

屏東縣第 61 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：未來電動汽車的載重設計實驗：車頂負重高度和重量對過彎時翻車風險的影響

關鍵詞：慣性、micro bit、加速度

編號：B2022

摘要

全球各國政府推行電動汽車的勢態之下，這將驅使我們對未來汽車升級電能改造工程，但是，全球超過 10 台舊車全數報廢，將造成地球嚴重的負擔，因此，我們產生超前研究的想法。在安全與使用空間的原則，我們認為車頂蓄電是一個重要選項，在本實驗中，討論車頂架高度和重量對過彎時翻車風險的影響，參考《道路交通安全規則》第 77 條第 10 款，討論車頂架在不違規使用，在彎路時也不超速的情況下，車頂架貨物的重量是否影響安全？基於安全考量，我們利用遙控車模擬真實車輛，在四種高度不同的車頂架和五種不同重量的車頂架來進行實驗，並利用 micro bit 回傳車子行徑時的加速度資料進行分析。根據本文實驗結果發現，車頂架高度顯著影響行車安全。以及若真實車輛在符合法規的情形下，1500 公斤的車子，車頂架貨物重「超過」221kg，就有可能在轉彎半徑 17 公尺，速限 40km/hr 的情況下發生翻車的危險。

壹、研究動機

依據作者收集數據整理統計，全球大約有 10 億台燃油汽車，^[1] 假設換全新的電動汽車，將對許多家庭產生很高的成本，汽車動能升級，不僅可以顯著降低地球的負擔，對於能源、電池、汽車零件供應鏈的台灣廠商而言，動能升級存在相當高的商業價值。

歐盟與美國等先進國家，相繼宣布未來使用綠能汽車政策，綠能成為重要趨勢，各個汽車大廠都推出自己的綠能汽車，連 Apple 也準備推出自己的電動車，但現實情況無法將數億萬台舊車報廢，而且汰換汽車必定會帶來龐大的垃圾量，我們認為未來汽車改造工程勢在必行，我們在想，如果可以在舊汽車車頂上，像加車頂架一樣加上蓄電設備，這樣可以大幅減少汰換汽車所帶來的垃圾，同時也解決綠能問題，但將電池裝在車頂上轉彎時(圖 1-2)，是否會有危險？尤其是在車子過彎時，會不會更容易發生翻覆的可能性，是不是有相關的研究和法規？我們覺得很值得討論研究。尤其我們屏東地區有很多山路，有些山路的彎道多又急，在車輛行駛過彎時是否會有危險？

經大量查找、閱讀相關資料，看到了很多說法，有些說法認為車子是不會那麼容易翻車的，也有些人認為有危險，我們討論後覺得可以自己設計實驗來驗證，先找到了相關法規：《道路交通安全規則》第 77 條第 10 款，小型車置放架及裝載物應固定妥適，如裝置於車輛後側，其長度不應超過後側車身外 50 公分；第 38 條，如裝置於車頂，其含置放架之車輛全高應不得超過小型車全寬的 1.5 倍、全高不得超過 2.85 公尺，否則可依《道路交通管理處罰條例》第 29 條處 3,000 元以上 9,000 元以下罰鍰。

所以，可以從法規中知道有限制高度和寬度，但是沒有看到重量的規定。我們討論後覺得，會影響車子翻車的因素有很多，其中車頂架上貨物高度、重量、車子過彎

時速度都會有影響，所以我們依據學校所學知識，以及參考物理學教科書等相關資料，自己設計做實驗，以瞭解車頂架高度和重量對過彎時翻車風險的相關性，

貳、研究目的

我們在實驗中參考了自然與生活科技課本第五冊中有關速度、加速度、簡單機械的相關原理^{[2][3]}來進行實驗，針對綠能汽車升級改造的載重研究。

實驗一：

(一)實驗目的：

探討車頂架高度相同、載重不同，對於車子轉彎時翻車的影響。

(二)控制變因：

車頂架高度、跑道材質。

(三)操縱變因：

載重不同，共有 0.068kg(四顆電池)、0.118kg(四顆電池加 50g 砝碼)、0.168kg(四顆電池加兩顆 50g 砝碼)、0.218kg(四顆電池加三顆 50g 砝碼)、0.268kg(四顆電池加四顆 50g 砝碼)五種不同車頂載重實驗。

(四)應變變因：

使用 micro bit 收集車子行進時的加速度資料，再分析得到的數據。

實驗二：

(一)實驗目的：

探討車頂架高度不同，載重相同，對於車子轉彎時翻車的影響。

(二)控制變因：

車頂架載重、跑道材質。

(三)操縱變因：

車頂架高度，共有 0.122m、0.135m、0.148m、0.162m 四種不同車頂架高度實驗。

(四)應變變因：

使用 micro bit 收集車子行進時的加速度資料，再分析得到的數據。

參、研究設備及器材

一、Micro:bit

Micro:bit 由英國 BBC Learning 負責研發，是一款口袋式微控制器開發板，BBC Micro:bit 用於各種的實驗、創作，從機器人到樂器，它的主要功能為檢測運動，並告訴你進入哪個方向，並且可以使用低能量藍牙連接與其他設備和 Internet 進行交互。

我們的實驗需要測得遙控車入彎前的速度，本來想用打點計時器來測量，但發現沒辦法。因為遙控車在過彎時，打點計時器的紙帶會卡住，打點計時器可能比較適合測直線運動的物體，在國三課本中，打點計時器也只拿來測直線運動的滑車。

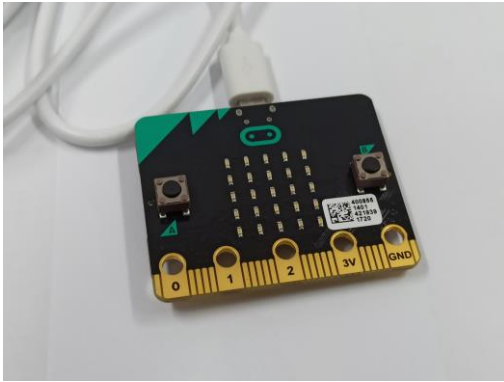


圖 3-1 micro: bit

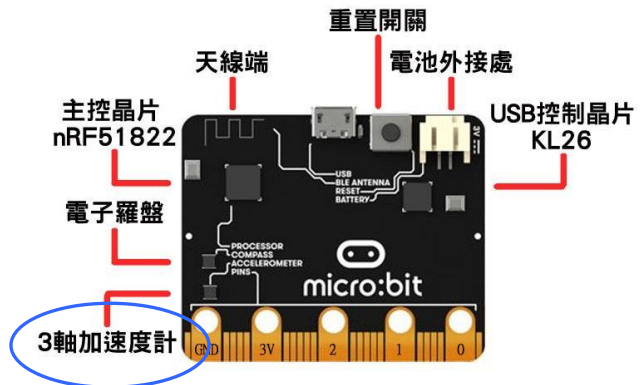


圖 3-2 使用 3 軸加速器的功能^[4]

後來我們使用 micro: bit 上的三軸加速器來測遙控車的加速度，然後再轉成速度，來得到實驗想要的資料數據，圖 3-1，圖 3-2。

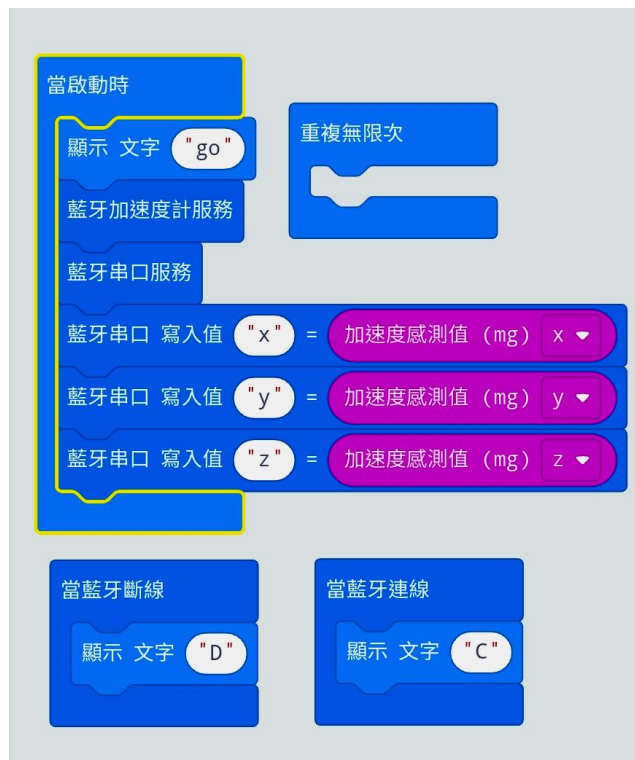


圖 3-3 利用網頁寫程式

然後我們打開 micro:bit 的積木程式網頁，寫下如圖 3-3 的程式，現在程式都有中文頁面，非常容易上手，我們不需要使用到很難的程式，只要能打開 micro:bit 內建的藍牙，然後連接手機 APP，把加速度感測值 x、y、z 的數值傳到手機，然後再寫下

藍牙斷線時 micro:bit 的 LED 呈現”D”，藍牙有連線時 micro:bit 的 LED 呈現”C”，方便我們可以判斷連線狀態，將寫好的積木程式燒入 micro:bit，即可開始測試。

將 micro:bit 放入塑膠盒中，固定在遙控車上，可以保護 micro:bit 在翻車時不致於撞擊損壞，另外再提供 3V 電壓給 micro:bit，也將電池盒固定在遙控車上，如圖 3-4。因為 micro:bit 在輸入電壓超過 3V 時容易燒毀，所以我們把供電的電池獨立出來，不和其他的裝置共用。

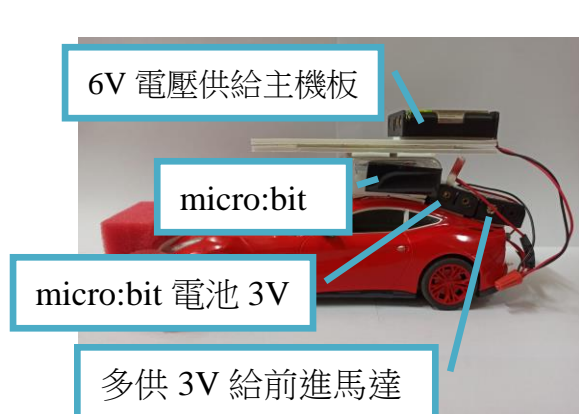


圖 3-4 電池安裝位置



圖 3-5 車頂架貨物重量

由圖 3-4 中可以看到，我們買的遙控車是跑車型，所以車身較低，我們把 micro:bit 放在塑膠盒中，再放到跑車車頂固定，micro:bit 和盒子的量很輕，所以不特別去計算，當成車子本身的重量，micro:bit 的電池和串聯給前進馬達的電池我們放置在車子後，當成是汽車引擎的重量。為什麼不放在遙控車前方？因為我們實測過發現遙控車前方的輪子有避震彈簧，若放太重的物品，彈簧會被壓縮，會使得遙控車在遙控前輪轉向時卡住，轉向會不靈敏，造成實驗誤差。

