

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別： 應用科學科（一）(機電與資訊)

組 別： 國小組

作品名稱：神奇的空氣琴

關 鍵 詞：超音波感應、頻率、音波

編號：A6013

摘要

為了解決隔壁鄰居小孩因手指受傷無法彈奏鋼琴的困擾，我們想利用樂高 EV3 來製作一台空氣琴，這台空氣琴不用按鍵，只要在空氣揮揮手，就會演奏出曲子。我們改良技藝博覽會中展示的 mbot 空氣琴的缺點，克服了各項困難，製造出的樂高空氣琴，具備能發出柔美的聲音、不需要音符刻度板、能達到兩個八度音而且攜帶方便的預期效果，這樣的動手做的成品讓我們覺得好有成就感。

壹、研究動機

有一天，隔壁鄰居的小孩手指受傷，醫生說短時間內好不了，所以不能彈鋼琴，可是他還是很想彈鋼琴，所以就問我們有沒有方法可以幫她，於是我們就想到一個方法，我們上網查有沒有可以不用手指就可以彈的鋼琴。後來，我們想到我們有一次去技藝博覽會看到有人用 mbot 做了一台空氣琴，可是功能不強，還存在許多的缺點。我們想應該可以利用學過的樂高 EV3 程式設計，製作一台比它更好的空氣琴，來解決隔壁小孩的難題。

貳、研究目的

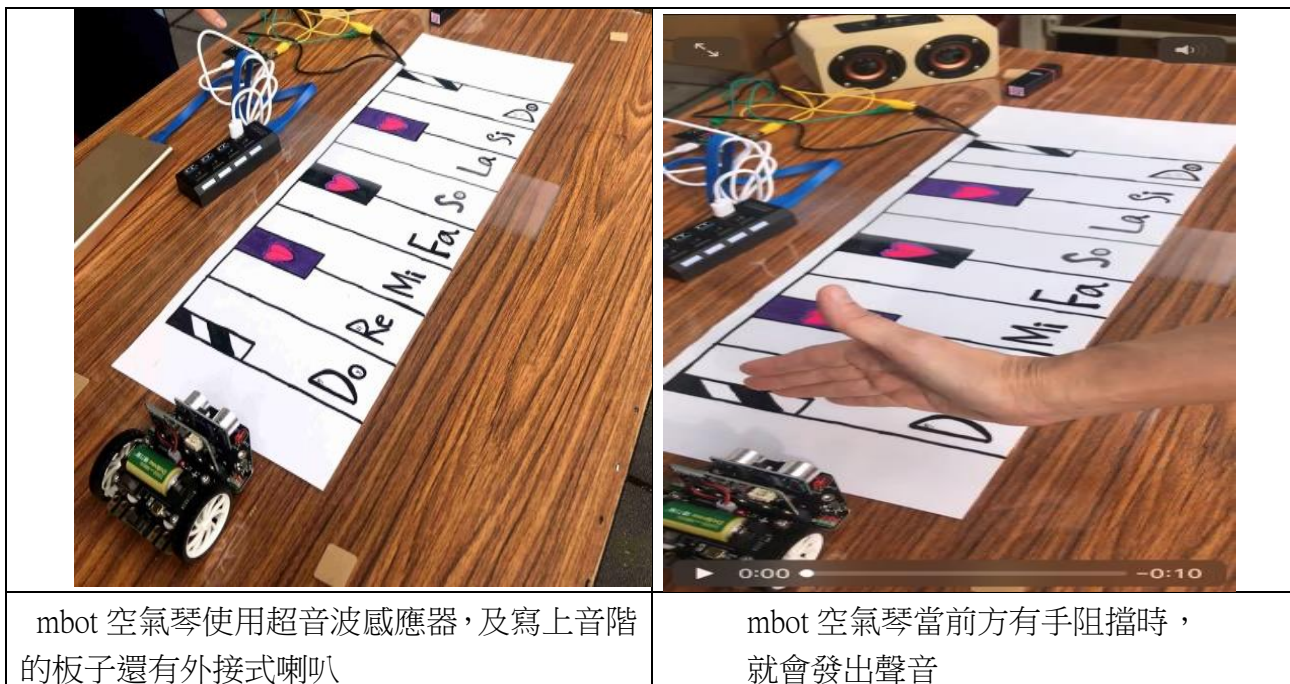
- 一、探討技藝博覽會 mbot 空氣琴的優缺點有哪些？
- 二、怎樣使用 lego ev3 製作空氣琴的演奏設備？
- 三、如何設計演奏 Do Re Mi 等音階的超音波感應程式？
- 四、解決超音波因感應不良而發出雜音的策略為何？
- 五、怎樣修改超音波琴的結構達成可調整、美觀、穩定擺放的要求？

參、研究設備及器材

<p>Lego-Ev3 主機</p>		<p>Lego-Ev3 超音波 感應器</p>	
<p>Lego-Ev3 結構積木 (一)</p>		<p>Lego-Ev3 結構積木 (二)</p>	
<p>100x50cm 三合板</p>		<p>感應木板</p>	
<p>計時手機</p>		<p>感應木條</p>	
<p>各種防滑 材料</p>		<p>30、100cm 長尺</p>	

肆、研究過程及方法

在屏東縣 109 年的中等學校技藝博覽會上，我們看到一所學校使用 mbot 做了一台空氣琴。因為第一次遇到這種不用鍵盤就可演奏出聲音的神奇樂器，在好奇心的驅使之下，就在這攤位逗留很久，觀察別人怎樣玩，也親自玩過幾次後發現，這種空氣琴雖然神奇好玩，但因設計過於簡單而存在許多的問題。



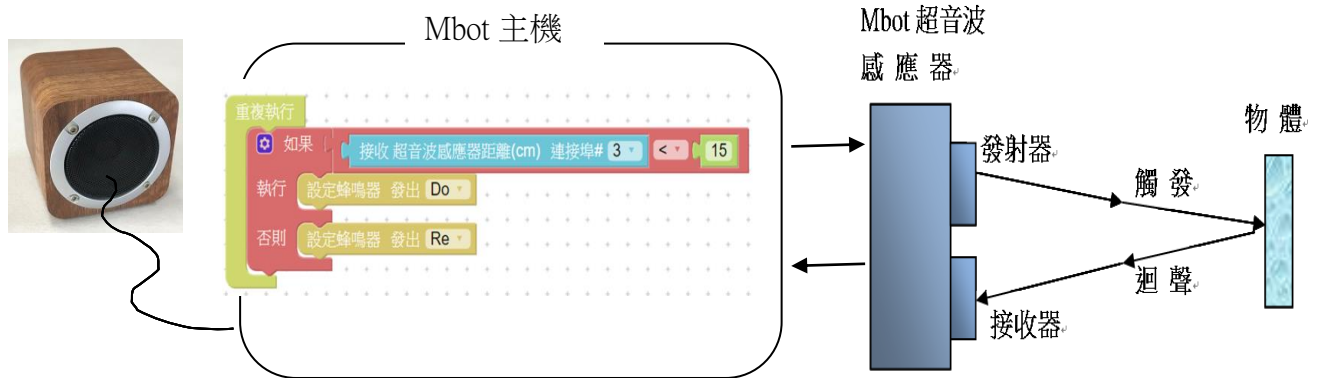
【研究一】 探討技藝博覽會 mbot 空氣琴的優缺點有哪些？

研究方法：

1. 觀看 mbot 空氣琴的演奏影片，了解其操作的步驟及現象。
2. 根據 mbot 空氣琴演奏所觀察到的現象，與彈奏鋼琴來進行比較。
3. 將比較結果依照演奏難易度、靈敏度、音質等特性製成比較的表格。
4. 依照研究 lego ev3 的經驗，擬定將 mbot 空氣琴改成使用 lego ev3 來製作空氣琴後，期望改進的效果。

