

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 工程學(一)科

探究精神獎

052314

可抗頻閃效應干擾及自適應光源之多國版本硬  
幣分類機

學校名稱：臺北市立木柵高級工業職業學校

作者：  職三 王立行  職三 賴資敏  職三 蕭仲原	指導老師：  鄭百恩  黃可穎
---	-----------------------------

關鍵詞：硬幣分類機、自適應光源、抗頻閃效應干擾

## 摘要:

這個專題是利用現場日光燈源當作偵測媒介，達成偵測硬幣及計數功能。製作過程中，遇到了許多誤差方面的問題，我們都堅持使用數學理論與程式技巧來克服。除充分利用了單晶片的功能，也讓機台的體積得以縮小。且因為硬體電路簡單，除了維修方便，成本亦能降低。此外，運用電腦繪製 3D 設計圖，將各項參數精確化，配合雷射切割機，使我們的作品可以被大量複製。成果不只可用在硬幣分類機，未來更可運用在其他的即時偵測機制上，不會侷限於單一裝置。

## 壹、研究動機

暑假的時候，我們因為好奇心一同向導師學習 Arduino 程式語言，開學後我們看到一部利用直徑差異區分出不同種類硬幣的網路影片，覺得非常的有趣。查詢了網路相關影片並參考多年前學長留下的作品，發現大多是利用機械結構(如微動開關…等)來判定個數，於是我們想要更精緻設計並改成利用光感測的方式，結合程式基礎能力來加入計數功能。因緣際會下，我們到馬來西亞分享製作過程，發現了螢光燈會產生人眼無法察覺的閃爍(頻閃效應)，會影響我們原先設計的偵測機制。這更引起了我們的興趣想深入研究，進而設計一台可利用現場燈光源達成計數功能且可跨國使用的硬幣分類機。

## 貳、研究目的

我們使用光敏電阻來達成非接觸偵測並提高耐用度，利用單晶片的運算能力結合數學理論與程式技巧使佈線成本降到最低。本篇論文的製作目的整理為三大點如下：

一、節省資源為目標，製作出穩定可跨國使用的多國版硬幣分類機硬體。

設計細節考慮使用者感受，幾乎無須額外設定，設計之初即使用電腦 3D 繪圖詳細規格化，利用雷射切割機，可精準製造且量產，使作品達到精緻且可量產。機台分類的硬幣不受限於台灣硬幣，只需一母機台和針對各國硬幣設計的可更換式子組件就可擴充應用於分類其他國家的硬幣。

## 二、材料最簡化與軟體導向思維

利用數學理論與程式技巧，以軟體取代硬體濾波，將單晶片的**效果發揮至最大**。僅用一顆單晶片即可達成判定物體通過的所有功能，使成本最低、結構最精簡。

## 三、自動適應現場光源變化

不嚴格要求光源環境，在閃爍光源下仍能順利使用外，並可自動適應現場光源變化，使作品能減少對光源條件的限制，自動適應現場光源變化，克服頻閃效應干擾。

## 四、以軟體導向思維，結合硬體知識和數學理論

得出可延續用於其他設備的偵測方法，並比較軟硬體解決方案差異。並比較使用軟、硬體兩者間的差異。

# 參、文獻探討

## 一、頻閃效應對偵測機制的影響

「日光燈管，簡單來說就是個氣體放電管」(吳承勸、丁偉庭、謝凱閔、曾彥筑，2017)(註 1)，發光原理是利用燈絲加熱放電後與原子間碰撞產生紫外線，再撞擊管壁上的螢光物質而變成可見光。會因交流電頻率(全球各國約為 50~60Hz)產生閃爍現象(稱頻閃效應)。「**驅動螢光燈工作的安定器可分為傳統電磁式安定器和電子式安定器**」(陳昱榮，2006)(註 2)，目前國內大多已安裝新型的電子式安定器，藉由提高頻率使光源穩定。但目前世界上依然有部分區域的螢光燈並未更換，偵測時可看出數值劇烈上下變動(圖 1)。若直接計算光源亮度的微分值將導致數值亦變動劇烈，因此我們必須想辦法去除交流電的頻率干擾，取出大範圍變化量來做判定(如圖 2)。

