

屏東縣第 62 屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科學科（一）

組 別：國小組

作品名稱：這就是我要的 鐵琴手 ROBOT

關鍵詞：馬達、打擊、機器手臂（最多三個）

編號：A6016

目錄

摘要.....	01
壹、前言.....	01
貳、研究設備及器材.....	02
參、研究方法與過程.....	03
肆、研究討論.....	15

摘要

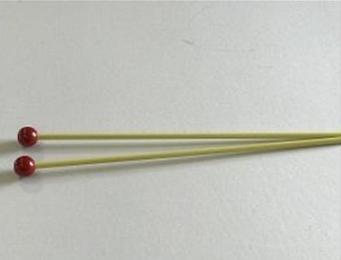
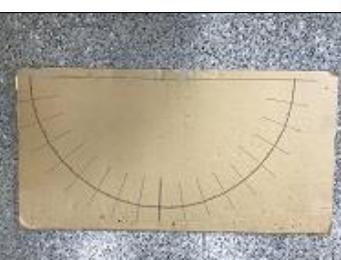
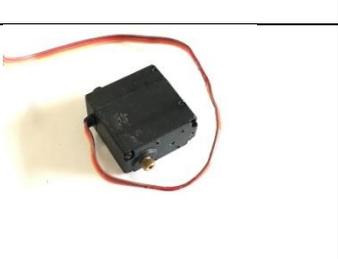
本科展作品是由選擇哪種馬達的性能，適合用來當作敲擊鐵琴的機器手臂著手，經由評析四種市售常見馬達類型的特性，發現了伺服馬達是最為方便合適來當作敲擊機器手臂的馬達種類。接著再從伺服馬達各種的組合中，找出兩種馬達的組合，適合來當作敲擊鐵琴的動力。找到合適的馬達動力後，再和軟硬適中的硬體琴槌結構組合成敲擊鐵琴的機器手臂。為了適應機器手臂擺動的圓弧形特性，我們也改良鐵琴琴鍵的排列方式為圓弧形，如此便能準確的敲擊到每個琴鍵的中心點。完成了合適的機器人手臂與圓弧形琴鍵後，再配合利基的 Innobasic 套裝軟體，我們從多次的嘗試後發現，這個套裝軟體需要編寫 3 個動作指令，才可以編成一個組合，單次敲出正確悅耳的鐵琴音階，最後用兩個機器手臂加上編寫整套的樂曲程式以及自製的鐵琴音箱，完成了我們費盡心思地的鐵琴手機器人。

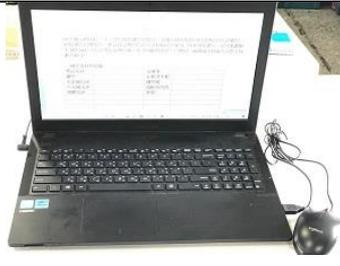
壹、前言

有一天在上樂高課時，隔壁的小朋友一時興起，拿著樂高的馬達敲擊木頭的桌面，發出咚咚咚的聲音，另一位同學也學他拿著樂高馬達敲擊鐵製的鉛筆盒，發出碰碰碰的聲音，兩人輪流個敲打一次，發出類似鐵琴的聲音。老師看到後覺得可以用樂高的馬達做出一個敲鐵琴的機器人，但當時需要的馬達太多且程式不好寫，所以效果很差。於是我們便上網查詢有沒有比樂高還要更強、更多功能的馬達，只使用一兩顆就可以敲出完整又好聽的曲子。為了達到製造敲鐵琴的機器人的目標，我們想要進行以下的試驗：

- 一、探究哪種馬達適合當作敲鐵琴的動力？
- 二、哪兩種馬達的組合，最適合當作機器手臂來敲鐵琴？
- 三、哪一種結構的機器手臂敲出來的鐵琴聲音最好聽？
- 四、怎樣使用編輯程式讓機器手臂來敲出一首完整的曲子？
- 五、怎樣的鐵琴結構最適合讓機械手臂來敲擊？

