

音效卡高精度計時器之拓展

傅學海

國立台灣師範大學 地球科學系

摘要

將音效卡搭配音效軟體、訊號接收器與訊號發射器，可以作為高精度計時器，紀錄事件發生的精確時刻，精確度可達 0.001 秒以內。已經有科展作品或實驗教材，將音效卡作為高精度計時器，進行單擺、自由落體、聲速測量…實驗，而且獲得不錯的成果。本文將立體音效卡計時器功能擴展，將以往每聲道只紀錄一個數據，擴展為記錄多個數據，有效增加實驗數據，提升實驗的精確度，也節省相當的時間與精力。例如在自由落體實驗中，以往一次實驗獲得兩個數據（左、右聲道各一個），本實驗至少將每聲道擴展成 3 個，一次測量 6 組數據。原先，在實驗中測量兩個測量數據時，必須使用立體音源接頭，左、右聲道各測量一個數據；本研究使用單音源接頭，並聯數個接收器，可以測量數個數據，擴張其功能，也能進行原先必須使用立體音源接頭才能進行的實驗。

前言

本實驗擴張了音效卡作為計時器的測量個數，由每聲道一個測量值，增加至 2 個以上，使得一次實驗數據，可以獲得多個測量值，在實驗數據處理上，可以進行線性回歸，提高了精確度，也節省大量時間與精力。另外，有些個人電腦或筆記電腦的音效卡只有單聲道功能，也可以用來進行單擺、自由落體…等實驗。

大約從 2003 年（陳昱江 2003）起，音效卡被用來做為高精度計時器以後，一些實驗（尤其是科展作品）紛紛搭配光敏電阻或受光二極體，使用音效軟體記錄實驗數據，進行一些需要過程時間極短的實驗，或是時間精度需要 0.001 秒以內的實驗，也有一些作品獲得全國或國際科展獎項（吳彥儀，2009 年；李靜如、橫本高広、洪紫芸、陳冠綺，2010 年；李宛倫、徐子涵、吳穎婕 2011）。顯示科技的進步，賦予音效卡一種新的應用，將高精度計時器一舉跨過高價、難尋的門檻，成為普及技術，目前雖然只用來測量擺動週期、脈動週期，推算地表重力加速度 g 值、聲速等，但相信會很快出現其他的應用。

要應用音效卡作為計時器，最主要的是能產生音效卡訊號輸入端能夠接收的訊號。基本上，音效卡之麥克風插孔為訊號輸入端，藉由麥克風薄膜產生的震動，轉換成強弱的電壓變化，輸入音效卡，同時紀錄時刻與電壓數值，而成為聲音訊號的紀錄。因此，只要能產生音效卡偵測得到的電壓變動，不論輸入端為麥克風或音源輸入（line in）插孔，就能紀錄產生訊號的時刻。

在作為高精度計時器的應用上，以能夠接受光線訊號的受體為訊號產生器。由於價格因素，目前最常用的訊號產生器為光敏電阻與受光二極體，兩者都是光

線照射後，使得受體的電壓或電流產生變化，成為輸入音效卡的訊號。

基本原理

音效卡原來是處理聲音的積體（IC）電路，匯整至一塊電路板上，幾乎是個人電腦或筆記電腦的標準配備。由於人耳能夠分辨的音頻範圍約為 20 Hz 至 2 萬 Hz，所以音效卡記錄的速率（取樣頻率）必須在 20 kHz 以上，才比較能原音重現而不失真。標準的取樣頻率有三個：44.1 kHz、22.05 kHz 與 11.025 kHz，最高可達 96 kHz 或更多。一般最常用或內建的取樣頻率為 44.1 kHz，每秒取樣 44100 次，即約 0.00002268 秒記錄一次，可以輕鬆紀錄 0.0001 秒以內的時刻。