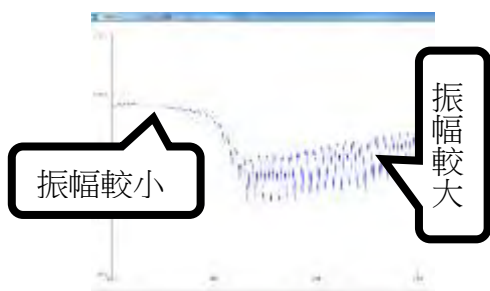


圖 1 安裝電子式安定器的差異

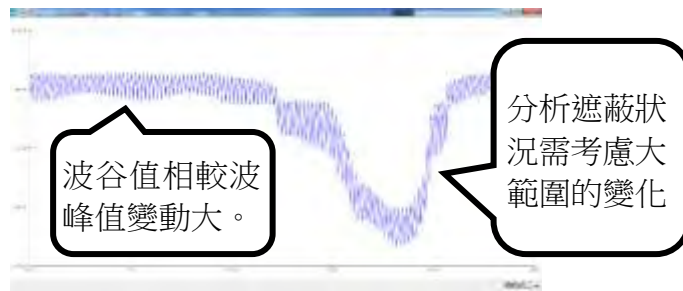


圖 2 頻閃效應下觀察波形變化特性

## 二、 如何利用直徑分類硬幣

我們查閱並歸納網路資料(註 3、註 4)所提供的硬體架構及硬幣分類方式，發現都是利用直徑來區分不同種類的硬幣。原理是利用重力讓硬幣沿傾斜的分類板邊緣自然落下，並在分類板上依硬幣直徑由小到大切出數個不同寬度的矩形框，使硬幣在落下的過程中自動分類(如圖 3)，再於各矩形框下方設置槽位承接落下的硬幣。經實驗後發現效果良好，故本專題採用為分類硬幣的方式。

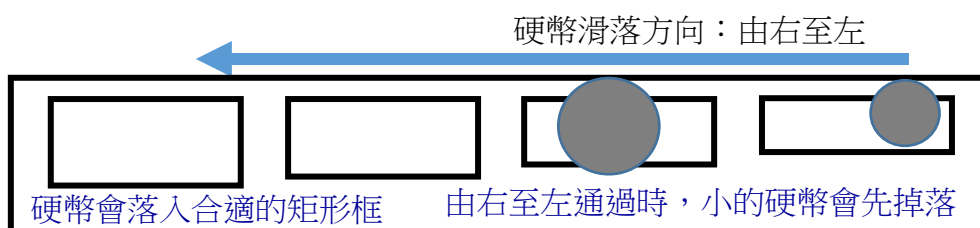


圖 3 分類板示意圖

## 肆、 研究設備器材

本研究探究如何以軟體取代硬體，其中 OPA 運算放大器是用來比較兩者差異，在最終成品中並未使用。

### 一、 Arduino

「Arduino 是一個開放原始碼的 Simple I/O 平台」(施士文，2014)(註 5)，由硬體電路板和軟體編成介面組成，使用者可利用此電路板和其他傳感器設計自己的作品。Arduino 有許多型號，本作品使用 Arduino Pro mini 5V/ 16Mhz (圖 4)，使用 ATMEGA 328P-AU 單晶片，具有 8 個類比輸入腳位與 14 個數位腳位。

## 二、LCD 液晶顯示器

液晶顯示器是一種小型螢幕，依每列字數及列數有各種型號。本作品使用的規格是 LCD1602(如圖 5)，每列 16 個字，共兩列，可同時顯示出 32 個字元，用來循環顯示各硬幣個數和總金額。

## 三、光敏電阻

「光敏電阻(CdS)為一種利用光導電效應(Photoconductive Effect)的半導體光感測器元件」(鐘國家、謝勝治，2001)(註 6)，當光強度較小時，其阻抗高；反之，阻抗就會變得極低。其靈敏度隨製造材質對應個別的波長，例如欲偵測綠光則可挑選對其反應較敏感的型號。本作品使用 4mm(直徑)光敏電阻，來偵測室內螢光燈源，因白光由各種波長混合而成，故採一般光敏電阻即可。本作品使用健甫(JIAN FUU)股份有限公司所生產的 RC4-SEN9004 光敏電阻(圖 6 左側)。

## 四、排阻

排阻是將多個相同電阻封裝在一起的元件，其體積小可節省電路空間，在需要並聯多個電阻的情況非常實用。本作品使用 9 腳位的 A 型 10K 排阻，除做記號者為公共引腳外，其餘八個針腳內部均連接一個電阻(圖 6 右側)。以此元件搭配光敏電阻做為本專題的偵測系統。

## 五、OPA 運算放大器

電子學課所教的元件，搭配不同的線路可以達到微分、積分、濾波等功能，也是老師推薦我們拿來濾除雜訊的元件。我們使用型號 UA741CP(圖 7)來實作濾波器，並與軟體濾波法互相比較參考，做優劣分析。