貳、研究設備與器材

<p>樂高馬達</p>		<p>雷射筆</p>	
<p>鐵琴</p>		<p>長條型木棍</p>	
<p>大金屬馬達</p>		<p>鐵琴槌</p>	
<p>中金屬馬達</p>		<p>紙板量角器</p>	
<p>金屬齒馬達</p>		<p>塑膠齒馬達</p>	
<p>電動鎖具</p>		<p>電鋸</p>	

木心板		筆電	
黃馬達		主機板	

叁、研究方法與過程

一、探究哪種馬達適合當作敲鐵琴的動力？

經過討論，我們認為適合來當敲鐵琴的馬達應該有以下條件，轉動角度精準誤差小、扭力大、速度要快、噪音小、擺動幅度大、方便調整速度好控制。

(問題一) 市面上常見的馬達種類有哪些呢？

(研究方法)

- 1.上網查詢市面上有哪些出售的馬達種類。
- 2.收集每種馬達種類的代表樣式
- 3.測量分析每種馬達的特性，再加以比較。

(研究過程與結果)

我們上網查詢市面上常見的直流馬達種類的資料後，再進行測量分析每種馬達的特性，結果如下：

直流馬達種類	代表的馬達名稱	轉動模式	適合電壓	優勢行為	照片
直流馬達	黃馬達	360 度連續旋轉，無法計算控制轉動角度	3v~8V	轉動快速	
步進馬達	樂高大馬達	可 360 度連續旋轉，能控制轉動角度	6v~12 (9v 時最佳)	轉動穩定精準，速度較快，但扭力小	
伺服馬達	IDEA 7437PN 伺服馬達	可轉動 160~180 度，能控制轉動角度	6v~12	轉動更為穩定精準，速度慢，但扭力極大	

討論：經過實測比較後，我們發現轉動穩定精準，扭力極大的**伺服馬達**比較適合用來當作敲鐵琴的馬達動力，接著我們試著找出哪種伺服馬達適合用來當作敲鐵琴的馬達動力。

(問題二) 市面上常見的伺服馬達哪一種適合來當做機器手臂呢？

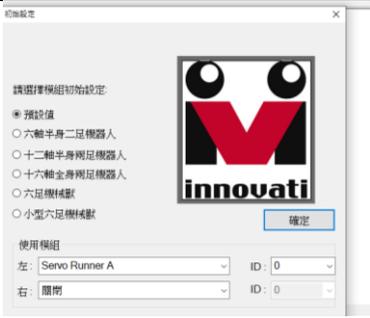
我們找了市面上常見的伺服馬達，依照各種類型中，各挑選了一種代表性的馬達，計有大金屬馬達(60KG270C)、中金屬馬達(IDEA 7437PN)、金屬齒塑膠馬達(28KG180c)還有塑膠齒馬達(futaba s3003)等四種。

(一)經過測量之後四個馬達的外表特徵及性能如下：

	尺寸(長 寬高 cm)	重量(g)	適合電 壓	扭力	轉速	變速齒 材質	
大金屬 馬達	6.5*4.8*2 .8	219	7.4~8.4V	60KG- CM	0.8sec/60 度(8.4V)	金屬	
中金屬 馬達	4.0*4.0*2 .0	85	6~8.4V	45KG- CM	0.11sec/6 0度 (8.4V)	金屬	
金屬齒 塑膠馬 達	4.0*4.0*2 .0	60	6~8.4V	28KG- CM	0.15sec/6 0度 (8.4V)	金屬	
塑膠馬 達	4.0*3.7*2 .0	37	3~8.4V	12KG- CM	0.21sec/6 0度 (8.4V)	塑膠	

(二)怎樣使用 innobasic 應用程式來編寫伺服馬達轉動的程式

1.應用程式與主機板介紹

		
<p>Innobasic 是一種可驅動多足機器人的套裝程式</p>	<p>模組初始設定選擇預設值，選用 Servo Commander 16</p>	<p>主機板為 Servo Commander 16 可接受同時 16 顆馬達的需求</p>

