

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

佳作

030120

哇！我把速度「錄」起來了—音效卡計時器及其應用

學校名稱：臺中市立立人國民中學

作者：	指導老師：
國二 李靜如	魏金羊
國二 橫本高広	湯慧玲
國二 洪紫芸	
國二 陳冠綺	

關鍵詞：音效卡、壓電式蜂鳴片、光電二極體

摘要：

本篇研究運用了巧思與智慧，使得一般常見的電腦音效卡搖身變為精密計時器，搭配上高感度麥克風、壓電式蜂鳴片與光電二極體等感測器，運用在空氣中音速、金屬固體中音速、單擺週期及重力加速度的測量上，從實驗的數據中得知，我們的方法確實可行而且精確度極佳，值得推廣到中小學的教學與實驗上。

壹、研究動機：

實驗課時經常需要用到碼錶或是打點計時器來做時間上的測量，碼錶因精確度不足與人為操作上的差異，打點計時器則因精確度不足與機械老化的影響，常會造成實驗結果與理論值上有很大的出入。若能運用巧思與智慧，使得常用的設備就具有精密計時的功能，那就再好也不過了，音效卡與電腦的組合應該是最佳的選擇，因為除了電腦已經是現代日常生活中的必備物品外，音效卡在錄音的時候，最高可使用 192,000Hz 的取樣頻率接收外界的訊號，若是可以使用音效卡搭配上一些自製的感測器，那不就成了了一具精確度為十萬分之一秒等級的計時器，相信在需要計時的實驗上會有很大的助益。

貳、研究目的：

利用電腦音效卡上的麥克風插孔，來接收自製感測器傳送過來的訊號，經過簡單的訊號處理後，即可有精密計時的功用，並將其運用到需要精密計時的實驗操作上。

參、研究設備及器材：

- 一、個人電腦、筆記型電腦。
- 二、音叉、訊號產生器 HILA HFG-101。
- 三、高感度麥克風、壓電式蜂鳴片、廉價麥克風、微型喇叭、小型蜂鳴器、耳機。
- 四、3.5mm Jack 音效插頭、鱷魚夾。
- 五、紅銅棒、鋁棒、鎳棒、鉛棒、鈦棒、鐵棒。
- 六、光敏電阻、受光二極體、光電晶體、發光二極體。
- 七、單擺實驗器材、自由落體實驗器材。
- 八、Microsoft Visual Basic 6、GoldWave 5.06。

肆、研究過程與方法：

一、音效卡計時器的可行性

(1) 音效卡的功用

現在的多媒體電腦，如果想要播放或錄製高品質的聲音，音效卡是一定不可缺少的，它通常是內建在主機板上，或是插在主機板的 PCI 插槽中。音效卡上至少有三個插孔，可以分別連接不同功能的硬體設備，藍色的 LINE IN 負責接收光碟機的聲音訊號；粉紅色的 MIC IN 是用來連接麥克風，可以透過麥克風輸入音訊到電腦中；綠色的 LINE OUT 是連接喇叭的接線，可將聲音由喇叭輸出。我們所聽到的聲音都是經由空氣或一些介質所傳播的，這些聲音都是連續的訊號，也就是所謂的類比訊號，而電腦只能辨識 0 或 1 的數位訊號，因此音效卡的最基本功能，就是將透過麥克風等設備輸入的類比訊號轉換為數位訊號後進入電腦，以及將電腦內處理完之數位訊號轉換為類比訊號輸出，此二種過程分別稱做模數轉換 ADC（Analog-to-Digital Conversion）與數模轉換 DAC（Digital-to-Analog Conversion）[6]。

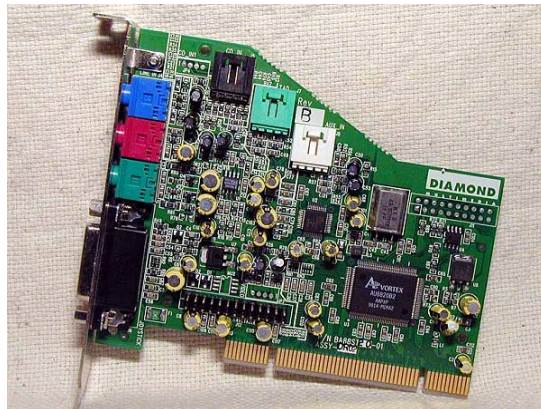


圖 1-1 音效卡



圖 1-2 內建在主機板上的音效卡插孔

(2) 音效卡取樣頻率的精確度

麥克風可將聲音轉換為音訊而進入音效卡，音效卡則以很快的取樣頻率，記錄著麥克風輸入的音訊在一瞬間的電壓值，其取樣頻率的精確度，在計算訊號的頻率或當作計時用途時會有很大的影響。為驗證其取樣頻率的精確度，分別利用訊號產生器及音叉來檢驗，音效卡端輸入的訊號以 Goldwave 軟體來記錄，目前市面上的音效卡常用的取樣頻率為 192,000Hz、96,000Hz、44,100Hz、22,050Hz、11,025Hz 等，本研究會使用的取樣頻率為 192,000Hz 與 44,100Hz，GoldWave 軟體完成記錄後，再以人工的方式計算出訊號頻率。經過測試，取樣頻率為 192,000Hz 時的平均誤差為 0.107%，44,100Hz 的平均誤差為 0.229%，代表音效卡在這兩種的取樣頻率時皆非常地精準。

標準頻率	音效卡記錄值	誤差百分比	標準頻率	音效卡記錄值	誤差百分比
訊號產生器 760Hz	758.21Hz	0.235%	音叉 350Hz	349.34Hz	0.187%
訊號產生器 5517Hz	5517.24Hz	0.004%	音叉 512Hz	512.82Hz	0.160%
訊號產生器 66080Hz	66115.70Hz	0.054%	音叉 1000Hz	1000.00Hz	0.000%

取樣頻率 192,000Hz 時音效卡所記錄的各種訊號之頻率

標準頻率	音效卡記錄值	誤差百分比	標準頻率	音效卡記錄值	誤差百分比
訊號產生器 704Hz	704.85Hz	0.120%	音叉 350Hz	350.88Hz	0.251%
訊號產生器 2022Hz	2020.20Hz	0.089%	音叉 512Hz	512.82Hz	0.160%
訊號產生器 8093Hz	8032.13Hz	0.752%	音叉 1000Hz	1000.00Hz	0.000%

