

目錄

壹、研究動機.....	1
貳、研究目的.....	1
參、研究設備與器材.....	2
肆、研究過程及方法.....	7
伍、研究結果.....	22
陸、討論.....	26
柒、結論.....	28
捌、參考資料.....	28

自動機電控制拉張結構平衡桌

摘要

本研究利用開發板 Micro:bit 與拉張結構，製作可自動平衡的桌子。我們依桿弦相對位置，將拉張結構分為兩種，並且探討這兩種拉張結構的平衡與承重力。依照結構承重能力均勻與否以及結構是否容易達成平衡，採用型二拉張結構(指弦在上面，以桿支撐整個拉張結構)為自動平衡桌的主體。自動機電控制的程式部分採用決策樹的邏輯策略取代數學上的繁雜運算，達到自動調整伸縮桿，取得桌面平衡，並期望可延伸到生活上相似環境下的應用。

關鍵字:決策樹、自動平衡、拉張結構

壹、研究動機

我們在 youtube 上看到許多國外的人士做了一種由木板跟繩索組成的桌子，構造看起來很簡單，但是卻能支撐起重物；再進一步搜尋發現網路上相關影片的拉張結構可分為兩種，因此我們很好奇哪一種結構可以撐起比較重的重物、比較適合當桌子以及是不是能運用在崎嶇的環境中，像是在遊艇上遇到大浪也能過自動調整平衡，因此我們就這兩種結構進行了研究。為了區分兩種不同結構，在本研究中，稱之為型一和型二的拉張結構，我們探討 micro:bit 開發板中的感測器與數位控制，做出自動調整平衡的腳架，可以運用在像是海上，有些需固定角度的觀測星象或是海上定向通訊。

貳、研究目的

本研究利用開發板 Micro:bit 與拉張結構，製作可自動平衡的桌子。拉張結構的優點為結構輕盈；依桿弦相對位置，常見的有兩種，我們探討這兩種拉張結構的平衡，與結構上差異導致的承重力不同，依此決定自動平衡桌的結構為何，並且能在承受相近重量的狀況下，自動調整平衡桌，以達到生活中晃動環境下的應用。

研究子題

子題一:型一拉張結構研究-不同桿弦比例承受重量比較

子題二:型一拉張結構研究-不同桿弦夾角角度的承受重量比較

子題三:型二拉張結構研究-不同結構高度的承受重量比較

子題四:型二拉張結構研究-不同弦材質的承受重量比較

子題五:型二拉張結構自動控制承受重力研究

子題六:型二拉張結構自動控制策略研究

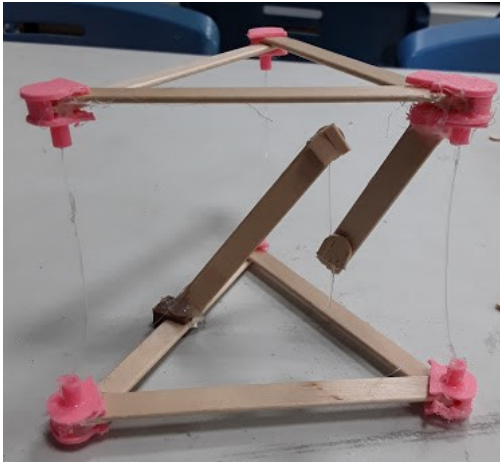
名詞解釋

拉張結構:又名拉張整體，最初是由巴克敏斯特·富勒創建的；整個系統通過具有拉力的繩索和具有剛性的構件組成，在力的相互作用下，形成一定的阻力與穩定性。

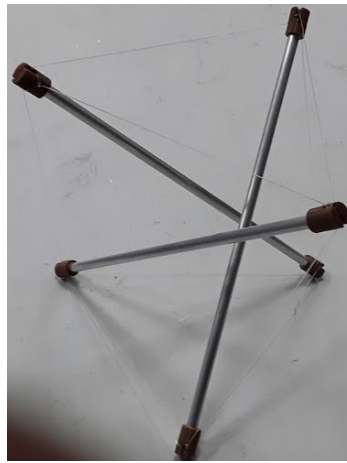
力矩:能使物體繞轉軸產生轉動效果的物理量。

型一拉張結構:桿在上面，以弦的拉力支撐拉張結構。

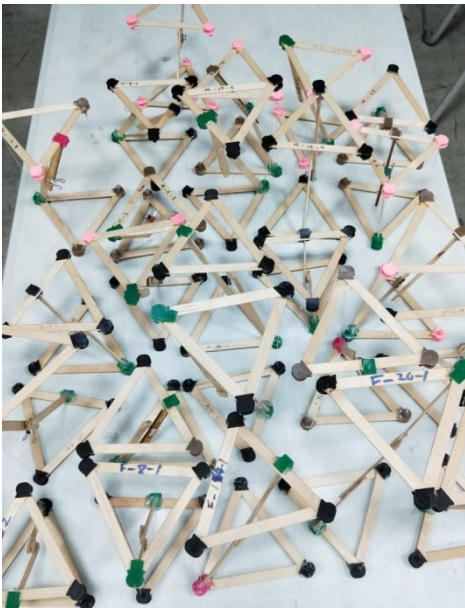
型二拉張結構:弦在上面，以桿支撐拉張結構。



型一拉張結構



型二拉張結構



上圖為依各種條件製作的型一拉張結構



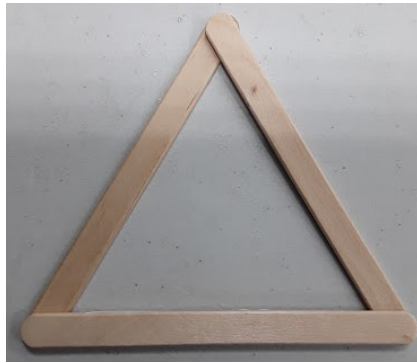
上圖為依各種條件製作的型二拉張結構

參、研究設備與器材

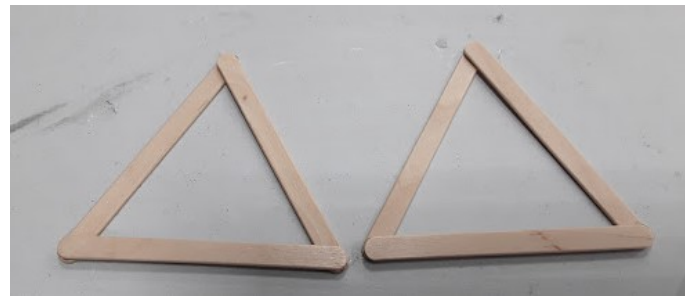
- 一、工具:鉗子、直尺、剪刀、量角器、壓克力座、熱熔膠槍
- 二、材料:快乾膠、冰棒棍、空心鋁棒、PLA 材料、棉線、釣魚線和膠條
- 三、設備:3D 列印機、雷射機、電腦

※型一拉張結構製作步驟※

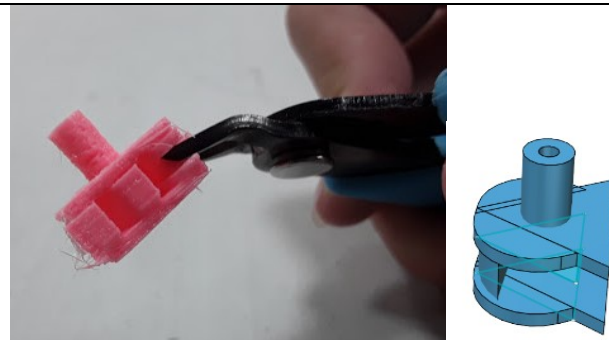
1.將 3 根冰棒棍用熱熔膠黏成一個正三角形。



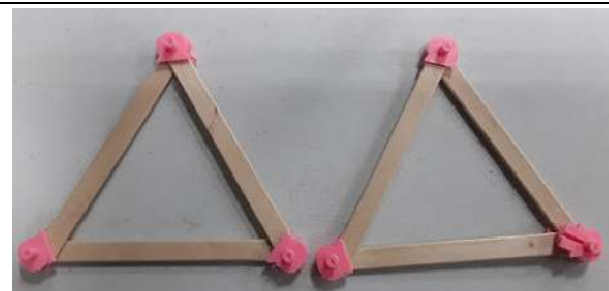
2.重覆步驟 1，做出第二個正三角形。



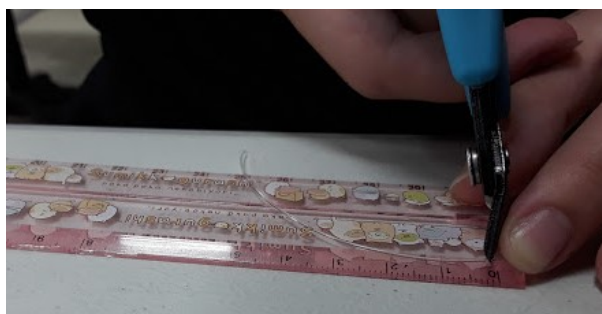
3.為了讓各部位可以妥善連接且達到實驗上的一致性，我們利用 123D design 建模軟體繪製連結固定套模型，並用 3D 印表機印出。