圖 4 Arduino Pro



圖 5 LCD 1602



圖 6 光敏電阻(左)與排阻



圖 7 運算放大器

## 伍、研究過程或方法

以下將詳細介紹作品的設計到軟體判定方式，包含理論探討與實作比較。

### 一、製作流程時間

本作品的製作過程是不斷地來回修正硬體與軟體，其時間如下：

表 1 製作流程

任務	年份和月份		106						107									
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1.學習程式語言	[Task 1: Learning programming language, spanning from July 2006 to November 2007]																	
2.試作紙板模型			[Task 2: Prototype cardboard model, spanning from September 2006 to November 2006]															
3.製作瓦楞板模型以驗證					[Task 3: Make corrugated board model for verification, spanning from November 2006 to December 2006]													
4.實驗電路與偵測方式改進					[Task 4: Improve experimental circuit and detection method, spanning from November 2006 to April 2007]													
5.繪製多國分類機 3D 設計圖		[Task 5: Draw 3D design drawing of multi-country classifier, spanning from September 2006 to November 2007]																
6.探討程式軟體的判定方法										[Task 6: Discuss software judgment method, spanning from April 2007 to May 2007]								
7.撰寫多國分類機版本程式								[Task 7: Write multi-country classifier version program, spanning from February 2007 to September 2007]										
8.查詢頻閃效應之相關資料											[Task 8: Query related data of stroboscopic effect, spanning from June 2007 to September 2007]							
9.實驗查詢到的軟體濾波法											[Task 9: Software filtering method from experimental query, spanning from June 2007 to July 2007]							
11.測試硬體解決方法																[Task 11: Test hardware solution method, spanning from October 2007 to November 2007]		
12.自行設計軟體解決方法												[Task 12: Self-design software solution method, spanning from July 2007 to October 2007]						
13.撰寫本報告														[Task 13: Write this report, spanning from August 2007 to November 2007]				

## 二、機台設計過程

### (一) 機台尺寸數據蒐集

我們參考影片裡的模型概念，使用紙板先實驗硬幣軌道的合適傾斜角度和機台合適的尺寸，將此尺寸數據紀錄下來(圖 8)。紙板版本因天候而受潮毀壞，我們提升為瓦楞板材質，並開始加入電路實作計數功能(圖 9)。



圖 8 紙板模型實驗機台尺寸

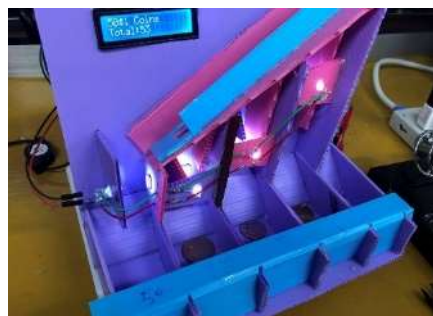


圖 9 瓦楞板機台開始實作計數功能

### (二) 雷射切割使規格一致且達成量產

因緣際會下我們有機會出國到馬來西亞分享實作經驗，為了讓機台可以支援當地硬幣與現場操作，我們把作品再提升為適用多國的版本。材料改用壓克力板以及結合電腦 3D 繪圖(圖 10, 使用 Sketch Up 軟體)與雷射切割(圖 11), 讓規格精準一致, 以達成量產需求。此外，將機台分成各部組件也較方便組裝與運送。

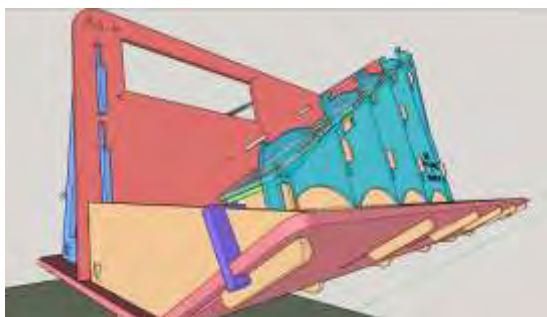


圖 10 電腦 3D 繪圖

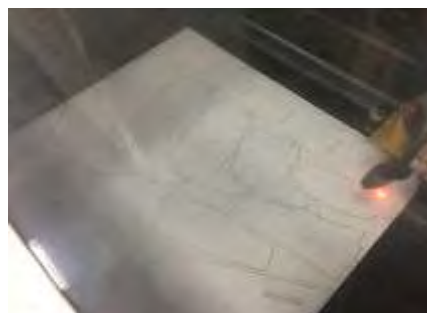


圖 11 雷射切割使規格精準

### (三) L型卡榫與圓角設計

因為一開始就朝向量產思考，在設計上更加注重使用者體驗。為了避免使用具毒性的揮發性黏著劑(如氯仿)，我們想要改為使用榫卯的方式連接。首先我們嘗試將榫設計為梯形，但經過測試後發現強行組裝會造成壓克力板破裂(圖 12)，所以我們更換成 L 型卡榫(圖 13)，用結構穩固機台。並且，我們也考慮到使用者的安全，避免切割後尖銳傷人，把轉角處導為圓弧型(圖 14)。並且這樣的設計也能讓 L 型卡榫較容易放入對應的位置。最後在機身版面加入編號，使能快速辨別板材完成組裝。