取樣頻率 44,100Hz 時音效卡所記錄的各種訊號之頻率



圖 2-1 訊號產生器輸出訊號至音效卡

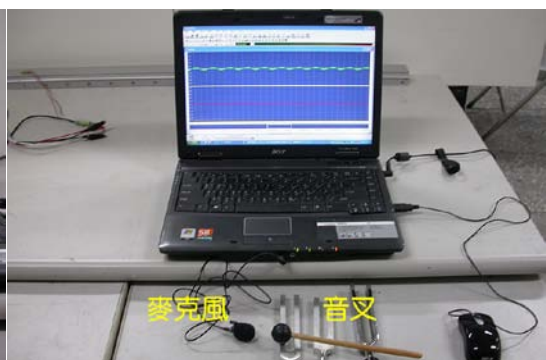


圖 2-2 音叉透過麥克風將訊號輸入音效卡

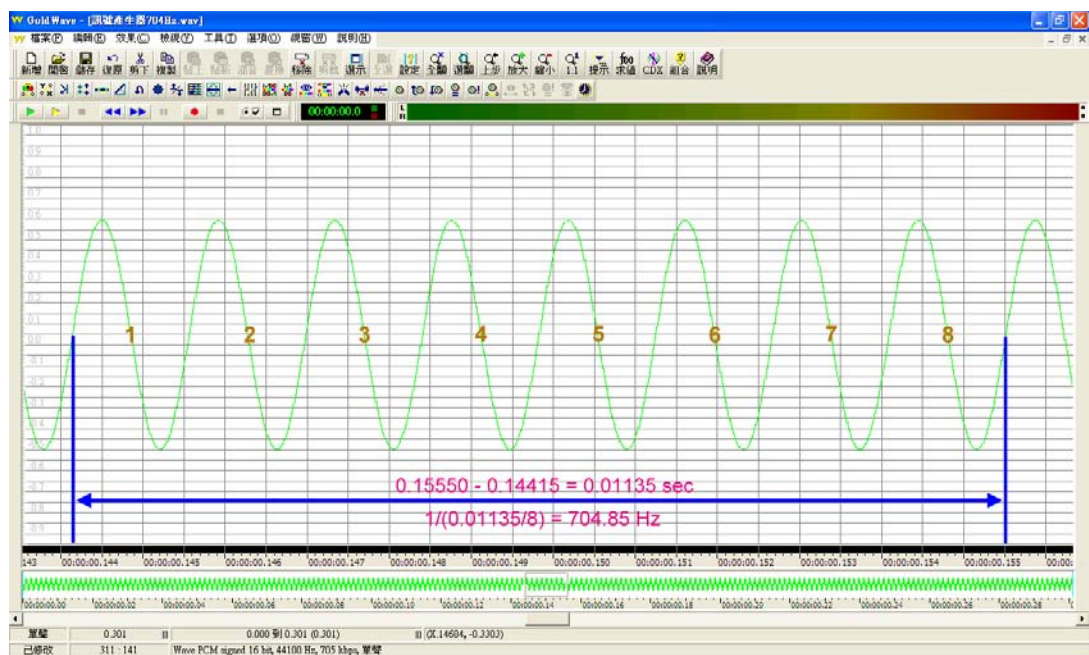


圖 2-3 利用 GoldWave 軟體人工計算訊號的頻率

(3) 音效卡計時器的構想與空氣中音速實測

音效卡的可以快速且精確地記錄著麥克風插孔（MIC IN）輸入的訊號，若是能夠搭配一些適當的感測器，在實驗過程中需要計時的時候產生一些訊號給音效卡記錄下來，當實驗完成後，透過檢視音效卡的記錄與適當的分析計算，即可達到精確計時的目的。

為驗證上述的構想，嘗試著測量聲音在空氣中的速率，我們以兩支麥克風分別接到音效卡上麥克風插孔的左右聲道，然後在與兩支麥克風同一直線上的位置發出聲響，即可由兩支麥克風的距離及左右聲道接收到訊號的時間差，計算出

當時聲音在空氣中的速率。測量聲音在空氣中速率之裝置示意圖如圖 3 所示，兩支麥克風的距離為 90 公分，錄音時音效卡的取樣頻率為 192,000Hz，利用 GoldWave 軟體計算出左右聲道接收到聲音訊號的時間差為 0.0026 秒，所以當時（氣溫為 24℃）聲音在空氣中的速率為 $90/100/0.0026 = 346.2\text{m/s}$ ，與理論值 $331 + 0.6 \times 24 = 345.4\text{m/s}$ 非常地接近，誤差僅 0.232%。在兩支麥克風間之距離不是很遠的情況下，可以很準確的測量出聲音在空氣中的傳播速率，代表著以音效卡當做精密計時器的構想確實可行。

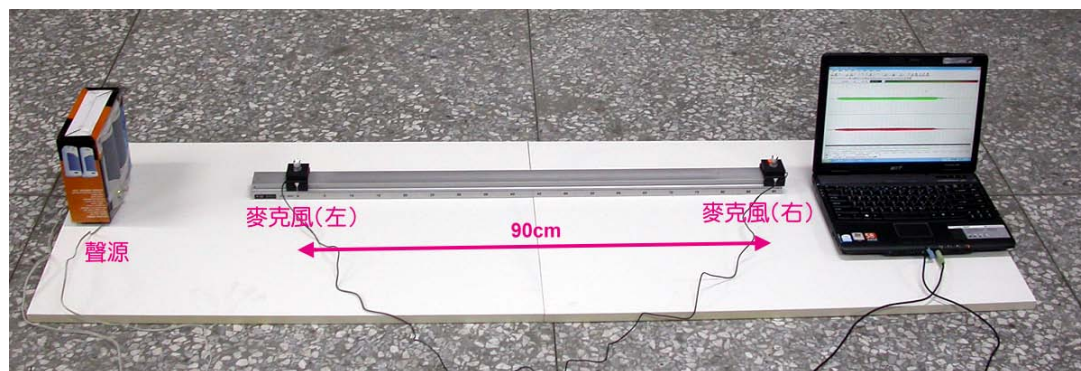


圖 3 測量聲音在空氣中速率之裝置示意圖

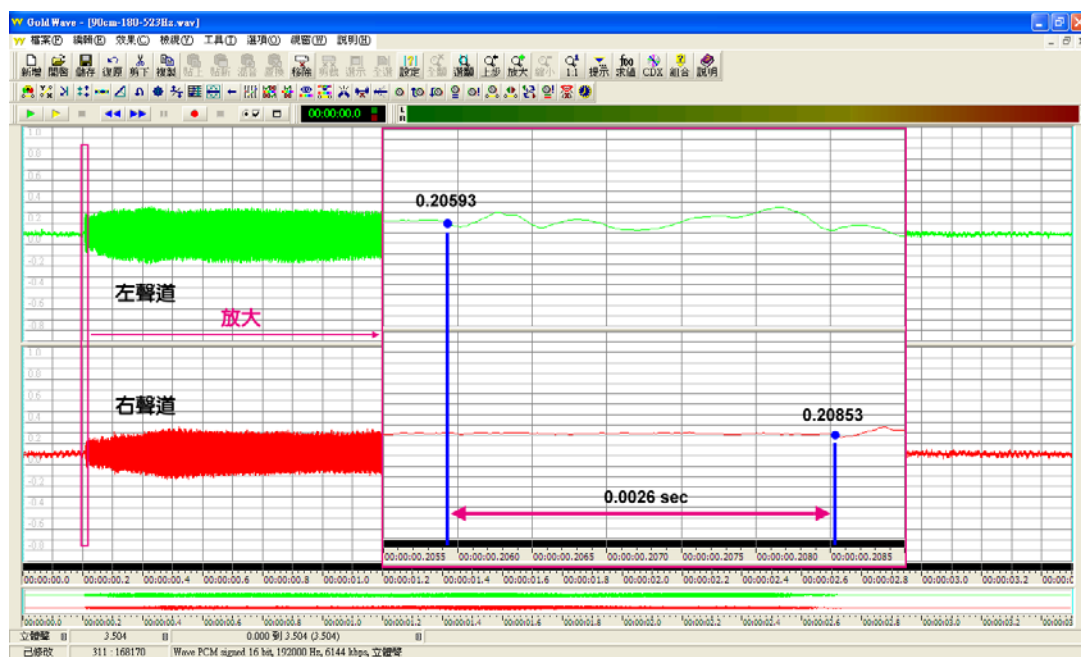


圖 4 利用 GoldWave 軟體計算左右聲道接收到訊號的時間差

二、固體中聲音速率的測量

自然與生活科技課本提到[1]，不同的介質，傳播聲音的速率快慢也不相同，通常是固體>液體>氣體，在 20℃時，鐵中的聲音傳播速率可高達 5032 m/s，所以要在長度不是很長的固體中測量聲音速率將是一項嚴峻的挑戰。參考資料[9][10]，曾經利用國中實驗室很少見的示波器來測量金屬棒中的聲速，在此，我們希望藉由音效卡計時器來完成同樣精確等級的量測實驗，除了鐵棒外，也測量了紅銅、鋁、鎳、鉛與鈦等金屬棒中的聲音傳播速率。