2.應用程式編寫

innoBASIC Workshop 軟體是一種由利基公司所開發的套裝軟體，最多可供 32 顆馬達同時作動，使用其應用程式來驅動伺服馬達的步驟並不困難。

應用程式編寫的步驟如下：

- 1.輸入 0~119 之間的任一個數值，當按下模組的儲存鈕時，就會將的動作儲存到模組中。
- 2.勾選想要操作的伺服機編號，開始這個編號的伺服機操作。
- 3.在數字欄輸入所要的伺服機位置(800~2200)，伺服機就會移動到該設定值的位置。
- 4.輸入 0~65535，輸入的速度值以 ms 為單位，代表伺服機每秒所要轉動的角度。
- 5.輸入的設定值以 ms 為單位，代表伺服機會花設定的時間移動到指定的位置。
- 6.所有步驟完成後再按下(讀取)後，伺服馬達就會依所輸入的角度與速度移動。

1.輸入動作
編號

4.伺服機每
秒轉動角度

5.伺服機移動
到指定位置，
會花的時間

The screenshot shows the '設定連續動作' (Set Continuous Action) window. At the top, '動作編號' (Action Number) is set to 1 and '動作名稱' (Action Name) is '未命名' (Unnamed). Below, '模組編號' (Module Number) is 0 and '0045'. A table titled '請選擇模組編號' (Please select module number) lists channels CH0 through CH12. CH0 is selected with a checkmark. The table has columns for 'Speed' and 'Time'. For CH0, 'Speed' is 2000 and 'Time' is 1000. Other channels have 'Speed' 0 and 'Time' 0.

Module Number	Speed	Time
CH0	2000	1000
CH1	0	0
CH2	0	0
CH3	0	0
CH4	0	0
CH5	0	0
CH6	0	0
CH7	0	0
CH8	0	0
CH9	0	0
CH10	0	0
CH11	0	0
CH12	0	0

2.勾選想要
操作的伺服
機編號

3.伺服機位置設
定值，輸入
800~2200 的整數

(三)伺服馬達每次轉動的角度準確嗎？

(研究方法)

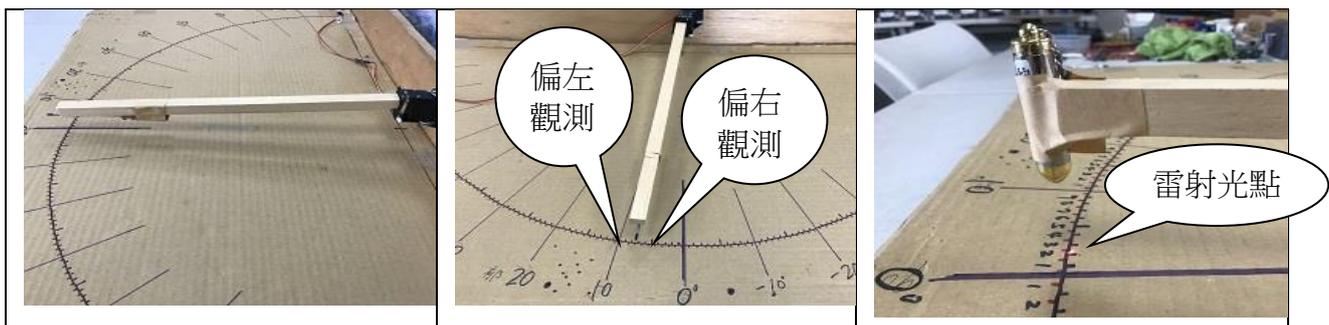
- 1.我們使用塑膠金屬齒馬達來進行轉動準確性測試。
- 2.在紙板畫了一個大的量角器，再把馬達裝上長條形木棒，固定在量角器正上方。
- 3.在馬達上裝鐵琴槌，跟鐵琴保持垂直，每一次調整角度，看能不能準確轉動到位置。
- 4.將每項的 10 次測試結果記錄下來，再進行統計分析。

