

嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科學科(一) (機電與資訊)

組 別：國中組

作品名稱：轉彎之道 - mbot 輪型機器人轉彎三種方式探究

關 鍵 詞： mbot、輪型機器人、轉彎（最多三個）

編 號：

# 轉彎之道 - mbot 輪型機器人轉彎三種方式探究

## 摘要

升上國中之後，多了許多有趣的科目，功課表上出現了不同於國小的資訊科技課程，因此有機會接觸到mbot輪型機器人，第一眼看到它，就被它可愛的外型吸引了，因此對mbot輪型機器人特別感到新奇，也發現有許多mbot的比賽，因此我們想針對它的三種轉彎模式加以探討，並將三種轉彎模式在不同速度下的轉彎軌跡的曲線曲率融入研究中，做為這次的探究內容，希望透過我們的資料，選手能盡快找到最佳逼近值，符合比賽路徑的曲線，縮短測試與校正的時間，獲得好成績。

我們透過課程，發現左轉和右轉的概念是一樣的，擇一來做實驗，設計以右轉為例，探究A、B、C組三種右轉模式，再加上一個D組對照實驗組：

- A、 左輪速度正向較快+右輪速度正向較慢。
- B、 左輪速度正向+右輪速度逆向。
- C、 左輪速度正向+右輪速度0。
- D、 對照實驗組：左右輪速度一樣，但一輪正轉，一輪逆轉。

## 壹、研究動機

國中有一門課是資訊科技課程，課程中有程式設計的內容，線上版本使用的是Scratch軟體，設計程式達成目標，再加上老師還教我們運算思維的闖關遊戲，過關後，不僅覺得很有成就感，還覺得很有趣，而mbot輪型機器人可使用離線版本來操作，因此改用mBlock軟體寫程式，其程式積木與Scratch是相似的，用程式設計操作mbot輪型機器人後，發現有許多相關的機器人競賽，進而上網蒐尋相關資料，歸納比賽流程大致包括機器人組裝、測試然後正式比賽，比賽過程當中，只有極少數短短的時間能做調整校正，有時連比兩輪就沒有校正的時間了，校正時選手往往非常緊張，因此想法是，如果有在不同左右輪速度搭配下，行走軌跡之曲線曲率之變化，就可以有最佳數值的參考點，就可以節省測試的時間，以期獲得好成績。

## 貳、研究目的

為了比賽時能在最短時間符合比賽路程，尤其在轉彎時能又快又準的進行，幾經討論，我們希望能透過探究三種轉彎模式的實作討論，及在不同速度下行走軌跡的曲率，希望這些資料能讓選手盡快找到最佳逼近值，符合比賽路徑的曲線，縮短測試與校正的時間，並獲得好成績。

比賽時如何準確又快速達成目標，我們討論後以如何轉彎為題，實驗設計以右轉為例，討論mbot輪型機器人的三種轉彎模式，在不同速度下行走軌跡之曲線曲率之變化，做為探究的內容，再加上一組對照實驗組，以期符合不同模式：

### 一、右彎模式

- (一)、探討右轉方式A(左輪速度正向較快+右輪速度正向較慢) 在不同速度下行走軌跡的曲線曲率之變化。
- (二)、探討右轉方式B(左輪速度正向+右輪速度逆向) 在不同速度下行走軌跡的曲線曲率之變化。
- (三)、探討右轉方式C(左輪速度正向+右輪速度0) 在不同速度下行走軌跡的曲線曲率之變化。
- (四)、探討對照實驗組D的正逆轉(左右輪速度一樣，但一輪正轉，一輪逆轉) 在不同速度下順時鐘與逆時鐘轉彎的軌跡，觀察軌跡，藉以研究左、右的TT直流減速馬達的功率是否相同。

### 二、左彎模式：與右彎左右相反

## 參、研究設備及器材

Mbot 輪型機器人(3 部)、傳輸線(3 條)、全開壁報紙、白板筆、油性筆、金頂鹼性電池、高密度海綿 A4 一片、低密度海綿一片(包蘋果的海綿)、三合板(1 片 厚度 4.1mm)、原木棍(1

條 直徑 5.2mm×長度 300mm)、方形木條(1 支 1x1x 長 600mm)、烤肉竹籤、游標卡尺、直角規、熱熔膠槍、刀具-圓穴鋸 (1 個 直徑 25mm)、線鋸機、桌上型鑽床、砂帶機、記錄本、有公分刻度的紙膠帶。