(1) 裝置設計與實驗步驟

- 我們所設計的實驗裝置如圖 5 所示。
- 兩座支架以細繩懸吊待測的金屬棒，並以小圓貼紙標示一個敲擊點。
- 感測器則黏貼於金屬棒的兩端，並將其訊號線透過 3.5mm Jack 音效插頭輸入音效卡麥克風插座（MIC IN）的左右聲道。
- 開啟電腦中的 GoldWave 軟體，以 192,000Hz 取樣頻率開始錄音，使用小鐵鎚輕敲金屬棒上的敲擊點產生聲音，將 GoldWave 軟體所記錄的音訊檔存檔。
- 測量並記錄敲擊點至兩個感測器間的距離差 ΔD 。
- 利用 GoldWave 軟體計算出左右聲道接收到訊號的時間差 ΔT 。
- 計算出該金屬棒中聲音的傳播速率 $v = \Delta D / \Delta T$ ，可測量多次求取平均值。
- 分別取不同的金屬棒重覆上述步驟。

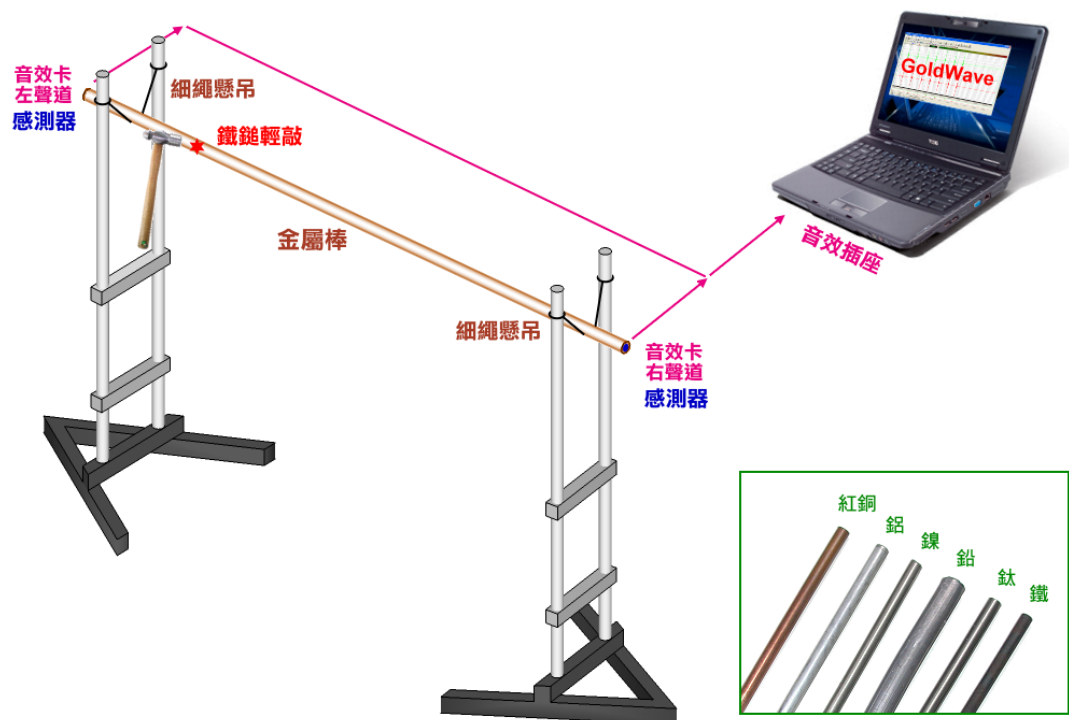


圖 5 固體中聲音速率的測量裝置圖

(2) 感測器的選取

想要記錄聲音，首先想到的當然是麥克風，不過經測試後，發現麥克風太過靈敏，而且容易受到外界聲音及雜訊的影響，在 GoldWave 軟體所記錄的音訊檔中也不易判別左右聲道的時間差，所以得尋找一種不太靈敏，甚至可以說是感應較遲鈍的麥克風最好，可是真有人製造這樣的麥克風嗎？

求助於老師後得知，喇叭與麥克風的機構造與原理幾乎類似[1]，只是動作是相反，若把喇叭當做麥克風用，可能就是一種所謂感應較遲鈍的麥克風。如獲至寶的我們，分別測試了高感度麥克風、廉價麥克風、微型喇叭、小型蜂鳴器、壓電式蜂鳴片（蜂鳴器內部主要元件）、耳機等，不出所料，這些元件也都能感測得到金屬棒中的聲波，記錄到的波形分別如下圖所示，其中以壓電式蜂鳴片的效果最佳，不易受外界聲音及雜訊的影響，對於金屬棒中的聲波則接收良

好，而且價格也最便宜，所以本實驗就決定採用壓電式蜂鳴片 當做感測器。



圖 6 感測器聲波波形記錄測試裝置

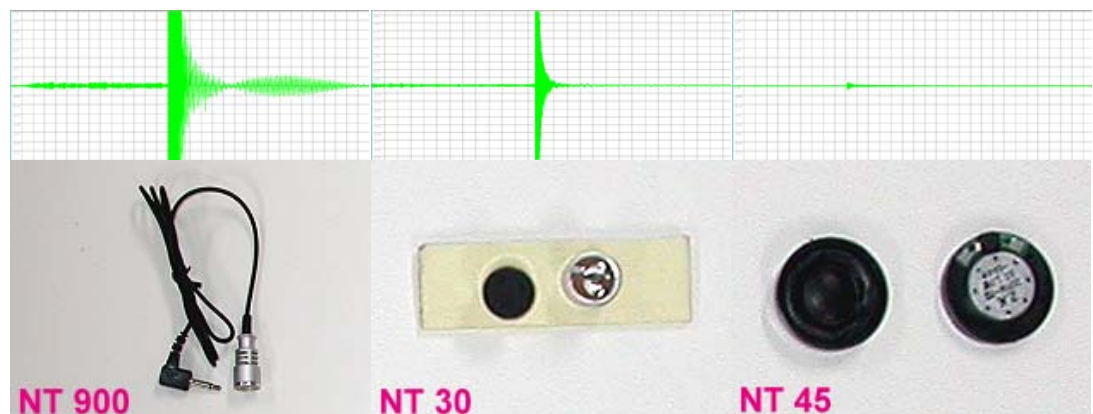


圖 7-1 高感度麥克風

圖 7-2 廉價麥克風

圖 7-3 微型喇叭



圖 7-4 小型蜂鳴器

圖 7-5 壓電式蜂鳴片

圖 7-6 耳機

(3) 實驗結果

每種金屬棒都經過 7 次的測量，並計算出聲音傳播的平均速率、標準差、與公認值間的誤差百分比，相關數據詳列於下列表格，其中紅銅棒、鋁棒、鎳棒、鐵棒與公認值非常的接近，但是鉛棒與鈦棒則有不小的誤差，推究其原因可能有兩種：一是中文維基百科[6]的公認值資料來源有誤，像英文維基百科[7]的鈦棒中音速值為 5090 m/s，兩者並不相同；二是金屬棒的成份不夠純，合金的物理性質當然與純金屬是不同的。