在圖 3-5 中，我們把主機板需要的四顆電池放在車頂，模擬成車頂架上的貨物重量，然後再增加砝碼，增加重量。我們不把電池裝在原本遙控車子底部的電池座，是因為我們想減輕車子的整體重量，以免馬達轉速不夠，無法讓車子有足夠的速度，所以把四顆電池裝在車頂，模擬成貨物。

二、常用工具

絕緣膠帶（圖 3-6）、尖嘴鉗、小螺絲起子、導線、壓線帽及三用電表（圖 3-7）。



圖 3-6 實驗中常用工具



圖 3-7 用來測量電路中電壓

三、遙控車

在實驗中車子需要能前進後再轉彎，所以需要使用遙控，我們在市面上買了普通的遙控車（圖 3-8），再自己改裝，控制重量及速度，

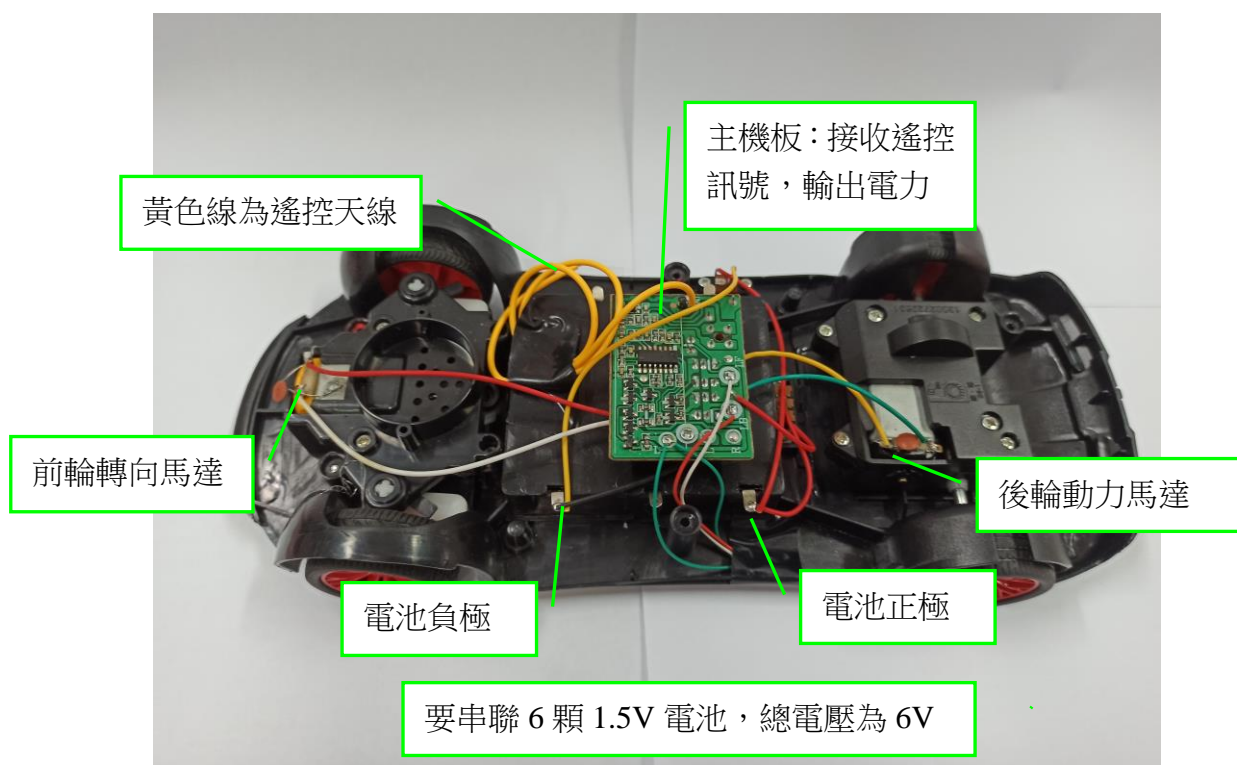


圖 3-8 車內電路說明

接下來我們要進行的實驗需要調整車子的前進速度，我們決定加裝一個調速器，可以利用調速器來調整到我們要的車速。我們使用的是 pwm 直流馬達調速器（圖 3-9），此調速器常被用作直流迴路中燈具調光或直流馬達調速，它主要是通過改變輸出，使

得負載上的平均接通時間從 0~100%變化，以達到調整負載亮度或速度的目的。

依照調速器上接口的標示，將導線依正、負極，輸出、輸入接好，以壓線帽連接導線，並固定在遙控車後端(圖 3-10)。調整鈕露出以方便實驗時可調整速度。經過反覆測試，可改變馬達轉速沒有問題。

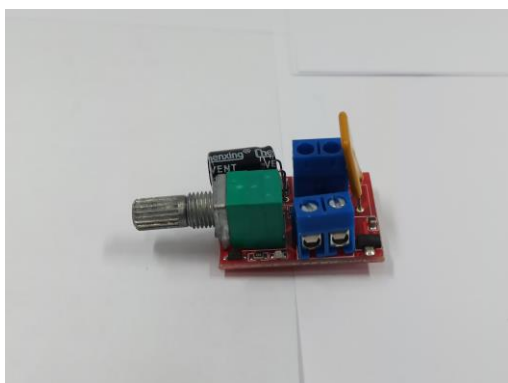


圖 3-9 pwm 直流馬達調速器

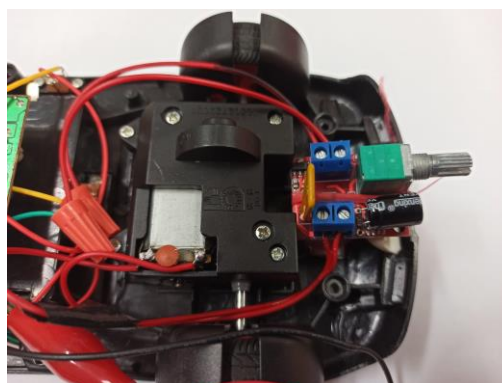


圖 3-10 安裝在車子後部

在測試過程中，我們發現雖然速度可以改變，但馬達的最大轉速仍是不夠，所以我們還要再想辦法改善這個問題，找了資料後發現可以增加馬達電壓，來增加馬達轉速，我們的馬達可以承受的電壓為 6V~9V，所以我們想多串聯幾顆電池。

但是老師提醒我們遙控車主機板可能會承受不住而燒掉，到時就前功盡棄了。所以又繼續找資料，後來有同學提供了繼電器的想法。繼電器可以利用小電流通時，產生的磁力來形成通路，使大電流的線路也形成通路。這樣一來，就不用擔心流過主機板的電壓電流太大而燒壞主機板。

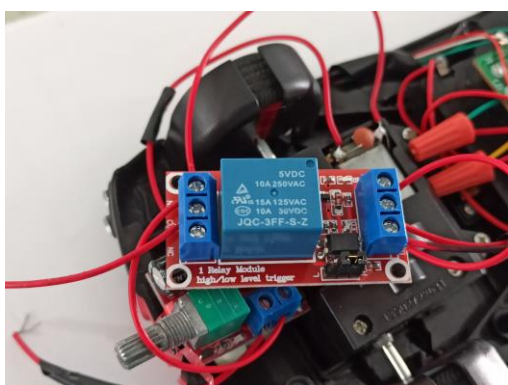


圖 3-11 繼電器

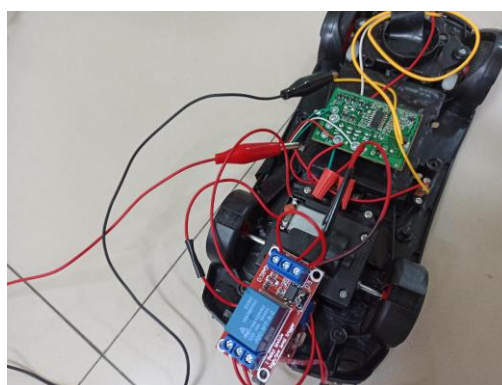


圖 3-12 按說明書連接線路

圖 3-11 為繼電器，我們依說明書的接法來連接，輸入 6V 的電壓進繼電器，然後

再串聯兩顆 1.5V 的電池，使輸入馬達的電壓達可以達到 9V，不過還是不要讓馬達通電運轉太久，以免馬達過熱燒毀。最後測試後將繼電器固定在遙控車的前半部空間，如圖 3-12。

如此一來，通過主機板和轉向馬達的電壓都為原本額定的 6V，而當我們按下遙控器的前進按鈕時，就會有 9V 的電壓通過前進馬達。然後，可再利用調速器來調整前進馬達的轉速。經過反覆不斷的測試，最後才設計出我們需要的線路接法(圖 3-13)。