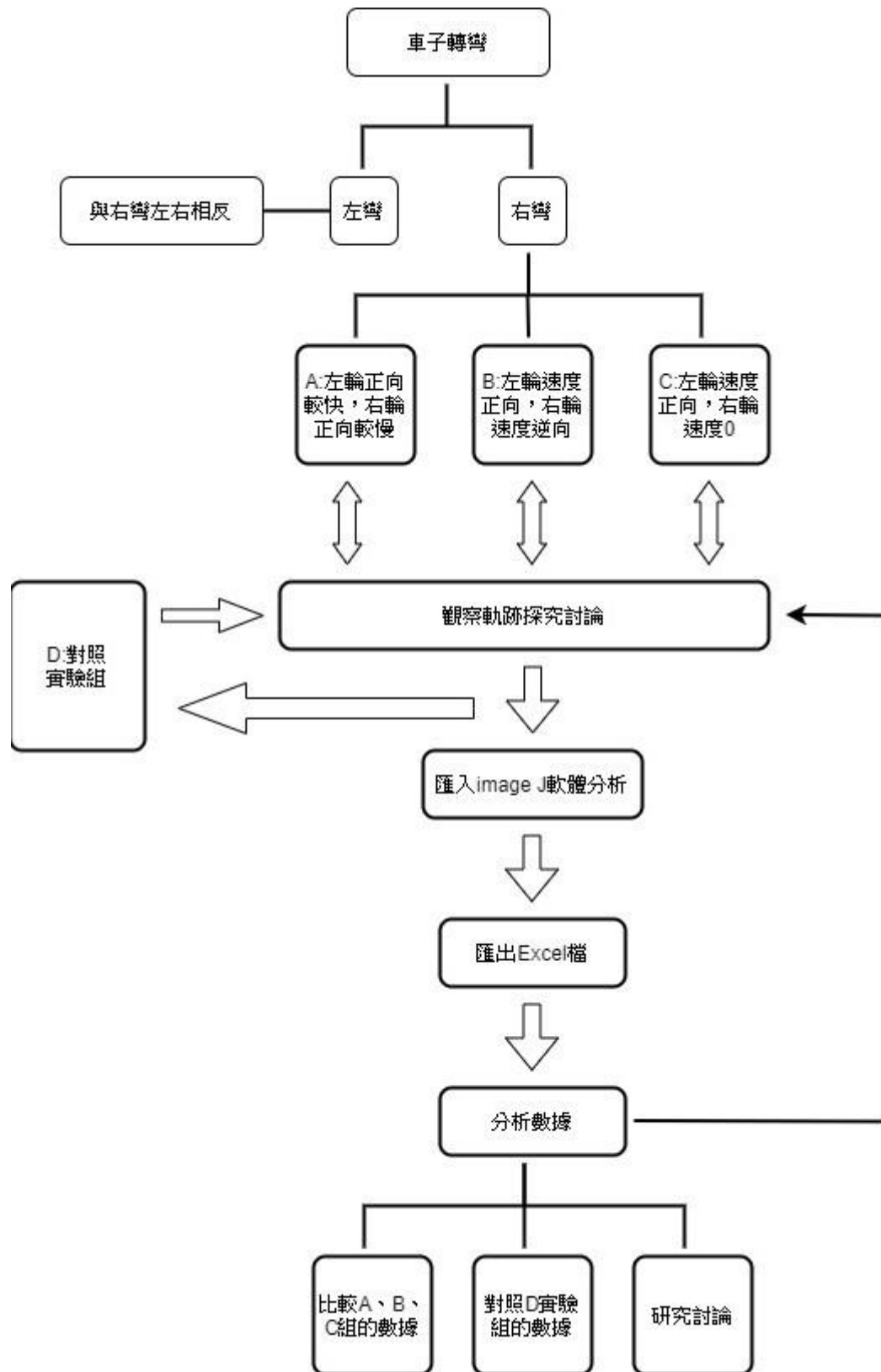
1.mbot輪型機器人	2.傳輸線
	
3. 全開壁報紙	4. 白板筆
	
5. 油性筆	6. 金頂鹼性電池
	
7. 高密度海綿	8. 低密度海綿
	

9. 三合板	10.圓木棍
	
11. 方形木條	12. 烤肉竹籤
	
13. 游標卡尺	14. 直角規
	
15. 熱熔膠槍	16. 刀具-圓穴鋸直徑25mm
	

17. 線鋸機	18. 桌上型鑽床
	
19. 砂帶機	20. 記錄本
	
21. 紙膠帶	
	

# 肆、研究過程或方法

## 一、研究架構



## 二、過程

- (一)、本實驗使用的是 Makeblock mBot 輪型機器人為一款可以編寫程式、可擴充套件的機器人，實驗中使用三台新的 mBot，程式用 mBlock 3 編寫，做實驗比較；mBot 輪型機器人左轉和右轉的概念是一樣的，我們討論決定選擇右轉，來探討控制左、右輪馬達的速度。
- (二)、mBot輪型機器人速度範圍是+255 ~ -255，因為機器人本身為鋁合金機身，加上四顆電池的重量，以新電池測試結果，前進速度80以下有時候無法順利突破最大靜摩擦力，因此不能順利驅動機器人；為了讓實驗無突破最大靜摩擦力的變因，最後大家討論實驗速度數值，採計如後所示，實驗速度由100開始：100、150、200、255、-100、-150、-200、-255，彼此排列出符應A、B、C組實驗要求的組合，括號內X座標是左輪速度，Y座標是右輪速度，如下所示：
- A、左輪速度正向較快右輪速度正向較慢：速度搭配 6 種。  
A1(150,100)、A2(200,100)、A3(255,100)、A4(200,150)、A5(255,150)、A6(255,200)
- B、左輪速度正向右輪速度逆向：速度搭配 16 種。  
B1(100,-100)、B2(100,-150)、B3(100,-200)、B4(100,-255)、B5(150,-100)、  
B6(150,-150)、B7(150,-200)、B8(150,-255)、B9(200,-100)、B10(200,-150)、  
B11(200,-200)、B12(200,-255)、B13(255,-100)、B14(255,-150)、B15(255,-200)、  
B16(255,-255)
- C、左輪速度正向右輪速度 0：速度搭配 4 種。  
C1(100,0)、C2(150,0)、C3(200,0)、C4(255,0)
- (三)、為了測試mBot左、右輪馬達的功率是否有一致性，因此設計了一組對照實驗D組，假設左、右輪馬達的功率是一樣的話，那麼在直線距離結束後，mBot機器



人左轉、右轉的圖形應該是相對稱的，實驗速度由100開始：100、200、-100、-200，然後再隨機抽出一個不是整數的速度175、-175，彼此排列出符應D的組合，括號內X座標是左輪速度，Y座標是右輪速度，如下所示：

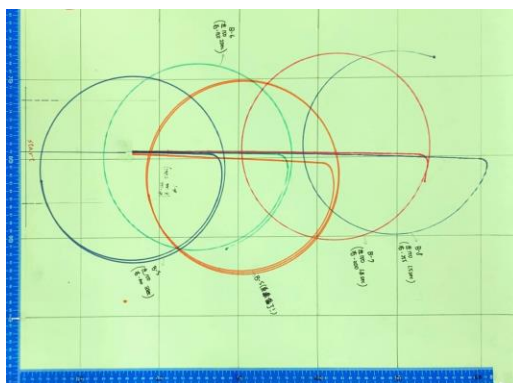
對照實驗D組-左右輪速度一樣，但一輪正轉，一輪逆轉：速度搭配6種。

D1(200,-200)、D2(-200,200)、D3(100,-100)、D4(-100,100)、D5(175,-175)、D6(-175,175)