研究結果：

(一)根據我們在技藝博覽會現場的體驗經驗及再度觀看影片整理後發現，mbot 空氣琴的發聲過程及原理如下



(二)經過討論後，得到 mbot 空氣琴的優缺點如下

mbot 空氣琴的優點	mbot 空氣琴的缺點
<ol style="list-style-type: none"> 1. 在底板上標出音階，比較容易演奏。 2. 琴鍵大而清楚，演奏不容易失誤。 3. 可以連喇叭，可控制聲音大小聲。 4. 固定 1 秒才發出一個聲音，不熟悉的生手容易演奏。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 超音波感應不良，演奏容易出錯。 2. 超音波反應太慢，容易感測錯誤。 3. 距離太遠感應比較不好。 4. 音階太少，能彈奏的曲子很少。 5. 用木板輔助彈奏，顯得很無趣。

<p>當 mbot 空氣琴感應到 Do 的位置被阻擋時，會發出 Do 聲</p>	<p>mbot 空氣琴在底板上標出音階，比較容易演奏</p>	<p>mbot 空氣琴的超音波反應太慢，容易感測錯誤</p>

(三) 將 mbot 空氣琴改成使用 lego ev3 來製作空氣琴後，期望改進的效果

改進的項目	Mbot 空氣琴	將建置的 lego ev3 空氣琴
演奏的靈敏度	隔一段時間有阻擋才發出一短音	有阻隔就發出聲音，直到阻隔消失
聲音的音質	刺耳的電子聲	比較能發出柔美的聲音
外型設計	用一片木板畫出刻度來演奏的話 很無趣	桌上不擺刻度板，在空中阻擋時，就可 以彈奏歌曲，顯得很神奇
音域	只有七個音	能達到兩個八度音(從低音 So 到高音 Fa)

研究討論：

- 1.從 mbot 空氣琴的各項優缺點做為建造新的空氣琴的基礎，期待能完成一台更理想的作品
- 2.我們希望透過樂高 ev3 的積木、超音波感應器等硬體及主機的程式設計，一項項的來完成超音波空氣琴的建造工作。

【研究二】怎樣使用 lego ev3 製作空氣琴的演奏設備？

研究方法：

- 1.依據超音波空氣琴的要求，需要使用到主機(邏輯運算及發出聲音)與超音波感應器。
- 2.使用樂高積木組成一個形體結構，搭載主機及超音波感應器。
- 3.組成的結構能穩定的擺放在桌上，主機能容易操作，超音波感應器可以調整上下角度。

研究結果：

使用樂高現有的基本車體，再將超音波感應器的位置調高，即可達到樂高空氣琴的基本需求。我們自製的樂高超音波感應車如下圖



研究討論：

- 1.我們使用現有的樂高車，經過稍微改裝後即可立即進行實驗的工作。
- 2.有了硬體的結構後，接著需要著手研究如何使樂高 ev3 發出各種的音階。

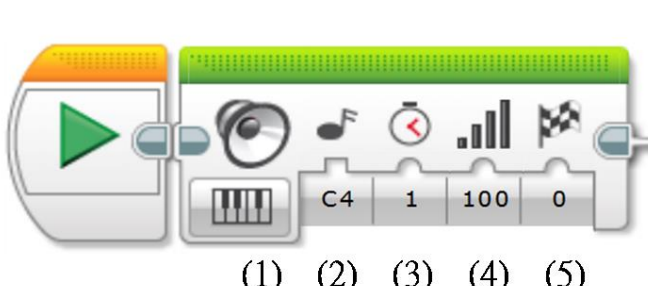
【研究三】如何設計演奏 Do Re Mi 等音階的超音波感應程式？

研究方法：

- 1.開啟樂高 ev3 的程式，選取發出聲音的模組。
- 2.打開 ev3 主機後，與程式進行藍牙連接。
- 3.測試 ev3 的聲音的模組程式，使之與超音波感應器相對應，當感應器偵測到遠近不同距離有物體時，會發出 Do Re Mi 等不同的聲音。

研究結果：

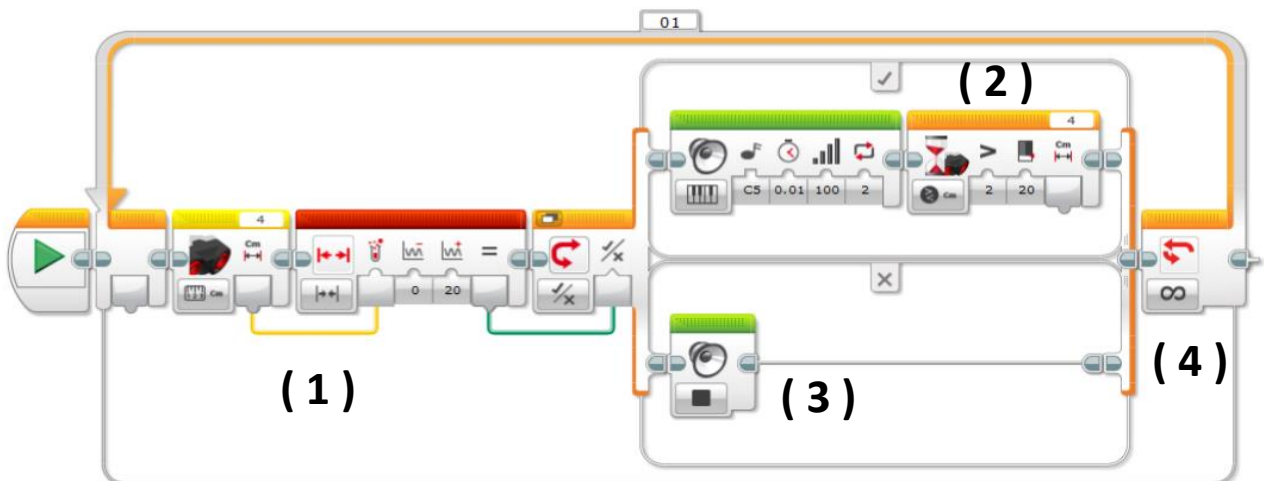
(一)未使用超音波感應器，演奏 Do (C4)連續一秒的程式設計如下



【程式說明】

- (1) 聲音演奏的模式 (停止、頻率、音符)
- (2) 聲音的音高 (從 C4 到 B6)
- (3) 聲音的長度 (以秒為單位)
- (4) 聲音的音量 (從 1 到 100)
- (5) 聲音的類型 (連續、間斷)