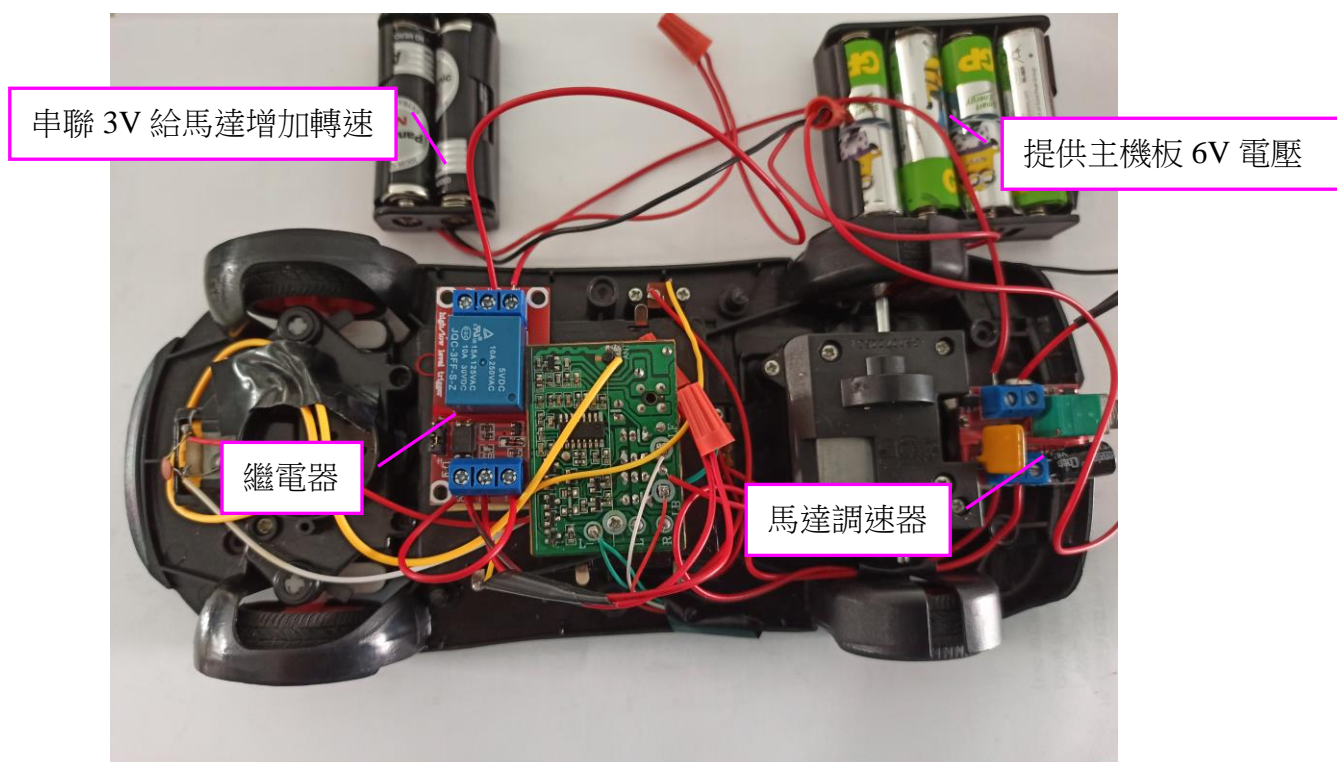


圖 3-13 改造後遙控車內部說明

四、天平

使用電子秤(圖 3-14)測量遙控車的質量。測量出空車重(含 micro bit)為 357.0g，加上四顆 26.0g 的鎳氫電池，遙控車總重為 461.0g。使用很輕的塑膠積木將車頂架加高，最多墊高三層，然後每層會用四顆 17.0g 的鎳氫電池以及 1~4 顆 50.0g 的砝碼來當成貨物。每組的詳細重量會列在實驗步驟中。



圖 3-14 電子天平和砝碼

五、跑道

我們的遙控車輪胎為橡膠材質，和真實車輛的輪胎材質非常接近，為了和真實情況儘量接近，所以我們一開始在柏油路上進行實驗(圖 3-15)。

實驗結果我們發現柏油路上的高低坑洞對於我們小輪子的遙控車影響很大，會使得遙控車在前進時有很多干擾，使數據的判讀上相對困難，所以我們改成在木頭地板上進行實驗(圖 3-16)。



圖 3-15 柏油路面



圖 3-16 木板地面

圖 3-17 中可以看到在柏油路面上，多了很多鋸齒的形狀，代表路面的不平整使得車子加速度忽大忽小、車身也左右搖晃，可以和圖 3-18 比較。此外，為便利分析討論，我們將「加速度」、「速度」、「時間」以代號分別表示： a 、 v 、 t

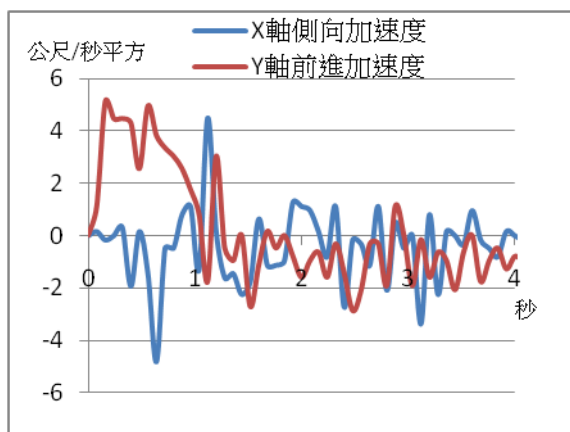


圖 3-17 柏油路實驗的 a-t 圖

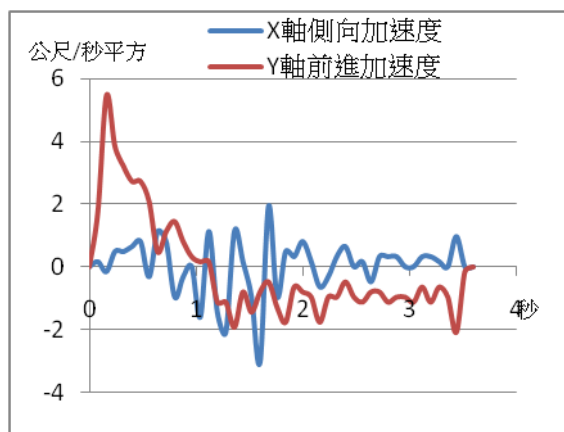


圖 3-18 木板路實驗的 a-t 圖

肆、研究方法

開始進行實驗，將遙控車放置在跑道上，開啓 micro bit 連接手機 app，即可將 micro bit 上加速度感測器的數值記錄下來，回傳給手機。然後遙控車前進，再用遙控器控制右彎，重復實驗，直到找到車子在側彎時兩輪懸空，即將翻車的情況，再將回傳手機的數值記錄下來，最後輸入電腦，進行數據的整理及分析。不同高度搭配不同車頂載重共有 20 組實驗，實驗數值如表 4-1。

實驗編號	車頂架高度	車頂架載重
A-1	0.122 m	0.068 kg
A-2	0.122 m	0.118 kg
A-3	0.122 m	0.168 kg
A-4	0.122 m	0.218 kg
A-5	0.122 m	0.268 kg

實驗編號	車頂架高度	車頂架載重
B-1	0.135 m	0.068 kg
B-2	0.135 m	0.118 kg
B-3	0.135 m	0.168 kg
B-4	0.135 m	0.218 kg
B-5	0.135 m	0.268 kg

實驗編號	車頂架高度	車頂架載重
C-1	0.148 m	0.068 kg
C-2	0.148 m	0.118 kg
C-3	0.148 m	0.168 kg
C-4	0.148 m	0.218 kg
C-5	0.148 m	0.268 kg

實驗編號	車頂架高度	車頂架載重
D-1	0.162 m	0.068 kg
D-2	0.162 m	0.118 kg
D-3	0.162 m	0.168 kg
D-4	0.162 m	0.218 kg
D-5	0.162 m	0.268 kg

表 4-1 每組實驗中車頂架高度和載重表

在自然與生活科技課本第五冊中^[2]，涉及速度與加速度，我們把在實驗中所收集到的數據利用電腦畫成 a-t 圖，再利用式 4-1 及式 4-2，把加速度乘時間，得到速度，即可再畫出 v-t 圖，可以判斷車子在過彎前的速度。

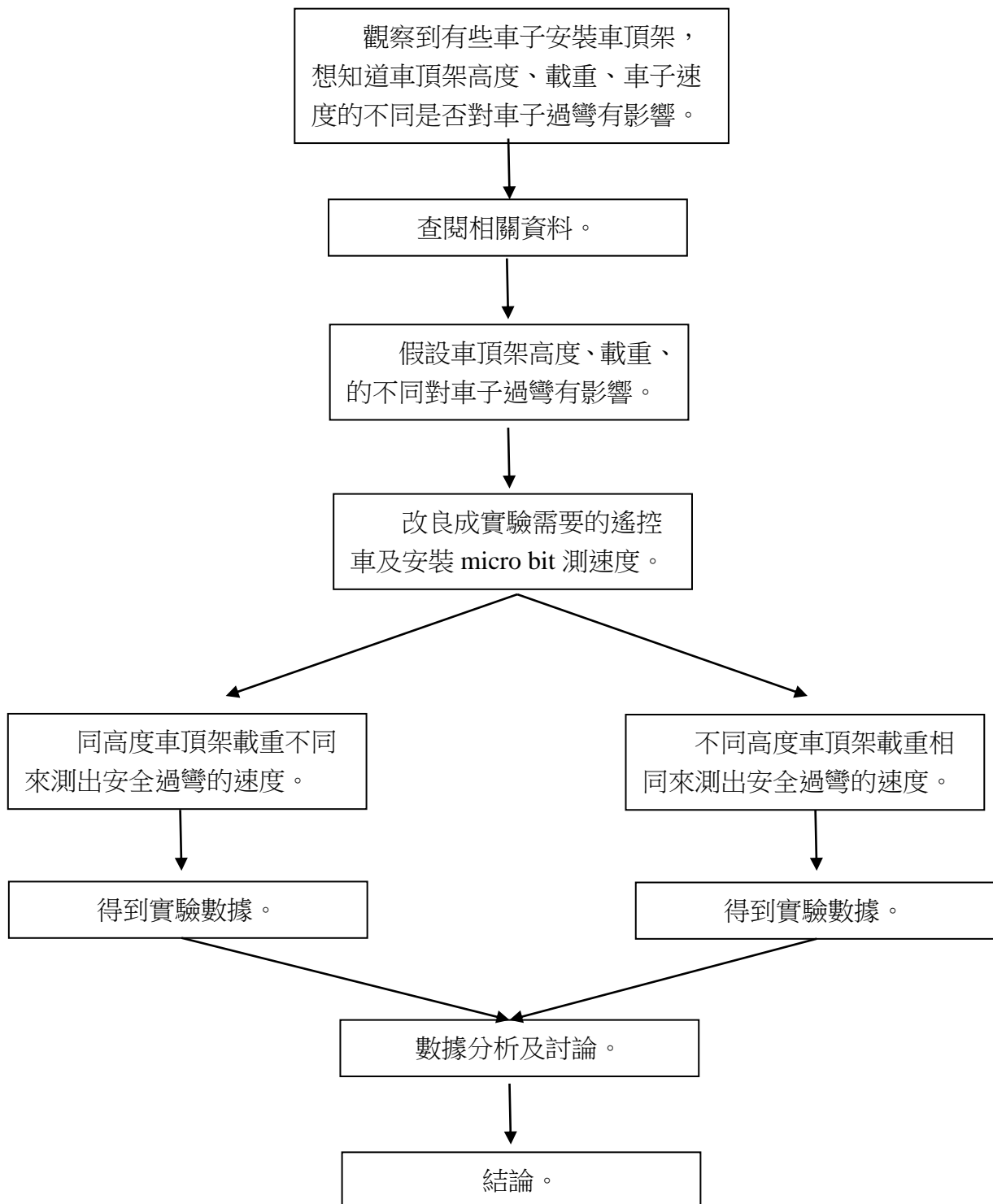
$$\text{平均速度 } v = \frac{\text{位移 } x}{\text{時間 } t} \quad \text{單位} = \frac{\text{公分}}{\text{秒}}$$

式 4-1

$$\text{加速度 } a = \frac{\text{速度差 } (v_2 - v_1)}{\text{時間 } t} \quad \text{單位} = \frac{\text{公分}}{\text{秒}^2}$$