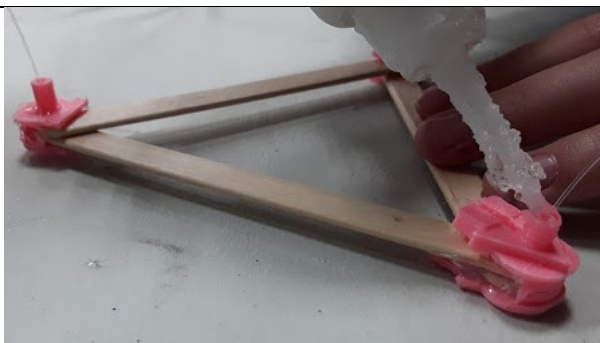
4.將連結固定套套上剛剛製作好的兩個三角形，並用熱熔膠固定。



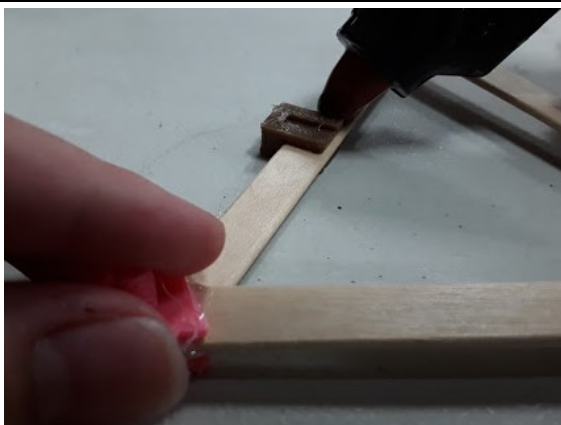
5.剪出三條要測試的相同長度釣魚線。



6.把剪好的釣魚線放入固定套上的洞，並用快乾膠黏住固定。



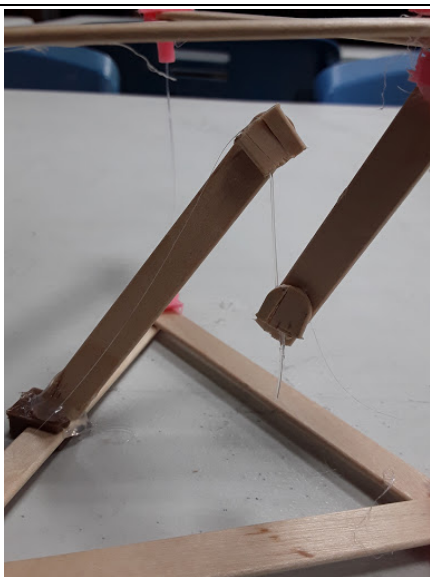
7.再將剩下的一個固定套固定在三角形的邊。



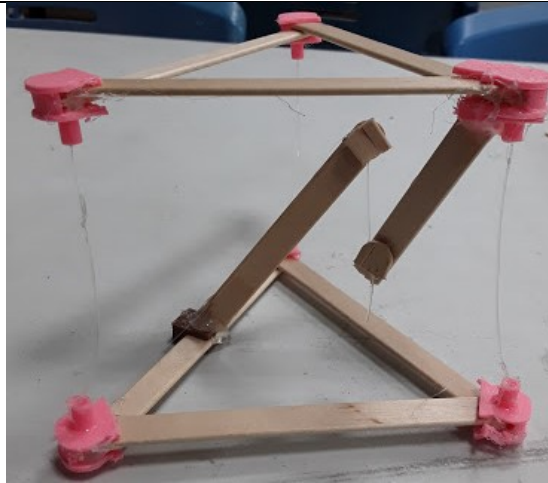
8.上下各放一根冰棒棍，黏在邊上的固定套。



9.在上個步驟中的兩根冰棒棍中間黏一條釣魚線(繫線)，並用木板或夾子固定。



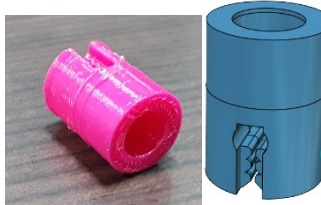
10.完成。



型二製作方法及材料

材料有(1)鋁棒三根(2)3D 列印套環六個(3)釣魚線(4)棉線

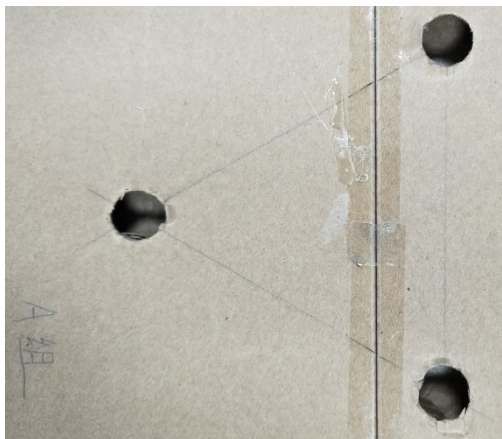
1.為了讓各部位可以妥善連接且達到實驗上的一致性，我們利用 123D design 建模軟體繪製圓柱形固定套模型，並用 3D 印表機印出。



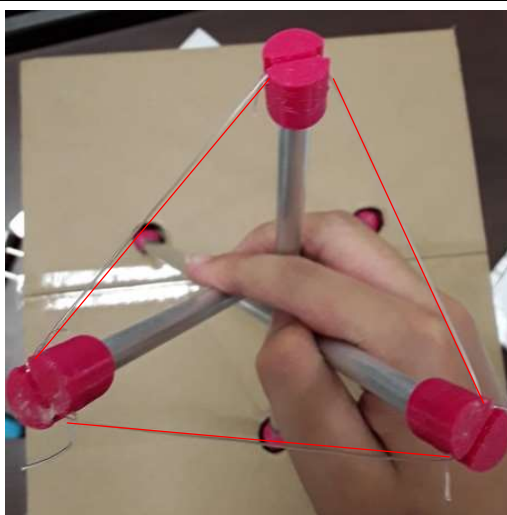
2. 將六個 3D 列印零件分別裝在三根鋁棒的前後兩端



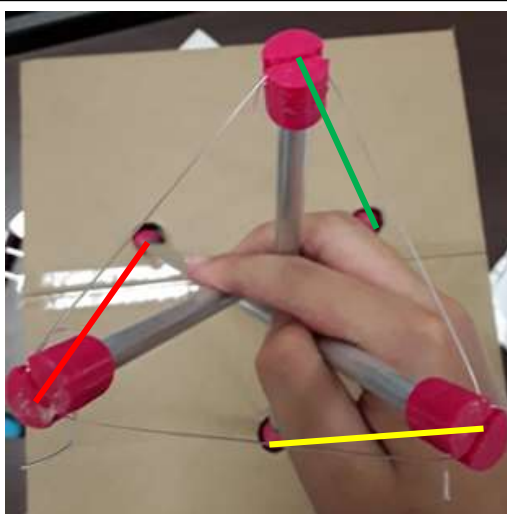
3.將三條鋁棒之間，兩兩綁上釣魚線；為了讓每次製作的拉張結構底面三角形大小一致，我們以紙板製作成模板方便固定以及統一尺寸。



4.將鋁棒擺成正三角形的形狀，並用釣魚線或棉線將三根鋁棒的連接點綁在連接套中。

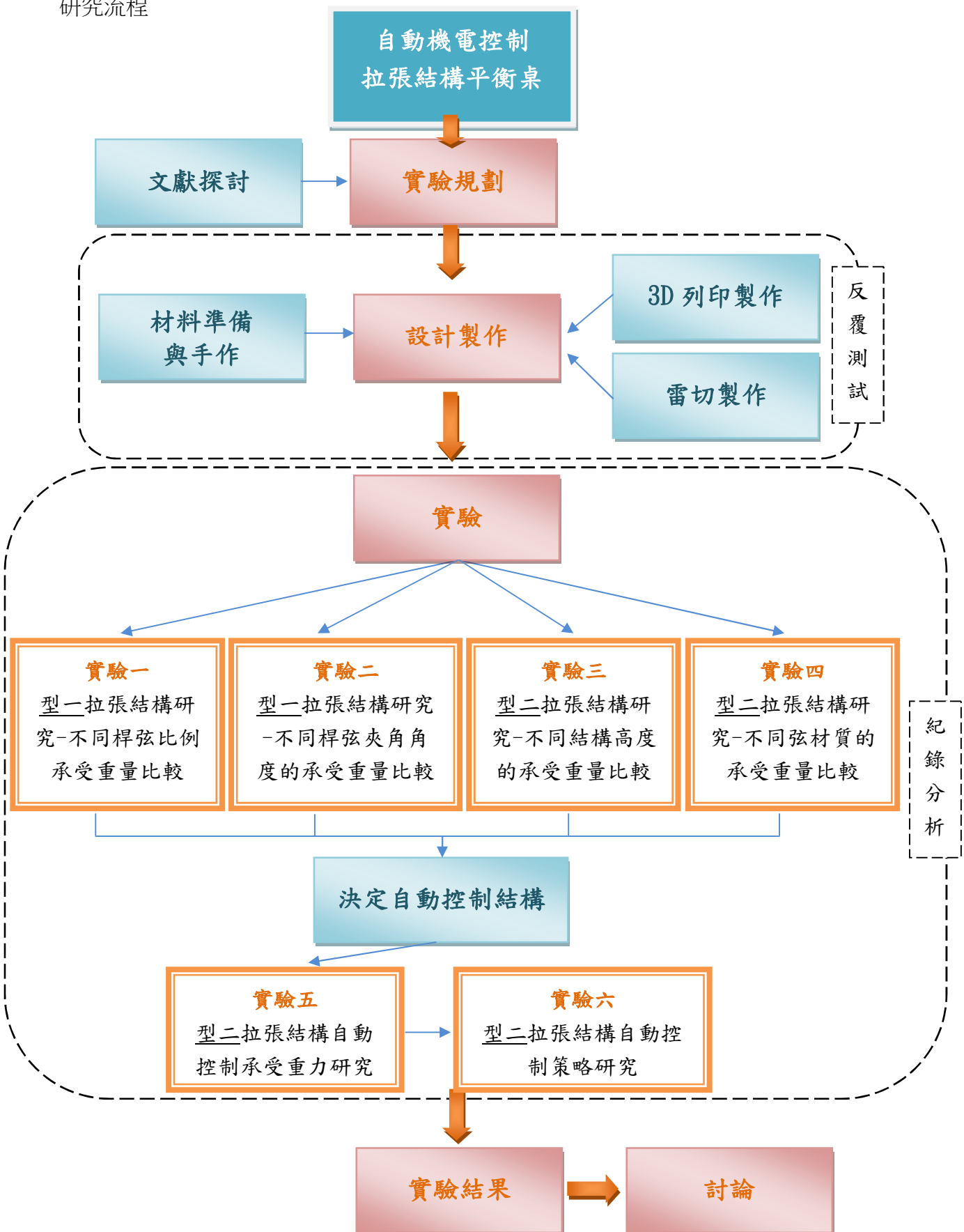


5.把上下兩個節點用釣魚線接在一起。



肆、研究過程及方法

研究流程



子題一:型一拉張結構研究-不同桿弦比例的承受重量比較

(一) 實驗流程圖

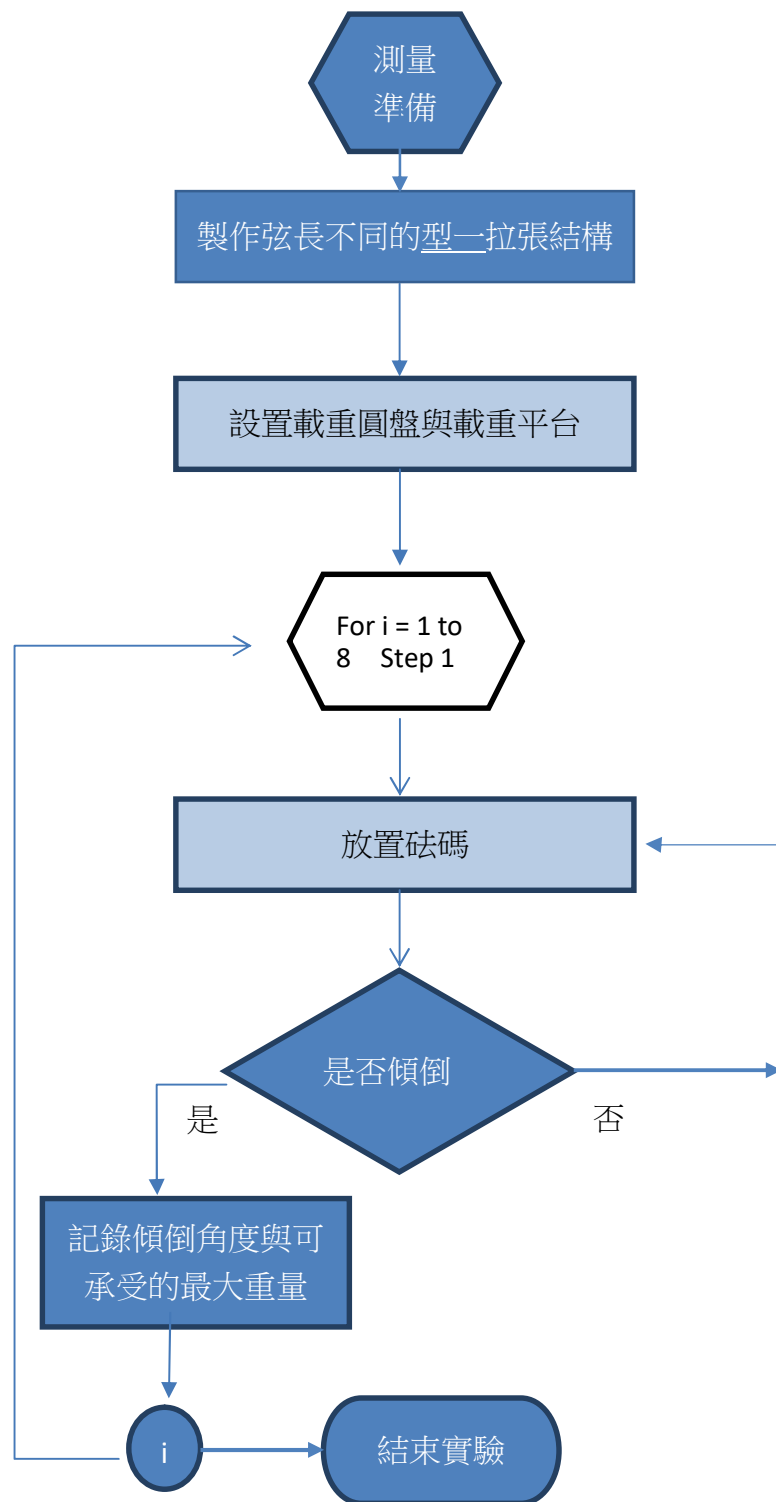
實驗說明:

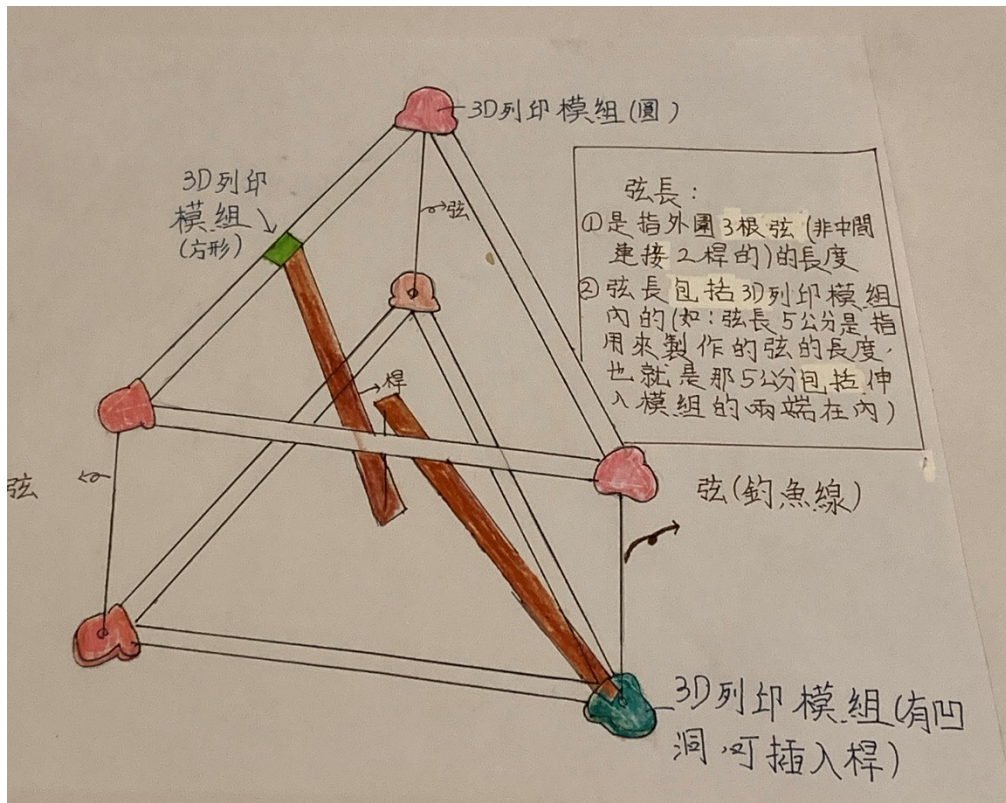
1.使用弦長不同的型一拉張結構進行實驗，目的是找出桿弦長度的比例對型一拉張結構所能承受之最大重量有甚麼影響，並藉此找出能承重最重的型一的弦桿比例。

2.我們觀察不同桿弦比例的承重能力，桿長為固定11公分的型一拉張結構;弦長則是將桿長分別乘以0.6、0.7、0.8、0.9、1、1.1、1.2、1.3，也就是弦長分別為6.6、7.7、8.8、9.9、11、12.1、13.2、14.3公分的型一拉張結構。

3.型一拉張結構，從三個頂點分開看不全是線對稱，不同位置是否會有不同的承重能力，因此同一個桿弦比例的型一拉張結構分位置測量三次。測量前，要先將載重圓盤(等分成三格)放置於型一拉張結構上，再把載重平台放置於載重圓盤其中一格的中間(3.5公分)，並調整好使用直尺、量角器、測量板製成的測試板。

持續擺放砝碼，直至型一拉張結構傾倒，記錄傾倒角度與可承受的最大重量。

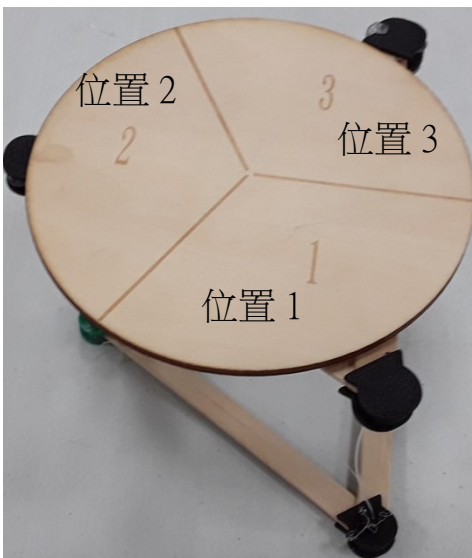




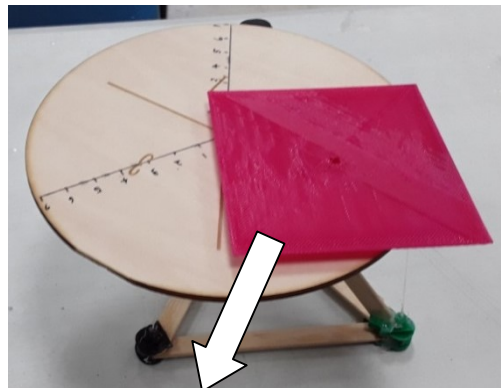
實驗流程:

1. 測量前, 需準備要測量的拉張結構、一個用雷切機製作出三等份的**載重**圓盤放在要測量的拉張結構上和**一些砝碼**放在合板的不同位置, 而不同位置指的就是合板的三等份, 分別是位置1、位置2和位置3。

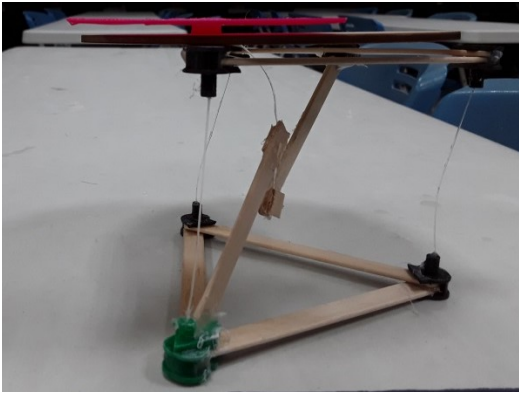
我們利用雷切機製作載重圓盤(等分成三格), 放置於型一拉張結構上



載重平台(圖中紅色方塊): 放置於載重圓盤各區的中間點上方。



載重平台(俯視圖)



載重平台(上圖紅色部分)側視圖



利用 3D 印表機列印出**載重平台**放置於載重圓盤之上，與載重圓盤的接觸面積為一平方公分，目地在使每次測試時的受力點能固定。

圓盤的位置 1 和 3 的交接處要對齊圖中 A 處(也就是位置 2 的對面)。

2.測量時，砝碼依序放在位置一、二、三。

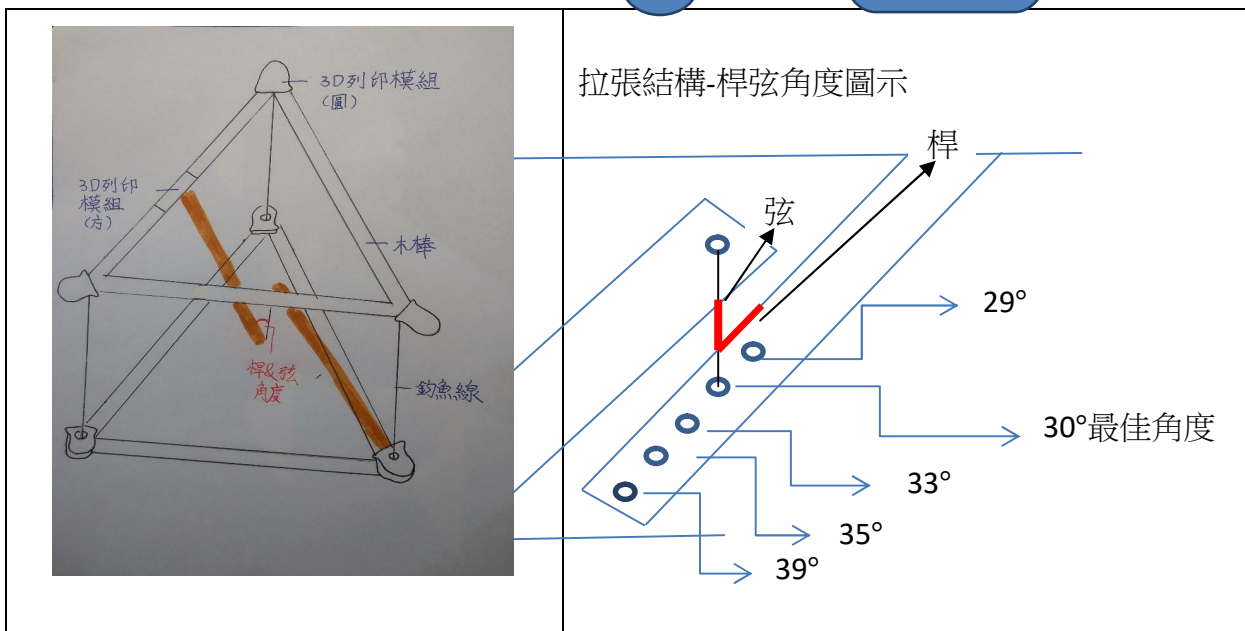
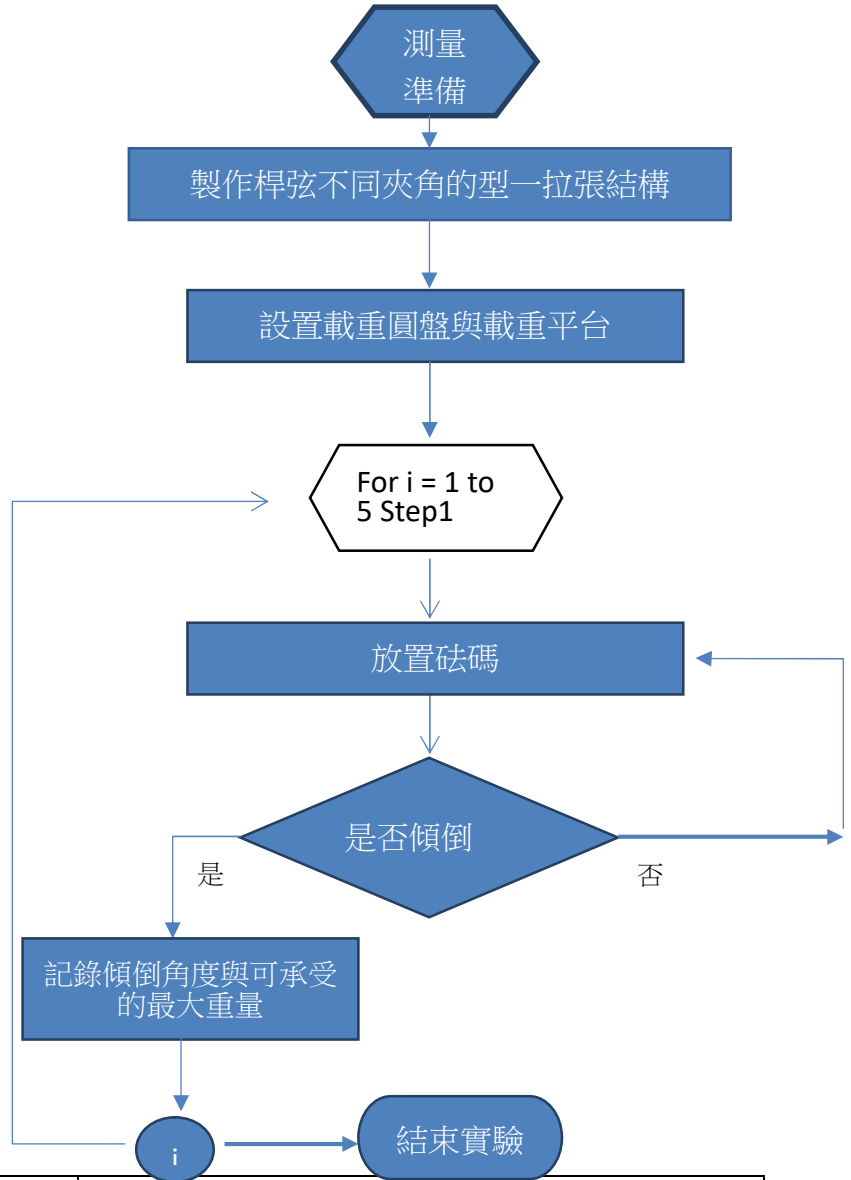
3.每一個位置要測三次取平均值。