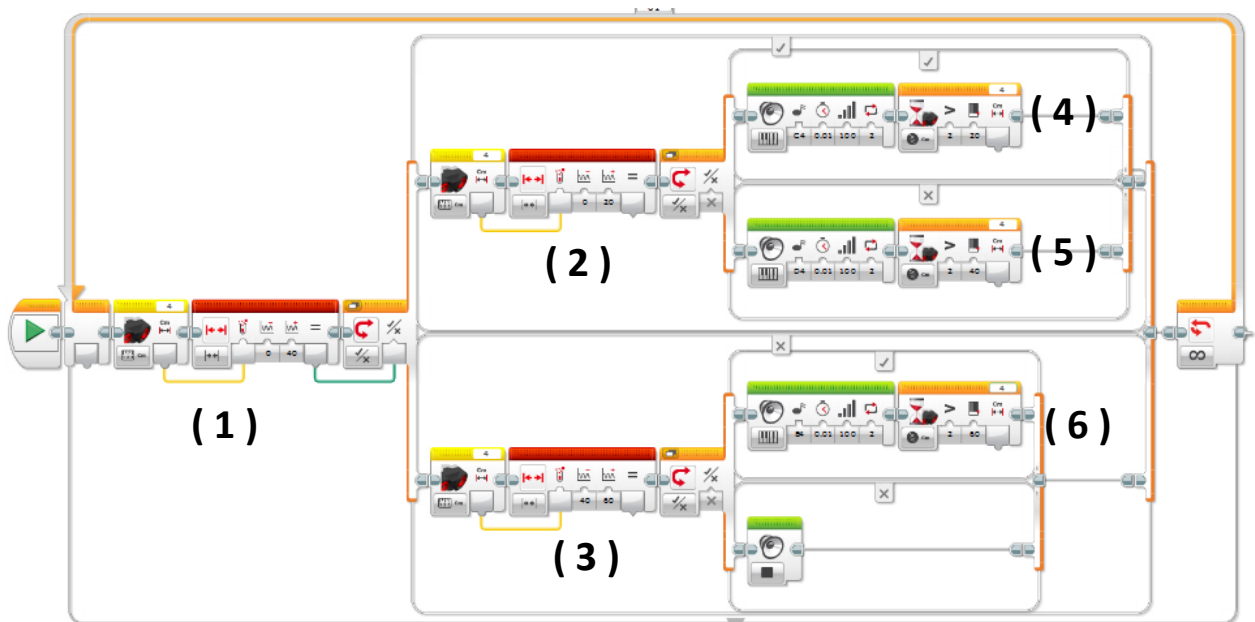
(二) 使用超音波感應器，演奏 Do (C4)連續聲音的程式設計如下



【程式說明】

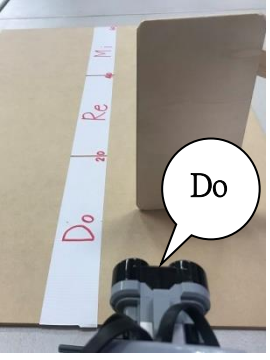
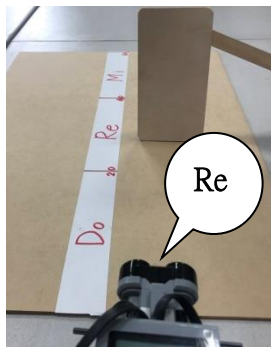


- (1) 超音波感應到 0~20cm 內有物體 (v 為符合，程式往上進行；x 為不符合，往下進行)。
- (2) 喇叭連續發出 Do (C4) 的聲音，直到超音波感應 20cm 內沒有物體為止。
- (3) 當超音波感應到 0~20cm 內有物體為 不符合 (x) 時，喇叭停止發出聲音。
- (4) 程式以無限迴圈(∞)重複進行。

(三) 使用超音波感應器，演奏 Do (C4)、Re(D4)、Mi(E4) 連續聲音的程式設計如下

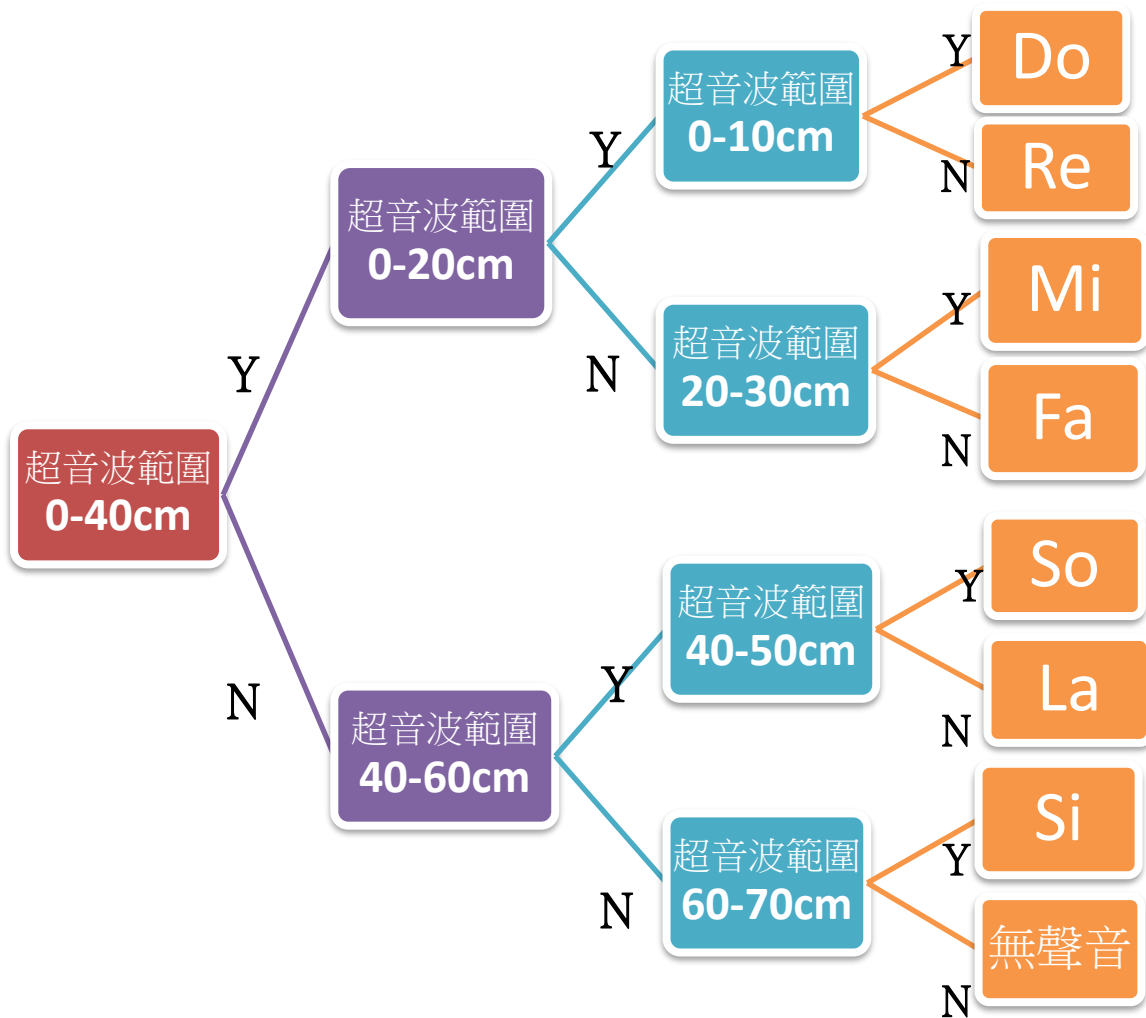


【程式說明】

- (1) 超音波感應到 0~40cm 內有物體 (v 為符合，程式往上進行；x 為不符合，往下進行)。
- (2) 超音波感應到 0~20cm 內有物體 (v 為符合，程式往上進行；x 為不符合，往下進行)。
- (3) 超音波感應到 40~60cm 內有物體 (v 為符合，程式往上進行；x 為不符合，往下進行)
- (4) 喇叭連續發出 Do (C4) 的聲音，直到超音波感應 20cm 內沒有物體為止。
- (5) 喇叭連續發出 Re(D4) 的聲音，直到超音波感應 40cm 內沒有物體為止。
- (6) 喇叭連續發出 Mi(E4) 的聲音，直到超音波感應 60cm 內沒有物體為止。

			
超音波感應到 0~20cm 內有物體， 發出 Do 的聲音	超音波感應到 20~40cm 內有物體， 發出 Re 的聲音	超音波感應到 40~60cm 內有物體， 發出 Mi 的聲音	超音波感應到 60cm 以外或感應不到物體 時，就不會發出聲音