(研究結果)

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	最大誤差
1100	66	66	67	66	67	66	66	67	66	66.5	1
1300	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	0
1500	21	21	21	21	21	21	21.5	21	21	21	0.5
1700	18	17	17.5	18	17	18.5	18	18.5	18	18.5	1.5
1900	39	39	39	39.5	39	40.5	40	40.5	40	40.5	1.5
2100	60	60.5	60.5	60.5	60.5	60	60.5	60.5	60.5	60.5	0.5

(討論)

- 1.經過測試後發現，每次轉動角度的誤差不大，最大約是 1~1.5 度，因為每個鐵琴鍵的寬度約 6~7 度，所以每次應該都能打到指定的琴鍵。
- 2.轉動角度的大小，對誤差的影響並沒有發現出規律性。
- 3.我們發現，琴錘的頂端使用細尖狀的前端，但會因觀測者每次站位的不同，而產生一些誤差，造成觀測上的困難，所以我們嘗試使用雷射筆來改進這個狀況。



使用尖狀的前端，雖可指出角度數值，但會因觀測者站位的不同，而產生誤差。	觀測者如站在偏右邊來觀測，則角度會變大，如站在左邊，則角度會變小。	頂端使用雷射光點，因光點會照在紙板的刻度上，所以能容易且正確的判讀。
-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------

(四) 機器手臂的重量會影響到轉動的精準度嗎

(研究方法)

- 1.使用塑膠金屬齒馬達及木棍結合方式來製造機器手臂。
- 2.依序在機器手臂的上面放置不同數量的磁鐵(3 個、6 個、9 個)。
- 3.分別在應用程式上 1700、1900、2100 的轉動角度上進行測試。
- 4.將測試的結果進行統計及分析找出其規律性。

磁鐵個數	1700			1900			2100			平均誤差
	轉動角度	平均角度	誤差	轉動角度	平均角度	誤差	轉動角度	平均角度	誤差	
3 個	21.4、21.4、 21.4、21.4、 21.3、21.4、 21.2、21.3、 21.4、21.1	21.3 3	0.084	41.6、41.5、 41.6、41.7、 41.7、41.5、 41.6、41.6、 41.5、41.6	41.59	0.114	62.6、62.6、 62.5、62.7、 62.7、62.8、 62.8、62.7、 62.7、62.7	62.71	0.045	0.081
6 個	21.0、21.4、 21.2、21.4、 21.4、21.3、 21.3、21.2、 21.3、21.4	21.2 9	0.104	41.7、41.8、 41.5、41.5、 41.7、41.7、 41.5、41.5、 41.8、41.6	41.64	0.156	62.7、62.8、 62.6、62.7、 62.6、62.6、 62.6、62.6、 62.5、62.4	62.62	0.077	0.112
9 個	21.5、21.4、 21.2、21.1、 21.1、21.0、 21.3、21.3、 21.7、21.6	21.3 2	0.194	41.6、42.2、 41.8、42.3、 41.6、41.7、 41.7、41.9、 41.9、41.8	41.86	0.190	62.5、62.7、 62.8、62.8、 62.9、62.9、 62.7、63.0、 62.7、62.4	62.76	0.150	0.178

(討論)

- 1.為了能達到更準確的要求，我們將測量的角度訂到十分位 0.1，而不是 0.5 為最小單位。
- 2.經過每種 10 次的平均統計後，我們發現平均誤差都小於 0.2 度以下，伺服機轉動的角度都很穩定，誤差值很小。
- 3.雖然每組的誤差值都不大，但仍然可發現在機器手臂的前端放的重量越重，產生的誤差就越大，重量越輕，誤差就越小，所以在設計機器手臂時，應該考慮到材質的重量。

(五)哪兩種馬達的組合，最適合當作機器手臂來敲鐵琴？

因為要使用伺服機來敲擊鐵琴鍵，需要左右和上下的移動，所以必須同時使用到兩顆馬達，才能完成敲鐵琴的機器手臂。

(研究方法)

