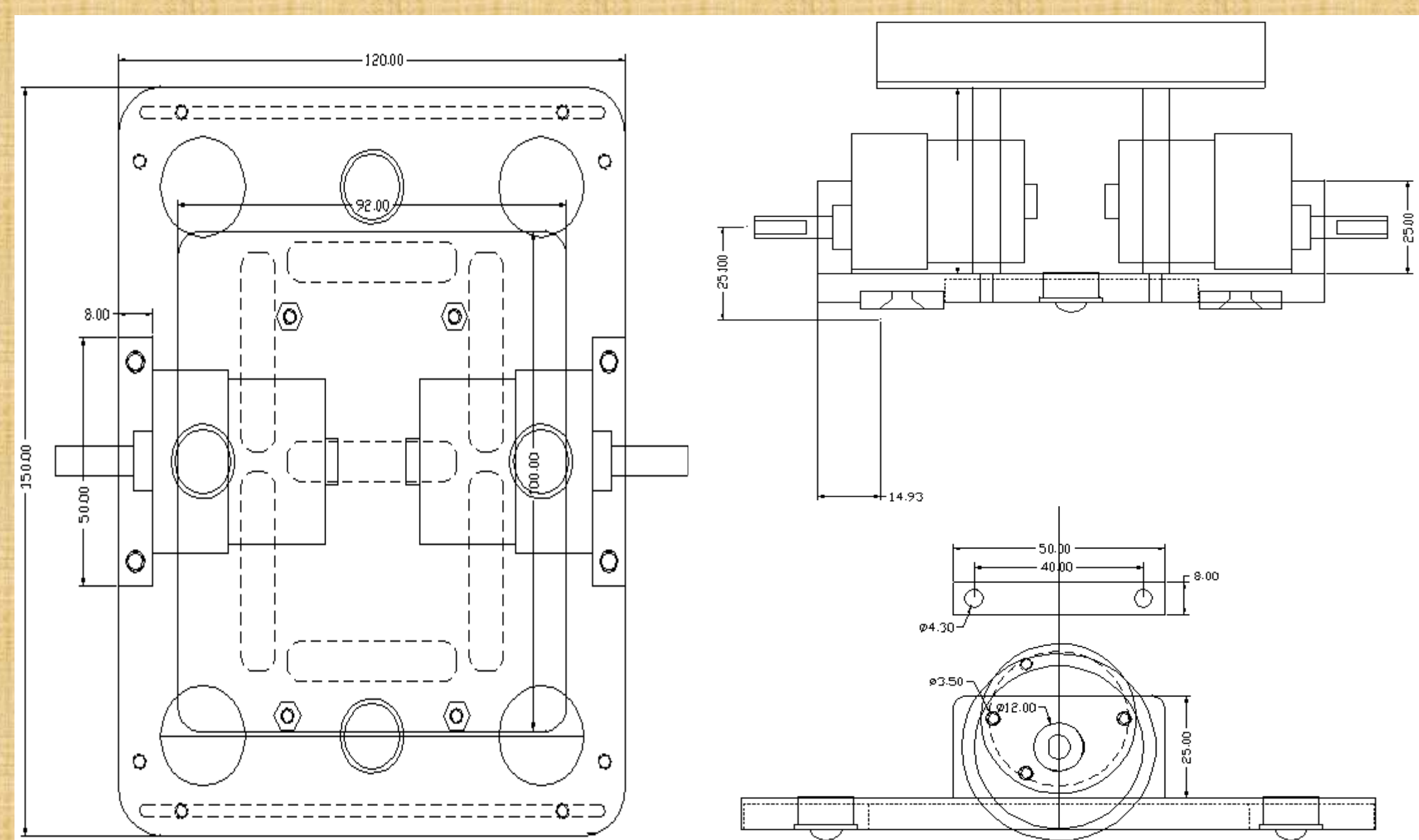


## 伍、結論

經過多次的比較及修正、改善，最後我們使用電木來作為機器人的支架。再來，我們不僅改良了支架的問題，還結合3D列印軟體Tinkercad調整孔徑及尺寸，找到適合馬達孔徑的輪子，在價格方面也低於市售擦窗戶機器人許多。此外，我們也運用了超音波技術取代市售擦窗戶機器人皆採用的碰撞感測器，在解決障礙方面優於原有市售擦窗戶機器人之碰撞感測器。另外重量方面，另外在重量部分，我們能控制在1kg以下，與市面上擦窗戶機器人1.5kg以上的重量相差許多。不僅如此，本研究利用mBlock簡易圖形界面程式搭配Arduino板完成並製作擦窗戶機器人，未來也具有程式方面的擴充性。我們的智能擦窗戶機器人在智能感測、實用性、擴充性等方面都具有創新，價格也平民許多。

## 陸、未來展望

在未來，我們將會繼續改良自製擦窗戶機器人，包括擦窗戶機器人在極端環境下的穩定性，在高樓層的風切下不因受力過大而墜落，發生危險，我們將會運用特殊圖形外殼來減少風阻，使擦窗戶機器人能夠更加安全、放心的被使用。更為重要的是，在校園中我們甚至可以直接運用此機器人來解決清理窗戶的問題，避免在學校的外牆窗戶也發生危險事件。完成後也可實際應用在校園中，落實校園創客，創客校園的科技行動學習歷程。



圖九、Autocad 3D 設計圖。

## 柒、參考資料

- 曹永忠、許智誠、蔡英德。Arduino 雙軸直流馬達控制。P80~87。
- 周延武、宗光華。(2002)。Cleanbot-I 擦窗機器人的智能化技術。
- 用mBlock玩Arduino - Starting from Scratch。(2015)。
- 周忠信，吳奕宏，謝翰宜。(2017)。Arduino初學完全指南。