(四) 利用超音波感應器，演奏 Do (C4)到 Si(B4) 七個連續聲音的程式設計簡要流程如下



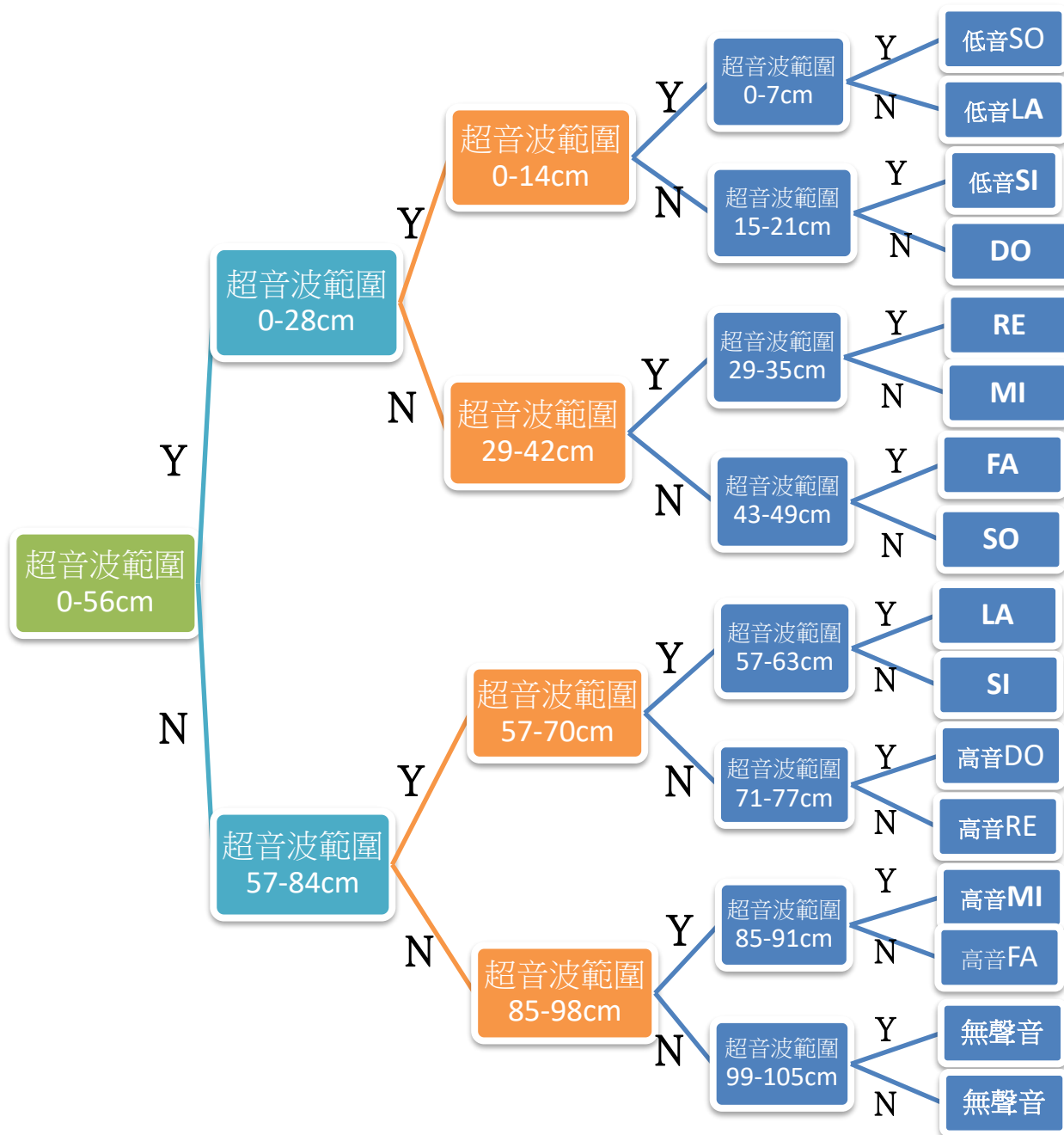
研究討論：

- 1.在演奏的過程中，我們也常發現一個音符要結束時會短暫的變成高一度的音符，初步判斷可能跟超音波感應到的距離有關。

2.當我們將超音波空氣琴的程式設計從三個音階變成七個音階後，在進行演奏時發現，常常會出現音符錯誤的現象，不知是否和每個音符所對應的超音波感應的長度變短有關？

(五) 利用超音波感應器，演奏低音 So 到高音 Fa 兩個八度音的程式設計簡要流程如下

因感應的範圍過長，會增加演奏的困難，所以設定每個音感應範圍是 7cm，全部可感應範圍共 7*14=98cm，如此設計便可達成原本預期(樂高空氣琴能有兩個八度音)的要求。



【研究四】解決超音波因感應不良而發出雜音的策略為何？

在演奏的過程中，我們常發現一個音符要結束時會短暫的變成高一度的音符，初步判斷可能跟超音波感應到的距離有關，我們進行以下的研究設計來解決此一問題。

（問題一）：如何改善音階結束時，偶而會短暫變成高一度聲音的現象？

研究方法：

- 1.當演奏音樂時，將樂高主機和筆電進行藍牙連接，以方便監看超音波的感應距離。
- 2.每次只進行單音的演奏，在該音的感應範圍內前後測試，直到出現變音時固定木板的位置。
- 3.當出現變音時，紀錄當時的超音波感應距離，再與發出該音的在程式中的應有感應範圍進行比較。

研究結果： (單位：cm)

音 高		Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si
感應範圍(cm)		0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70
變聲時 超音波 的感應 距離	1 次	10.6	20.5	32.4	42.3	52.6	62.1	71.5
	2 次	10.7	22.2	31.2	42.7	50.4	61.2	72.3
	3 次	11.2	21.5	30.5	41.3	52.7	62.4	73.9
	4 次	10.3	20.4	31.9	40.4	51.0	63.7	71.0
	5 次	11.1	21.8	30.8	41.5	52.7	60.8	72.8
	平均	10.78	11.28	31.36	41.64	51.88	62.04	72.3
	比最遠 距離增加	0.78	1.28	1.36	1.64	1.88	2.04	2.3

研究討論：

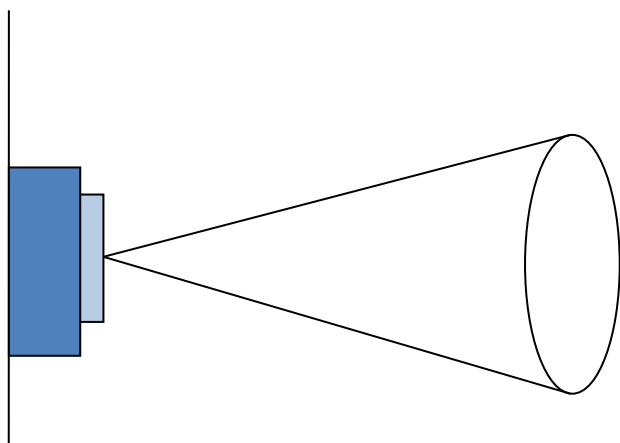
- 1.從操作中發現 Do 到 Si 每個音階結束時，偶而會短暫變成高一度聲音，都是發生在超音波能感應到該音階最後的位置(如 Do 是約在 8、9cm 接近 10cm)，所偵測到的超音波距離都是比其最遠距離多出 0.1~3.9cm 內。

- 2.從 Do 到 Si 當發出變音時，所測量出的超音波距離比其能感應的最遠距離會逐漸增加(0.78 →2.3cm)。
- 3.經此研究發現，音階結束時偶而會短暫變成高一度聲音的現象，是因量測的超音波增加，所以，我們進行以下樂高程式的修正：