- 1.找出雙馬達結構組合的方式共有 8 種
- 2.進行各種雙馬達手臂移動的測試
- 3.比較各種雙馬達手臂移動的優缺點

(研究結果)

我們將各項馬達的簡稱如下大金屬馬達(大金馬 B)、中金屬馬達(中金馬 M)、塑膠金屬齒馬達(金齒馬 G)、塑膠齒馬達(塑齒馬 P)

馬達的組合	左右移動的速度(1100~2000) 毫秒	上下敲擊的速度(1420~1700 來回) 毫秒	移動的優點	移動的缺點
B + M	90	62	大金屬馬達左右轉動迅速、扭力大，中金屬馬達上下敲擊迅速	大金屬馬達轉動的聲音很大
B + G	90	93	大金屬馬達左右轉動迅速、扭力大，塑膠金屬齒馬達上下敲擊快	大金屬馬達轉動的聲音很大
B + P	90	170	大金屬馬達左右轉動迅速、扭力大	大金屬馬達轉動的聲音很大，塑膠齒馬達上下敲擊慢

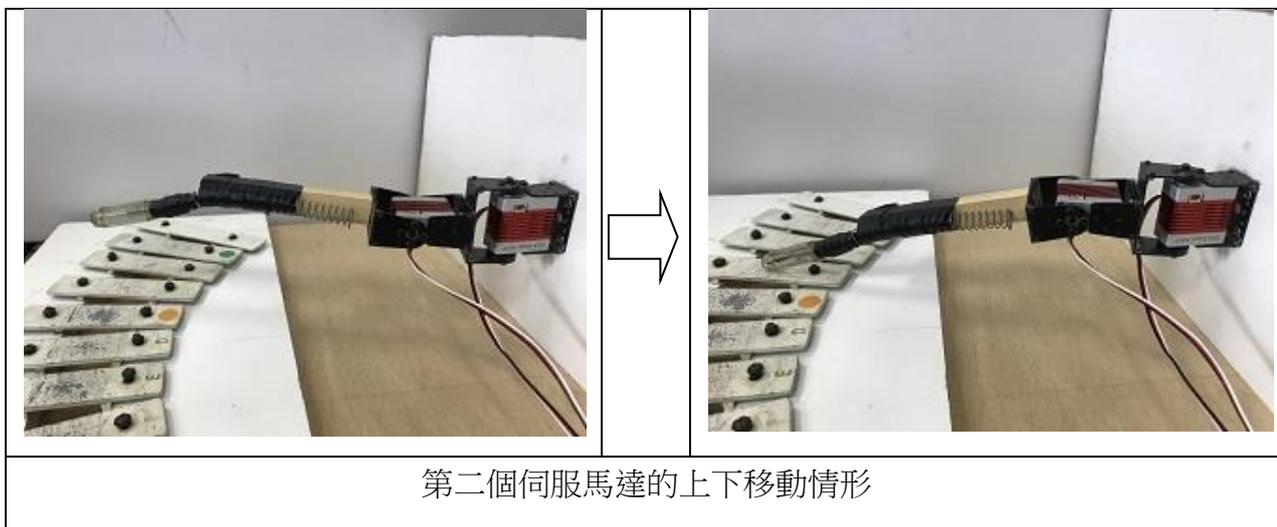
M+M	120	62	中金屬馬達左右轉動迅速、扭力大，中金屬馬達上下敲擊迅速	中金屬馬達聲音大
M+G	120	92	中金屬馬達左右轉動迅速、扭力大，塑膠金屬齒馬達上下敲擊快	中金屬馬達聲音大，
M+P	120	175	中金屬馬達左右轉動迅速、扭力大	中金屬馬達聲音大，塑膠齒馬達上下敲擊慢
G+G	180	95	塑膠金屬齒馬達聲音小	塑膠金屬齒馬達左右旋轉慢
G+P	180	176	塑膠齒馬達聲音小	塑膠金屬齒馬達左右旋轉慢，塑膠齒馬達上下敲擊慢
P+P	250	250	塑膠齒馬達聲音小	塑膠齒馬達左右、上下敲擊慢，