## 捌、名詞解釋

- 攻牙：是指在一個洞裏作出陰螺紋（內螺紋），就可以將螺絲鎖上。
- 抗拉力：即抗拉強度。是在外力作用下，材料抵抗破壞的能力。

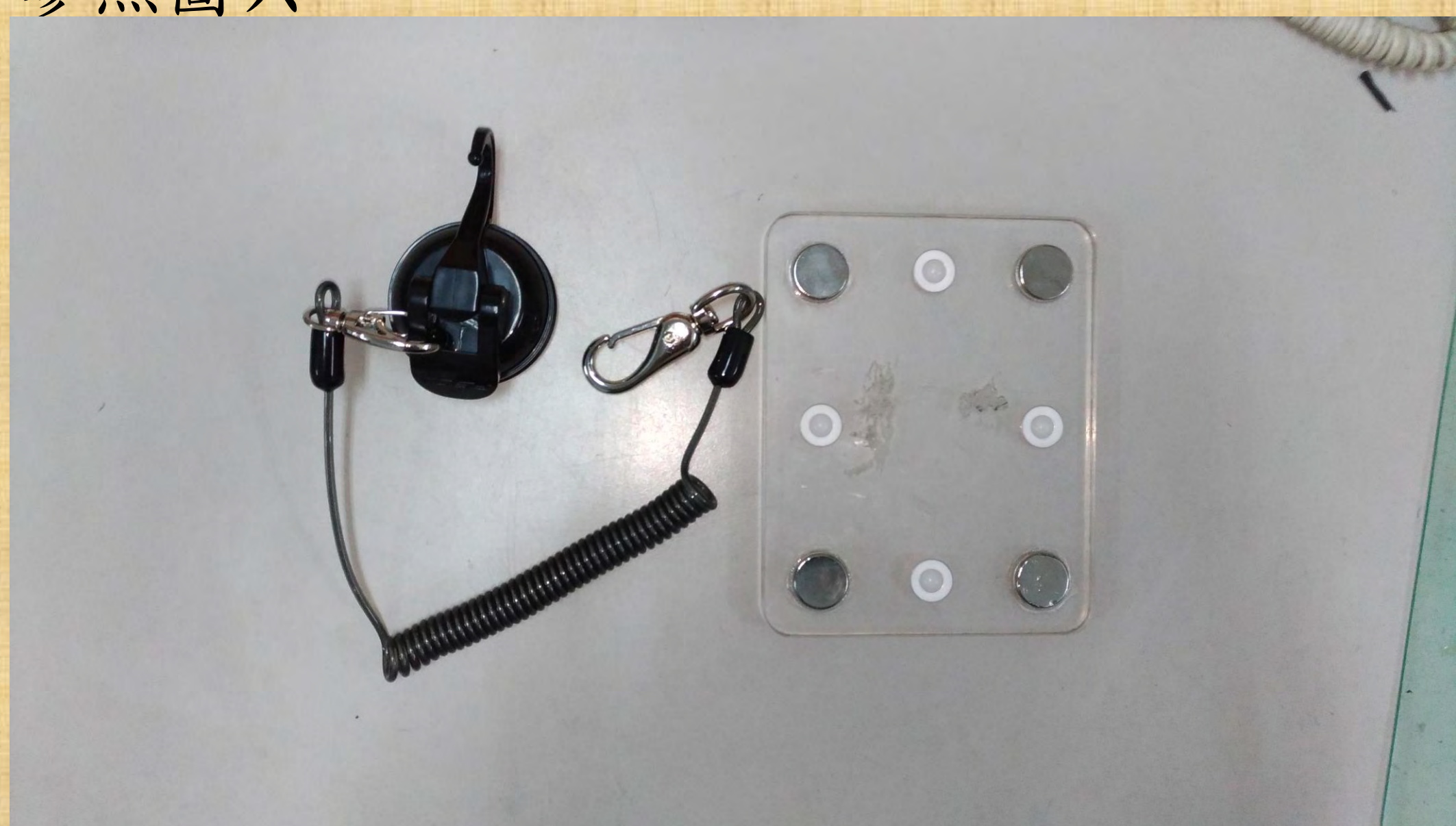
	第一代3D 列印	第二代3D 列印	第三代3D 列印	第四代3D 列印	第五代3D 列印
D型孔 徑 (mm)	6Φ*5.4	6Φ*5.6	6Φ*5.6	6Φ*5.6	6Φ*5.6
外徑 (mm)	28*28*36	28*28*36	40*40*36	40*40*36	40*40*36
強度 (%)	30	30	30	100	100
材質	PLA	PLA	PLA	PLA	ABS
示意 圖					

表七、3D輪子五代比較表。

由表七可得知不同3D列印輪子的差異。

### • 討論與統整

1. 安全措施：透過安全繩搭配吸盤來避免擦窗戶機器人因外力環境因素而掉落。詳細情形請參照圖六。



圖六、擦窗戶機器人安全裝置圖。

2. 價格：經過我們的努力，在價格(材料)方面大約在5000~6000左右，大約為市售擦窗戶機器人價格的一半。
  3. 重量：在重量部分，礙於馬達本身重量、支架材質的限制、支架支撐強度的影響，我們在重量部分能控制在1kg以下，與市面上擦窗戶機器人1.5kg以上的重量相差許多。在未來，我們或許可以繼續研究克服攻牙問題的方法，以減輕擦窗戶機器人的重量，進而減少危險性。
  4. 實際擦拭：我們透過模擬實際擦窗戶之情形，將窗戶塗抹不同物質，藉以得知擦拭至完全乾淨所需次數。詳細情形詳如圖七及表八
- 表八、擦窗戶機器人擦試次數比較表。

	滑石粉	水漬	飲料漬	粉筆灰
擦試次數	3	4	5 (最難清)	3



圖七、擦窗戶機器人模擬擦試圖。