將發出該音符的超音波結束的範圍(例如 Do 是在 10cm)，均修改成 100cm，當感應木板離開偵測範圍前，都會發出該音符，當拿起來後，就會因感應距離超過 100cm 而停止聲音。

- 4.在進行演奏 Do、Re、Mi 的實驗時，我們發現超音波偵測到阻擋物的範圍並不是水平線，而是距離超音波越近，可感應的位置越低；距離超音波越遠，可感應的位置越高。經查閱書籍與網路資料後得知，理論上超音波感應器可偵測的範圍應該是類似圓錐體，距離超音波感應器越近，可感應的截面積應該接近面積較小的圓形；距離超音波感應器越遠，可感應的截面積應該接近面積越大的圓形。實際的情形真是如此嗎？



(超音波的感應側視圖)

(問題二)：如何探測樂高 ev3 超音波的感應範圍？

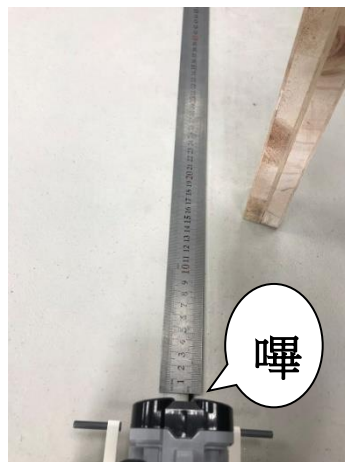
測試 1：樂高 ev3 超音波的左右感應範圍為何？

研究方法：

- 1.在超音波前面放一枝 100 公分的量尺。
- 2.設計超音波程式在 90 公分內，只要有偵測到物體就會發出嗶聲。
- 3.在桌上的直尺上，每隔五公分垂直向左右延伸測量，直到偵測不到物體時在桌上黏貼膠帶。
- 4.將左右全部的膠帶前後連接成一條線，測出它的角度。



(1) 在超音波前面放上量尺



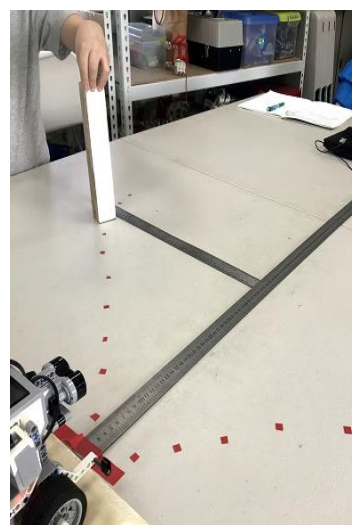
(2) 偵測到前方有物體就會發出嗶聲



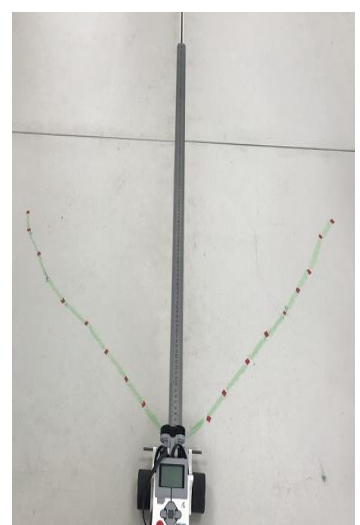
(3) 隔 5cm 向左右延伸測量，直到偵測不到物體



(4) 偵測不到物體時，在桌上黏貼膠帶

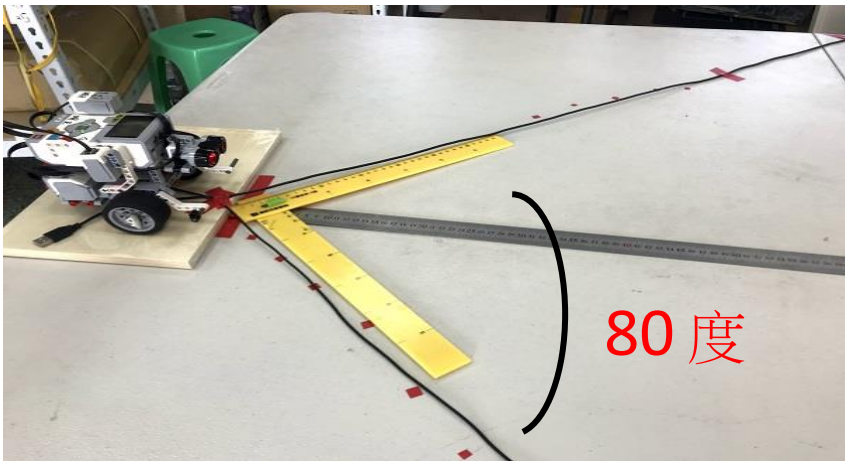


(5) 重複進行，直到正前方 50cm 為止



(6) 將左右全部的膠帶前後連接成一條線

研究結果：



1. 樂高 ev3 超音波感應器左右兩邊能感應到物體角度各是 40 度，兩邊的夾角合計約為 80 度。
2. 發現在測量時物體與超音波發射的夾角約成直角時，最容易感應得到。

測試 2：樂高 ev3 超音波感應器的上方感應範圍為何？

因為在演奏時是從上往下阻擋超音波，所以我們只探究到底樂高超音波往擴散的範圍，超音波的下方一般都是擺放的桌子，因桌面與超音波發射的角度很小，回音無法反射再回到接收器上，所以就不需要進行探究。

研究方法：

1. 測量超音波在上面的範圍時，在超音波上放一條木棒。
2. 在每隔一段距離使用木板測量，當聽到有聲音時就將木棒的高度調高。
3. 直到沒有聲音為止，最後測量木棒與水平線的夾角就是樂高超音波的上緣偵測範圍。



(1) 在超音波上放一條木棒



(2) 偵測到前方有物體就將木棒的高度調高，直到沒有聲音為止

研究結果：

1. 樂高 ev3 超音波感應器上緣能感應到物體的角度約為 35 度。
2. 在操作時發現，離超音波越近，偵測的穩定度較好，距離越遠，偵測較為不穩定，木板需要轉至特定的夾角，才會發出聲音。

研究討論：

經實驗發現樂高 ev3 的超音波感應器的左右擴散的角度約為 40 度，而向上擴散的角度約為 35 度，因此如將樂高空氣琴平放的話，就會產生離超音波越遠的感應位置會變得越高，造成演奏上的不方便。

(問題三)：如何調整超音波的角度才能更容易進行演奏？

研究方法：

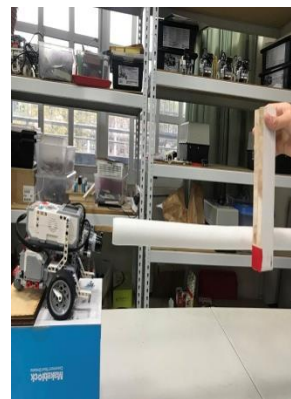
- 1 水平架設出超音波在最上面偵測的木條。
- 2 將超音波後端底下放上木板，使超音波角度向下傾斜。
- 3 每次墊高一片木板，再次確認水平木條下能否偵測到物品。
- 4 直到水平木條下不能偵測到物品為止。
5. 測試調整後的空氣琴，記錄演奏的效果。



水平架設出超音波最上面偵測的木條



測試水平木條下能否偵測到物品



將超音波後端底下放上木板，使其角度向下傾斜



直到水平木條下不能偵測到物品為止

研究結果：

- 1 當超音波後端底下放上木板調整後，使上方偵測範圍變成水平，演奏比較方便。
- 2 演奏比較不會斷斷續續、出現其他雜音的現象。
- 3 當演奏時，手要迅速就定位停留一段時間不動，再迅速拿起，就會達到比較好的效果。