(討論)

1.使用大金屬馬達的機器手臂組合(BM、BG、BP)，雖然左右移動的速度很快，但是因為聲音非常吵雜所以不適合來當作敲擊鐵琴的手臂。

2. 中金屬馬達和金屬齒馬達移動的速度快，轉動時發出的聲音不至於太吵，所以這兩種馬達的組合(MM、MG、GG)應該較適合來當作機器手臂。

3. 塑膠齒馬達移動的速度太慢(BP、MP、GP、PP)，無法敲擊快的音樂，所以不適合當作機器手臂。



(六)哪一種結構的機器手臂敲出來的鐵琴聲音最好聽？

(研究方法)

1. 列舉出機器手臂結構的種類，共有三種(剛性結構、彈性結構、軟性結構)
2. 組裝出各種機器手臂的結構，然後進行敲擊測試
3. 分析測試的結果，然後找出一種最適合敲擊鐵琴的手臂結構

(研究結果)

	結構的難易度	敲擊的擺動	敲擊的擺動	優劣統計
--	--------	-------	-------	------

剛性結構	螺絲起子加木頭，以膠帶捆綁牢固。	因木頭及螺絲起子都是剛性結構，敲擊時機器手臂不會彎曲擺動。	使用手敲擊，聲音響翠、純淨。 以機器手臂敲擊，因無法準確瞬間敲擊，容易造成停滯的聲音。	
優劣	○ ○	○	X	○ ○ ○ X
軟性結構	螺絲起子先套上彈簧，再以彈簧的末端和木頭網綁。	因木頭和螺絲起子之間有一長段的彈簧，使得在敲擊時會大幅度的彎曲，碰到鐵琴鍵時也一樣會瞬間大幅度彈起。	以手敲擊時，因晃動過大，使得琴錘和琴鍵接觸的時間太短，造成聲音雖然響脆，但不夠紮實。使用機器手臂敲擊時，聲音也是一樣的不紮實。因揮動時，琴錘擺動過大，造成程式無法準確判斷敲擊的時間點。	
優劣	○	X X	X X X	○ X X X X X
彈性結構	螺絲起子先套上彈簧，僅留下一小截彈簧，其餘都和木頭捆板在一起。	因木頭和螺絲起子之間有小段的彈簧，使得在敲擊時會稍微彎曲，碰到鐵琴鍵時也一樣會瞬間彈起。	使用手來敲擊，聲音更響翠、純淨。以機器手臂敲擊時，因向下擺動時螺絲起會稍微彎曲，當敲擊到鐵琴鍵時回稍微彈起，所以容易掌握敲擊的時間，使聲音和手敲擊時一樣響亮好聽。	
優劣	○ ○	○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

討論：

1.經由測試三種不同結構的機器手臂發現，連接鐵琴錘的結構太軟或太硬都不適合，需要有一點的彈性，這樣容易編寫程式，敲擊的聲音也圓潤好聽。

四、怎樣使用編輯程式讓機器手臂來敲出一首完整的曲子？

(研究方法)