- (四)、上網蒐集 mbot 輪型機器人比賽的路線，觀察歸納出比賽路徑大約有以下 6 種線條構成，分別是直線、直角、圓弧、鈍角、銳角、U 型彎。
- (五)、本研究實驗設計，原本要將上述 A、B、C 的控制左、右輪馬達速度的組合，選用實驗在 6 種線條路徑上(直線、直角、圓弧、鈍角、銳角、U 型彎)，並觀察紀錄 mbot 輪型機器人運動狀況。
- (六)、後來大家觀察第三項的 6 種路徑，可以用 曲率 來統合歸納，在數學中，曲率是描述幾何體彎曲程度的量，例如曲面偏離平面的程度，或者曲線偏離直線的程度；定義：圓的半徑的倒數，就是圓曲率( 百度百科)，就是圓的彎曲程度，計算方法： $K = 1/R$ 。
- (七)、mBot 輪型機器人因為車身與輪軸保持固定距離的關係，轉彎時路徑會有一個弧度，是以圓弧的方式行進轉彎，且如果一直保持轉彎的程式持續，推測機器人的路徑將會是一個圓，因此我們決定分析 mBot 行走的軌跡，了解不同的速度搭配和路徑曲線的曲率之間的關係。
- (八)、曲率是半徑的倒數，為了讓實驗更有效率，所以我們想試著找到是否有 APP 可使用，第一次找到的 APP ArcCalc 只能算出單點曲率，不能算出整個機器人運動軌跡曲線的曲率。
- (九)、後來再繼續搜尋資料，發現一套免費、開源程式碼的免費軟體，這套 Image J 軟體除了在 Windows 下可以執行之外，還可以在 Mac OS、Linux 的使用者都可以使用這套免費的影像分析軟體，這個軟體本身並不大，功能也很簡單，適合我們的實驗。
- (十)、Imagej 有許多免費的外掛模組，實驗中需要使用的模組是 plugin 的 Kappa，可

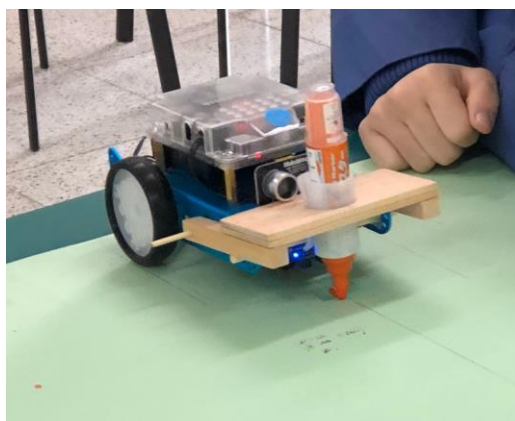
以下載協助運算實驗中曲率的數據，是一套蠻不錯的影像分析軟體，此軟體的優點，可以算出整個機器人運動軌跡曲線的曲率，有了軌跡曲線上每一個點的曲率數據，比較符合我們實驗的需求。

- (十一)、 為了方便量測實際路徑曲線的尺寸，設計每 10 公分用鉛筆畫出正方格，以方便量測尺寸；方格線部分考慮每 5 公分劃一正方格，線條會太密，當我們在 imach j 描繪圖型，要量測曲率的時候會受到干擾；而 15 或 20 公分的正方格尺寸又太大，不易量測，因此討論後決定使用 10 公分的正方格尺寸；首先在全開壁報紙的邊緣貼上有公分刻度的紙膠帶，每 10 公分用鉛筆畫出垂直、水平線的正方格，這樣拍照後用 Imach j 分析時，才有實際尺寸依據。



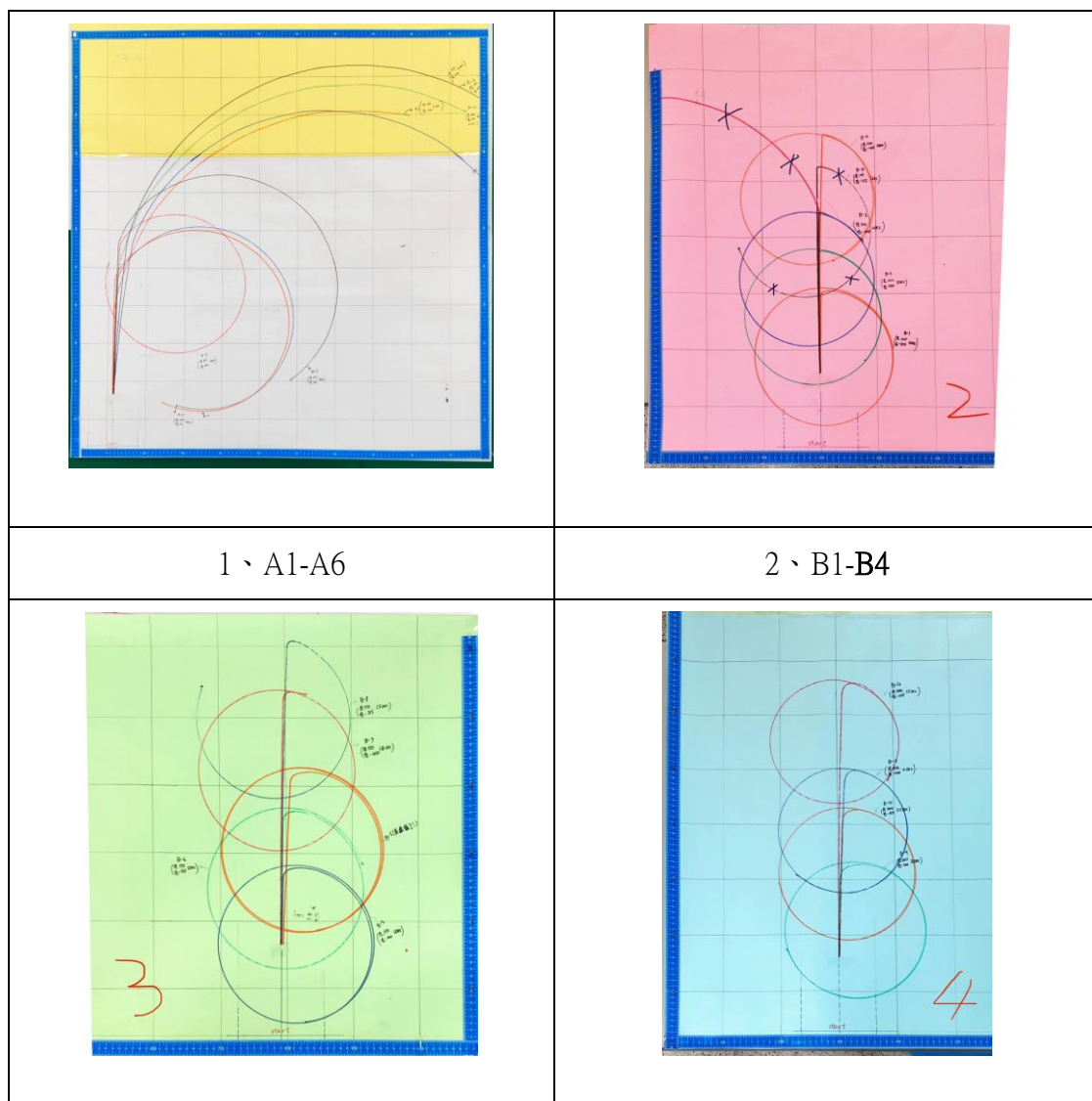
- (十二)、 大部分 mbot 比賽的機器人，選手都採用金頂鹼性電池，所以本實驗設計也採用一樣的電池品牌，由於競賽時 mbot 機器人的電池都會使用新的，因此我們實驗使用電池半天之後，就會把舊電池淘汰，換上新的電池，希望模擬更貼近比賽現場實際的狀況。