(問題四)：距離超音波越遠的音階是否反應就會越慢呢？

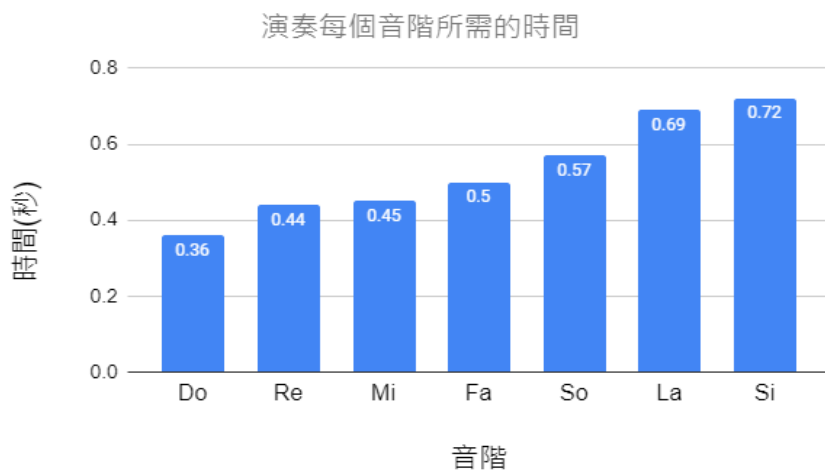
我們察覺，在演奏時前面的音階的反應速度比較快的現象，越到後面的應節反應比較慢，而且容易出現雜音，為了驗證我們的察覺是否正確，所以進行以下的實驗。

研究方法：

- 1.使用每個音在超音波感應範圍各相差 15cm 的程式設計，當用感應板測出每個音調發出聲音的最快頻率之後，計時 10 秒，計算時間內可發出聲音的次數。
- 2.每個音調測量 8 次，統計之後，找出平均發出每個音所需最快時間及各音間的變化。

研究結果： (單位：次)

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	平均	秒/音
Do	24	23	28	27	30	30	28	30	27.5	0.36 秒
Re	20	21	22	25	23	24	23	24	22.8	0.44 秒
Mi	22	24	20	18	24	23	22	24	22.1	0.45 秒
Fa	19	21	19	20	21	20	21	19	20.0	0.50 秒
So	15	14	17	17	21	21	17	18	17.5	0.57 秒
La	16	15	14	15	13	14	15	14	14.5	0.69 秒
Si	14	13	13	14	14	15	14	14	13.9	0.72 秒



研究討論：

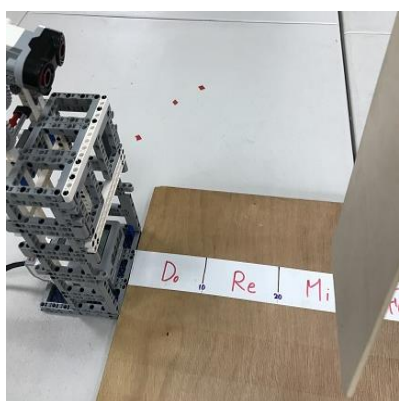
- 1.距離超音波越近的音階反應越快，距離超音波越遠的音階反應越慢，第一個音(Do)只需 0.36 秒，而最後一個音(Si)需要 0.72 秒，相差快一倍。
2. 距離超音波越近的音階發出的音越準確，距離超音波越遠的音階則越容易出現雜音。

(問題五)：超音波感應音符所需的距離會影響演奏的方便性與成功機率嗎？

我們在操作時發現，距離超音波越近的音階發出的音越準確，反應的速度越快，距離越遠的音階則相反，那麼超音波感應音符所需的距離，會影響演奏的方便性與成功機率嗎？

研究方法：

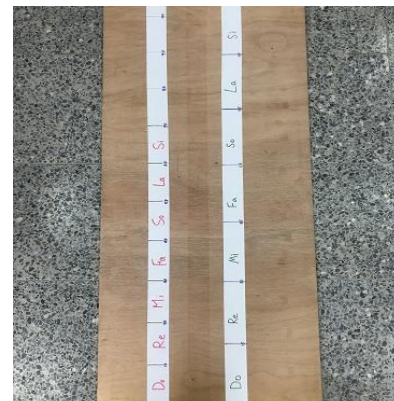
- 1.使用樂高 ev3 的設計可演奏 Do~Si 共七個音的程式。
- 2.將超音波感應音符所需的距離分別設定為 5cm、7.5cm、10cm、15cm 共四種模式。
- 3.製作音階刻度板，刻度分別為 5cm、7.5cm、10cm、15cm 共四種，演奏時放置在空氣琴前面。
- 4.每次演奏(小星星)樂曲時，紀錄所需的時間及發生錯誤音符的次數，各 15 次後統計其平均數，討論四種模式的優缺點。



(1) 使用感應板演奏(小星星)歌曲



(2) 參考用的刻度板，刻度分別為 5cm 及 7.5cm

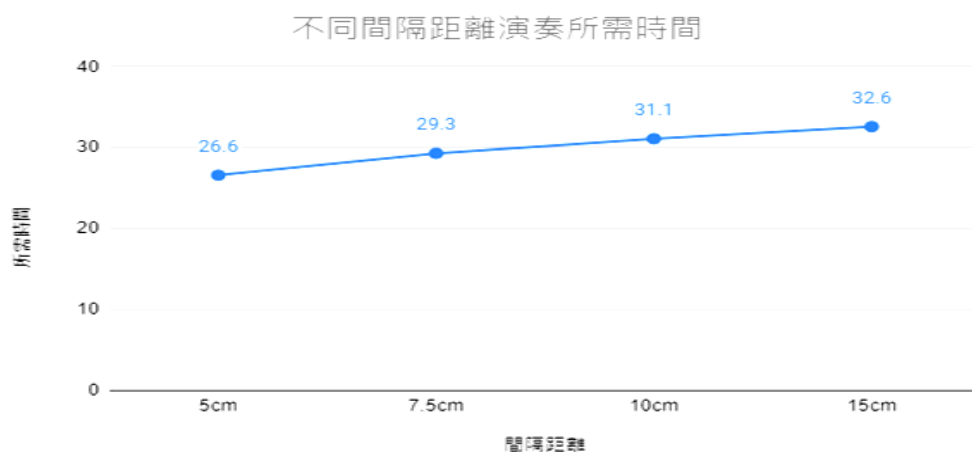


(3) 參考用的刻度板，刻度分別為 10cm 及 15cm

研究結果：

(1)不同間隔距離演奏一首(小星星) 所需時間實驗紀錄及統計表如下 (單位：秒)

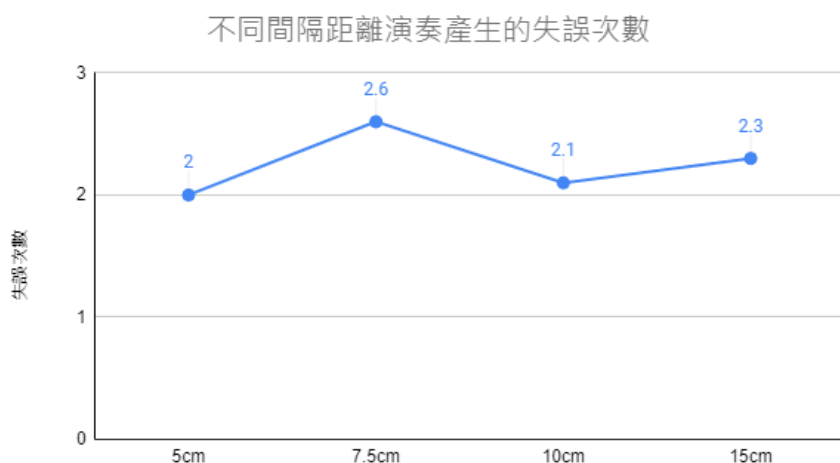
秒 次數 距離	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
5cm	31	24	25	23	23	28	28	28	26	25	29	31	31	23	24	26.6
7.5cm	32	28	34	25	25	32	32	24	26	27	33	30	28	29	35	29.3
10cm	38	31	28	27	27	32	25	26	33	29	39	32	35	33	32	31.1
15cm	32	36	34	28	32	32	32	30	35	34	33	30	32	34	35	32.6