式 4-2

一、實驗流程圖



二、實驗方法

實驗一：車頂架高度相同，載重不同

我們首先固定車頂架高度為 0.122m(圖 4-1)，然後分別是四顆電池重、再加一顆~四顆 50.0g 砝碼，共五種重量(圖 4-2)。



圖 4-1 車頂架上放四顆電池當成貨物重



圖 4-2 分別放上一顆~四顆 50.0g 砝碼

實驗二：車頂架高度不同，載重相同 (圖 4-3~圖 4-6)

我們再墊高車頂架，比較相同載重，四種高度不同的情形，會有什麼不同的影響。



圖 4-3 車頂架為 0.122m 高

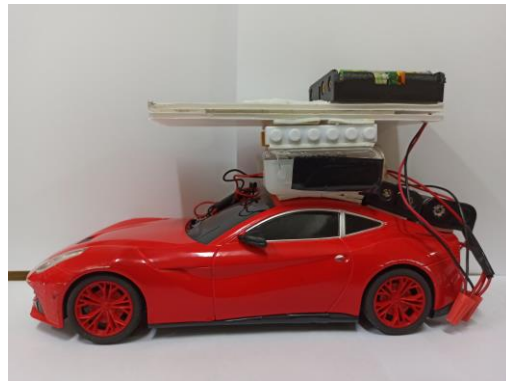


圖 4-4 車頂架為 0.135m 高

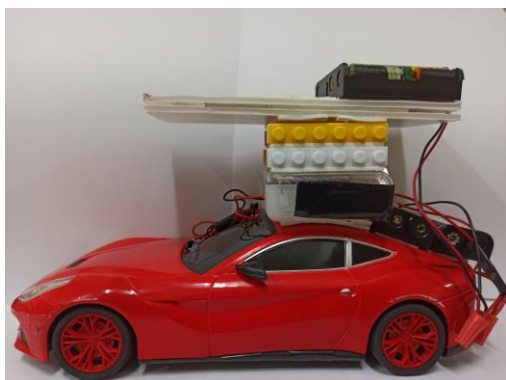


圖 4-5 車頂架為 0.148m 高

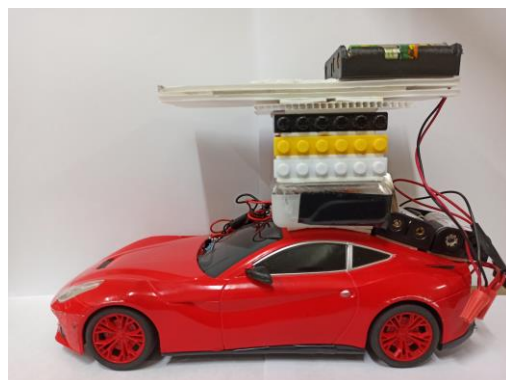


圖 4-6 車頂架為 0.162m 高

過程中，如果車子很容易翻車，就使用調速器降低車子的加速度，或者讓車子跑

的距離短些，讓車子的速度不要太快，不斷嘗試找到車子快要翻車時的情況，藉此找尋車子速度、車頂載重高度、重量和過彎翻車間的關係。至於車子在過彎前的加速度數值，都由 micro bit 加速度感測器來測得，我們藉由這些數值推算過彎前的速度值。

圖 4-7 為 micro bit 加速度感測器的座標方向，我們裝設的方向為前進時 y 軸加速度會顯示負數值，向右彎時 x 軸加速度也顯示為負數值。

但是，手機的 app 呈現前進時 y 軸加速度為正數值，向右彎時 x 軸加速度為負數值，所以還是以回傳數據的方向為準：前進時 y 軸加速度為正數值，向右彎時 x 軸加速度為負數值。

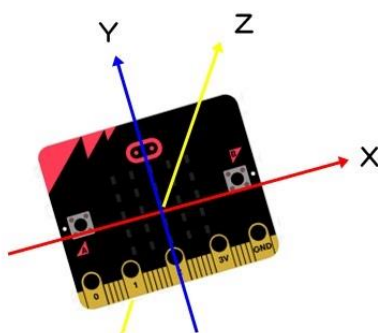


圖 4-7 micro bit 加速度感測器的座標方向 [5]

在實驗時，雖然我們盡力避免，可是因為 micro bit 無法完全平放在遙控車上，或者路面也會有些微不平，所以就算車子沒有加速度，micro bit 也會回傳一些數值，我們會修正這些數值，把一開始的加速度修正為 0 m/s^2 ，當成是在水平面上進行實驗，避免在計算速度時產生更大的誤差。

伍、研究結果

我們設定 micro bit 加速度感測器每 0.08 秒回傳一個 x 及 y 軸加速度值。為完整呈現真實結果，本文的實驗數據如下：

實驗編號 A-1 車頂架高度 0.122 m 車頂架載重 0.068 kg

單位: m/s^2 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0.16	-0.16	0.32	-0.48	-0.16	0.96	0.48	2.24	0.32	-0.32	-1.28	-2.24	-1.12	0.16	-0.64	-3.04	-3.2	-4.16	-4.96
Y 軸	0	0.48	4.48	3.68	4	4	4	4.32	2.56	2.72	2.08	2.72	3.36	2.08	2.24	0.8	1.44	0.32	2.08	1.92

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	2.72	2.8
X 軸	-7.04	-4	-5.6	-4.16	-6.08	-6.56	-0.8	1.92	-0.32	-0.16	-0.16	0	0	0.16	0	-0.16

Y 軸	-0.8	0.48	0	1.28	-18.56	-5.44	4.48	1.44	1.12	0.8	0.64	0.8	0.8	0.48	0.64	0.48
-----	------	------	---	------	--------	-------	------	------	------	-----	------	-----	-----	------	------	------

實驗編號 A-2 車頂架高度 0.122 m 車頂架載重 0.118 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0	0	-0.16	0	0.16	0.16	0	0.96	-1.28	0.32	0.8	-3.68	-3.52	-3.2	-3.84	-3.04	-6.72	-4.64	-5.44
Y 軸	0	4.16	4	3.84	4.32	4.32	3.2	4.48	4.96	3.52	2.72	2.72	1.28	0.64	1.44	0.32	0.96	-0.32	0.16	0

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	2.72	2.8	2.88	2.96	3.04
X 軸	-6.88	-4.96	-3.36	0.48	-4.64	-4.16	0	0	-0.16	0	0	-0.16	0	0	0	0	0	0	0
Y 軸	0.48	-0.8	-0.16	-20.16	-8.64	2.4	0.96	0.96	0.8	0.64	0.64	0.64	0.64	0.48	-0.16	-0.16	-0.16	0	-0.16

實驗編號 A-3 車頂架高度 0.122 m 車頂架載重 0.168 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	-0.16	0	0.16	-0.32	1.6	1.6	-0.48	0	-0.48	1.44	-1.12	-2.4	-1.6	-1.92	-4.48	-4.48	-6.56	-5.92	-5.6
Y 軸	0	3.52	3.36	3.68	3.84	3.36	3.36	4.96	2.08	2.24	2.24	2.08	0.96	2.24	2.24	0.96	1.44	1.44	3.04	2.56

	21	22	23	24
時間	1.6	1.68	1.76	1.84
X 軸	0	0	0	0
Y 軸	0.48	0.48	0.48	0.48

實驗編號 A-4 車頂架高度 0.122 m 車頂架載重 0.218 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0	0.48	0.32	0	0.16	1.12	1.76	1.44	-0.32	0.48	-2.4	-0.16	-1.76	-3.36	-4	-3.84	-4.96	-4.96	-5.28
Y 軸	0	0	4.48	4.8	3.36	3.52	3.2	1.92	1.92	2.24	1.6	1.12	-0.48	0.64	0.96	0.32	0.8	0.64	0.32	1.28

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	0	0	0	0
X 軸	-6.72	-5.6	-6.72	-6.08	-4.16	-0.32	-5.76	0	6.4	-0.8	0.8	0.16	0	0	0	0
Y 軸	-0.8	0.48	0	1.28	-18.56	-5.44	4.48	1.44	1.12	0.8	0.64	0.8	0.8	0.48	0.64	0.48

實驗編號 A-5 車頂架高度 0.122 m 車頂架載重 0.268 kg
 單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	-0.32	0	0.48	0	0.32	1.12	1.28	1.6	0.64	0.32	-3.36	-5.12	-5.28	-3.68	-4.16	-3.84	-5.76	-4	0
Y 軸	0	1.76	5.44	4.32	4.32	3.36	3.2	3.36	2.24	1.12	0.96	1.44	1.92	1.76	1.6	0.48	-0.8	1.92	-1.28	1.44

	21	22	23	24	25	26	27
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08
X 軸	-4.8	-3.2	-3.68	-0.64	0.96	-0.48	0.32
Y 軸	-1.6	1.6	-16.48	-13.6	-6.24	0	0.16

實驗編號 B-1 車頂架高度 0.135 m 車頂架載重 0.068 kg
 單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	-0.32	0.16	-0.16	0.8	0.64	0	0.64	2.08	0	0.16	2.88	-2.56	-1.44	-3.84	-4.64	-3.04	-4.32	-4	-5.92
Y 軸	0	4.48	5.12	4.64	3.36	3.68	2.56	2.08	0.48	3.04	1.76	0.8	2.4	1.12	1.12	0	0.96	0.32	-0.48	-0.8

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4
X 軸	-4.96	-5.6	-6.88	-7.36	-4.48	-0.64	0.32	0.16	0.16	0	0
Y 軸	1.28	-0.16	-0.64	-18.4	-11.2	-1.76	0.96	0.96	1.12	0.96	0.16

實驗編號 B-2 車頂架高度 0.135 m 車頂架載重 0.118 kg
 單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0.32	-0.32	0.64	0.8	0.48	0.96	0	-0.16	-1.92	1.92	2.08	-0.8	-4.32	-2.72	-3.68	-3.52	-3.36	-3.36	-7.04
Y 軸	0	1.76	4.16	4.32	4.64	3.52	1.44	4.8	3.2	1.28	1.28	3.04	-0.32	2.08	1.28	0.8	1.6	0.16	0.64	1.76

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56
X 軸	-1.92	-7.52	-5.76	-6.24	-4.32	-0.64	0.64	3.2	3.68	-2.08	1.44	-0.32	0
Y 軸	1.44	1.6	1.12	-10.24	-17.6	1.28	-3.84	1.6	1.28	0.64	0	0.64	0.64

實驗編號 B-3 車頂架高度 0.135 m 車頂架載重 0.168 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0.48	0.8	0.16	0.48	1.28	1.28	0.64	0	-2.08	-0.8	-2.24	-1.44	-1.12	-0.96	-1.76	-2.72	-4.32	-4.8	-1.6
Y 軸	0	0.64	4.16	4.64	4.64	4.8	4.64	4.32	1.44	2.4	3.68	1.28	1.6	1.28	0.32	0.64	0.96	-0.48	1.76	0.64