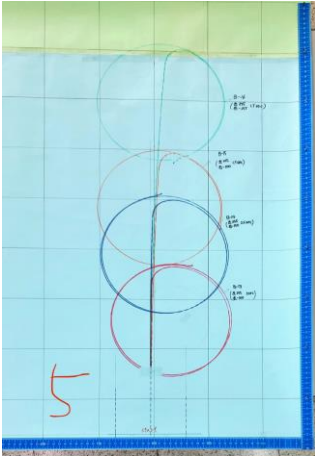
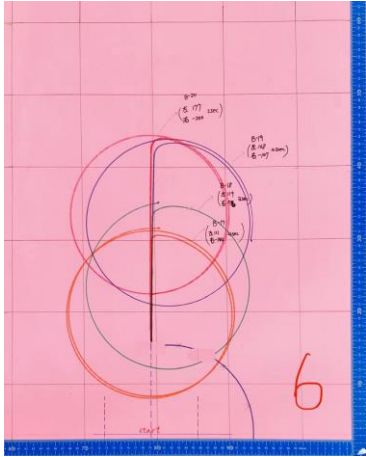
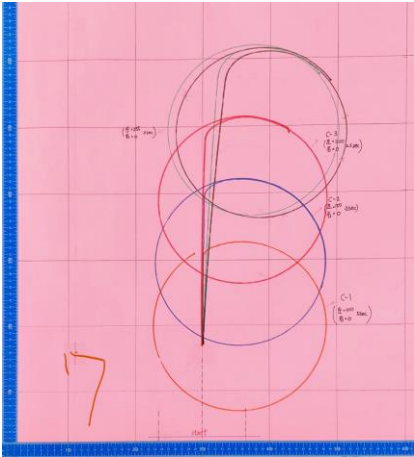
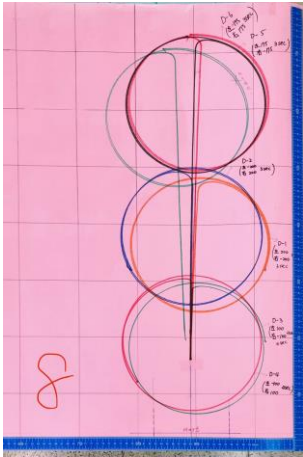
- (十三)、 製作一個放筆的架子在 mbot 前端，讓 mbot 運轉時，能將運動軌跡畫在全開壁報紙上，如下所示：



(十四)、 編寫程式是使用 mblock 3 來編寫控制左、右輪馬達的速度，以完成 A、B、C、D 的轉彎實驗程式。

(十五)、 本實驗拍照使用 Office Lens 的 APP：因為需要拍攝 mbot 畫在全開壁報紙上運動軌跡的照片，匯入電腦用 Imach j 計算曲率，為了避掉拍照時的梯形部分，使用 Office Lens 的 APP，因為它可以把梯形的部份去掉，移除陰影並修正影像的角度，使影像更容易閱讀，讓照片中 mbot 移動軌跡趨近於平面，以利 Imach j 分析曲線曲率；用 Office Lens 拍下 mbot 機器人在 A、B、C、D 四組實驗的行走路徑軌跡圖，共 8 張照片，為了能清楚觀察 mbot 機器人運動軌跡，每張全開壁報紙平均只畫 4-6 個軌跡，以利清楚觀察機器人的運動路徑，照片呈現如下：