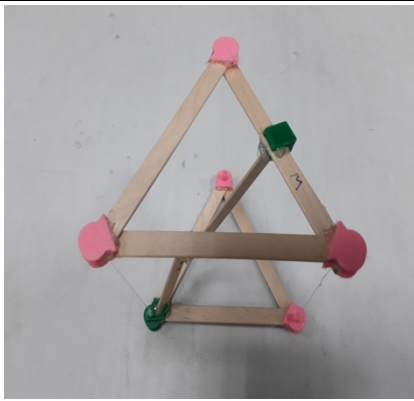
4.為了確認不同的桿長與弦長的比例下，各位置的承重變化，我們變換 8 種不同弦長，以觀察不同位置下的承重變化。

子題二:型一拉張結構研究-不同桿弦夾角角度的承受重量比較

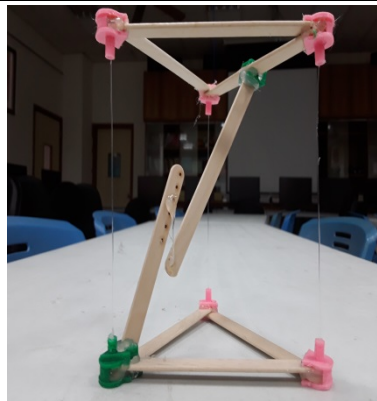
實驗流程圖

說明:
使用型一拉張結構進行測試,由於想要藉由此實驗了解**不同桿與弦的夾角角度,對於載重結果的影響**,所以進行此實驗,希望藉此找到更多影響拉張結構載重結果的因素,並找出型一拉張結構最佳桿弦角度。



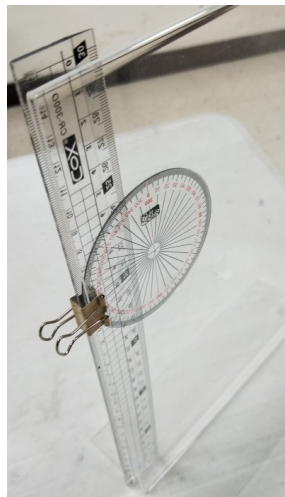


拉張結構型一成品圖（俯視）



拉張結構型一成品圖（側視）

2.測量板是用來測試拉張結構傾倒角度之板子，由壓克力板當底座，夾有直尺及量角器，可依拉張結構不同高度進行調整。用以測試承重時拉張結構下降、傾倒前的角度。



3.使用載重平台、載重圓盤，每個實驗結果可承載重量均至少是 25g（載重平台 5g、載重圓盤 20g）



4.執行「載重裝置設置」時，在拉張結構頂端先放置載重圓盤，再於指定格子內的中央（為 4-5 公分之間）放置載重平台並於上方放置砝碼。



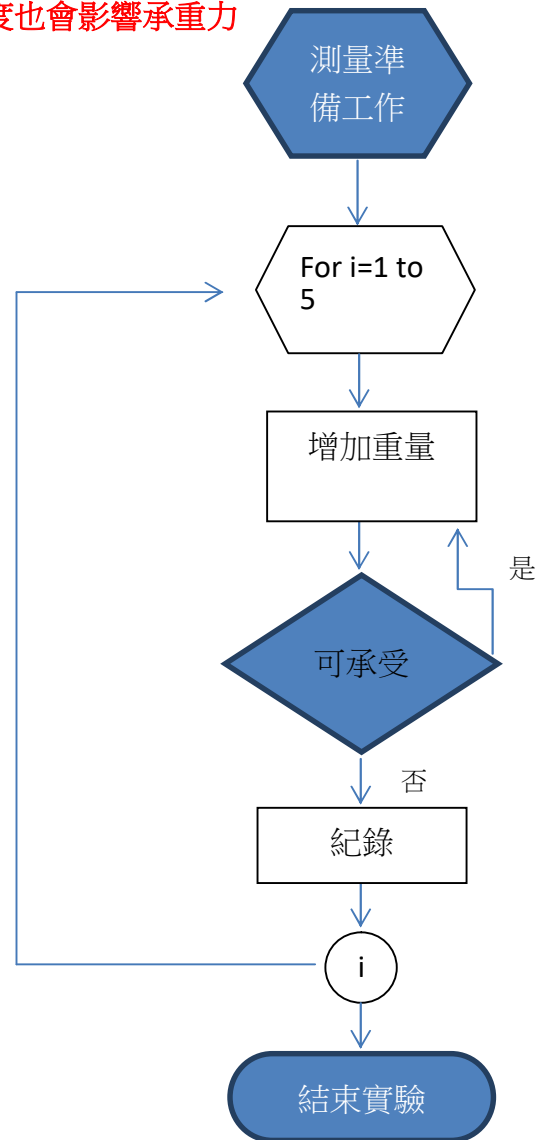
5.反覆進行，直到該拉張結構倒塌，在更換位置測試

子題三:型二拉張結構研究-不同結構高度的承受重量比較

由於型一拉張結構各位置的承受重量不相同，高度也會影響承重力，因此我們想了解型二拉張結構高度的影響。

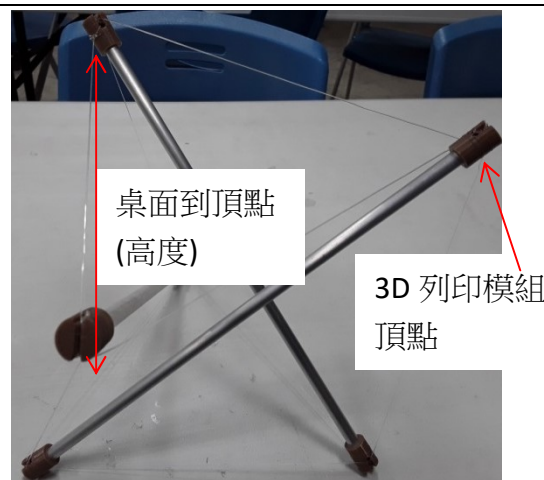
實驗流程圖:

實驗目的:此子題使用高度不同的型二拉張結構進行實驗，目的是找出結構高度對拉張結構所能承受之最大重量的影響。同樣的結構高度，可能也會有不同的桿弦長度組合，因此我們固定上下頂點為相同大小正三角形，以觀察不同高度(桿弦組合)的承重力。



步驟:

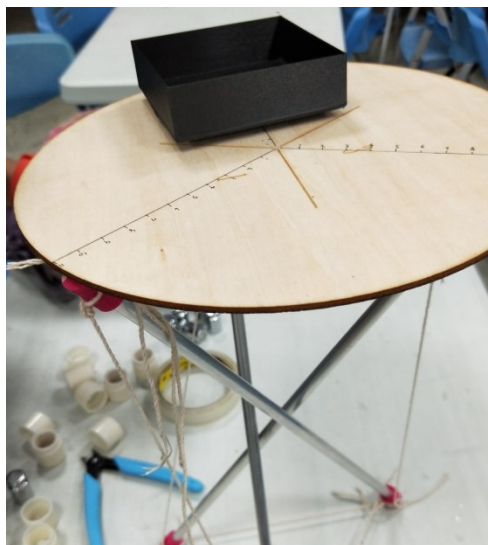
1.製作型二拉張結構-此子題的型二拉張結構高度是指成品 3D 列印模組頂點到桌面。弦的材質皆為魚線、桿的材質皆為鋁棒。高度有:18cm 和 36cm。



2.測量前，要先將載重圓盤放置於型二拉張結構上，再把載重平台放置於載重圓盤其中一格的中間(3 至 4 公分中間)，並調整好使用直尺、量角器、測量板製成的測試板。



3.持續擺放砝碼，直至型二拉張結構傾倒，重複測量三次並比較結果，以增加實驗準確度。



子題四:型二拉張結構研究-不同弦材質的承受重量比較

一. 不同弦材質



上方左圖，弦的材質為**魚線**的型二拉張結構；中間圖片:弦的材質為**棉線**的型二拉張結構，右方圖片:弦的材質為**橡皮**的型二拉張結構

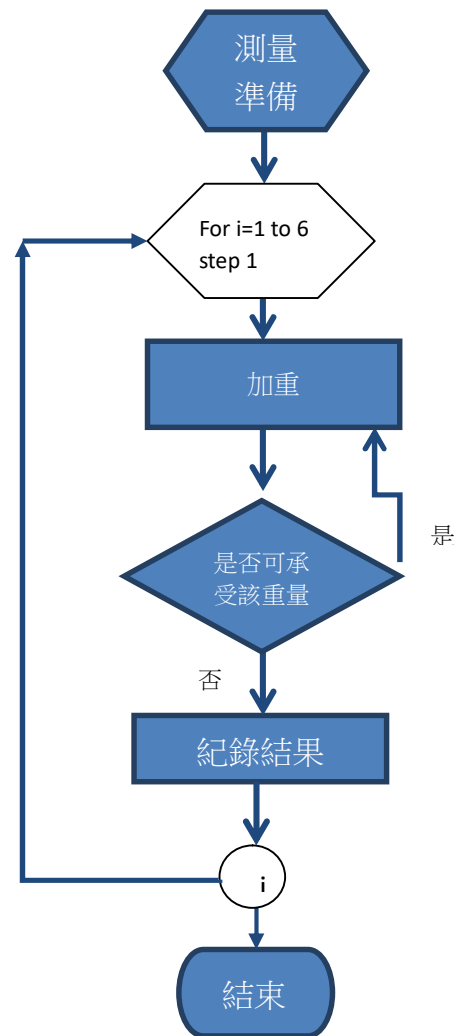
二、實驗流程

說明:

1.直觀上，桿越堅硬，可以承受重量越大，但不確定弦的材質會有甚麼樣的影響，因此本實驗嘗試找出弦的材質如何影響承受重量。

2.測量重量時，我們將雷射雕刻機製作的載重圓盤(分成三等份，對應三角形的三個角)和 3D 印表機做的載重平台來測量重量

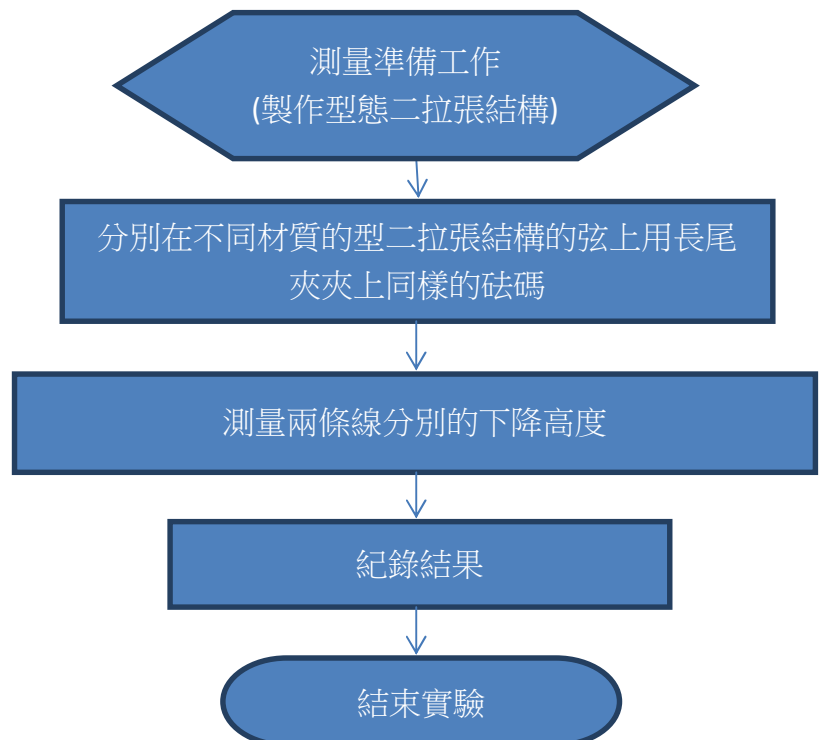
3.測量同一個位置時，要測三次，算出平均，確保準確。



緊密度實驗:

1.我們猜測釣魚線能比棉線承受更大重量的原因是，釣魚線綁起來比棉線更緊實，為了證實我們的猜測，我們做了一個實驗

2.實驗流程:



步驟:

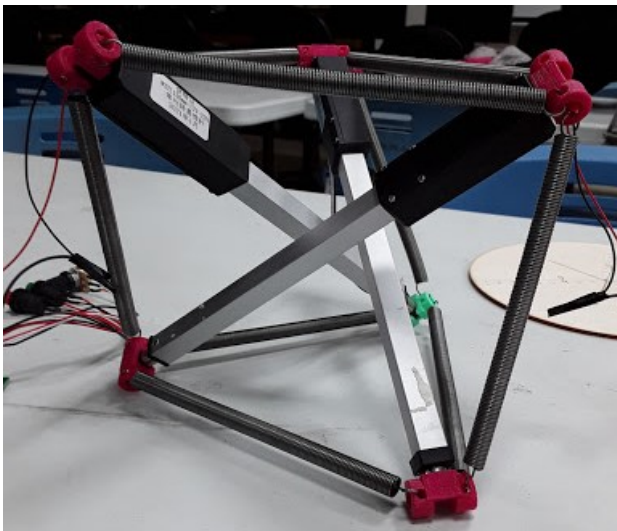
- 1.取一個弦材質為釣魚線的型二拉張結構。
- 2.在拉張結構上的弦上，用長尾夾夾上 25 公克的砝碼。
- 3.觀察釣魚線偏移水平面(下降高度)多少公分。
- 4.將弦的材質分別改變為棉線、橡皮後依照上述步驟進行測量

子題五:型二拉張結構自動控制承受重力研究

綜合上述子題，**一般我們不會希望桌面各點的承重力差異太大，而型二拉張結構的平衡性與承重力較佳及承受力較均衡**，因此，我們以型二做自動控制的架構。我們先組裝出型二的拉張結構，再測試其載重力。

實驗說明

自動拉張結構的組裝: 我們利用的材料包括了,伸縮桿(桿)、彈簧(弦)、馬達控制模組、Micro:bit、3D 列印的连接頭。組裝後如下圖。



測試自動拉張結構高度與承重:

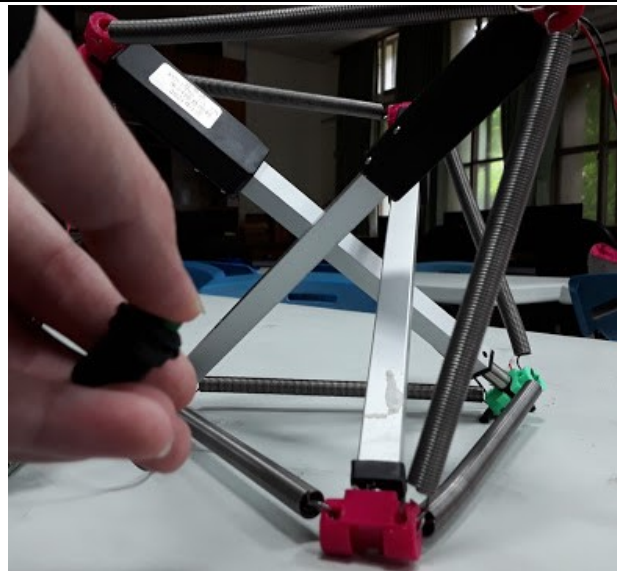
<p>1.在馬達控制模組上利用快速接頭接上電線，然後將拉張結構中伸縮桿上的電線接到快速接頭上。</p>	<p>控制按鈕</p> <p>馬達控制模組</p> <p>快速接頭</p>
---	---------------------------------------

2.馬達控制模組中，原有綠色按鈕為上升鍵，能使拉伸桿伸長，紅色按鈕為下降鍵，能使拉伸桿縮短，我們利用這兩個接腳讓 Micro:bit 可以控制三組伸縮桿。

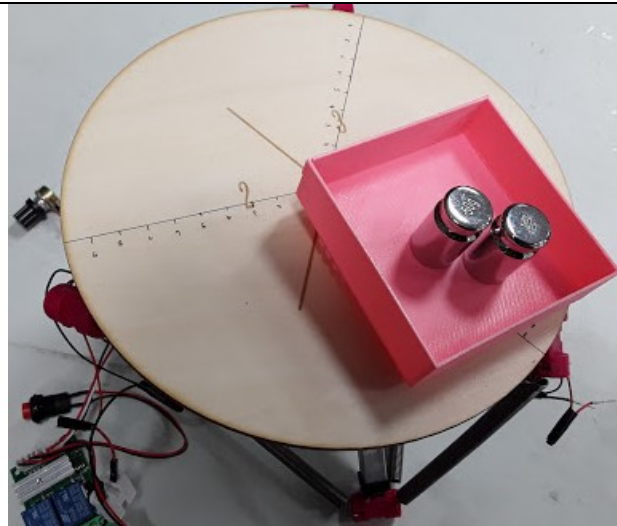


利用控制按鈕接腳接到 micro:bit 擴充板做到程式控制

3.我們要測試拉張結構每上升 2 公分，會不會對承重力有影響，我們分別把拉張結構調整成 16 公分、18 公分、20 公分和 22 公分，進行測試。



4.把砝碼放進載重圓盤上的載重平台，測試位置 1、位置 2、位置 3 和載重圓盤中央的承重力。



子題六: 型二拉張結構自動控制策略研究

在確認型二拉張結構的適合材料以及可以有較佳的承重力後，我們遇到的下一個問題就是如何讓這個拉張結構可以自動控制，而且保持平衡。

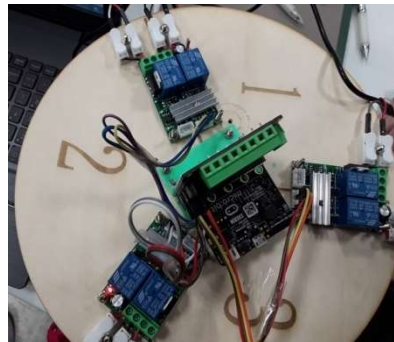
一. 實驗流程

自動平衡拉張結構製作方法

1. 材料有(1)伸縮桿三根(2)3D 列印零件-固定套環六個(3)16 公分彈簧六根(4)14 公分彈簧三根。
2. 將六個 3D 列印零件分別裝在三根伸縮桿的前後兩端
3. 將伸縮桿擺成正三角形的形狀，並用彈簧將三根伸縮桿橫向的連接點接在一起，直向的連接點用短彈簧連接
4. 調整好後，自動平衡拉張結構完成