(2)不同間隔距離演奏一首(小星星) 所產生的錯誤次數實驗紀錄及統計表如下

(單位：次)

失誤次數 距離	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
5cm	2	1	3	3	2	0	1	1	3	1	2	3	4	2	2	2.0
7.5cm	2	4	3	2	1	4	3	2	3	1	4	2	3	3	2	2.6
10cm	2	4	1	1	3	2	0	0	4	1	3	1	4	3	2	2.1
15cm	0	3	4	3	2	3	2	3	2	2	4	1	3	2	1	2.3



研究討論：

- 1.受試者在自然無提醒時間的情況下演奏(小星星)曲子，由統計資料發現，在不同間隔距離的音階中，間隔距離越小所需的時間越少，間隔距離越大所需的時間越多。
- 2.我們發現在不同間隔距離的設計下，演奏一首(小星星)時產生失誤的平均機率都在 2 次~2.6 次之間，並沒有隨距離增加而逐漸增加或減少的現象。

【研究五】 怎樣修改超音波琴的結構達成可調整、美觀、穩定擺放的要求？

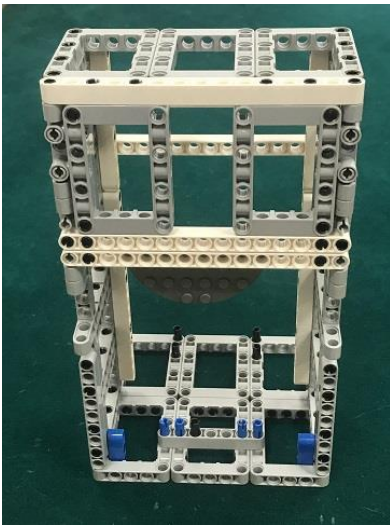
原本實驗的超音波空氣琴因調整角度時，需要使用木板墊高，也無法配合不同身高的使用者，造成移動及演奏的困難，因此需要重新設計一台更符合需求的樂高超音波空氣琴，才能達成神奇美妙的演奏效果。

(問題一) 如何使用樂高的方形積木建構出空氣琴的骨架結構？

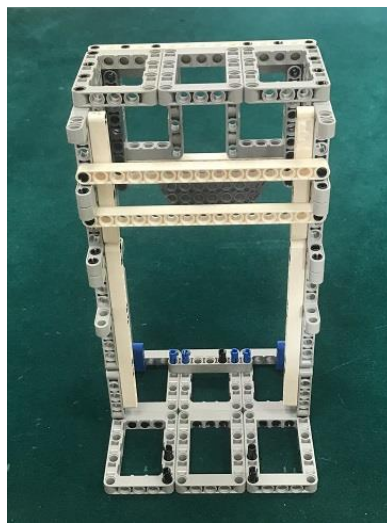
研究方法：

- 1.使用樂高的方框積木來進行骨架結構設計。
- 2.因演奏的需求，骨架結構高度約需 25cm。
- 3.底部需可放上主機，頂部設計成可安裝超音波感應器。

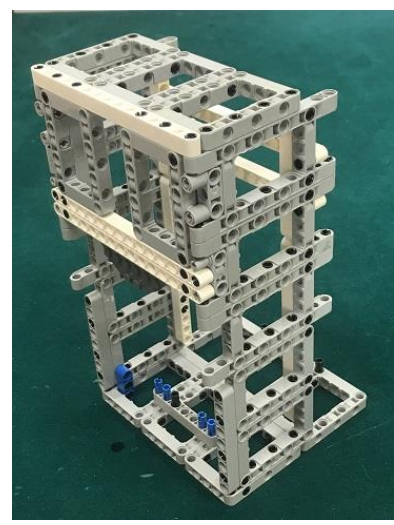
研究結果：



1.使用方框積木建構成的樂
高空氣琴骨架(正面)



2.使用方框積木建構成的樂
高空氣琴骨架(背面)



3.使用方框積木建構成的樂
高空氣琴骨架(側面)

(問題二) 如何利用減速齒輪的設計，達成方便調整超音波角度的要求？

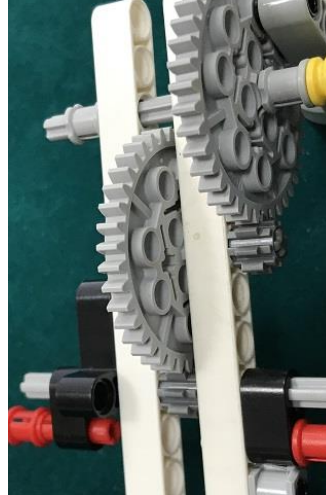
研究方法：

- 1.使用樂高的減速齒輪進行可調整超音波角度設計。
- 2.因調整的需求，每次調整的角度不可過大，需使用兩次的減速齒輪設計。
- 3.因美觀要求，在設計時儘量能左右對稱。

研究結果：



1.超音波上方偵測範圍，呈角錐狀放射



2.使用減速齒輪的設計，每次能調整 3.6 度



3.超音波感應器原來呈水平狀設置



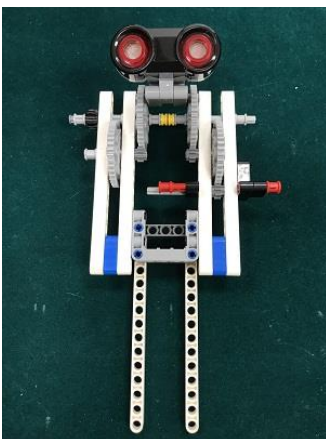
4.經減速齒輪的設計，可隨意調整角度

(問題三) 如何建構經由長形積木的結構設計，使超音波的位置可上下移動？

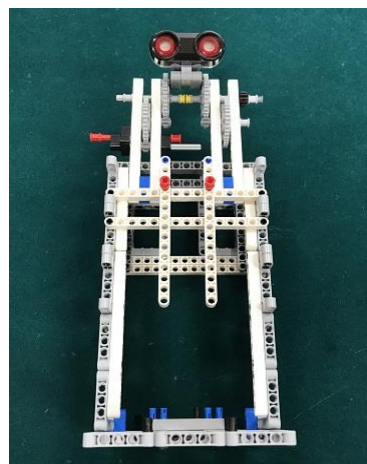
研究方法：

- 1.使用樂高的長形積木進行可調整超音波高度的設計。
- 2.為了能方便上下移動，應使用紅色三格插銷來固定的設計。
- 3.應兼顧可上下移動及穩定的需求，調整的距離不需過長。