參考資料[9][10]也分別測量過紅銅棒、鋁棒、鐵棒的聲音傳播速率，比較起來，

我們的音效卡計時器並不比示波器遜色，甚至在與公認值間的誤差上還略勝一籌，可見音效卡計時器在精確度方面十分值得信賴。

材質	ΔD	平均速率 m/s (測量時溫度 18°C)						
		測量 1	測量 2	測量 3	測量 4	測量 5	測量 6	測量 7
紅銅棒	0.8 m	3738.32	3827.75	3738.32	3755.87	3846.15	3827.75	3755.87
鋁棒	0.8 m	5128.21	5128.21	5128.21	4968.94	4968.94	4938.27	4968.94
鎳棒	0.8 m	4968.94	4938.27	4790.42	4938.27	4968.94	4968.94	4938.27
鉛棒	0.8 m	1420.96	1433.69	1433.69	1428.57	1476.01	1433.69	1476.01
鈦棒	0.8 m	4790.42	4790.42	4799.04	4790.42	4790.42	4790.42	4790.42
鐵棒	0.8 m	4938.27	5263.16	5263.16	5263.16	4938.27	5479.45	5128.21

材質	公認值(20°C) m/s	實測平均速率 m/s	實測標準差 m/s	誤差百分比
紅銅棒	3813 [9][10]	3784.29	47.34 (1.251%)	0.753%
鋁棒	5102 [9][10]	5032.82	89.88 (1.786%)	1.356%
鎳棒	4970 [6]	4930.30	63.56 (1.289%)	0.799%
鉛棒	1260 [6]	1443.23	22.85 (1.583%)	14.542%
鈦棒	4140 [6]	4791.65	3.26 (0.068%)	15.740%
鐵棒	5032 [1][9][10]	5181.95	195.76 (3.778%)	2.980%

三、單擺週期的記錄與分析

在單擺的實驗活動中[1]，我們一方面使用碼表來計時，另一方面必須眼睛盯著單擺數著擺動的次數，然後利用平均值來計算出單擺的週期，如此的測量方式，常因人為操作上的差異而造成測量的結果有所不同。或許可以靠增加單擺的擺動次數來降低人為操作上的影響，並且提高週期的時間精確度，但是也增加了人工計數的負擔，另外，我們發現單擺在擺動的過程中，擺角會越來越小，最終甚至會靜止下來，是否意味著單擺從開始擺動到靜止下來之間，週期並非固定而是變動的呢？由於音效卡與錄音軟體具有精密計時及記錄訊號波形的能力，運用此優勢在單擺週期的記錄與分析上，相信將會有很大的助益。

(1) 感測器的選取



圖 8-1 光敏電阻



圖 8-2 光電二極體

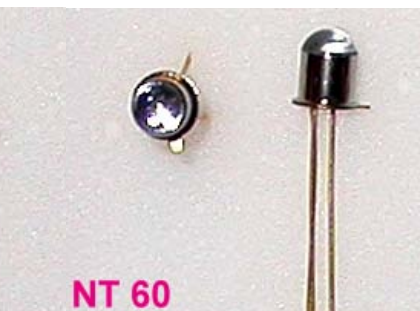


圖 8-3 光電晶體

為避免影響到單擺的擺動，必須以無接觸的方式來測量其週期，光線與光感測器可能是最佳的選擇，參考資料[11]提到可供使用的光感測器有光敏電阻、光電二極體與光電晶體，這些元件在使用時會在兩端加上電壓，通過的電流大小會隨著照射光源的改變而產生變化，利用這個特性，我們可在擺錘擺動路徑的

兩旁分別放置光源及光感測器，當擺錘通過並遮斷光源時，光感測器就會有所感應，若是音效卡能將此感應變化記錄下來，那麼單擺週期的分析與測量將是可行的。

我們設計了圖 9 的裝置，接好線路後，薄板由固定高度落下遮斷光源，利用音效卡所記錄的訊號來瞭解何種光源與光感測器的組合較適合用來測量單擺的週期。光源部分分別使用了白光與紅光二極體，利用 3V 乾電池組供應工作電壓；光感測器部分則分別測試了光敏電阻、光電二極體與光電晶體，由於音效卡的錄音插座本身就具有直流電壓，其電壓會因廠牌型號的不同而有些許差異，約為 2.1V 至 2.7V 之間，所以光感測器的工作電壓就直接由音效卡的錄音插座供應，不需額外提供電源。



圖 9 光感測器的選取測試

測試結果如預期所料，這些光感測器無論在白色或是紅色光源下，當薄板由固定高度落下遮斷光源時皆可感應得到，音效卡所記錄的訊號波形如圖 10-1、圖 10-2 與圖 10-3 所示，圖中訊號波形突然上升至最大值，表示薄板開始遮住光源，當光源完全遮斷後，訊號波形則開始下降至基準線。圖中可以看出白色光源與光電晶體的組合對於薄板遮斷光源的感應最為靈敏，僅需 3.76ms 即可上升至最大值，但是考量光電晶體的單價較高，紅色光源與光電二極體也是不錯的組合（上升至最大值需 4.86ms），所以我們將採用紅光二極體與光電二極體來記錄與分析單擺的週期。

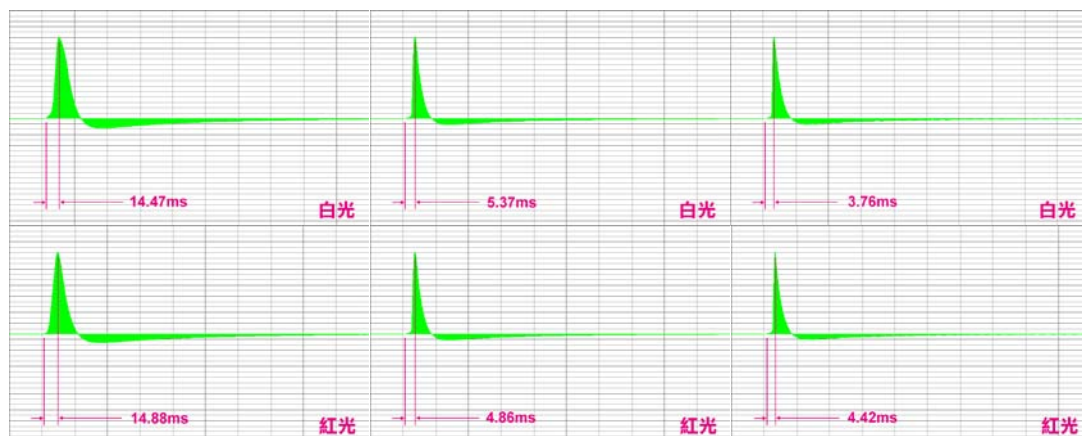


圖 10-1 光敏電阻的感測波形

圖 10-2 光電二極體的感測波形

圖 10-3 光電晶體的感測波形

(2) 實驗裝置與步驟

- 我們所設計的實驗裝置如圖 11 所示，擺長 100cm，擺錘質量 50g。
- 為簡化接線的複雜度，紅光二極體的工作電壓由電腦 USB 介面取得，由於 USB 介面的電壓為直流 5V，必需串接 75 Ω 電阻以免燒毀紅光二極體。
- 光電二極體的接腳透過 3.5mm Jack 音效插頭輸入音效卡麥克風插座。
- 將擺錘拉向一側，使其擺角為 5 度。
- 輕輕放開擺錘，並開啟電腦中的 GoldWave 軟體，以 44,100Hz 取樣頻率開始記錄擺錘來回擺動 10 分鐘。
- 記錄終了，存檔並分析單擺週期的變化情形。