3、B5-B8	4、B9-B12
	
5、B13-B16	6、B17-B20
	
7、C1-C4	8、D1-D6

(十六)、 將照片匯入 Imach j 的 Kappa，描繪機器人轉彎運動軌跡。

(十七)、 將 Imach j 透過描繪機器人轉彎運動的軌跡路徑，運算出 A、B、C、D 的轉彎運動軌跡的曲率數據，匯出為 Excel 格式，並求得平均曲率

(十八)、 依據 A、B、C、D 的轉彎運動軌跡的平均曲率數據，求得轉彎軌跡路徑的半徑。

## 伍、 研究結果

- 一、 將研究過程中 Imach j 匯出 A、B、C 的轉彎軌跡的曲率數據 Excel 格式，算出每組實驗的平均曲率數值，並繪製成長條圖

圖1 A組實驗-轉彎軌跡的平均曲率

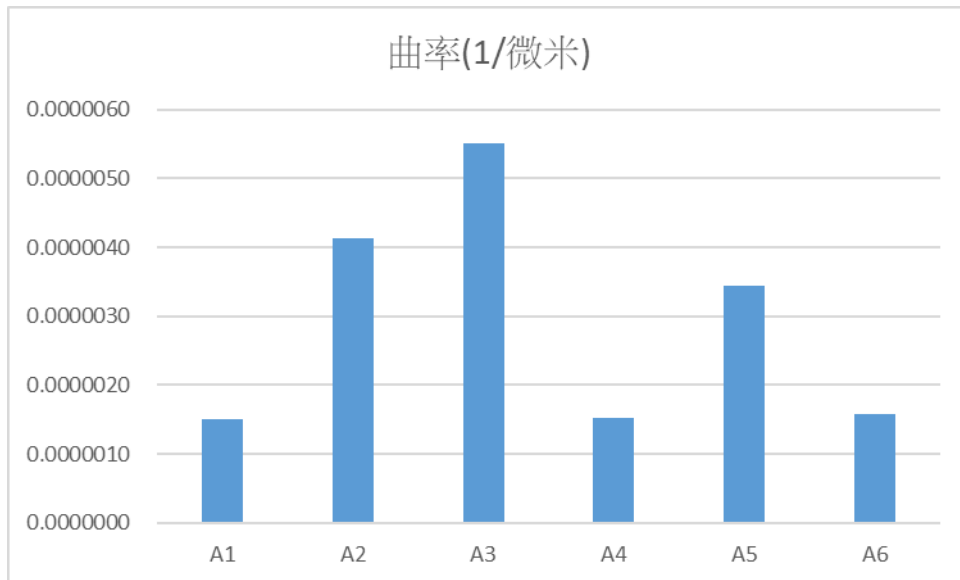


圖2 B組實驗-轉彎軌跡的平均曲率

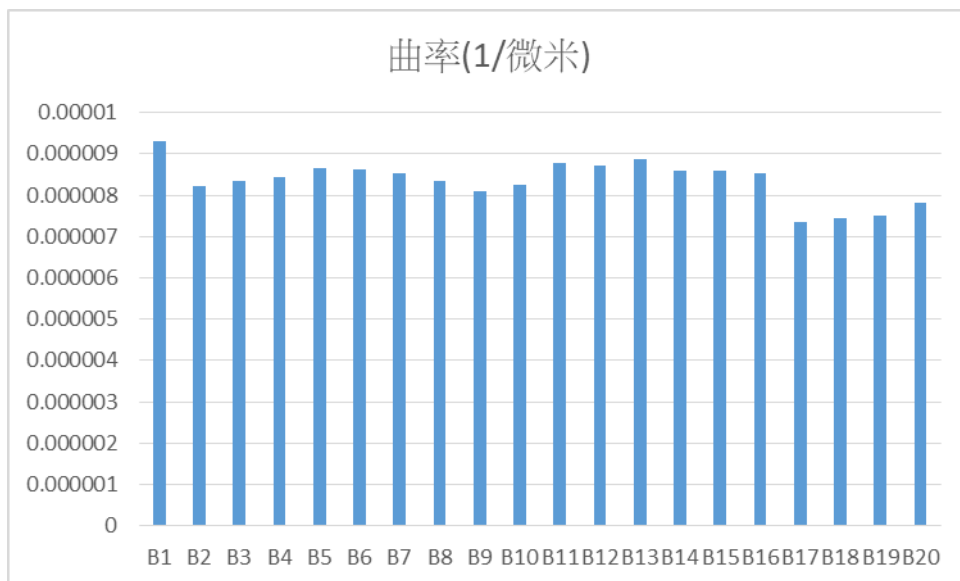
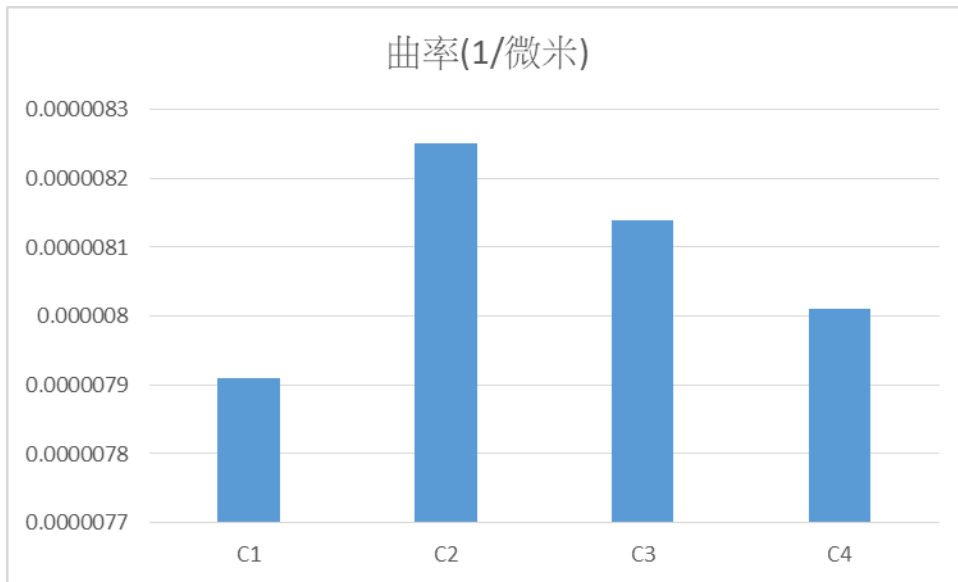