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32
X 軸	-2.88	-3.36	-5.76	-2.72	0.96	-6.56	-0.96	1.76	-0.32	0
Y 軸	0.96	0.16	-1.6	-10.88	-15.2	-1.76	-0.32	-0.32	0.48	-0.32

實驗編號 B-4 車頂架高度 0.135 m 車頂架載重 0.218 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0	0.48	0.16	0	0.8	0.64	0.32	0.16	0.8	1.6	1.12	-0.8	-2.56	-2.08	-4.32	-2.24	-4.16	-5.6	-2.24
Y 軸	0	2.56	4.32	3.84	4	4.16	3.2	3.2	3.68	2.08	2.4	1.12	0.32	1.92	1.92	1.28	0	-0.48	1.6	2.4

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	2.72
X 軸	-4.48	-2.56	-5.92	-3.52	-1.92	-0.96	-5.44	-5.92	-0.32	0.16	0.32	0.16	0.32	0.16	0.16
Y 軸	1.76	0.16	-0.32	-1.92	-3.04	-15.84	-8.64	-6.4	-1.6	0.64	1.12	1.12	0.96	-0.32	-0.16

實驗編號 B-5 車頂架高度 0.135 m 車頂架載重 0.268 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0	-0.16	0.16	0.32	0.16	0.16	0.16	0	0.64	0.48	0.16	0.96	0	0.96	0.48	1.12	-1.28	-2.4	-4.48
Y 軸	0	0.48	2.72	2.08	2.4	1.76	1.76	1.28	1.28	1.12	0.8	1.76	0.8	-0.16	0.48	0.32	0.64	0	0	-0.16

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	2.72	2.8	2.88	2.96	3.04	3.12
X 軸	-5.12	-4.64	-3.84	-4.32	-4.48	-4.32	-3.52	-1.12	0.48	0.48	0.16	0.16	0.16	0.32	-0.16	-0.16	0	-0.16	-1.12	-0.32
Y 軸	-0.32	0.32	0.48	0.32	0.48	0.32	1.12	-0.32	-0.48	-1.12	-1.12	-1.12	-1.12	-1.12	-0.64	-1.12	-0.64	-0.96	-5.6	-1.44

實驗編號 C-1 車頂架高度 0.148 m 車頂架載重 0.068 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0.16	0	0	1.44	0.96	0.32	1.44	0	-2.08	-3.52	-3.68	-3.2	-2.88	-3.04	-4.32	-2.72	-2.56	-4.48	-5.92
Y 軸	0	3.52	5.12	5.6	4.48	5.6	4.16	4.64	3.36	1.12	2.4	1.6	2.08	1.44	0.64	0.64	1.12	1.6	0.48	-1.92

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	2.72	2.8	2.88	2.96
X 軸	-1.76	-6.88	-6.4	-5.28	-5.76	-5.6	-5.44	-5.12	-4	4.48	4.96	4.8	-1.92	-4.32	-0.8	4.48	1.44	0
Y 軸	-17.28	-11.04	-1.6	1.6	1.44	1.28	0.96	0.8	0.8	1.12	-0.32	-0.48	-1.28	0.32	-1.92	-0.8	-0.8	-0.48

實驗編號 C-2 車頂架高度 0.148 m 車頂架載重 0.118 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0	0	0	0.32	0.32	0.16	0.32	0.32	0.32	0.16	0.48	0.48	-1.12	-2.24	-1.44	-2.88	-2.72	-3.04	-4.16
Y 軸	0	0.96	3.04	2.72	2.56	2.08	1.6	1.76	1.44	1.6	1.6	0.8	0.96	-0.16	0	0	-0.16	0.32	-0.16	0.32

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	2.72	2.8	2.88	2.96	3.04
X 軸	-4.64	-5.44	-5.28	-4.32	-4.96	-4	-2.88	2.72	-0.32	-1.6	0.64	-0.16	0.16	-0.16	-0.96	1.76	0.96	-0.8	0.48
Y 軸	0.48	0.32	0.32	0.16	0.16	0.48	-0.32	-1.6	-0.96	-0.32	-0.96	-0.96	-1.12	-0.96	-4.8	-6.24	-0.16	0.48	0

實驗編號 C-3 車頂架高度 0.148 m 車頂架載重 0.168 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	-0.16	-0.16	0	0.32	1.12	0.64	-0.16	1.12	-0.48	0.96	-0.32	-0.16	-2.24	-2.4	-5.28	-5.92	-2.56	-2.88	1.44
Y 軸	0	0.64	3.84	4.32	3.68	1.92	2.4	2.72	1.28	2.4	1.28	0.8	0.8	0.8	0.48	0.8	1.6	0.8	-1.6	-0.8

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	2.72	2.8	2.88
X 軸	0.96	0	-0.16	-0.96	-0.64	-1.28	-0.8	0.64	-0.96	-0.96	0	0	0	0	0	0	0
Y 軸	-1.12	-0.32	-1.12	0	1.44	0	-0.8	-4.64	-6.4	-5.44	-2.56	-0.16	0.32	0.64	0.48	-0.16	0

實驗編號 C-4 車頂架高度 0.148 m 車頂架載重 0.218 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0	0.32	0.16	0.16	0.16	0	-0.16	-0.16	0.48	0.32	0.16	-0.64	-2.08	-2.72	-3.68	-4.16	-4.48	-4.16	-4.64
Y 軸	0	2.24	2.08	1.6	1.44	0.96	1.12	0.96	0.32	0.64	0.32	0.8	0	-0.48	-0.8	-0.16	-0.32	-0.32	0	0.48

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	2.72	2.8	2.88	2.96	3.04	3.12
X 軸	-4.96	-3.2	-4.48	-3.84	-3.84	-1.28	0.48	0.48	-0.32	0.16	-0.16	-0.32	0.32	-0.48	4.32	1.6	-1.44	0.64	-0.16	0
Y 軸	-0.32	-0.48	-0.16	0.16	-0.16	-0.96	-0.96	-0.96	-1.44	-1.44	-1.44	-1.12	-1.44	-5.44	-6.72	0.32	0.16	0	-0.16	-0.48

實驗編號 C-5 車頂架高度 0.148 m 車頂架載重 0.268 kg
單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0.32	0	0.32	-0.16	-0.32	-0.16	0.64	1.6	-0.48	0.8	0.64	-1.12	-1.44	0.16	0.8	0.32	-2.4	-2.88	-4.8
Y 軸	0	2.88	2.56	2.4	1.76	1.44	1.92	0.8	0.32	-0.48	0.16	0.8	0.48	0.32	0.16	0.64	-0.32	0.16	-1.44	0.48

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	2.72	2.8	2.88	2.96	3.04	3.12
X 軸	-4.48	-3.84	-1.6	-2.72	-2.88	-3.68	-3.04	-3.68	-3.2	-3.36	-4.64	-2.56	-2.08	-4.32	0.96	-2.56	0.32	-0.64	0.48	0
Y 軸	-0.64	-0.16	0.16	0.64	0.32	1.92	-0.48	-1.12	-0.48	-0.32	-0.16	-0.32	0.32	0.48	0	0.32	-1.28	-0.64	-2.08	-0.8

	41	42	43	44	45
時間	3.2	3.28	3.36	3.44	3.52
X 軸	-0.32	0.48	-0.16	-0.32	0.48
Y 軸	-1.12	-1.28	-0.64	-0.96	-1.12

實驗編號 D-1 車頂架高度 0.162 m 車頂架載重 0.068 kg
單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0.64	-0.16	-0.16	-0.64	-0.48	0.8	-1.6	-0.16	-0.64	1.76	-0.96	3.04	-1.12	0.96	-4.32	-3.52	-3.2	-5.92	-5.6
Y 軸	0	2.88	3.84	3.52	4.16	3.52	2.88	3.36	3.52	2.88	3.52	2.24	1.28	2.56	1.92	1.6	1.44	1.76	1.6	0.96

	21	22	23	24	25	26	27	28	29
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24
X 軸	-6.72	-7.04	-1.92	-2.4	2.08	3.52	2.88	0	0.32
Y 軸	-0.48	-16.32	-4.16	6.24	6.72	-0.48	-0.64	-0.96	0.16

實驗編號 D-2 車頂架高度 0.162 m 車頂架載重 0.118 kg
單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52

X 軸	0	0.16	0.16	0.32	0.16	0.48	0	0.16	-0.48	0	0.32	-1.6	-1.28	-1.76	-2.4	-2.24	-1.92	-4.16	-4.16	-3.84
Y 軸	0	2.08	3.36	2.72	2.4	1.92	1.6	1.12	1.44	0.96	1.76	0.96	0.32	0	1.44	-0.16	-0.32	0.96	0	0.48

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	2.72	2.8	2.88
X 軸	-5.6	-4.64	-5.6	-4	-1.6	0.64	0.48	-0.16	0.64	-0.16	-0.16	-1.44	-3.52	5.92	-0.64	0.48	0
Y 軸	0.8	0.96	0.16	0.8	-1.12	-1.12	-1.28	-0.8	-1.12	-0.96	-0.64	-5.44	-5.76	1.12	0.32	0.8	0.32

實驗編號 D-3 車頂架高度 0.162 m 車頂架載重 0.168 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0.32	0.16	0.64	0.32	-0.16	-0.96	-0.16	-0.48	-0.96	0	0	-1.92	-3.52	-3.84	-3.68	-5.12	-4.96	-4.96	-5.28
Y 軸	0	3.2	3.2	2.56	2.08	2.24	2.24	1.6	1.76	1.12	1.12	0.64	0.8	0.48	0.64	0.32	1.12	0.64	0.48	0.64

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56
X 軸	-4.48	-4.32	-4	-3.68	-1.76	0.16	0.64	0.32	-0.16	-0.48	-0.16	0.16	-0.16
Y 軸	0.8	0.48	0.96	0.32	-0.48	-1.12	-4.64	-6.4	-3.36	-2.24	-0.96	0.16	0.16

實驗編號 D-4 車頂架高度 0.162 m 車頂架載重 0.218 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0.32	0.32	0.48	0.16	0.64	0.48	0.32	0.16	0.16	0.16	0.96	-0.32	0.8	0.16	-1.76	-3.04	-4	-4	-4.48	-3.68
Y 軸	0	0.64	2.88	2.4	2.4	2.08	1.76	1.44	1.44	1.44	0.96	1.92	0.8	-0.8	0.48	0	0.16	0.48	0.32	0.16