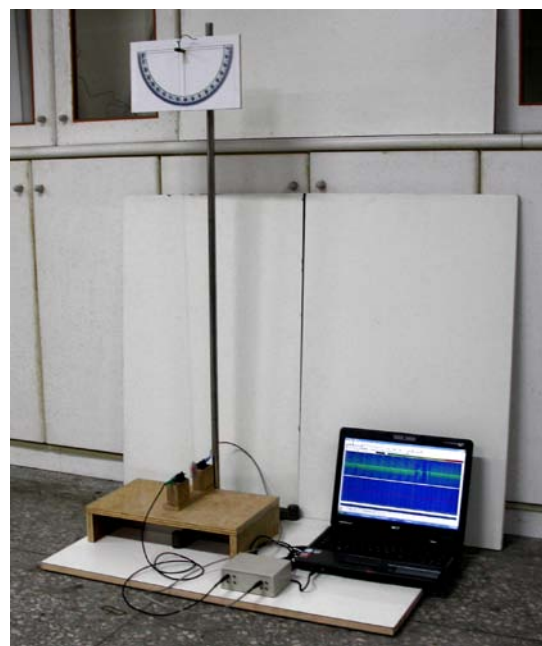


圖 11 單擺週期的記錄與分析裝置圖

(3) 實驗結果

音效卡所記錄的訊號波形如圖 12 所示，每當擺錘開始遮住光源時，訊號波形會突然上升至正的最大值，很快地，訊號波形突然掉落至負的最大值，表示光電二極體又開始有光源照射。10 分鐘內擺錘擺動了二百八十多次，我們以每 10 次擺動為 1 組，分別分析每組訊號的標準差與平均週期，其變化情形分別如圖 13 與圖 14 所示，整體的平均週期為 2.016963 秒，平均標準差是非常小的 0.000080 秒，僅為平均週期之 0.00397%。

參考資料[8]曾利用有效位數為千分之一秒的運動碼錶，搭配上雷射筆、雙向磁簧開關、線圈與光敏電阻將其改裝為精密計時器用來測量單擺週期，我們的音效卡計時器與其比較起來，除了配件與接線簡潔許多之外，在時間的精確度上

及單擺擺動過程的記錄能力上，有很大的改善。

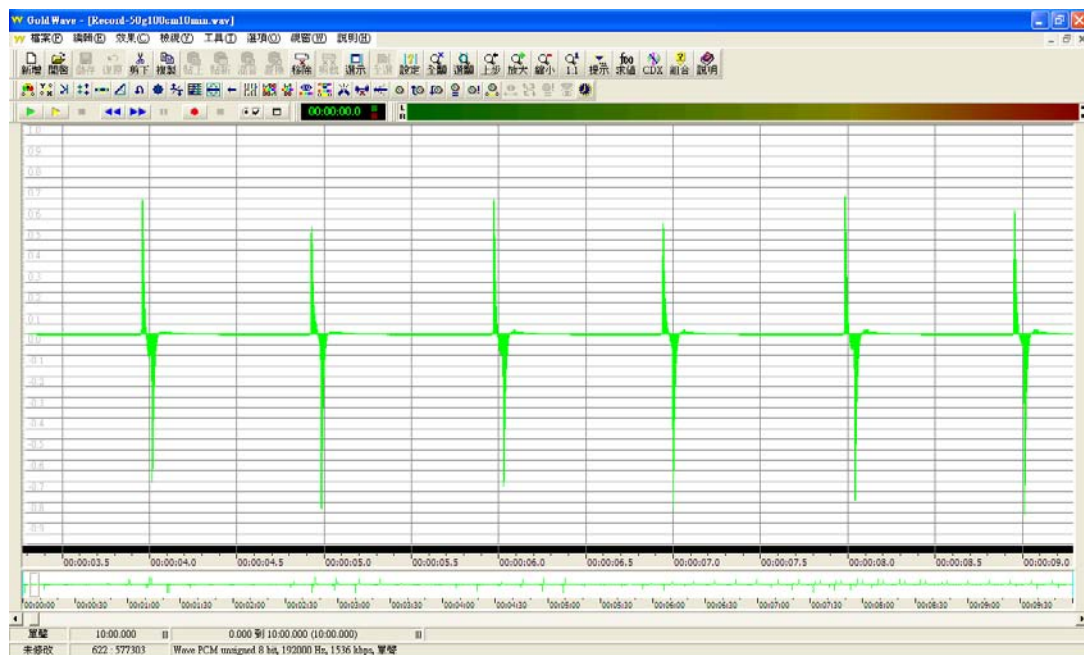


圖 12 音效卡所記錄的訊號波形

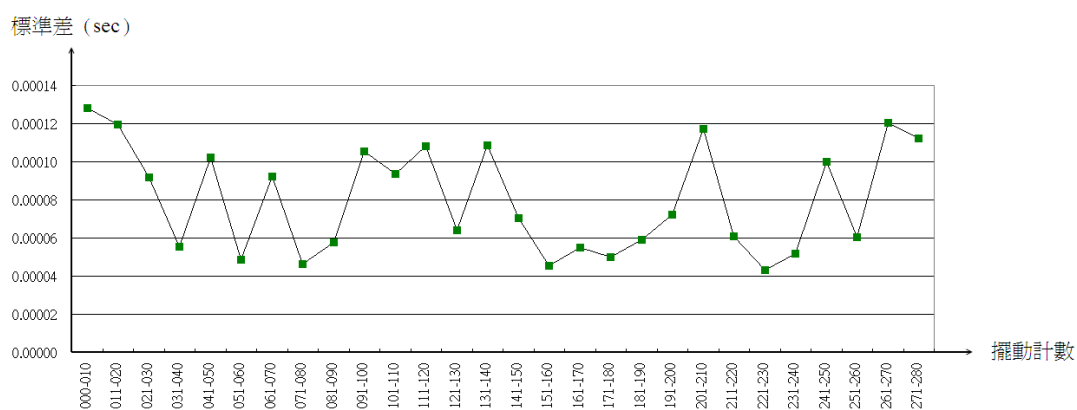


圖 13 單擺每 10 次擺動平均週期標準差的變化情形 0.00008

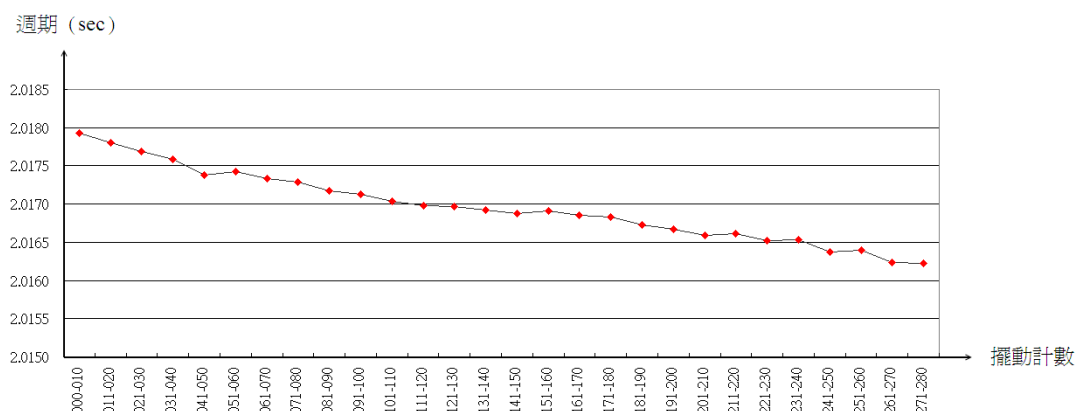


圖 14 單擺每 10 次擺動平均週期的變化情形

四、自由落體的加速度測量

國中自然與生活科技課本[1]提到，地表附近的自由落體運動是一種等加速運動，

其加速度稱為重力加速度 (g)，其大小約為 9.8 m/s^2 。要確認並測量這個 g 值，在國中的實驗室似乎只能依賴打點計時器了，但常因摩擦力及打點計時器的精確度問題，使得測量結果與參考值有很大的出入，我們將嘗試著使用音效卡計時器來測量自由落體的加速度。