使用電腦錄音時，聲音訊號傳入接收器（例如透過麥克風），聲音的強弱震盪在接收器中產生對應的強弱電壓（類比訊號），輸入音效卡，音訊強度被轉換成數位訊號與對應的時刻同時被記錄下來，形成聲音檔案。播放時，將聲音數位訊號依時刻順序播放，就能還原收錄的聲音。

音效卡只是紀錄數入的電壓變化之強弱，並不管真正的來源是什麼，都當作聲音強度而記錄下來。所有能夠產生電壓強弱變化的訊號，都能藉著傳輸線輸入音效卡，而被記錄下來，同時也將對應的時刻記錄下來。就是這項功能，可以將音效卡轉變為高精度計時器。

將音效卡作為計時器，主要是觀察輸入訊號產生變化的時刻。如果訊號強度穩定、不變，輸入訊號也穩定，而呈現微弱的背景起伏。當訊號被阻斷、或重新連結，則訊號瞬間變化的強弱可以被記錄下來，作為訊號被阻斷或重建時刻的判讀。例如在單擺實驗中，單擺的擺線阻斷光束而中斷訊號、瞬間又重現；同理，在自由落體實驗中，墜落物體通過光束，阻斷光束而中斷訊號、瞬間後又重現。很容易精確判讀訊號瞬間劇烈變化（有到無、或無到有）的時刻。

目前最常用來接收訊號的電子零件是光敏電阻、接受二極體、光電晶體，都是利用光照射其上，產生電流的機制，電流大小隨著光線強弱而起伏。當光線穩定時，這些受光電子零件產生的電流訊號也穩定，音效卡的訊號紀錄在零值上下起伏；當照射在受光零件上的光線被中斷、或光線突然照射在受光零件上，都會產生一個明顯陡增或陡降的訊號，反映了事件發生的時刻。

通道數多重時刻紀錄

單一聲道可以用來進行訊號重複的實驗，例如測量單擺的擺動週期。如果將單聲道音源接頭並聯數個訊號接收器，也能測量數個實驗數據，進行一些原先必須同時用雙聲道的實驗。但有些實驗仍需使用雙聲道，比較容易判讀訊號經過兩測量點的時刻差異，例如要在一公尺以內的距離測量音速，其間隔時間約為千分之幾秒，如果使用單聲道紀錄，則兩點的訊號過近、無法區分，形成「拍」（beat）的形式，無法判讀聲音訊號分別經過兩點的時刻。

多數音效卡具備左、右雙聲道，紀錄或輸出左聲道與右聲道的音訊，成為立體音效。立體音效卡常被用來作為兩定點的時刻紀錄器，來測量訊號傳遞的時間，例如測量聲音經過兩點的時間，而推算出聲音的傳播速率。

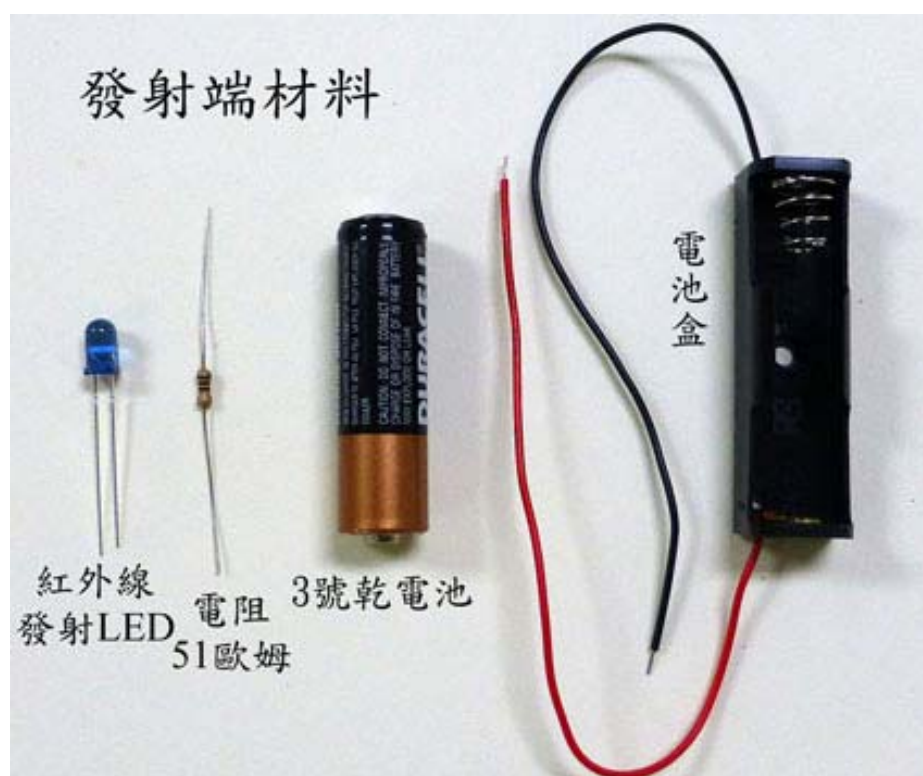
由於在許多科學實驗中，需要記錄五個以上的數據，才比較具有統計上的意義。因此將每聲道並聯兩個或更多的紀錄點，則能一次紀錄四個或更多的時刻，在實驗數據處理與分析上，可以進行較好的處理，例如可以進行多個數據之線性回歸。