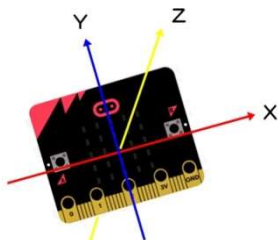


5. 將 MICRO:BIT 與馬達控制模組用螺絲鎖在木板上
6. 將杜邦線連接起來，就可以開始測試



7. 接下來撰寫程式，我們先測試伸縮桿的變化對載重圓盤上的 Micro:bit 所測得的加速度感測值的變化。

右圖中程式 1(上半部)是用來測量 X、Y、Z 的數值；程式 2(下半部)是用來控制伸縮管長度



加速度感測值是透過加速度感測器(G-sensor)取得的值，單位為 mg。X--水平橫向方向；Y--水平前後方向；Z--垂直方向。

重復無限次

序列 寫入值 "x" = 加速度感測值 (mg) x

序列 寫入值 "y" = 加速度感測值 (mg) y

序列 寫入值 "z" = 加速度感測值 (mg) z

暫停 2000 毫秒

當按鈕 A 被按下

暫停 1000 毫秒

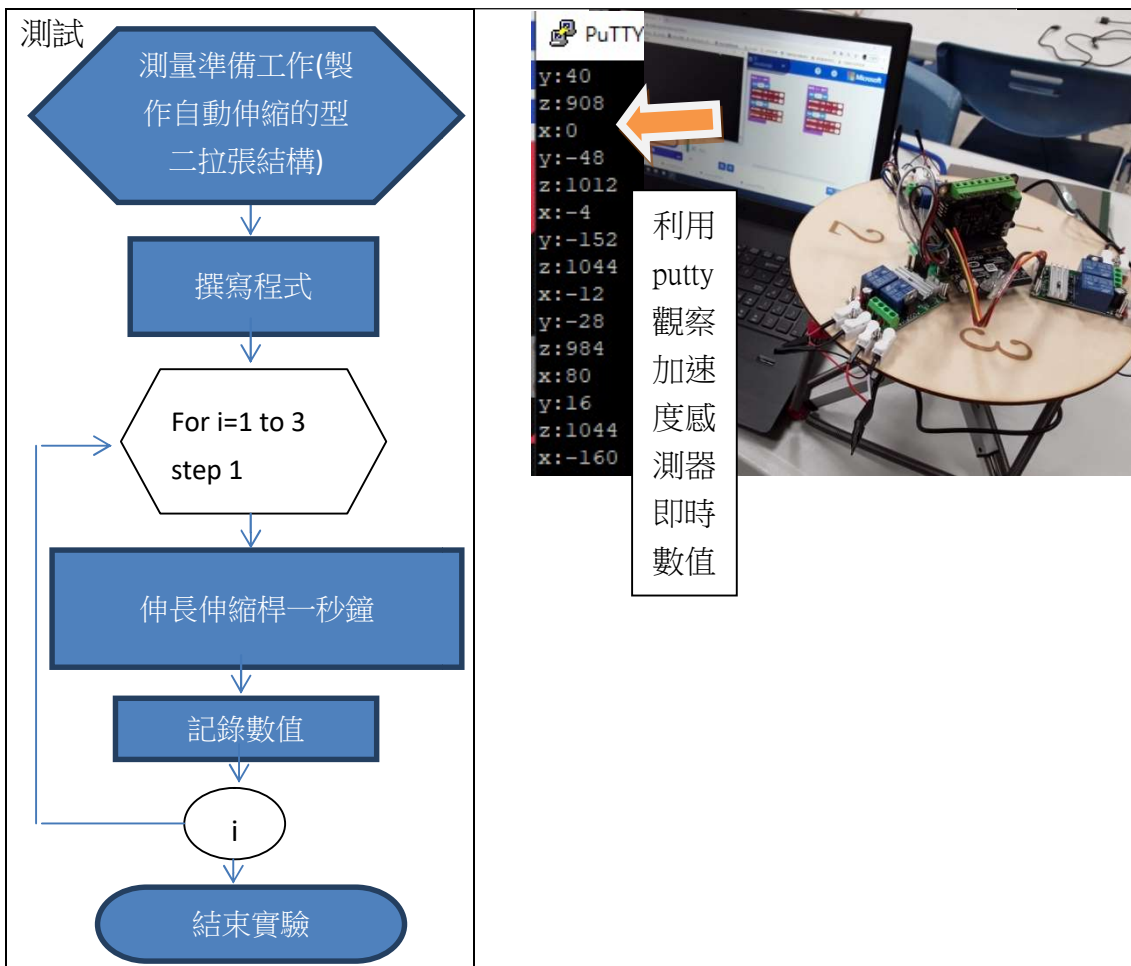
數位信號寫入 引腳 P8 數字 1

數位信號寫入 引腳 P12 數字 0

暫停 1000 毫秒

數位信號寫入 引腳 P8 數字 0

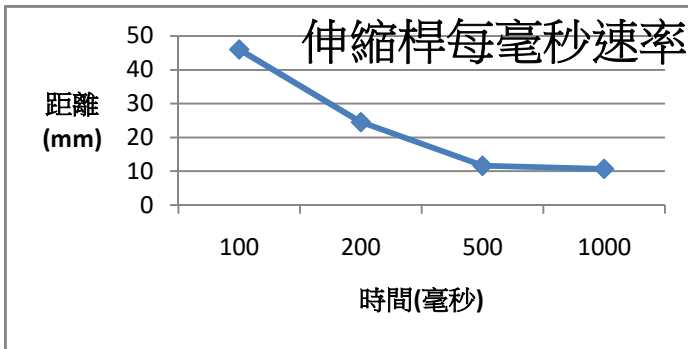
數位信號寫入 引腳 P12 數字 0



附註:測試數值(取連續三次平均)

座標數值	x	y	z	
支撐角(皆上升 1000 毫秒)				
(原本)		32	4	1024
伸縮桿 1		60	-24	1004
伸縮桿 2		36	-96	1008
伸縮桿 3		4	-40	1004

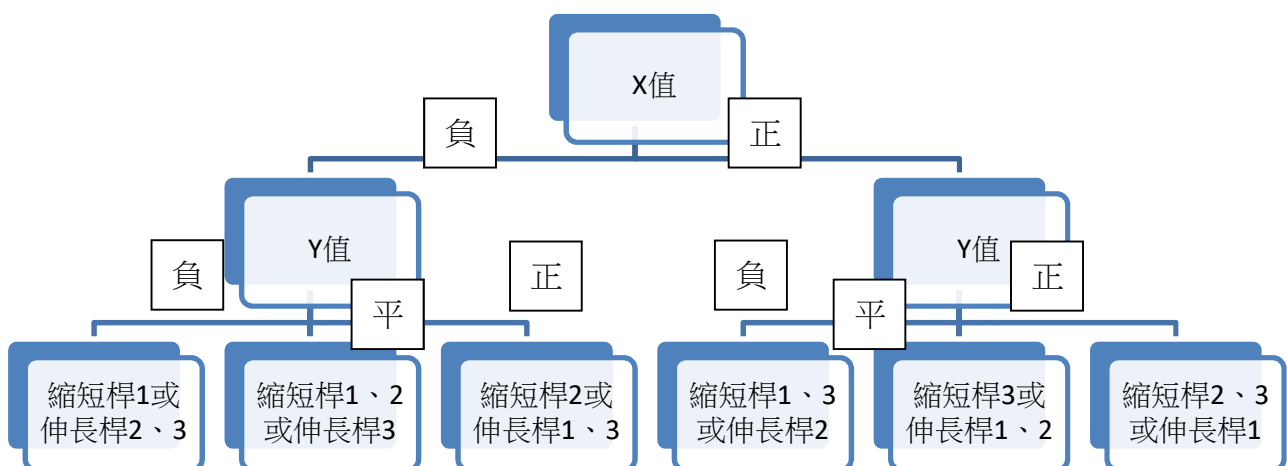
依據實驗結果，我們訂定伸縮桿的伸縮策略。當桌面傾斜時，上述 Micro:bit 的 x、y 值會變動，z 值幾乎沒有受影響，此時可以利用矩陣與反矩陣的方式找出對應的調整值，但是經過更多的時間觀測其數值變化，我們發現並非呈線性關係，因此算出的最佳調整值不一定能適用三支伸縮桿。為了達到更佳的控制，我們藉由觀察 x 及 y 值的變化，決定調整那些伸縮桿。



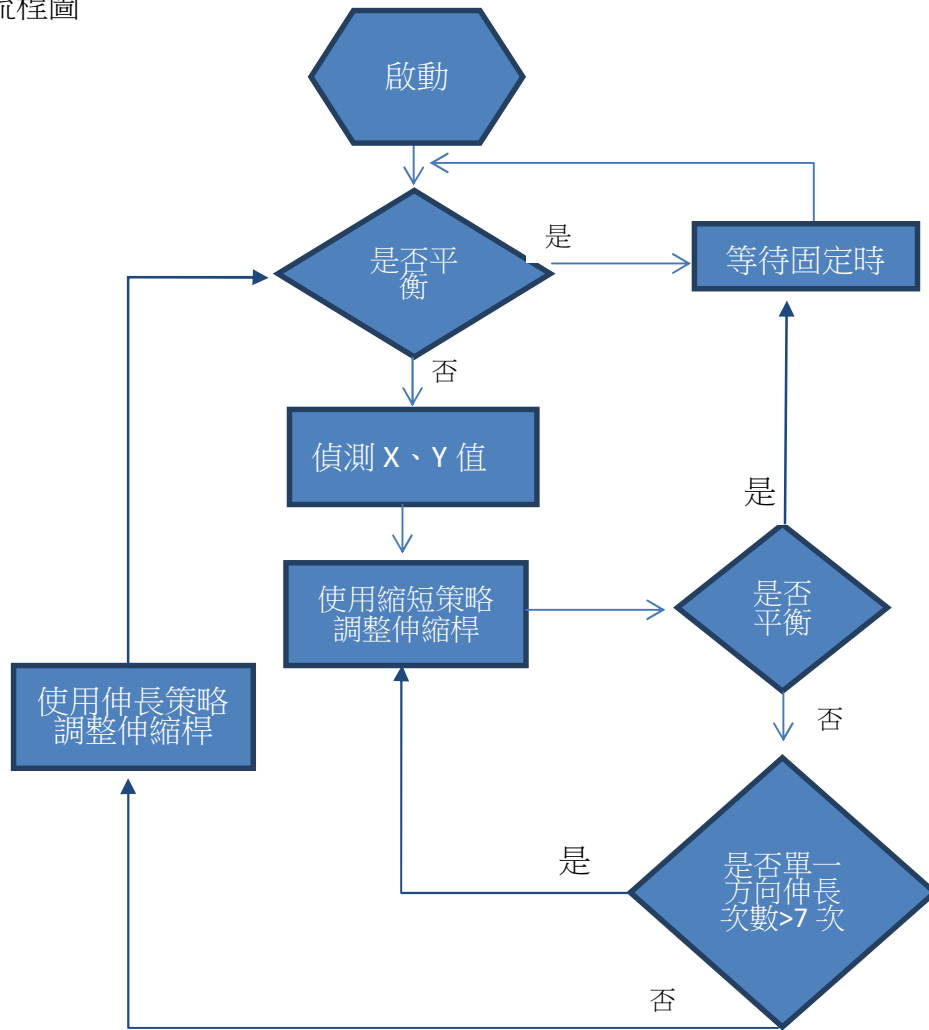
觀察紀錄

狀況	狀態	x	y	對策
桿一傾斜		負	負	縮短桿一或伸長桿二、三
桿一、二傾斜		負	平	縮短桿一、二或伸長桿三
桿二傾斜		負	正	縮短桿二或伸長桿一、三
桿一、三傾斜		正	負	縮短桿一、三或伸長桿二
桿三傾斜		正	平	縮短桿三或伸長桿一、二
桿二、三傾斜		正	正	縮短桿二、三或伸長桿一

此處的”正”代表目前觀測值較前一次增加 20 以上。”負”則為較前次減少 20 以上。”平”代表差距範圍在正負 20 間。對策分為兩種，一種是桿的縮短，另一是桿的伸長。透過上述不同狀況可找出相對應策略調整伸縮桿，優先利用縮短策略是因為伸長的長度是有侷限性的；當 Micro:bit 偵測達到平衡時就可停止。我們將其寫成程式後植入 Micro:bit，決策樹與流程圖如下