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	0	0	0	0	0	0
X 軸	-3.36	-4	-4.32	-3.68	-4	-1.44	0.32	1.6	-0.32	-4.16	-2.24	2.72	-0.8	0.96	0	0	0	0	0	0
Y 軸	0.64	0.48	0.48	0.16	0.48	-1.28	-0.96	-9.76	-2.4	1.92	0.48	0.16	0.48	0.32	0	0	0	0	0	0

實驗編號 D-5 車頂架高度 0.162 m 車頂架載重 0.268 kg

單位:m/s² 間隔時間:0.08 秒

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
時間	0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72	0.8	0.88	0.96	1.04	1.12	1.2	1.28	1.36	1.44	1.52
X 軸	0	0.32	-0.16	0.16	0	0.32	0.48	0.8	0.48	1.12	0.64	-0.16	0.96	0.64	-0.64	-4.48	-4.32	-3.36	-4.32	-4.16
Y 軸	0	1.92	2.88	2.56	2.4	2.24	1.76	1.92	1.12	1.12	0.64	0.8	0.32	0.32	-0.32	0.64	0.32	0.64	0.96	0.8

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
時間	1.6	1.68	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.16	2.24	2.32	2.4	2.48	2.56	2.64	2.72	2.8	2.88	2.96	3.04	3.12
X 軸	-4.64	-4.16	-4	-4.48	-3.36	0.16	-0.32	-0.64	-0.48	0	-0.16	0.16	-0.16	0	-2.56	0.32	1.76	-0.8	0.32	0
Y 軸	0.96	0.8	0	1.12	0.64	-1.12	-0.64	-0.96	-0.64	-0.96	-0.64	-0.8	-0.96	-0.96	-5.76	1.12	0.64	0.64	0.64	0

由於數據龐大，為便於瞭解本組實驗資料概況，我們參考洪維恩(2011)《MATLAB7 程式設計》教科書^[6]，使用 surf 指令繪製 3D 圖。因器材傳輸問題，每組資料長度不同，故 3D 圖呈現每組前 20 筆資料。

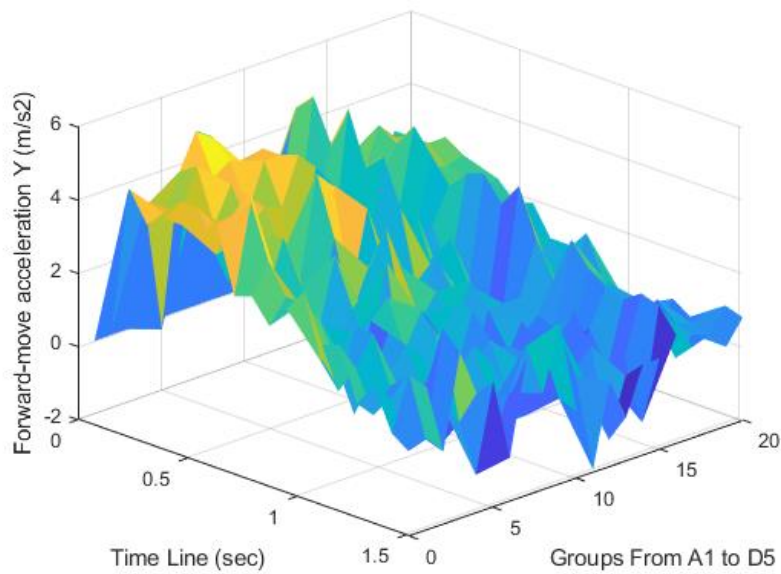


圖 5-1 實驗編號 A-1 組到 D-5 組的 Y 軸加速度資料

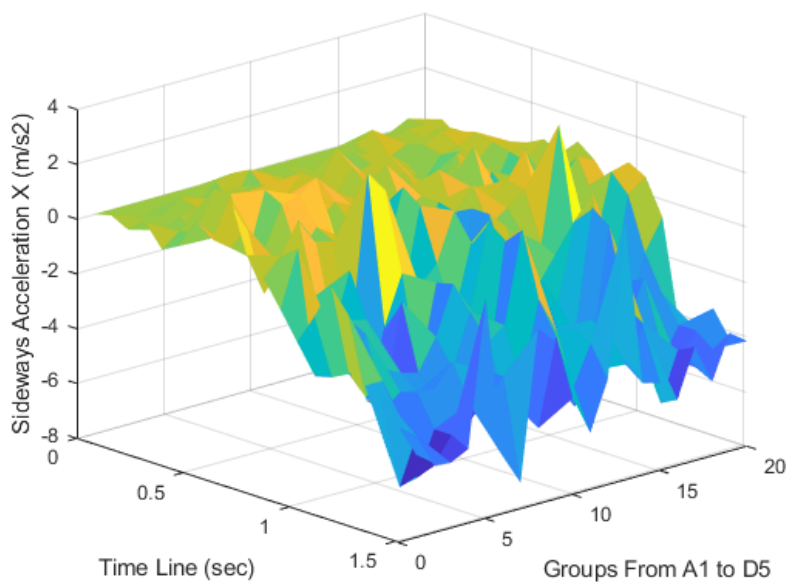


圖 5-2 實驗編號 A-1 組到 D-5 組的 X 軸加速度資料

陸、討論

我們先試著來分析我們在測試的預先實驗中所得到的數據。在固定車頂架高度及載重量時，以下分別是直線前進、直線前進後轉彎，兩實驗所繪出的加速度-時間關係圖以及速度-時間關係圖。

測試	車頂架 高度(m)	車頂架 載重 (kg)	X 軸側向 最大加速度(m/s ²)	Y 軸前進 最大加速度(m/s ²)	Y 軸前進 最大速度(m/s)
直線	0.122	0.068	-0.8	2.56	1.23

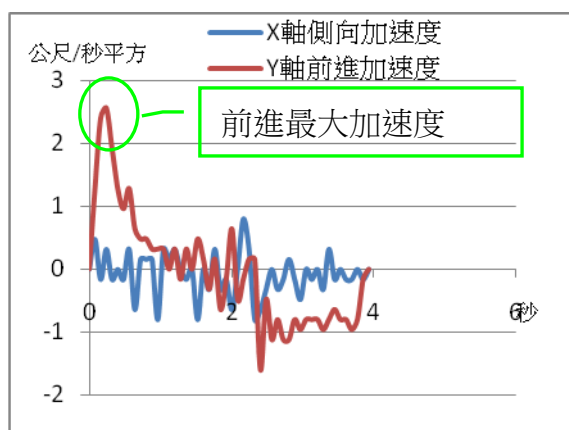


圖 6-1 直線測試 a-t 圖

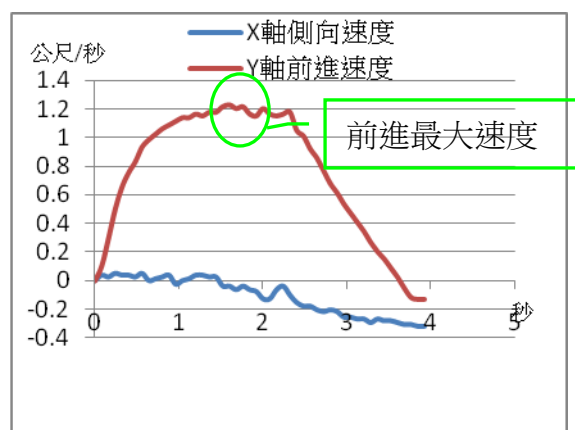


圖 6-2 直線測試 v-t 圖

由圖 6-1 可以看到遙控車前進時 micro bit 的 y 軸產生一個方向為正的加速度，在 2 秒後開始變成負值的加速度，代表車子已經在減速，x 軸為車子左、右方向的加速度，因為是直線運動實驗，所以 x 軸沒有很大的數值變化。x 軸、y 軸上的鋸齒狀變化應該為路面的不平整及馬達轉動時的震動產生，我們一開始在柏油路實驗時，此鋸齒狀變化更明顯。

圖 6-2 為 v-t 圖，更方便看出前進的最大速度，也可以看出車子並不是真的直線前進，有點向右偏移。

測試	車頂架 高度(m)	車頂架 載重 (kg)	X 軸側向 最大加速度(m/s ²)	Y 軸前進 最大加速度(m/s ²)	Y 軸前進 最大速度(m/s)
轉彎	0.122	0.68	-2.08	2.72	1.25

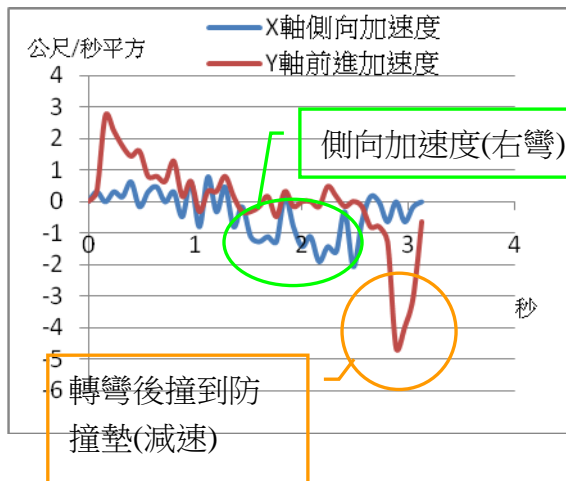


圖 6-3 轉彎測試 a-t 圖

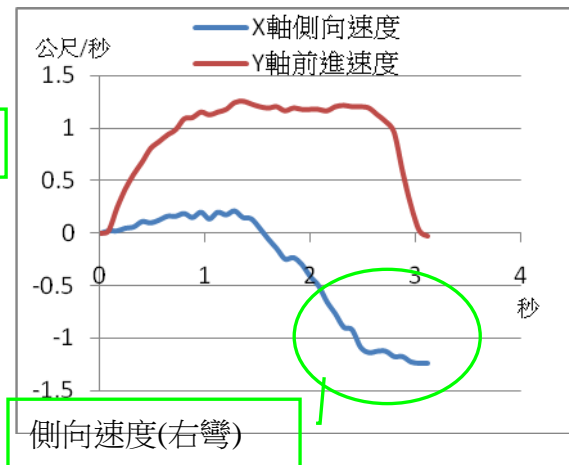


圖 6-4 轉彎測試 v-t 圖

在測試中的轉彎實驗中，因為過彎時的慣性，在 micro bit 的 x 軸產生一個方向為負的加速度(圖 6-3)，在圖 6-4 中也可以看到很明顯產生負的速度，代表車子向右有移動。從 a-t 圖及 v-t 圖中都可以看到和直線測試中的不同。

至於如果翻車，那在 a-t 圖上就會產生較難判斷的情形，而且翻車的情況多種，有側翻沒滾、也有滾一圈、還有 micro bit 在翻車時容易斷訊的各種情形。所以，在實驗中是否有翻車，我們會自己記錄下來。圖 6-5 即是發生翻車的實驗數據畫出的 a-t 圖。