發射端/接收端硬體裝置

用音效卡作為高精度計時器，需要訊號產生器與接收器，可以有多種選擇。本實驗使用紅外線發射 LED 來產生訊號，用紅外線接收 LED 作為訊號接收器，優點為價格便宜與方便使用。

- 訊號發射端：紅外線發射 LED、限流電阻、3 號 1.5 V 乾電池與電池盒
- 訊號接收端：紅外線接收 LED、3.5 mm 立體音源插頭、導線數條

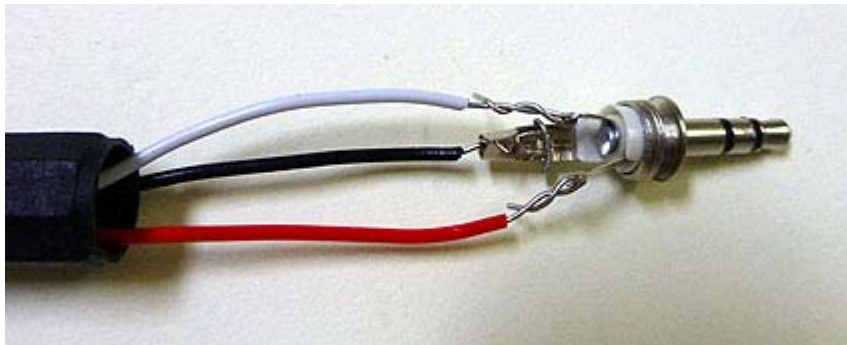
紅外線發射 LED 需使用直流電，有長、短兩支接腳，長腳接正極、短腳接負極。許多紅外線發光二極體的工作電壓為 1.2-1.3 V，使用一個 1.5 V 之乾電池即可，但因工作電流很小，因此需要串連一個限流電阻，以免 LED 過熱而毀損。本實驗所用之紅外線發射 LED，工作電流最好不要超過 10 mA，串聯一個 30-50 歐姆的電阻即可，最好自行測試來選擇適用的限流電阻。