程式流程圖



部分程式節錄

```

    當啟動時
      變數 counter 設為 0
      變數 status 設為 0
      變數 tx 設為 0
      變數 ty 設為 0
      變數 mx 設為 -20
      變數 my 設為 -10

    重複無限次
      暫停 100 毫秒
      變數 ltx 設為 tx
      變數 lty 設為 ty
      呼叫 testxy
      序列 寫入值 "counter" = counter
      如果 tx = 0 且 ty = 0 那麼
        變數 status 設為 0
      否則
        變數 counter 改變 1
        如果 status = 0 那麼
          變數 status 設為 1
          數位信號寫入 引腳 P0 數字 1
          數位信號寫入 引腳 P1 數字 0
          數位信號寫入 引腳 P8 數字 1
          數位信號寫入 引腳 P12 數字 0
        否則
          變數 counter 改變 -1
          變數 status 設為 0
          數位信號寫入 引腳 P0 數字 0
          數位信號寫入 引腳 P1 數字 1
          數位信號寫入 引腳 P8 數字 0
          數位信號寫入 引腳 P12 數字 0

    定義函式 balance1
      數位信號寫入 引腳 P0 數字 0
      數位信號寫入 引腳 P1 數字 1
      暫停 1000 毫秒
      數位信號寫入 引腳 P0 數字 0
      數位信號寫入 引腳 P1 數字 0

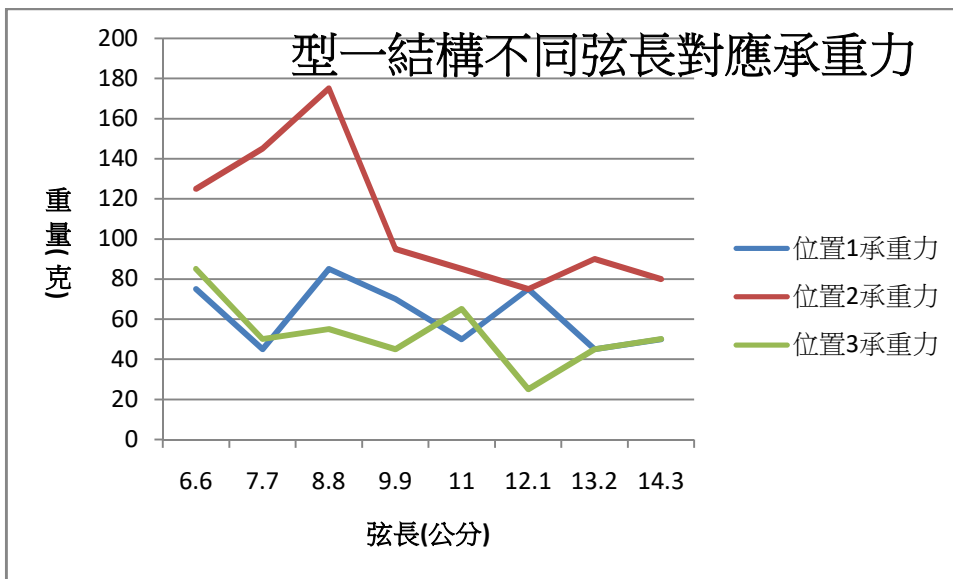
    定義函式 balance3
      數位信號寫入 引腳 P15 數字 0
      數位信號寫入 引腳 P16 數字 1
      暫停 1000 毫秒
      數位信號寫入 引腳 P15 數字 0
      數位信號寫入 引腳 P16 數字 0
  
```

伍、研究結果

一、實驗一結果

編號	上方三角形外接圓半徑	桿長	弦長	位置 1 承重力	位置 2 承重力	位置 3 承重力	位置 1 下降角度	位置 2 下降角度	位置 3 下降角度
M-6-1	7	11	6.6	75	125	85	15	10	15
M-7-2	7	11	7.7	45	145	50	10	15	10
M-8-1	7	11	8.8	85	175	55	10	15	10
M-9-3	7	11	9.9	70	95	45	20	15	15
M-11-1	7	11	11	50	85	65	10	10	10
M-12-1	7	11	12.1	75	75	25	10	10	7
M-13-1	7	11	13.2	45	90	45	5	10	5
M-14-1	7	11	14.3	50	80	50	5	10	5

桿的材質為木棒、弦的材質為釣魚線。位置 1-3 的對應數字代表承受重量，單位是公克；下降角度 1-3 代表的是最終倒塌前的位置 1-3 與水平面偏移的角度。



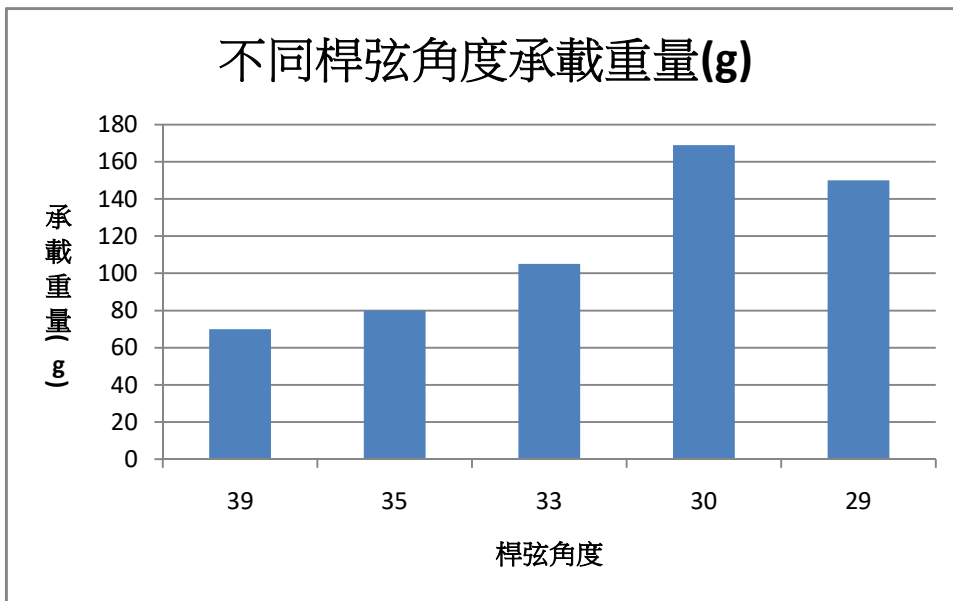
1.型一拉張結構，位置 2 可以承受的重力最大。

2.實驗發現:型一拉張結構弦桿長度比例接近 0.8，該型一拉張結構可承受的重量越重。

附註:本實驗中，載重平台 5g、載重圓盤 20g 重。

二、實驗二結果

角度(編號)	桿弦角度	承載重量(g)
1	39	70
2	35	80
3	33	105
4	30	169
5	29	150

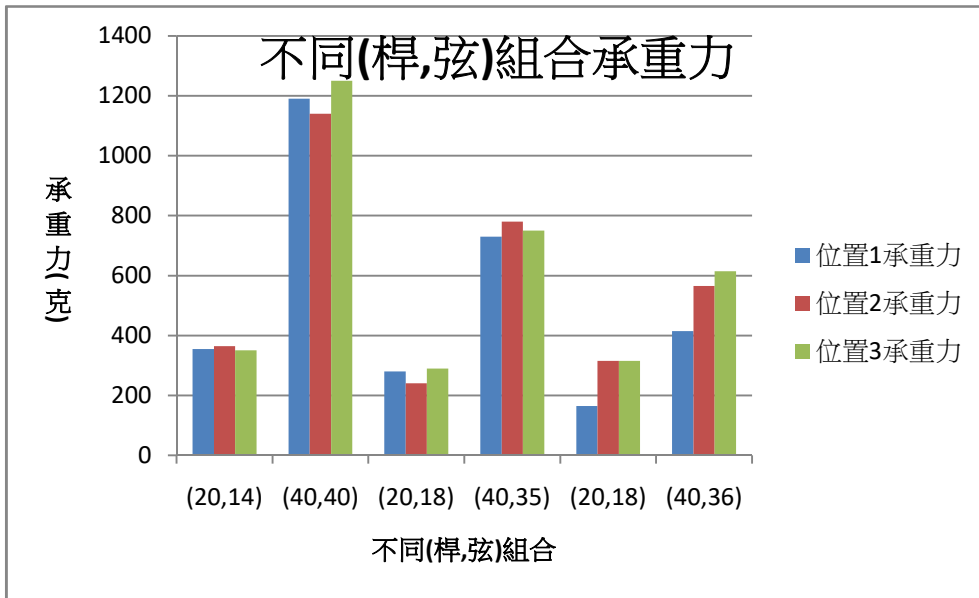


1.從本實驗中可以發現桿與繫繩的夾角角度 30 度可承載的砝碼重量最重 (169g)

三、實驗三結果

- 1.結構的高度明顯影響型二拉張結構的承受重量。
- 2.不同位置的下降偏移角度與可承受的重量有相關性。
- 3.型二拉張結構比起型一拉張結構，能製作出各位置受力均衡的作品。
- 4.從不同的桿弦組合中，得知弦長(因高度相同，較長弦長代表較鬆散)也會影響到承重力，此部分在實驗四中進行探究。

編號	高	桿長	弦長	位置 1 承重力	位置 2 承重力	位置 3 承重力	位置 1 下降角度	位置 2 下降角度	位置 3 下降角度
1	15	20	14	355	364	351	12	14	13
2	35	40	40	1190	1140	1250	18	21	20
3	18	20	18	280	240	290	29	27	30
4	38	40	35	730	780	750	30	35	33
5	18	20	18	165	315	315	15	32	33
6	38	40	36	415	565	615	31	36	37



四、實驗四結果:

我們從實驗中，發現釣魚線為弦的型二拉張結構能承重的重量比棉線為弦的能承受的更多

編號	高	桿長	弦長	位置 1 承重(克)	位置 2 承重(克)	位置 3 承重(克)	弦材質	桿材質
1	35	40	40	1190	1140	1250	釣魚線	鋁棒
2	35	40	40	310	225	330	棉線	鋁棒
3	20	22	20	550	570	660	釣魚線	鋁棒
4	20	22	20	170	300	180	棉線	鋁棒
5	20	22	20	465	350	415	棉線	鋁棒

進一步探究後發現，從各位置弦的下降距離得知弦的鬆緊度影響結果

編號	位置 1 承重(克)	位置 2 承重(克)	位置 3 承重(克)	弦材質	桿材質	位置 1 弦 下降(公分)	位置 2 弦 下降(公分)	位置 3 弦 下降(公分)
1	1190	1140	1250	釣魚線	鋁棒	0.7	0.9	0.8
2	310	225	330	棉線	鋁棒	2.5	2.1	2.5
3	550	570	660	釣魚線	鋁棒	1	1	0.9
4	170	300	180	棉線	鋁棒	2.7	2.4	2.6
5	465	350	415	棉線	鋁棒	1.2	1.5	1.3

因為橡皮方便控制其長度，進而控制鬆緊，方便觀察鬆緊的影響，因此針對弦為橡皮材質的型二拉張結構，進行了不同鬆緊度的實驗

編號	位置 1 承重 (克)	位置 2 承重 (克)	位置 3 承重 (克)	弦(材質為橡皮)長度(公分)	桿(材質為鋁)長度(公分)	位置 1 弦下降(公分)	位置 2 弦下降(公分)	位置 3 弦下降(公分)
1	950	970	950	20	30	0.6	0.6	0.6
2	950	950	920	22	30	0.7	0.7	0.7
3	550	540	560	24	30	0.9	0.9	0.9
4	370	360	350	26	30	1.1	1.1	1.2