圖3 C組實驗-轉彎軌跡的平均曲率



二、由第三項的A、B、C每組實驗平均曲率數值，曲率的倒數是圓的半徑，算出相對應的半徑數據。

圖4 A組實驗-由平均曲率換算出轉彎軌跡的半徑

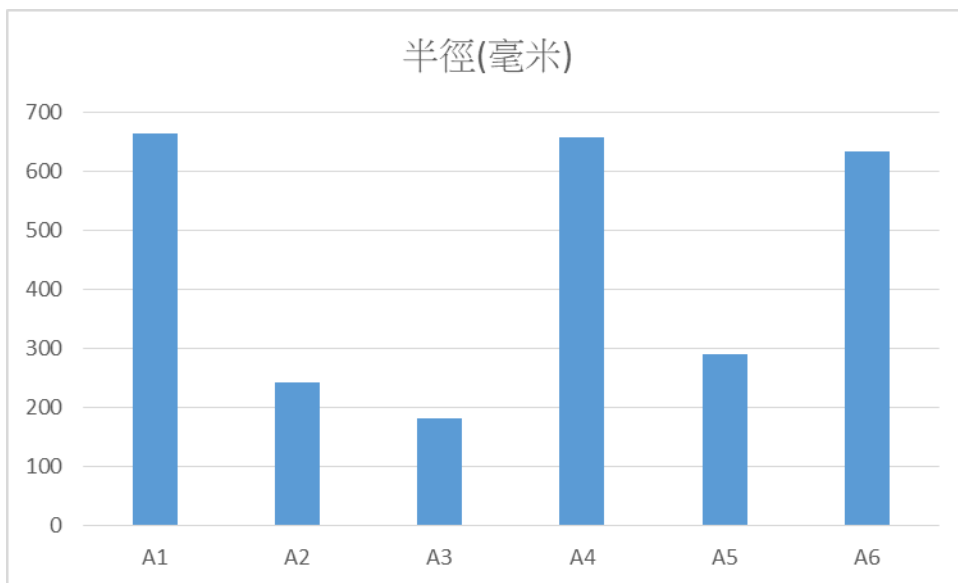


圖 5 B 組實驗-由平均曲率換算出轉彎軌跡的半徑

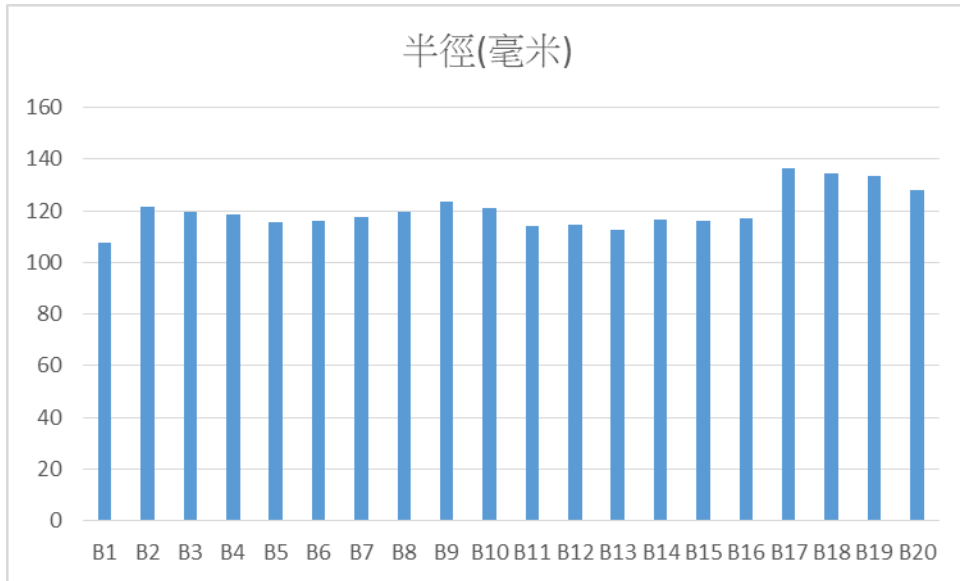
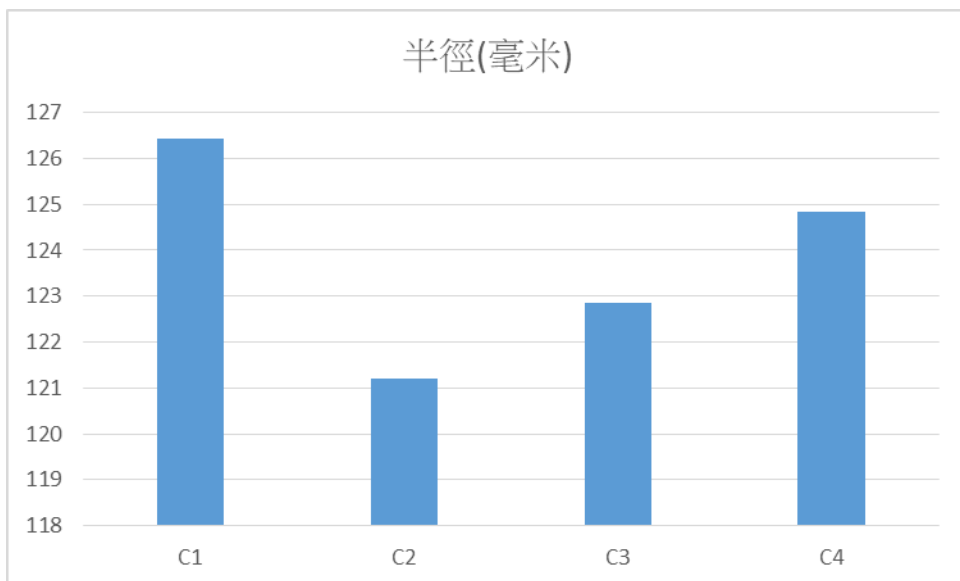
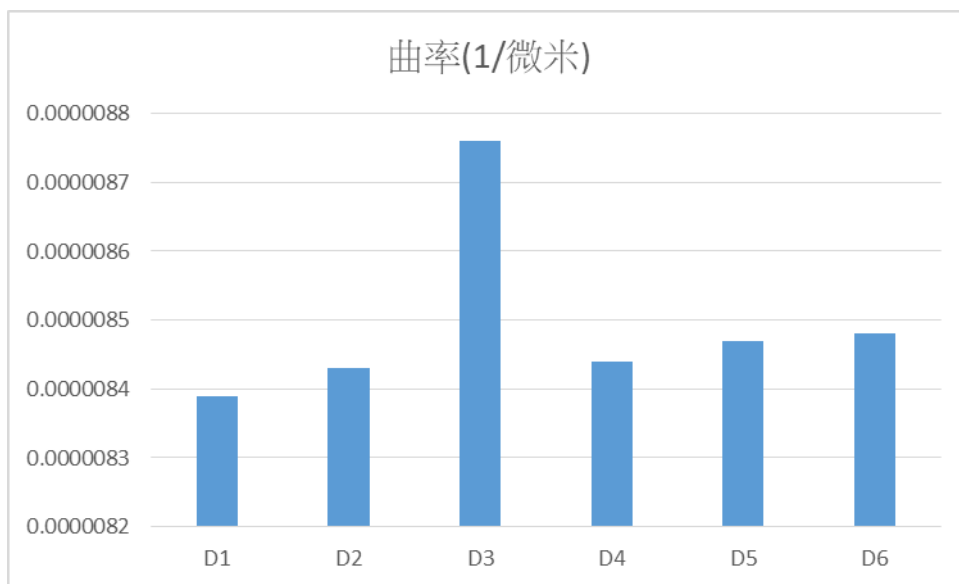