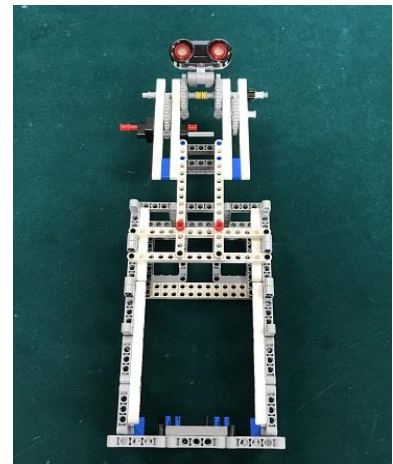
研究結果：



1.利用長條積木建構的超音波感應器套件



2.使用長條積木建構成可調整超音波高度的設計

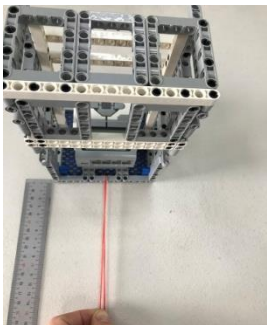


3.超音波感應器調高 6.4cm 後的情形

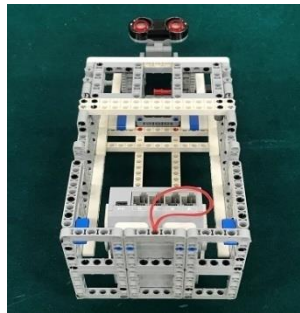
(問題四) 嘗試如何使用各項材質，找出空氣琴的最佳防滑底墊？

研究方法：

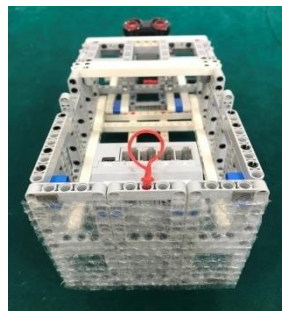
- 1.在超音波空氣琴的底部黏上相同大小的各式防滑材質。
- 2.於底部最前端綁上一條橡皮筋。
- 3.將超音波空氣琴放置在長桌上，慢慢拉動橡皮筋直到空氣琴移動為止。
- 4.記錄空氣琴移動時橡皮筋的拉長長度，進行分析比較。



慢慢拉動橡皮筋



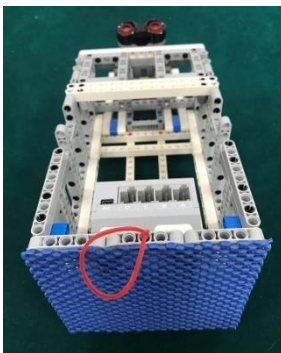
底部是(樂高積木)



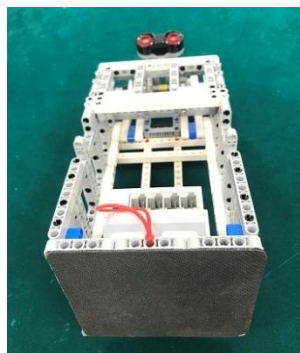
底部黏上(泡泡紙)



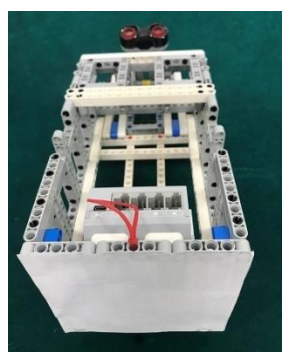
底部黏上(提袋布)



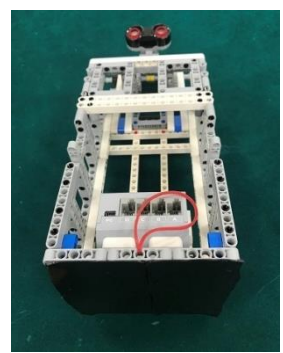
底部黏上(止滑墊)



底部黏上(滑鼠墊)



底部黏上(影印紙)



底部黏上(果凍膠墊)

研究結果：

(單位：cm)

伸長量 / 次數 / 材質	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
樂高積木	2	1	2	1	1	1.4

泡泡紙	4	4	5	4	5	4.4
提袋布	3	2	4	4	3	3.2
止滑墊	15	14	16	14	15	14.8
滑鼠墊	9	10	9	10	10	9.6
影印紙	2	3	2	3	3	2.6
果凍膠墊	伸長到 25cm 後 還拉不動	伸長到 25cm 後 還拉不動	伸長到 25cm 後 還拉不動	伸長到 25cm 後 還拉不動	伸長到 25cm 後 還拉不動	伸長超過 25cm

研究討論：

- 1.在未黏上任何防滑物體前的防滑效果最差，橡皮筋只伸長 1.4cm 就可拉動。
- 2.經各五次的實驗發現，底部黏上各項材質後，其防滑效果由高至低依序為，果凍膠墊 > 止滑墊 > 滑鼠墊 > 泡泡紙 > 提袋布 > 影印紙。
- 3.經實驗發現果凍膠墊的防滑效果最佳，但是因果凍膠墊放置後不易移動，而且容易黏上污垢，清除不便，所以最後選擇防滑效果亦佳，不易沾黏污垢的止滑墊，作為超音波空氣琴的底墊材料。

伍、研究結論

- 一、mbot 空氣琴的優點為在底板上標出音階、比較容易演奏、琴鍵大而清楚，演奏不容易失誤、可以連喇叭，可控制聲音大小聲。
- 二、mbot 空氣琴的缺點則有超音波感應不良，演奏容易出錯、超音波反應太慢，容易感測錯誤、音階太少，能彈奏的曲子很少、用木板輔助彈奏，顯得很無趣。
- 三、使用樂高現有的基本車體，再將超音波感應器的位置調高，可達到樂高空氣琴的基本需求，超音波感應器在最前端，高度方便感應；主機在最上面，容易操作；橡膠輪摩擦力大，不會滑動。
- 四、使 ev3 超音波空氣琴可演奏基本 Do Re Mi 等不同的音階方法為，先將主機與程式進行藍

牙連接，建構 ev3 的聲音的模組程式，使之與超音波感應器相對應，當感應器偵測到近中遠不同距離有物體時，可發出 Do Re Mi 等不同的聲音。

五、利用樂高超音波，設計演奏低音 So 到高音 Fa 兩個八度音的程式，因感應的範圍過長時，會增加演奏的困難，所以設定每個音感應範圍是 7cm，全部感應範圍為 98cm，適合放置在一般的桌上進行演奏。

六、當超音波後端底下放上木板調整後，使上方偵測範圍變成水平，演奏比較方便。

七、演奏時，前面的音階效果比較好，後面的音階比較容易出現雜音或感應不良。

八、在演奏時，手要迅速就定位停留一段時間不動，再迅速拿起，就會達到比較好的效果。

九、受試者在演奏(小星星)曲子時，在不同間隔距離的音階設計下，間隔距離越小所需的時間越少，間隔距離越大所需的時間越多。而在不同間隔距離的設計中，演奏 (小星星)時產生失誤的平均機率都在 2 次~2.6 次之間，並沒有隨距離增加而逐漸增加或減少的現象。

十、設計樂高超音波空氣琴時，可利用減速齒輪的特性，達成方便調整超音波角度的要求；經由長形積木的結構設計，使超音波的位置可上下移動；在樂高空氣琴的底部可黏上止滑墊，可達到較佳的防滑與固定效果。

陸、參考資料

一、創意樂高機器人--使用樂高徒控程式，李春雄.李碩安.林暉詒著。

二、THE LEGO MINDSTORM NXT ZOO an unofficial kid-friendly guide 。

三、超音波原理介紹 <https://webbuilder.asiannet.com/ftp/460/index-09105.htm>。

四、超音波原理 maker.tn.edu.tw/modules/tad_book3/page.php?tbdsn=201。

五、什麼是超音波感應器 <https://fliprobot.gitbook.io/knowledge-base/sensory-system-of-fliprobot-sensor-modules/ultrasonic-sensor>。