(1) 實驗裝置與步驟



圖 15 自由落體加速度測量裝置圖

- 我們所設計的實驗裝置如圖 15 所示，用了兩組紅光二極體與光電二極體。
- 為簡化接線的複雜度，紅光二極體的工作電壓由電腦 USB 介面取得，由於 USB 介面的電壓為直流 5V，必需串接 75Ω 電阻以免燒毀紅光二極體。
- 光電二極體的接腳透過 3.5mm Jack 音效插頭輸入音效卡麥克風插座，上端的光電二極體接於左聲道，下端的光電二極體接於右聲道。
- 開啟電腦中的 GoldWave 軟體，以 192,000Hz 取樣頻率開始記錄。
- 鋼珠下緣切齊上端光電二極體與紅光二極體的連線後，使其自由落下，完成記錄後將音效檔存檔。
- 利用 GoldWave 軟體計算出左右聲道接收到訊號的時間差，並以距離與加速度的關係式計算出重力加速度 g ，可測量多次求取平均值。

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2, \text{ 由於初速度 } v_0 = 0, \text{ 所以化簡為 } S = \frac{1}{2} g t^2。$$

(2) 實驗結果

經過 10 次的測量，左右聲道接收到訊號的時間差及重力加速度 g 值的推算詳列如下表，重力加速度的平均值為 10.728389 m/s^2 ，標準差為 0.178522。

測量編號	左聲道訊號起始時間(s)	右聲道訊號起始時間(s)	左右聲道時間差(s)	重力加速度 g
1	2.630120	3.011828	0.381708	10.981394
2	2.273979	2.660484	0.386505	10.710500
3	2.939995	3.328422	0.388427	10.604768
4	2.364234	2.755563	0.391329	10.448066
5	2.141984	2.525969	0.383985	10.851542
6	2.163276	2.547990	0.384714	10.810456
7	2.547958	2.930151	0.382193	10.953541
8	1.886708	2.277135	0.390427	10.496398
9	2.599792	2.985703	0.385911	10.743497
10	2.445344	2.832333	0.386989	10.683726

(3) 實驗的改進

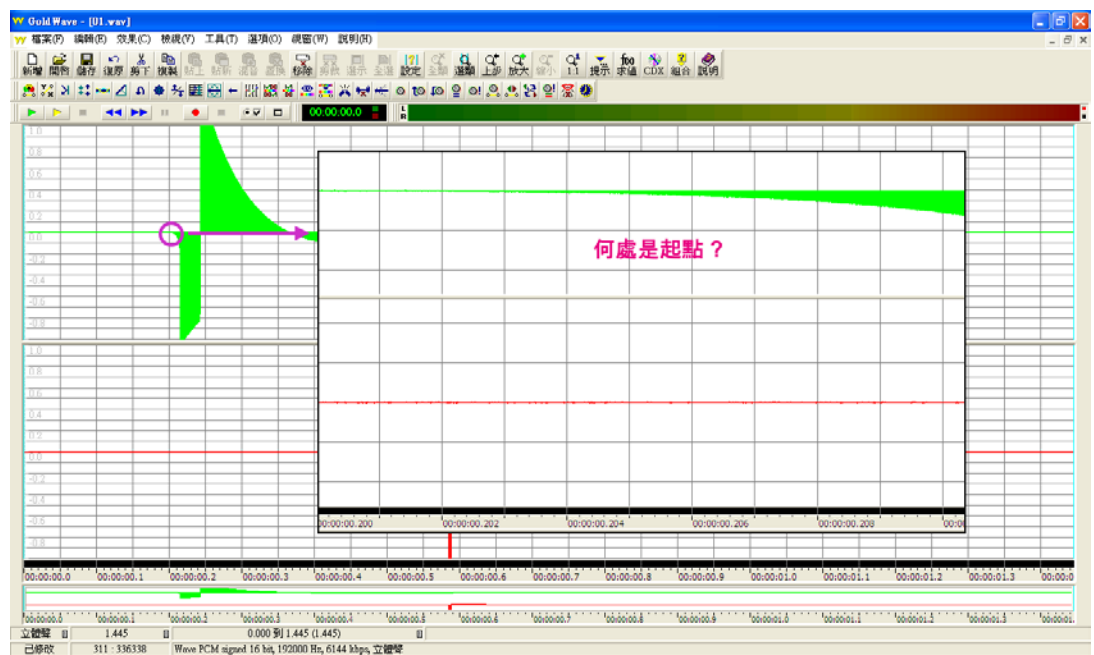


圖 16 訊號波形變化緩慢造成起始點時間的誤判

我們非常訝異於上述的實驗結果，是什麼地方出了問題呢？經過非常多次的討論、實驗與思考，推斷出可能是因為鋼珠在剛開始自由落下時，速度很慢，花了較長的時間才通過上端的感測器，所以音效卡所記錄到的訊號波形也如圖 16 所示地變化很緩慢，如此容易造成訊號起始點時間的誤判，連帶造成令人訝異的重力加速度值。經過修正改進後的實驗步驟與方法如下：

- 我們所設計的實驗裝置如圖 17 所示。
- 先將感測器置於 B 處與 C 處，鋼珠由 A 處自由落下，計算出鋼珠通過 BC 所需的時間 t_1 ，可測量多次求取平均值。
- 再將感測器置於 B 處與 D 處，鋼珠由 A 處自由落下，計算出鋼珠通過 BD 所需的時間 t_2 ，同樣測量多次求取平均值。
- 以距離與加速度的關係式列出聯立方程式並求出 t 與 g ，其中 t 為鋼珠由 A 處落至 B 處的時間。

$$\begin{cases} S_1 = \frac{1}{2}g(t+t_1)^2 \\ S_2 = \frac{1}{2}g(t+t_2)^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow t = \frac{\sqrt{S_1 t_2} - \sqrt{S_2 t_1}}{\sqrt{S_2} - \sqrt{S_1}} ; g = \left[\frac{\sqrt{2S_2} - \sqrt{2S_1}}{t_2 - t_1} \right]^2$$