圖：電池盒+電池、串聯電阻、紅外線發射 LED

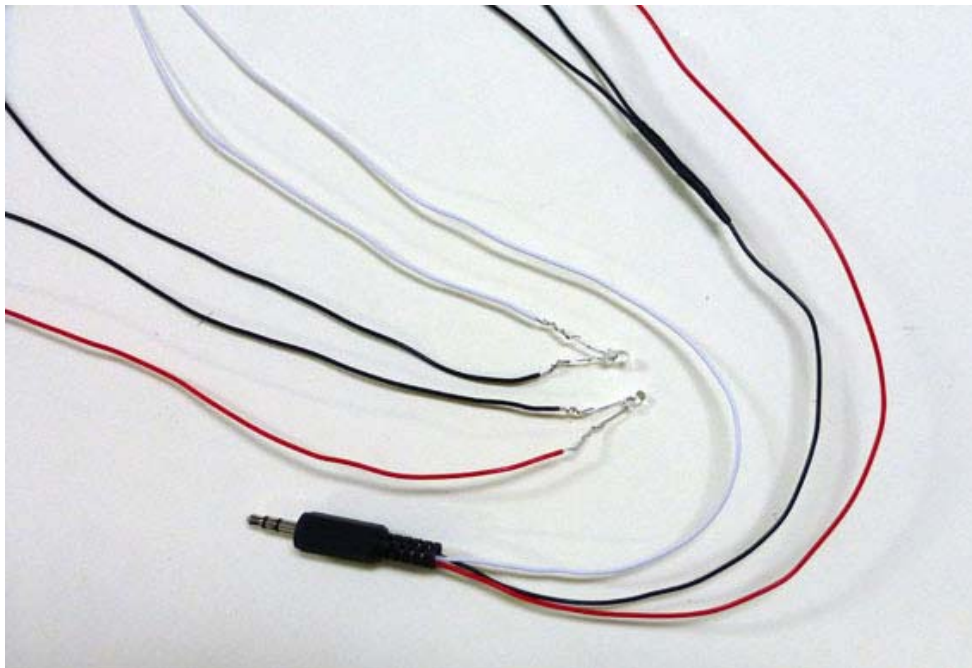
在實作上，採用一個乾電池並聯 2 個以上的紅外線發射 LED，可以節省組裝成本，但是必須計算所需的限流電阻。例如並聯兩個紅外線發射 LED，每個 LED 需接上一個 20 歐姆的電阻；或是在電流輸出端串聯一個電阻，在併連兩個 LED。

將紅外線接收 LED 兩支接腳接上音源線的左聲道線（或右聲道線）與接地線即可。如果要使用雙聲道，分別測量兩點的訊號，則需要兩個紅外線接收 LED，一個接上左聲道線與地線、另一個接上右聲道線與接地線；左、右聲道共用同一條接地線。



圖：3.5 mm 立體音源插頭接線

如果每聲道想接三個實驗點的訊號，則將三個紅外線接收 LED 在音源線聲道線與接地線之間並聯即可。當然也需要三個訊號發射器。



圖：3.5 mm 立體音源插頭 + 左、右聲道各接一個紅外線接收 LED

免費音效軟體 Audacity

有許多音效軟體都可以用來作為高精度計時器的紀錄器。在本實驗設計中，採用 Audacity 來處理音效卡輸入端傳來的訊號，作為事件發生的計時器。

Audacity 是一個跨平台、自由、開放原始碼的音訊編輯軟體，可以在 Mac OS X、Microsoft Windows、GNU/Linux 和其它作業系統上運作，支援 wav(*.wav)、aiff(*.aif)、au(*.au)、IRCAM(*.snd)、mp3(*.mp3)與 Ogg Vorbis(與 mp3 同級)等音效檔案。

在本實驗設計中，Audacity 被用來處理音效卡輸入端傳來的訊號，作為事件發生的計時器。除了音訊檔之外，在 Audacity 圖形介面上方功能表「分析」中，按下「Sample Data Export…」，可以將音訊輸出為.txt 檔。可以用微軟的試算表 excel 進行相關的數據處理、繪圖與分析；或是另用程式語言，撰寫程式進行數據處理與分析。

實驗結果

已經有許多實驗使用音效卡高精度計時器，這些實驗包括單擺、自由落體、BB 彈速、BZ 震盪反應速率、在金屬棒中的聲速…（見參考文獻中之各作品）。

在單擺實驗中，單用肉眼判讀擺線通過的時刻，單擺週期的精確度可以達到 0.0002 秒左右。目前有些音效卡，最高紀錄頻率超過 96k Hz，以經確認可以提高時刻判讀的精確度。