圖 6 C 組實驗-由平均曲率換算出轉彎軌跡的半徑



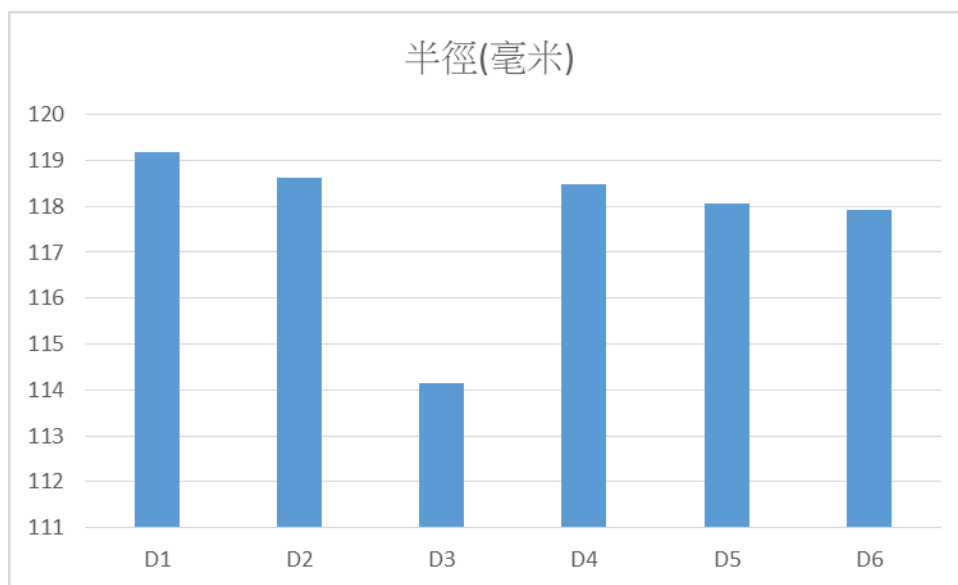
三、 實驗D組對照實驗-左右輪速度一樣，但一輪正轉，一輪逆轉：共6種速度的搭配，用Imach j運算出運動軌跡的曲率數據Excel格式，算出平均曲率數值，並繪製長條圖，如下所示：

圖7 D組實驗-轉彎軌跡的平均曲率



四、 由實驗 D 組對照實驗-的平均曲率數值，算出相對應的半徑數據，數據及長條圖如下所示：

圖 8 D 組實驗-由平均曲率換算出轉彎軌跡的半徑





## 陸、討論

- 一、 實驗時，車子放到壁報紙上的人、啟動開關的人、放白板筆的人，都是固定同一位同學，以減少人為的變因，並且車子擺放好之後都會再經過其他兩位同學以及老師的確認，再打機器人的開關，但是依然造成一開始車子走直線時，偏離原本直線的狀況，一開始偏了 0.1 公分，到後面也許就偏了將近 1 公分，但是因為我們做的是轉彎部分的曲率，因此直線部分不討論，對實驗不會造成影響。
- 二、 剛開始做實驗時，發現同一台機器人在同樣的速度狀態之下，可能會跑出不一樣的路徑，觀察、探討許多原因，最後使用三用電表量測，因為電池電壓減弱，因此機器人運動路徑變得無邏輯可歸納。
- 三、馬達運轉的功率不一樣，也會造成機器人的路徑不一樣，因此我們多設計了 D 組的實驗，當程式條件是相同之下，只差別在左轉、右轉時，動線部分若直線軌跡路徑相似，僅是差別在左、右彎，假設轉彎的圓的軌跡是相對稱的，我們可以推論左右馬達運轉功率是接近的。
- 四、 搜尋四輪傳動車子的影片，發現四輪傳動的車子是每個輪子都可以有各自的方向；但是本實驗 mbot 機器人屬於兩輪傳動，兩輪傳動不能隨意地往左右轉動，且經由觀察實驗 A 的運動路徑，速度越慢，機器人轉的直徑越大。
- 五、 我們實驗的 mbot 機器人雖然有三個輪子，但是只有其中兩輪(後輪)有 TT 直流馬達的動力，屬於動力輪，第三輪(前輪)是被動輪；mbot 機器人畫出來的圓，以實際量測與觀察，透過不斷反覆地觀看實驗影片，發現白板筆最後都回到原本轉彎處的點銜接起來，且兩後輪輪軸的中間點，我們稱為軸心，幾乎不動，所以推測軸心就是運動軌跡的圓心，且幾乎是沒有移動的；量測白板筆尖到後輪輪軸的中心，的距離大約是 12.2 公分，而實際量測壁報紙上 mbot 機器人運動軌跡的圓的半徑大約也是 12.3 公分左右，這兩個數值是接近的，驗證我們的推測是成立的。
- 六、 由圖 1 觀察得知 A 組實驗數據兩輪正向速度差越大，造成的曲率越大，兩輪的速度差距越小，曲率越小，由圖 4 可以推得 A 組實驗-由平均曲率換算出轉彎軌跡的半徑變化，與 mbot 機器人在 A 組實驗的全開壁報紙上路徑軌跡圖，半徑的變化，