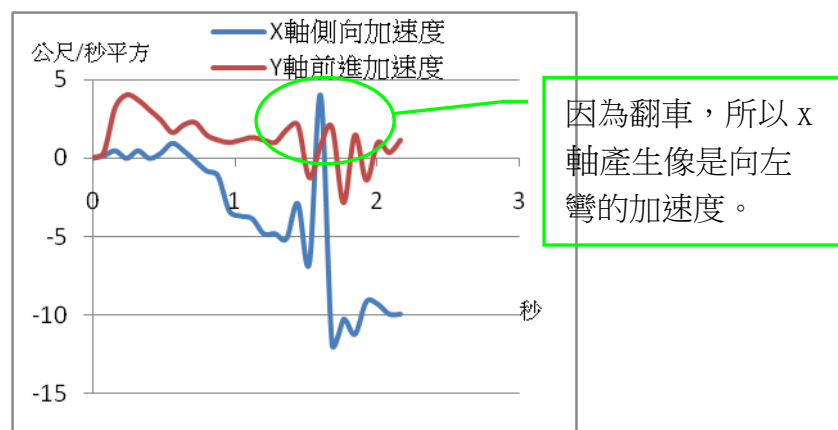


圖 6-5 翻車測試 a-t 圖

實驗初，我們假設車子的速度越快、車頂架越高、貨物越重，過彎時翻車的風險越高，所以我們把每一個實驗前進時的最大速度求出來，列成表 6-1，並畫成圖 6-45，可是從圖中沒有看到很明顯的規律，圖中的點 A-1 和點 D-5 分別代表最低最輕和最高最重的兩個實驗，的確表現出 A-1 速度較快而 D-5 速度較慢時會翻車的情形，但是整體實驗結果好像準確度有些低，我們開始思考是否有沒考慮到的變因在影響我們的實驗準確度？

實驗編號	Y 軸前進最大速度(m/s)	實驗編號	Y 軸前進最大速度(m/s)
A-1	4.02	B-1	3.03
A-2	3.78	B-2	3.65
A-3	4.12	B-3	3.56
A-4	2.79	B-4	3.64
A-5	3.08	B-5	1.77

實驗編號	Y 軸前進最大速度(m/s)	實驗編號	Y 軸前進最大速度(m/s)
C-1	3.97	D-1	3.96
C-2	1.86	D-2	2.06
C-3	2.44	D-3	2.36
C-4	1.00	D-4	1.86
C-5	1.38	D-5	2.12

表 6-1 各組實驗最大速度列表

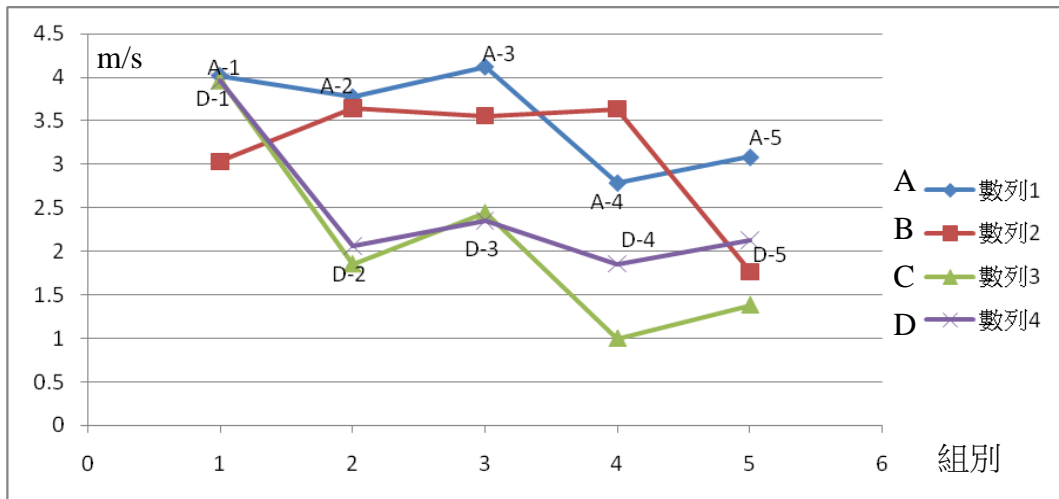


圖 6-6 各組實驗最大速度折線圖

討論後，我們覺得問題出在轉彎時，遙控車在轉彎是我們用遙控器控制的，當我們按下按鈕，車子會向右彎。但是，我們沒有辦法確定車子是否會依一定的轉彎軌跡運動，有可能車子轉大一點的彎或小一點的彎，如果車子入彎前的速度快，但轉了個大彎，那也會比較不容易翻車。

如果入彎前的最大速度沒有辦法來判斷是否易翻車，那有沒有更好的物理量來幫助我們判斷？還好我們有 X 軸側向的最大加速度可以參考。

當車子在轉彎時，由於前進方向改變，所以會產生慣性，此慣性也是車子之所以可能翻車的重要原因。所以，我們將實驗中得到的 X 軸側向最大加速度列在表 6-2 中，然後畫出圖形，由圖 6-7 中可以看到比較明顯的變化，車頂架最高的 D 實驗，在受到較小的側向加速度時，即有翻車的可能，D 實驗也隨著車頂架的載重越大呈現側向加速度漸小的情形，其他組別也有類似的情形，當然還是有些組別看起來有誤差，應該是我們在實驗時人為操作或場地等的問題。

實驗編號	X 軸側向最大加速度(m/s ²)
A-1	-7.04
A-2	-6.88
A-3	-6.56
A-4	-6.72
A-5	-5.76

實驗編號	X 軸側向最大加速度(m/s ²)
B-1	-7.36
B-2	-7.52
B-3	-6.56
B-4	-5.92
B-5	-5.12

實驗編號	X 軸側向最大加速度(m/s ²)	實驗編號	X 軸側向最大加速度(m/s ²)
C-1	-6.88	D-1	-7.04
C-2	-5.44	D-2	-5.6
C-3	-5.92	D-3	-5.28
C-4	-4.96	D-4	-4.48
C-5	-4.8	D-5	-4.64

表 6-2 各組實驗側向最大加速度列表

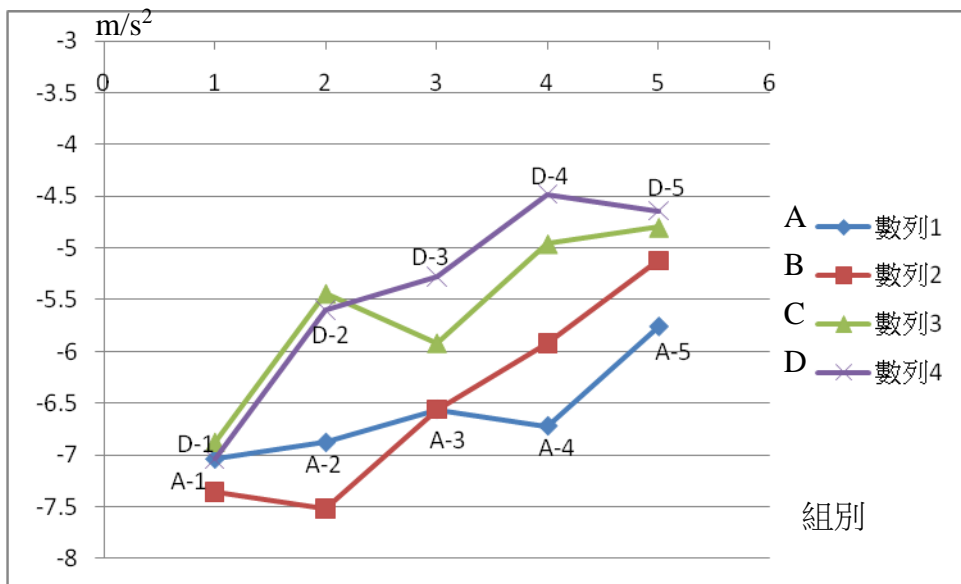


圖 6-7 各組實驗側向最大加速度折線圖

接下來，我們思考是否可以用物理計算的方法算出理論值，再和我們的實驗數據來比較。這個問題應該是和國三課本中力矩有關，如圖 6-8 中，車子在右彎時會向左側翻，所以左側車輪為支點，車子的自重和載重向下，車子中央到車輪距離為力臂，形成圖中方向的逆時鐘力矩；車子的自重和載重分別和車子重心高及載重高形成順時鐘力矩，當順時鐘力矩大於逆時鐘力矩時，車子就會翻車了。

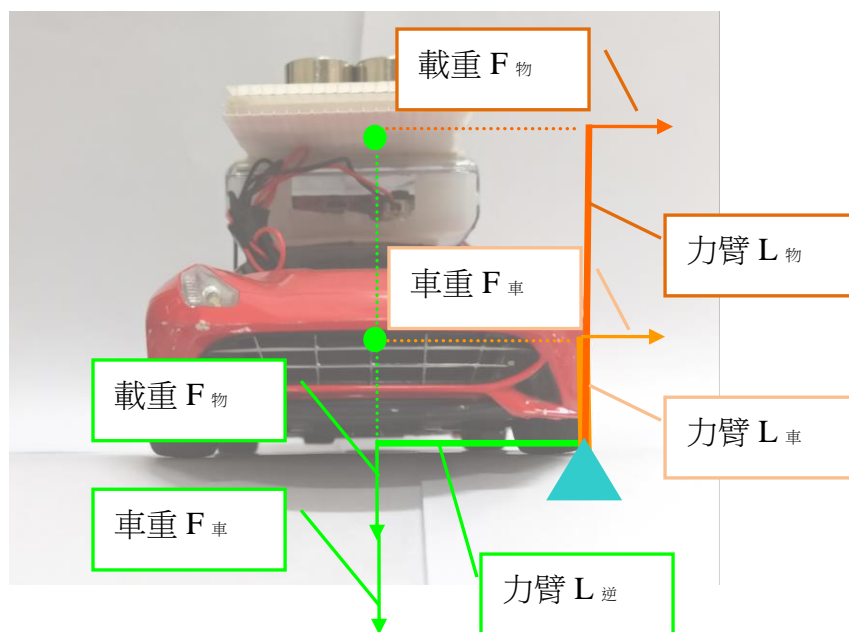


圖 6-8 影響車子側翻的各種力矩

車子側翻也是一種轉動，轉動的效果稱為力矩，力矩 = 施力 × 力臂^[2]

由圖 6-8 中的力矩，可以把公式寫成：

$$[(\text{車重 } F_{\text{車}} \times \text{力臂 } L_{\text{逆}}) + (\text{載重 } F_{\text{物}} \times \text{力臂 } L_{\text{逆}})] \times \text{重力加速度 } 9.8 = [(\text{車重 } F_{\text{車}} \times \text{力臂 } L_{\text{車}}) + (\text{載重 } F_{\text{物}} \times \text{力臂 } L_{\text{物}})] \times \text{側向加速度 } a$$