註 1:上述弦長皆為未拉伸的長度，拉伸後的長度皆為 27 公分。

註 2:測量橡皮下降公分所用的砝碼重量為 200 公克。

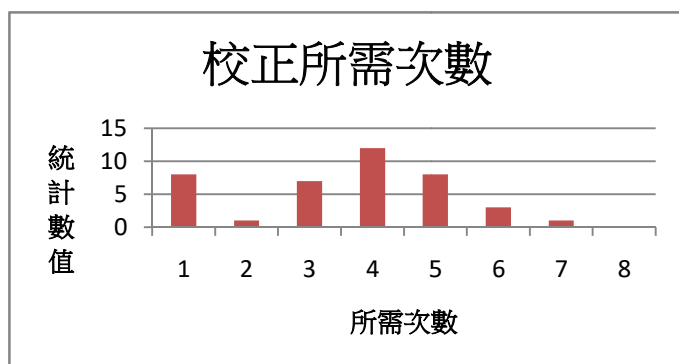
五、實驗五結果

編號	型態	弦長	材質(弦)	材質(桿)	高度	位置 1 承重	位置 2 承重	位置 3 承重	中心
1	2	13.5	彈簧	伸縮桿	16	1350g	1250g	1350g	>2000g
2	2	13.5	彈簧	伸縮桿	18	1150g	1200g	1350g	>2050g
3	2	13.5	彈簧	伸縮桿	20	1250g	1200g	1200g	>2100g
4	2	13.5	彈簧	伸縮桿	22	1100g	1250g	1300g	>2050g

- 1.相較於型一拉張結構，型二的拉張結構在位置 1、2、3 可承受的重量都相近。
- 2.從實驗中可發現，拉伸弦的長度導致結構的不同高度下，該自動平衡拉張結構可承重重量差異不大。
- 3.載重圓盤中心可放置的砝碼多於置於位置 1、2、3 可放置的砝碼，代表載重圓盤中心可承受的重量最重。(為避免破壞結構，此處的重量非倒塌重量，僅為讓結構下壓 20%高度的重量)

六、實際六結果

40 次實驗後的平均的校正次數為 3.6 次

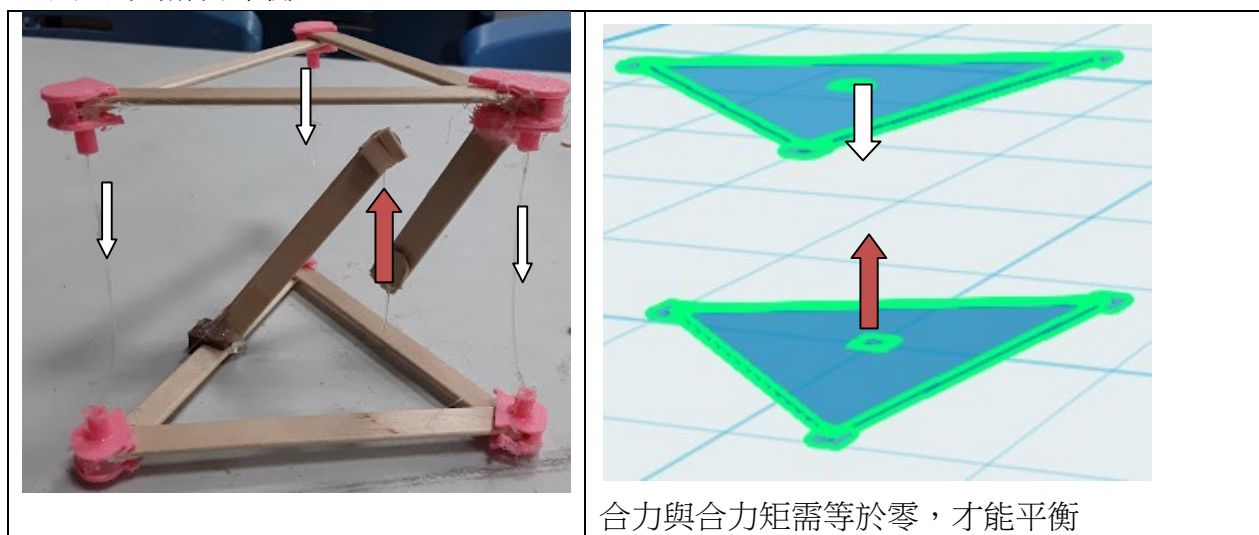


實驗影片

陸、討論

實驗一討論

- 1.對於型一拉張結構上方的三角形結構而言，中央的繫繩(如圖中紅色箭頭)施予它向上的拉力，三邊的弦(如圖中白色箭頭)則施予它向下的拉力，上方三角形重量加上這些向下的拉力總和等於向上的拉力。但是只有合力為零未必能保持平衡，還必須符合「合力矩為零(不轉動)」以達到的靜力平衡。



- 2.下降角度指的是放最後一個砝碼時，上方三角形結構在水平面傾斜的角度，實驗結果平均為 16.7 度。探討型一拉張結構倒塌原因，應考慮其「力矩」，我們觀察實驗中型一拉張結構倒塌是因原本合力矩為零遭改變，砝碼造成某一邊傾斜，接著倒塌；另一方面，位置 2 可傾斜角度較大，位置 1 和位置 3 傾斜角度較小，推測是由於不同位置的承受力不同。
- 3.弦長較短之拉張結構可以承受的重量較重，推測是因為弦的長度越短，中間的兩桿間的弦也較短、容易拉得更緊。
- 4.較長的弦，末端容易偏移導致失衡，使得合力矩不為零。

實驗二討論

實驗發現，推測繫繩與桿的角度在 30 度時可承載的砝碼重量最重，是因此時向上拉起的繫繩與水平面的角度近乎 90 度，這樣向上的力沒有被分擔掉，也就是能夠承載的重量最重。

實驗三討論

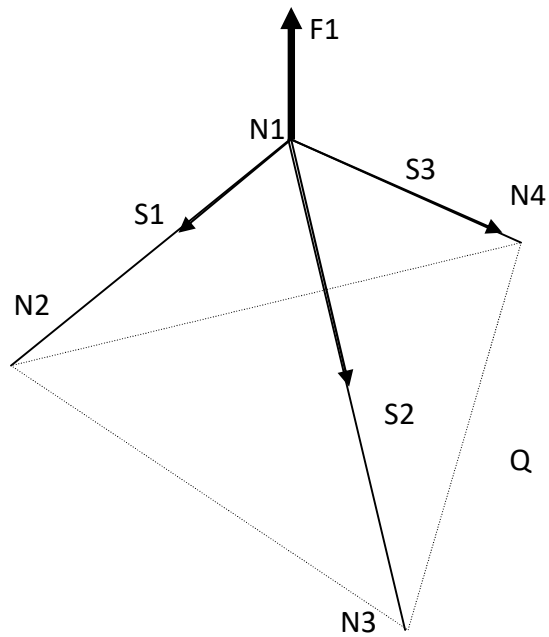
- 1.我們發現型二拉張結構的桿越長，承重越重；推測當其他條件不變時，桿越大及堅固，能承受的重量越重。
- 2.我們發現型二拉張結構可承受重量越重與下降角度呈正相關，推測越緊實的弦能夠承受較大的重量。

實驗四討論

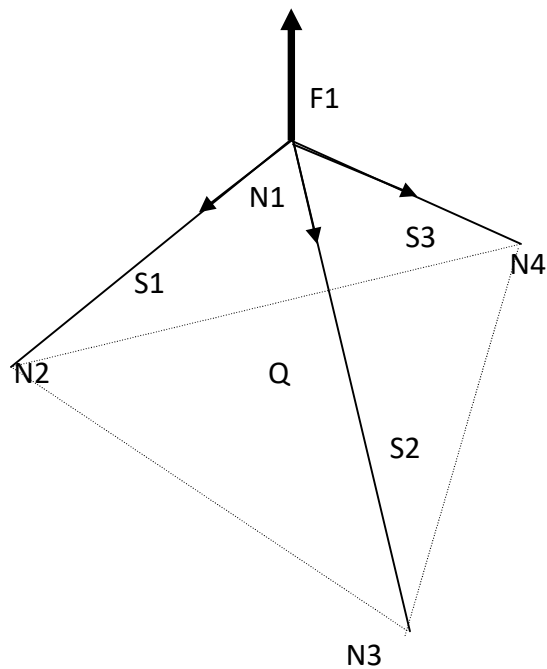
- 1.從實驗中，我們發現棉線為弦的型二拉張結構，棉線吊砝碼後偏移水平面的距離比釣魚線為弦的型二拉張結構偏移的距離大，這是因為釣魚線比較緊實，較不容易下垂；另一方面，材質相同的弦(例如材質為橡皮的實驗數據)，也會因為鬆緊程度影響整個型二拉張結構可以承受的重量，但到達一定程度的鬆緊後，所影響的承受重量差異趨緩。
- 2.實作的過程中發現型二拉張結構中三隻桿的擺放角度不同，是否影響平衡，討論如下。

下圖中的細線代表弦、粗線代表桿、箭頭代表施加在節點上的力。N1-N4 代表節點、S1-S3 表示弦、F1 代表桿、Q 代表質心。

如果質心位於碰觸地面節點 N2、N3、N4 為頂點的三角形外部，將導致不平衡而倒塌。



如果質心位於碰觸地面的三個節點 N2、N3、N4 為頂點的三角形內部，則能夠達到平衡。



實驗五討論

- 1.實驗中的彈簧因相同長度且具有相同彈性係數，伸縮桿在機電的自動控制下，可以使得各彈簧每次伸縮，長度相等，加上整個結構為點對稱，各頂點受力相同。
- 2.在此實驗中，不同高度代表的是不同的彈簧張力，但在不同高度下，承重重量相異不大，推論彈簧伸長到達一定的張力後，不同高度下的型二拉張結構所能承受的重量差異不大。

實驗六討論

- 1.從實驗中可以得知，決策樹可以運用在伸縮桿的調整問題上。
- 2.決策樹只需要兩次運算(分別比較 X、Y 值)就可以決定相對應的伸縮策略。
- 3.不同的間隔調整時間會影響到整個調整完成時間，可以依使用場合決定。
- 4.不同的伸縮速率也會影響到調整所需次數，伸縮速率快，相對所需次數較少，但引起的晃動會較大。
- 5.我們運用實驗四討論到自動調整的策略中，以本研究中的伸縮桿伸縮速率為例，單一方向 9 次以上的伸長就會導致傾斜倒塌。
- 6.本研究中所用的模型可適用的斜面為 22.8 度以下，原因是伸長後質心會落在碰觸地面的三個點頂所構成的三角形之外。本模型上方裝配 Micro:bit 等控制器等，重量與三根伸縮桿相當，因此傾斜後容易影響質心位置。如果伸縮桿採用較大尺寸，則兩者重量比例差距較大，可以應用在傾斜角度更大的環境下。

柒、結論

- 1.型一拉張結構中的弦與桿的比例、繫繩與水平面的夾角，對該結構的承重力有顯著影響。
- 2.型一拉張結構，弦的偏移(連接上下三角形的弦是否垂直於水平面)會影響到該結構平衡。
- 3.型二拉張結構中弦的鬆緊程度對承重力有顯著影響，但到達一定緊實度後，影響小。
- 4.型二拉張結構桿需與弦的合力重合，該結構的各頂點的受力就能夠達到平衡。
- 5.比較起矩陣與反矩陣的對應方式，利用決策樹依不同的加速度感測器 x、y 值，決定平衡策略，更能應付實際狀況。
- 6.本研究除了海面上的搖晃環境的應用，也可延伸至生活中相關領域，例如遮光罩或遮雨棚，依感應值進行自動移動。

捌、參考資料

- 1.型一拉張結構影片 <https://www.youtube.com/watch?v=cNS1oygUJ9U>
- 2.型二拉張結構影片 <https://www.youtube.com/watch?v=8gtvxYZ0Glg>
- 3.漫畫結構力學入門 2009/02 積木出版社
- 4.拉張結構：<https://kknews.cc/news/rnpzzkx.html>。