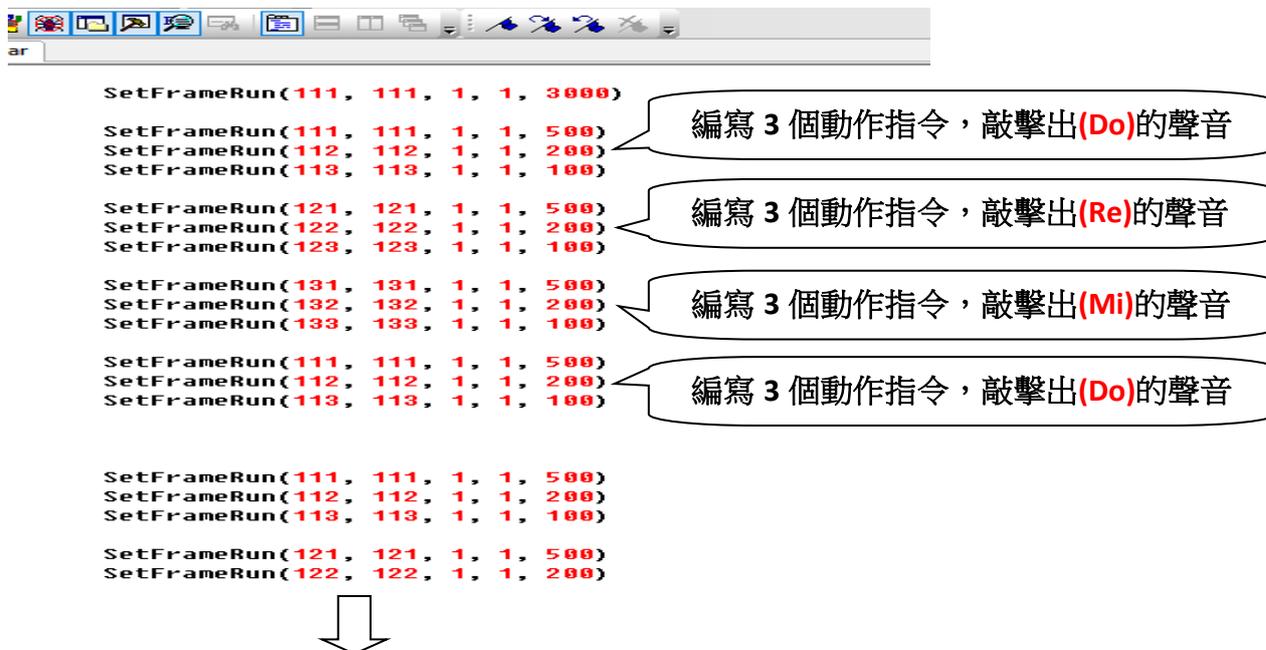
- 1.我們使用 innobasicWorkshop 中的程式來進行編輯。
- 2.將適合敲擊世界名曲兩隻老虎、小星星等曲子編寫成電腦程式。
- 3.觀察發現機器手臂敲擊曲子的狀況，再修改程式的編寫。

(研究結果)

- 1.為使機器手臂能夠左右和上下移動，需要編寫兩個馬達的轉動程式



- 2.編寫 3 個動作指令，可敲擊出單一個音階



(討論)

要敲出一個音階需要 3 個動作指令結合，每個動作指令都需要考慮左右位置、上下

距離以及作動所需時間，因此即使相同的音階，如音符長短不同時(如 1/2 音符、1/4 音符)，則動作指令也會不同，所以需要編寫大量的動作指令。如要編寫不同節拍的曲子，則需要完全改寫，無法只輸入單一個指令就可把所有的時間更改，實在不便利。

五、怎樣的鐵琴結構最適合讓機械手臂來敲擊？

為了適應機器手臂擺動的圓弧形特性，我們認為應該也要改良鐵琴琴鍵的排列方式為圓弧形，如此才能準確的敲擊到每個琴鍵的中心點，完成適合鐵琴機器手臂使用的鐵琴結構。

1.修改鐵琴呈圓弧形的結構步驟如下：

			
1.原本的鐵琴鍵排列為直線型。	2.將木心板依照鐵琴鍵的長短，切出圓弧形空洞。	3.在空洞處鎖上鐵琴鍵，變成圓弧形鐵琴結構。	4.完成對成的另一邊，成為眉毛型的鐵琴。

在進行測試時發現，鐵琴聲的共鳴效果並不好，經觀察柱狀鐵琴、拇指琴、吉他等樂器後，大家有了製作鐵琴共鳴箱的想法。

2.加上共鳴箱的鐵琴，可以敲出更好聽的聲音嗎？

(研究方法)