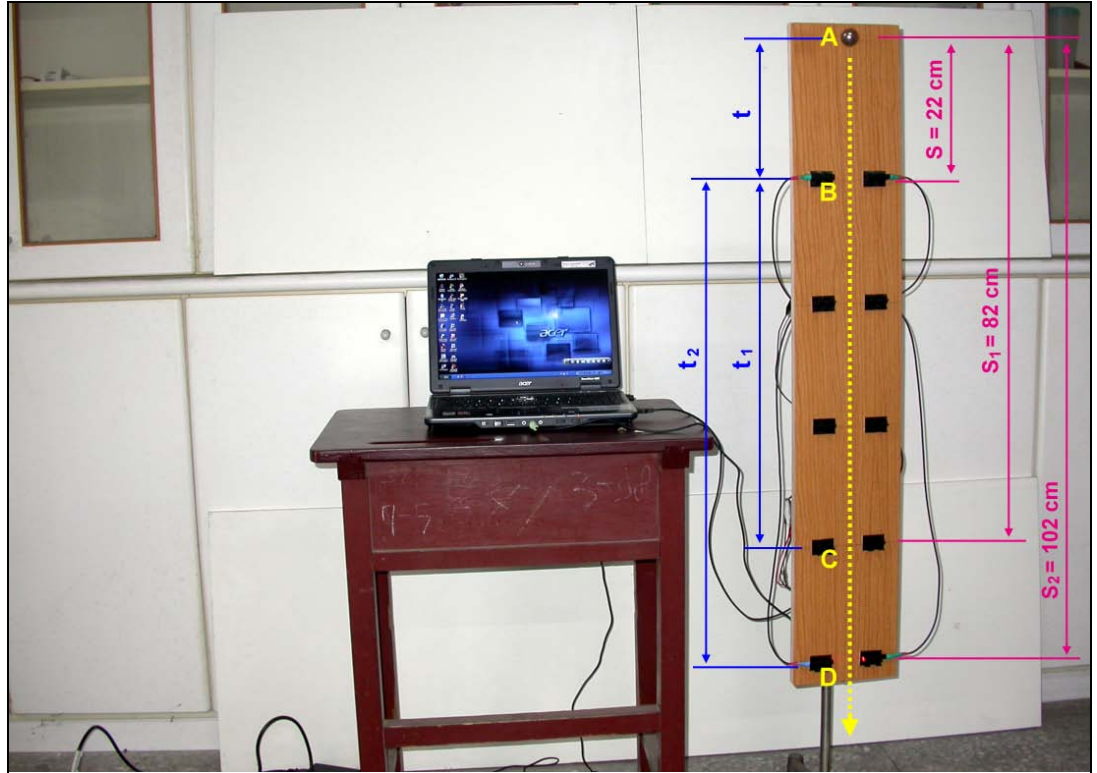


圖 17 改進後的自由落體加速度測量示意圖

經過實驗測量， t_1 的平均值為 0.199321 秒，標準差為 0.000122； t_2 的平均值為 0.24648 秒，標準差為 0.000191，計算出來的 $t = 0.209726$ (秒)， $g = 9.801589$ (m/s^2)，與理論值非常的接近。

測量編號	左聲道訊號起始時間 (s)	右聲道訊號起始時間 (s)	左右聲道時間差 t_i (s)
1	0.946750	1.146099	0.199349
2	0.911276	1.110688	0.199412
3	0.803406	1.002828	0.199422
4	0.928891	1.128313	0.199422
5	0.817568	1.016776	0.199208
6	0.856693	1.055828	0.199135
7	0.926974	1.126484	0.199510
8	0.999115	1.198354	0.199239
9	0.939063	1.138380	0.199317
10	0.823297	1.022495	0.199198

測量編號	左聲道訊號起始時間 (s)	右聲道訊號起始時間 (s)	左右聲道時間差 t_d (s)
1	1.083000	1.329484	0.246484
2	0.900198	1.146656	0.246458
3	0.785536	1.031901	0.246365
4	0.933057	1.179771	0.246714
5	1.067453	1.313984	0.246531
6	0.857547	1.104146	0.246599
7	0.966182	1.212380	0.246198
8	0.908625	1.154969	0.246344
9	0.892896	1.139229	0.246333
10	1.115922	1.362755	0.246833

五、音效卡計時器的實現

在測量自由落體的加速度時，以人工操作現成的音效軟體而得到左右聲道時間差，是件累人且吃力的事情，若是可以自動分析出時間差那就太好了。參考書籍[2]對於語音訊號的理論有著詳盡的介紹，網站[4]則有較為淺顯的線上教材與範例說明，參考資料[3][5]則提供了電腦多媒體程式設計的相關知識。我們嘗試著以 Microsoft Visual Basic 6 來自行撰寫程式，希望能夠錄音記錄訊號，然後分析左右聲道的聲音波形，進而計算出左右聲道訊號間的時間差。

(1)取出音訊資料中真正的訊號部分

音訊資料非常的龐大，舉例來說，以 192,000Hz 的取樣頻率來錄製 10 秒鐘的雙聲道聲音，取樣點數就有 $192000 \times 10 \times 2 = 3,840,000$ ，要在浩瀚的資料中直接分析不是件容易的事，依據參考資料[2][4]得知，我們可以採用最簡易的能量法來取出音訊資料中真正屬於聲音的部分，如圖 17 所示，先繪出聲音訊號的波形及其音量曲線，只要音量高於某個門檻值（本研究採用音量最大值的 0.25%），就認定是真正的訊號部分，其他部分就屬於靜音或是雜訊。