兩者是有一致性的。

- 七、 用 Office Lens 拍下 mbot 機器人在 B、C 兩組實驗的行走路徑軌跡圖，大約都可以畫出整個圓，推測 A 組和 B、C 組的最大差別在於 A 組的速度兩輪皆是正向，而 B、C 組的速度是 0 或逆向，逆向的部分速度等於是牽制正向速度，類似阻礙並且摩擦力變大，而速度 0 同等也是阻礙跟摩擦力，因此 B、C 組的路徑會類似，右輪不論是逆向或速度為 0，皆造成 mbot 機器人往前移動的阻礙。
- 八、 因為圖 2 和圖 3 的曲率單位是 1/微米，所以長條圖上的差距在全開壁報紙上是相當微小的，除了 C1 之外(後面再討論)，故我們推測由觀察圖 2 和圖 3 的 B、C 組的曲率是差不多的。
- 九、 將圖 2 和圖 3 的 B、C 組的平均曲率，換算成圖 5 和圖 6-由平均曲率換算出轉彎軌跡的半徑(除了 C1 之外後面再討論)，我們發現其半徑數據是相近的，再透過實際量測觀察 mbot 機器人在 B、C 組實驗的全開壁報紙上路徑軌跡圖，半徑都是相近的，證明兩者是有一致性的，說明左輪速度在 150 以上時，右輪是逆向或速度為 0 都是代表相同意義的阻礙。
- 十、 由上推論，再加上我們發現 B 組和 C 組跑起來的路徑在全開壁報紙上是相似的，所以我們討論說是否右輪是逆向或速度為 0 都是代表一個阻礙，既然是阻礙的話，0 跟負數都是一樣的意義，當初研究速度 80 以下，無法突破最大靜摩擦力，無法順利驅動 mBot 機器人，那 80 以下推不動，是不是跟速度 0 的意義是一樣的呢?
- 十一、 圖 3 的 C1 曲率與 C2~C4 相比較之下，偏低許多，因為 C1 的左輪速度是正向 100，右輪速度是 0，因為左輪 100 太慢了，所以右輪 0 足以造成對其的影響，因此觀察 C1 的影片中，兩後輪輪軸的中間點，我們稱為軸心，是有移動的，畫了一個小圈，以致於造成我們白板筆畫的直徑比較大，因為左輪速度太慢了，所以右輪的速度 0 對 mbot 機器人來說是會產生影響的，由圖 6 C 組實驗-由平均曲率換算出轉彎軌跡的半徑中，圖中的 C1 由曲率換算成的半徑比較大，與 mbot 機器人在 C 組實驗的全開壁報紙上路徑軌跡圖半徑也是比較大，兩者是有一致性的。

## 柒、結論

- 一、經由實驗證明電量的差異會造成機器人路徑不一樣，電量要維持穩定，因此比賽時建議使用新的電池。
- 二、從 A 組右轉實驗中，可以得到兩輪皆為正向速度時的結論是，左右輪速度差越多，曲率越大，迴轉半徑就越小，所以圖 1 中 A3 的曲率最大；反之兩輪速度差越少，曲率越小，迴轉半徑就越大。
- 三、在 D 組的實驗中，其程式條件是相同的，mbot 機器人運動軌跡路徑，僅是差別在左、右彎，且經由圖 7 和圖 8 的推算，D1~D6 的半徑相近，且 mbot 機器人在 D 組實驗的全開壁報紙上路徑軌跡圖是相對稱的，我們可以推論左右馬達運轉功率是一樣的。
- 四、由討論第九點 得知 mbot 機器人右彎時，左輪速度在 150 以上，右輪是逆向(B 組)或速度為 0(C 組)都是代表相同意義的阻礙；比賽過彎之後仍要繼續前進到下一個關卡，而右輪的速度從逆向或從 0 開始，都必須加速到與左輪正向的速度相當，才能繼續向前進，此時右輪要加速到與左輪的正向速度差距是不相同的。
- 五、對討論第十點 建議比較保險的方式是採用 C 組實驗，將右輪速度設為 0，或設為 80 以下，因為前進速度 80 無法很順暢突破最大靜摩擦力，等同一個阻礙，那麼之後要加速前進會比右輪逆向的狀況還順。
- 六、透過這次探究 mbot 機器人的右彎狀況，讓我們對程式設計更了解到，在程式設計的課程中，解決方法不會只有一種，在這些解決方法中，如何找到最有效率的方式，都是值得探究的問題。

## 捌、參考資料及其他

- 一、 國中資訊科技康軒版第一冊。演算法與程式設計。
- 二、 國立科學工藝博物館 2019 創意機器人第一屆挑戰賽。2019 年 8 月 17 日，  
取自：<http://robot.nstm.gov.tw/2019/qa.html>
- 三、 2019 年第五屆愛寶盃創客機器人大賽簡章。2019 年 2 月 18 日，取自：  
<http://ipoemaker.com/news=57.1>  
<https://club.adm.ncu.edu.tw/files/news/%E7%B0%A1%E7%AB%A0.pdf>
- 四、 mbot 與 stem 的教學。2017 年 10 月 3 日，取自：  
<https://mbotandstem.blogspot.com/2017/10/first-time-mbot.html>
- 五、 維基百科，曲率。取自：  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9B%B2%E7%8E%87>
- 六、 阿簡生物筆記。2019 年 12 月 30 日，取自：  
[http://a-chien.blogspot.com/2019/12/imagej\\_30.html](http://a-chien.blogspot.com/2019/12/imagej_30.html)
- 七、 ImageJ 實用技巧——曲率計算與擬合(插件篇)。2019 年 12 月 30 日，取自：  
kappa 的 github <https://github.com/brouhardlab/Kappa/tree/master/docs>  
<https://www.xuehua.tw/2019/04/18/imagej%E5%AF%A6%E7%94%A8%E6%8A%80%E5%B7%A7-%E6%9B%B2%E7%8E%87%E8%A8%88%E7%AE%97%E8%88%87%E6%93%AC%E5%90%88%E6%8F%92%E4%BB%B6%E7%AF%87/>
- 八、 ImageJ 教學影片。取自：  
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLm6x13NbsKl5So8XGnb4RgvLhrQCVzvnX>