- 1.將鐵琴的琴鍵排列成適合機器手臂敲打的圓弧形狀。
- 2.設計不同種類的鐵琴共鳴箱，然後進行敲擊測試。
- 3.使用測量不同鐵琴共鳴箱的敲擊效果，分析其優缺點。
- 4.將不同的共鳴箱鐵琴敲出(兩隻老虎)的曲子後，錄音撥放給 10 個受試者聽，統計其喜好程度。

(研究結果)

共鳴箱類型	圖片	製作方式	共鳴效果	喜好程度
				● 很喜歡

				◎喜歡 X 不喜歡
平面型鐵琴		將鐵琴鍵排列成圓弧形，編寫鐵琴機器人程式進行敲擊曲子。	聲音端促，不圓潤。	1 ◎ 9 X
細凹槽鐵琴		將木心板依照鐵琴鍵的長短，切出圓弧形空洞，再將鐵琴鍵排列成圓弧形。	聲音宏亮、響脆，具有共鳴效果。	3 ◎ 7 ●
長箱型鐵琴		在空心圓弧形鐵琴底下釘上 15cm 高的木板箱。	聲音響亮圓潤，有很好的共鳴效果。	1 ◎ 9 ●

(討論)

- 1.平面型的鐵琴敲擊所產生的聲音較短促，不夠圓潤，而細凹槽鐵琴和長箱型鐵琴所產生的聲音都較宏亮圓潤，具有共鳴效果，其中以長箱型鐵琴的效果更優。
- 2.經由 10 個測試者的聆聽設測試後，發現平面型的鐵琴幾乎都是不喜歡，而細凹槽鐵琴和長箱型鐵琴則相差不多，全部是喜歡和很喜歡，又以長箱型鐵琴占優。

肆、研究結論

- 一、經過實測比較後，我們發現轉動穩定精準，扭力極大的伺服馬達比較適合用來當作敲鐵琴的馬達動力
- 二、我們找了市面上常見的伺服馬達，依照各種類型中，各挑選了一種代表性的馬達，計有大金屬馬達(60KG270C)、中金屬馬達(IDEA 7437PN)、金屬齒塑膠馬達(28KG180c)還有塑膠齒馬達(futaba s3003)等四種。
- 三、選擇 innoBASIC Workshop 套裝軟體來做為驅動伺服機的應用程式，innoBASIC Workshop 軟體是一種由利基公司所開發的套裝軟體，最多可供 32 顆馬達同時作動，

- 只要輸入動作編號、轉動角度、所需時間即可編輯伺服機動作。
- 四、在機器手臂的前端放的重量越重，產生的誤差就越大，重量越輕，誤差就越小，所以在設計機器手臂時，應該要考慮到材質的重量
 - 五、中金屬馬達和金屬齒馬達移動的速度快，轉動時發出的聲音不至於太吵，所以這兩種馬達的組合(MM、MG、GG)應該較適合來當作機器手臂。
 - 六、經由測試三種不同結構的機器手臂發現，連接鐵琴錘的結構太軟或太硬都不適合，需要有一點的彈性，這樣容易編寫程式，敲擊的聲音也圓潤好聽。
 - 七、使用 innoBASIC Workshop 套裝軟體要敲出一個音階需要 3 個動作指令結合，每個動作指令都需要考慮左右位置、上下距離以及作動所需時間，因此即使相同的音階，如音符長短不同時(如 1/2 音符、1/4 音符)，則動作指令也會不同，所以需要編寫大量的動作指令。如要編寫不同節拍的曲子，則需要完全改寫。
 - 八、為了適應機器手臂擺動的圓弧形特性，我們也改良鐵琴鍵的排列方式為圓弧形，如此才能準確敲擊到每個琴鍵的中心點，完成適合鐵琴機器手臂使用的鐵琴結構。
 - 九、在我們自製的鐵琴中，平面型的鐵琴敲擊所產生的聲音較短促，不夠圓潤，而細凹槽鐵琴和長箱型鐵琴所產生的聲音都較宏亮圓潤，具有共鳴效果，其中以長箱型鐵琴的效果更優。