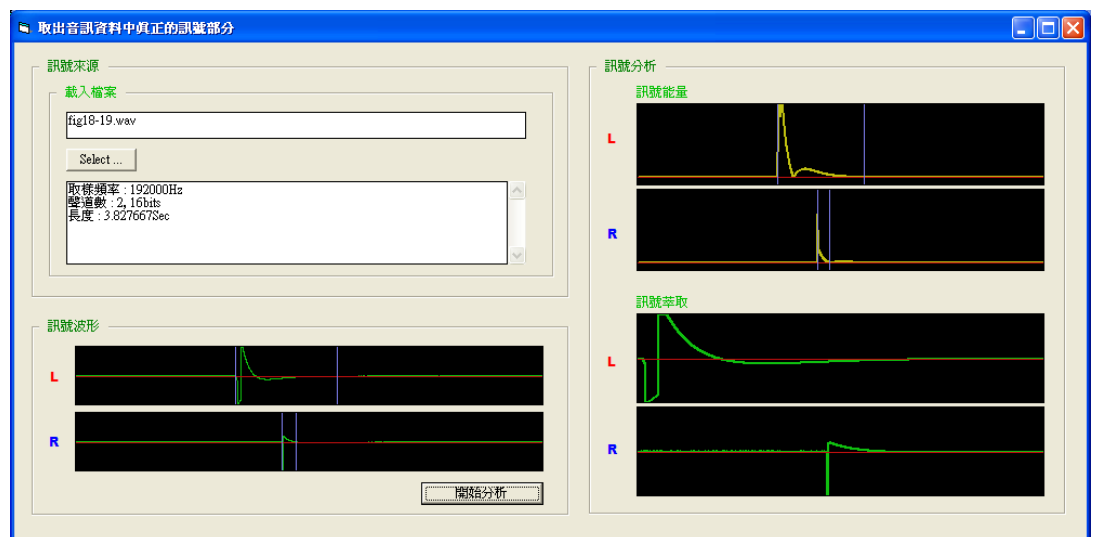


圖 18 聲音訊號及其音量曲線並以門檻值判定真正的訊號部分

(2)尋找真正訊號的起始點

從左右聲道訊號中淬取出來的真正訊號部分，我們稱之為分析用音框，再使用

一次能量法找到訊號的起始時間，進而就可以計算出左右聲道的時間差，圖 18 為程式執行情形，此時的音量門檻設定為最大音量值的 0.15%。

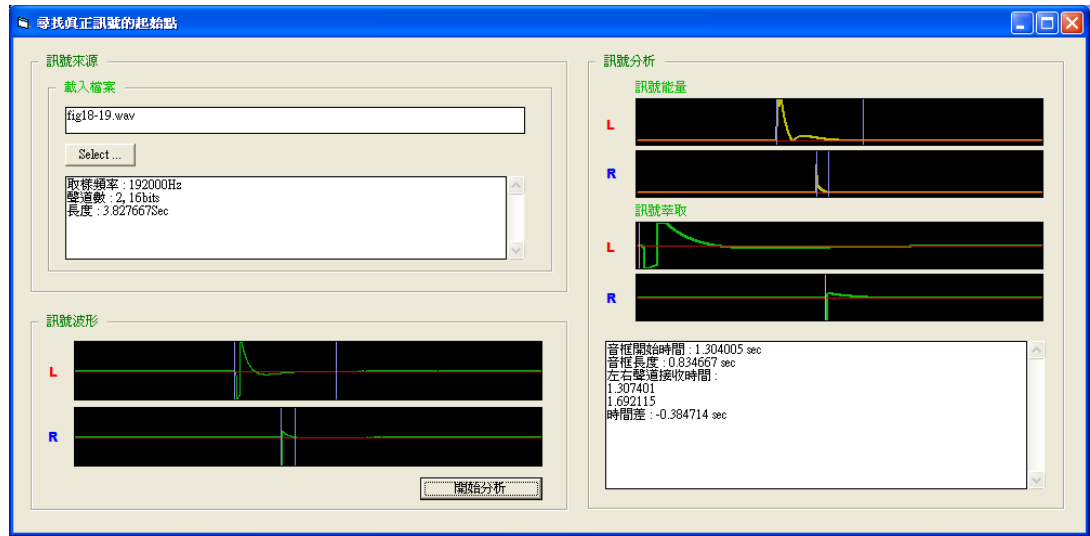


圖 19 利用程式計算左右聲道的聲波起始時間與時間差

(3)音效卡計時器程式實作

實作的音效卡計時器程式如圖 19 所示，除了能夠載入現成的音訊檔外，也提供了錄音的功能，錄音的部分可以選擇音效卡的取樣頻率（192,000Hz 與 44,100Hz），以及錄音時間的長度，當音訊檔進入程式後，按下開始分析按鈕，即可完成左右聲道間訊號時間差的計算。

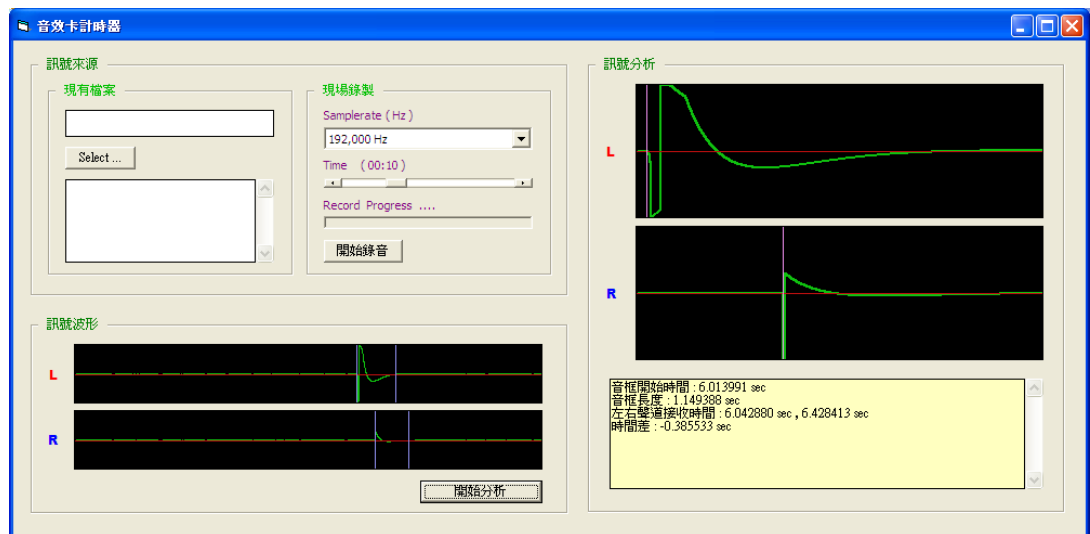


圖 20 音效卡計時器程式實作

伍、討論：

一、鉛棒與鈦棒實驗測量的聲音傳播速率與公認值有不小的差異，原因為何？

實驗測量鉛棒與鈦棒中聲音的傳播速率分別為 1443.23 m/s 及 4791.65 m/s，與中文維基百科[2]的資料 1260 m/s 及 4140 m/s 有很大的出入，推究其原因可能有兩種：

一是中文維基百科[2]的公認值資料來源有誤，像英文維基百科[3]的鈦棒中音速值為 5090 m/s，兩者並不相同；二是金屬棒的成份不夠純，合金的物理性質當然與純金屬是不同的。

二、是否所有的電腦音效卡的均可用來精密計時用？

現今桌上型電腦的內建音效，其麥克風插孔多為雙頻道的立體聲，可以同時接收左右聲道的訊號，但是筆記型電腦的內建音效，有部分廠牌型號還是單聲道，無法利用左右聲道訊號的時間差做精密計時方面的用途。

本研究所使用的筆記型電腦 Acer TravelMate 4320 之內建音效卡為 Realtek High Definition Audio，本款式也廣泛使用在許多電腦的內建音效上，若是採用不同的音效卡，相信以現今科技產業的製造技術，其取樣頻率應該也相當精確才是。

三、電腦音效卡除了精密計時的用途外，是否還可以應用到其他方面？

音效卡的輸入是一種隨時間變化的類比電壓訊號，由於其取樣頻率高且精確度良好，說不定搭配上適當的程式，以即時的方式呈現目前的訊號波形，不就成為一具簡易的示波器了嗎？另外，訊號產生器常與示波器一起使用，應該可先用數學函數來製作訊號波形，再以音效卡的綠色插座 Line Out 將其輸出，使其功能上更形完備。

陸、結論與未來展望：

本研究運用巧思與智慧，使得一般常見的電腦音效卡搖身變為精密計時器，搭配上適當的感測器後用來測量固體中的聲音傳播速率、單擺週期及自由落體的重力加速度，由實驗測試的數據看來，我們的方法與公認值非常的接近，可見音效卡在精密計時方面十分值得信賴。

未來，或許我們可以嘗試著將音效搭配上不同的感測器（如位移感測器、加速度感測器等），運用到其他需要精密計時的實驗上，既經濟又簡便，還可以讓實驗者自由發揮創意，依需要做種種設計與改進！

柒、參考資料：

- 一、國中自然與生活科技課本。
- 二、王小川著,“語音訊號處理,” 全華科技, 2004。
- 三、彭明柳著,“Visual Basic 6.0 中文專業版徹底研究,” 博碩文化, 1999。
- 四、<http://neural.cs.nthu.edu.tw/jang/> 國立清華大學 資訊工程學系 張智星教授網站。
- 五、<http://andrew.csie.ncyu.edu.tw/index.htm> 國立嘉義大學 資訊工程學系 洪燕竹教授網站。
- 六、<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/> 中文維基百科。
- 七、<http://en.wikipedia.org/wiki/Titanium> 英文維基百科 鈦。

- 八、楊上遠、陳俊強、黃夢堯、王允中著,“它抓得住我一以自製精密計時器探討 g 世界的奧妙,” 中華民國第 47 屆中小學科學展覽會國中組第三名作品, 2007。
- 九、郭思瑀、盧彥均、彭曉祺、劉幸芸著,“聲音有多快! 固體、液體中聲速的探討,” 中華民國第 44 屆中小學科學展覽會高中組參展作品, 2004。
- 十、周慧瑜、張詩玫、黃麗如、張靜宜著,“固體和液體中聲速的測定與探討,” 中華民國第 32 屆中小學科學展覽會高中組第二名作品, 1995。
- 十一、許桂樹、陳克群、李怡銘編著,“感測器原理與應用,” 全華科技, 2007。

【評語】 030120

將音效卡的應用延伸至物理量之測量，可延伸至聲音在固體傳遞速度及其衰減情況。在應用上，有熟悉的操作技巧，整體表現佳。惟物理性待加強。