單擺：測量單擺的週期，推算重力加速度 g 值，以及週期變化的原因

自由落體：測量自由落體通過兩定點的時刻，推算重力加速度 g 值

測量聲速：測量聲音通過兩定點的時刻，推算聲速。

BB 槍射出的子彈速率：測量 BB 彈通過各定點的時刻，推算其速率。

展望

將音效卡當作高精度計時器，目前主要仍以人力來判讀事件發生時刻，而且個人判讀的精確度不一。如果能完成自動判讀事件發生時刻的軟體，除了節省大量人力外，也可以提升時刻的精確度。目前已經有實驗室完成部分介面（胡穎舒、吳先球、王珍甯、梁華才，2006 年），但仍需擴展其功能與親和性。

由於時間精確度在 0.001 秒以內，可以測出一些實驗結果的變動，對實際的實驗，進行深層的科學探討與研究。例如可以測出單擺在不同時段的週期變動，也可以測出一般單擺是否具備嚴格等時性，或是空氣阻力不可忽略的輕物單擺之週期變化…。

在目前，多數科學實驗採用音效卡，只是單純的作為高精度計時器，要的是精確的時刻，並不在意音訊的強弱。但是有一些實驗，除了時刻以外，也分析訊號的強弱作為物理參數。例如作為光度計、顏色變化…等。也有一些實驗用音效卡作為示波器、溫度計（配合光敏電阻）…。例如，在化學 BZ 震盪反應的實驗，將音效卡麥克風輸入端接光敏電阻，發射訊號端為 LED，可以測量 LED 光束通過溶液的光度變化，獲得震盪反應的週期。其他例子參見附錄。

相信在未來數年，音效卡在科學實驗量測上的應用，會朝向多元發展，可以用來量測溫度、光度、震度…。

參考文獻

陳昱江，2003 年，利用音效卡測量時間之研究，第二屆旺宏科學獎，指導老師：金佳龍

胡穎舒、吳先球、王珍甯、梁華才，2006 年，基於音效卡的資料或取系統在電磁感應實驗教學中的應用，亞太科學教育論壇第七期，第二冊，文章四

潘錫明，2009 年，認識發光二極體，《科學發展》135 期，6-11 頁。

吳彥儀，2009 年，彈無虛發 — 聽音辨位的研究及其應用，第九屆旺宏科學獎

李靜如、橫本高広、洪紫芸、陳冠綺，2010 年，哇！我把速度「錄」起來了 — 音效卡計時器及其應用，中華民國第 50 屆中小學科展國中組物理科，指導老師：魏金羊、湯慧玲

洪子茹、黃子娟，2010 年，暗送秋波 — 音效卡計時器，中華民國第 50 屆中小學科展高中組生活與應用科學，指導老師：徐以誠、曾昭銘

李宛倫、徐子涵、吳穎婕，2011 年國際科展 2 等獎，音效卡計時器及其應用，指導老師：徐以誠、賈忠婷

徐以誠，超乎你的想像—音效卡也可以很有學問，PPT 簡報檔

附錄：可進行之實驗參考

單擺：測量單擺的週期，將周期的精確度推至 10 萬分之一秒，距離的精確度推至 0.1mm，重力加速度 g 值精確度推至萬分之一或更小，可以推論單擺週期變化的原因：月球潮汐力的影響、懸掛點的摩擦力、空氣的阻力…。

自由落體：測量自由落體通過兩定點的時刻，推算重力加速度 g 值，看看能否達到一毫伽（1 mG）的精確度。

測量聲速：測量聲音通過兩定點的時刻，推算聲速與空氣溫度、壓力之關係，或是介質中的聲速與材質、密度、溫度的關係，或是空氣經過不同介質之關

係。能否將其作為超聲波探測器？

測量子彈速率：探討空氣阻力與速度之關係。

測量顏色變化週期：搭配光敏電阻與雙色 LED。

測量地震波：搭配類比訊號加速規測量地震波之波速與震央測定。