式 6-1

各項數據及算出(式 6-1)的側向加速度 a 如下表 6-3，在最後，我們也列出我們實驗所得到的數據來比較看看。

實驗	車重 F _車 (kg)	力臂 L _逆 (m)	載重 F _物 (kg)	力臂 L _車 (m)	力臂 L _物 (m)	側傾加速度 理論值 (m/s ²)	側傾加速度 實驗值 (m/s ²)
A-1	0.461	0.05	0.068	0.055	0.122	7.70	-7.04
A-2	0.461	0.05	0.118	0.055	0.122	7.14	-6.88
A-3	0.461	0.05	0.168	0.055	0.122	6.72	-6.56
A-4	0.461	0.05	0.218	0.055	0.122	6.40	-6.72
A-5	0.461	0.05	0.268	0.055	0.122	6.15	-5.76

B-1	0.461	0.05	0.068	0.055	0.135	7.51	-7.36
B-2	0.461	0.05	0.118	0.055	0.135	6.87	-7.52
B-3	0.461	0.05	0.168	0.055	0.135	6.42	-6.56
B-4	0.461	0.05	0.218	0.055	0.135	6.07	-5.92
B-5	0.461	0.05	0.268	0.055	0.135	5.80	-5.12

C-1	0.461	0.05	0.068	0.055	0.148	7.32	-6.88
C-2	0.461	0.05	0.118	0.055	0.148	6.63	-5.44
C-3	0.461	0.05	0.168	0.055	0.148	6.14	-5.92
C-4	0.461	0.05	0.218	0.055	0.148	5.77	-4.96
C-5	0.461	0.05	0.268	0.055	0.148	5.49	-4.80

D-1	0.461	0.05	0.068	0.055	0.162	7.13	-7.04
D-2	0.461	0.05	0.118	0.055	0.162	6.38	-5.60
D-3	0.461	0.05	0.168	0.055	0.162	5.86	-5.28
D-4	0.461	0.05	0.218	0.055	0.162	5.48	-4.48
D-5	0.461	0.05	0.268	0.055	0.162	5.19	-4.64

表 6-3 計算出的側向加速度理論值與我們的實驗值比較

計算出來的理論值和我們實驗得的實驗值當然還是有差距，表示我們的實驗還有進步空間，可以再多思考問題所在。理論值和實驗值的正、負號不同，是方向的問題，比較大小時可以忽略。

我們實驗最初的目的，是想討論車子安裝車頂架是否會對安全造成疑慮？根據《道路交通安全規則》第 77 條第 10 款，小型車置放架及裝載物應固定妥適，如裝置於車輛後側，其長度不應超過後側車身外 50 公分；第 38 條，**如裝置於車頂，其含置放架之車輛全高應不得超過小型車全寬的 1.5 倍。**

法規中沒有關於載重的規定，我們實驗的目的之一就是想找到載重是否也該規定

上限？我們的遙控車寬度為 10cm，所以按法規來說，車頂架最高不能超過 15cm，即是我們實驗中 C 組的實驗(車頂架高 0.148m)。

在屏東枋寮分局的網頁上找到台 9 線路段道路蜿蜒，速限為 40 公里的報導。我們想從我們實驗中推出車頂架多高、載多重時會在限速內發生側翻危險？所以要來做一些數學計算。

在我們實驗中，側向加速度值是 micro bit 實際測出來的，我們找到向心力公式

$$F = m a = m v^2/r$$

式 6-2

F：所需向心力 ^[7]

m：物體質量(公斤)

V：轉彎切線速度(m/s)

r：轉彎半徑(公尺)

a：側向加速度(m/s²)

然後找到我們遙控車的轉彎半徑，利用圖 6-9 中車輪轉彎時外側車輪的切線，圖 6-10 中車輪轉彎時的輪胎痕，畫出兩條直線，相交於圓心，即可找到我們遙控車的轉彎半徑約為 60cm。



圖 6-9 找到車子轉彎的切線

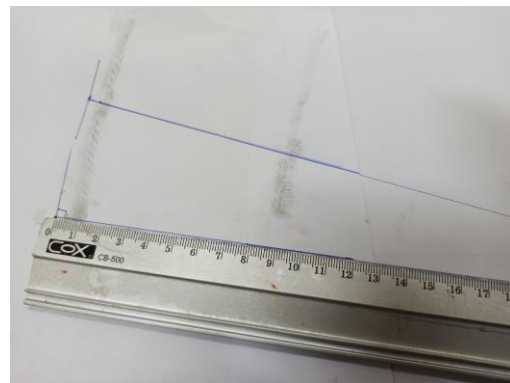


圖 6-10 兩條圓切線可以找到圓心和半徑



圖 6-11 地圖上的台 199 縣道

將數值代入公式式 6-2，可得表 6-4。在表 6-4 中，我們利用實驗所得的加速度值，換算出遙控車的切線速度，再依比例換算出真車的情況，因力臂等比例放大，所以只要注意真車的轉彎半徑和遙控車不同，然後再把計算出來的真車切線速度(m/s)，換算成道路法規常使用的單位 km/hr。

我們上網查到一般轎車的轉彎半徑約為 5.4m^[8]，但真實情況不太可能有道路是這麼小的轉彎半徑。在圖 6-11 中，我們上網查地圖，在屏東台 199 縣道的地圖，找了處彎度較大的彎道，依地圖上的比例尺換算出轉彎半徑大約為 17 公尺，雖然可能不是非常準確，但還是可以做為大概的參考。

代入公式計算後，我們可以發現符合車頂架法規高度上限的 C 組實驗，在轉彎半徑 17 公尺的彎道，就會發生在速限 40 公里／小時的情況下翻車的危機。像 C-1 組 38.92 km/hr 即可能翻車，車頂架載重越多，速限應該要更低，C-5 組實驗 32.52 km/hr 的速度就會翻車了。

	側向最大加速度實驗值(m/s ²)	遙控車轉彎半徑(m)	遙控車切線速度(m/s)	真車轉彎半徑(m)	真車切線速度(m/s)	真車切線速度(km/hr)
C-1	6.88	0.60	2.03	17.00	10.81	38.93
C-2	5.44	0.60	1.81	17.00	9.62	34.62
C-3	5.92	0.60	1.88	17.00	10.03	36.12
C-4	4.96	0.60	1.73	17.00	9.18	33.06
C-5	4.80	0.60	1.70	17.00	9.03	32.52

表 6-4 計算出入彎前的最大安全車速

即然有翻車危險，為什麼不把速限降低或把車頂架載重的規定限制更明確？仔細看一下我們實驗的重量數據，會發現其實不用擔心。在實驗 C-1 中，車身重為 0.461g，車頂架載重為 0.068g，若依比例換算，真實車量車身重為 1500kg，那車頂架載重要有 221kg，才會符合實驗 C-1 的情形，其實不太可能在車頂放那麼重的東西，而且在實際情況中，也不會有駕駛用速限中的最高速去轉彎。就算有，在車子側傾過大時，駕駛者也會察覺車子要翻車了而減低速度。所以，要開車開到翻，其實並不容易。但如果違規超速或車頂架放置太高，那就是另一回事了。

柒、結論

在實驗中，我們發現：

1. **車頂架高度相同，載重越重時，在轉彎時車子會較易翻車。**我們的實驗測出載重的上限數值，本研究結果不僅可以作為汽車產業的參考，亦為未來汽車設計的重要拼圖。
2. **車頂架高度越高，載重相同時，在轉彎時車子會較易翻車。**根據本組實驗數據，明確表示一般汽車車頂有足夠的負重能力，燃油舊車升級電動汽車，車頂改造工程是一個重要選項，我們的結果可以作為全球環保政策的依據，使數以億計的燃油汽車免於報廢，造成地球重大的負擔。
3. 從實驗中的數據推算，真實車輛在符合法規：小型車置放架及裝載物如裝置於車頂，其含置放架之車輛全高應不得超過小型車全寬的 1.5 倍的情形下，1500 公斤的車子，車頂架貨物重 221kg，才有可能在轉彎半徑 17 公尺，速限 40km/hr 的情況下發生翻車的危險。我們的結果可以解釋交通法規「限高、限速、不限重」的原因。

近日，美國 NASA 毅力號成功登陸火星，此任務最大困難點，在於探測車以超高速著陸，其主要幕後的功臣來自台灣的工程師嚴正（Jeng Yen）博士，這個案例讓我們瞭解物理學與機械工程學的重要性，^[9] 本次的屏東縣科展，我們特別重視實際的應用，一步一腳印從想法到理論，最後完成實作，因為相信所有偉大的研究，始終來自基礎，我們秉持此理念繼續前行。

捌、參考資料

1. 各國人均汽車擁有量列表，維基百科，
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%90%84%E5%9B%BD%E4%BA%BA%E5%9D%87%E6%B1%BD%E8%BD%A6%E6%8B%A5%E6%9C%89%E9%87%8F%E5%88%97%E8%A1%A8>
2. 國中自然與生活科技課本第五冊 (2012)，力矩和轉動、直線運動，翰林版
3. 屏東縣第55屆中小學科學展，輪子直徑大小及厚度對於行進於直線道及彎道時的影響 (2015)

4. Website: BBC micro bit , https://www.eclife.com.tw/led/moreinfo_145330.htm
5. Website: 阿玉 micro:bit 研究區 ,
<https://sites.google.com/site/wenyumaker2/02micro-bit-yan-jiu/37-ren-shi-jia-su-du-ji>
6. 洪維恩(2011) , Matlab 7 程式設計 , 旗標 , ISBN:9574422607
7. Isaac Newton, Philosophiae naturalis principia mathematica [In Latin] , volume 1 of a facsimile of a reprint (1833) of the 3rd (1726) edition, as annotated in 1740-42 by Thomas LeSeur & François Jacquier, with the assistance of J-L Calandrini
8. Website: U-car, <https://newcar.u-car.com.tw/toyota/corolla%20altis/4151/spec>
9. 工程師聊 NASA 歷程 , 源自 23 年前那股「衝動」 ,
<https://tw.news.yahoo.com/%E5%9C%A8%E7%81%AB%E6%98%9F%E4%B8%8A%E9%96%8B%E8%BB%8A-%E7%9A%84%E9%A7%95%E9%A7%9B%E4%BE%86%E8%87%AA%E5%8F%B0%E7%81%A3-%E5%B7%A5%E7%A8%8B%E5%B8%AB%E8%81%8A%8A%8A%E6%AD%B7%E7%A8%8B-%E6%BA%90%E8%87%AA23%E5%B9%B4%E5%89%8D%E9%82%A3%E8%82%A1-%E8%A1%9D%E5%8B%95-053500194.html>