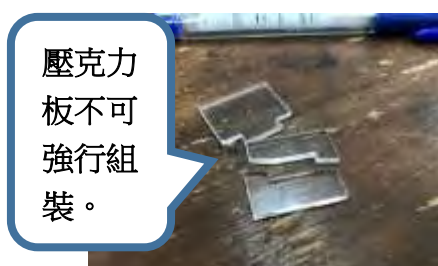


圖 12 壓克力材質沒有彈性

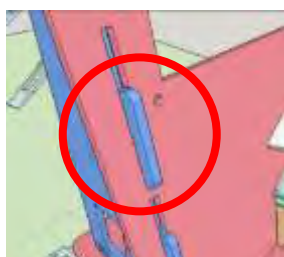


圖 13 改為 L 型卡榫



圖 14 轉角處導為圓弧型

## 三、 室內環境的最佳分壓電阻探討

### (一) 理論推導

利用光敏電阻會隨光照度改變阻值，故量測電壓可反得知光照度的改變。但若直接將 Arduino 的類比偵測腳位接上光敏電阻，將直接與電壓源形成並聯，而僅能得到電壓源的大小。故應將光敏電阻串連一個固定阻值的分壓電阻，藉測量其兩端的電壓值來呈現照度變化(如圖 15)，此分壓電阻亦會影響偵測靈敏度。

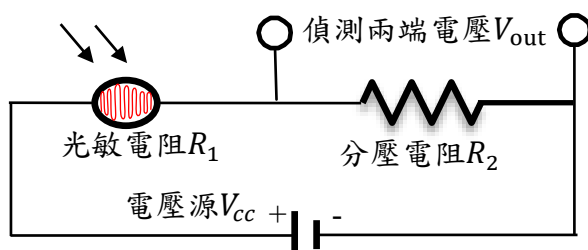


圖 15 利用分壓電阻推得光照度



我們希望使數值變化最明顯(即獲得最高靈敏度)以利後續判定，即在相同的照度變化範圍下，所對應量測的電壓差越大越好。因此須要知道分壓電阻應該使用的最佳阻值大小。我們假設電壓源為 $V_{cc}$ 、光敏電阻和分壓電阻的阻值分別為 $R_1$ 、 $R_2$ ，根據分壓原理，可知分壓電阻兩端的電壓值 $V_{out}$ 為：

$$V_{out} = V_{cc} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

又考慮已知最高與最低照度的情況下，我們可將光敏電阻視為阻值在 $a$ 到 $b$ 之間變動的可變電阻，則其兩種狀態分別對應 $R_2$ 兩端的電壓值為：

$$V_a = V_{cc} \cdot \frac{R_2}{a + R_2} \quad V_b = V_{cc} \cdot \frac{R_2}{b + R_2}$$

最佳靈敏度發生在電壓差值 $V_a - V_b$ 為最大時，我們可以假設此時所使用的分壓電阻值 $R_2 = x$ ，列出電壓差方程式 $f(x)$ ：

$$\begin{aligned} f(x) &= V_a - V_b = V_{cc} \cdot \left( \frac{x}{a + x} - \frac{x}{b + x} \right) \\ &= [V_{cc} \cdot (b - a)] \cdot \frac{x}{(a + x)(b + x)} \end{aligned}$$

為求出 $f(x)$ 最大值發生時的分壓電阻值 $x$ 為多少，故令 $f(x)$ 的一階微分為0。

$$\begin{aligned} f'(x) &= [V_{cc} \cdot (b - a)] \cdot \frac{1 \cdot [(a + x)(b + x)] - x \cdot [1 \cdot (b + x) + (a + x) \cdot 1]}{[(a + x)(b + x)]^2} \\ &= [V_{cc} \cdot (b - a)] \cdot \frac{ab - x^2}{[(a + x)(b + x)]^2} = 0 \end{aligned}$$

即可得到當分壓電阻的阻值 $x = R_2 = \sqrt{ab}$ 時，會達到最佳靈敏度。

## (二) 實作驗證

配合 APP 軟體—照度計(iOS 系統，使用 iPhoneSE)，在室內光照度為 268 Lux 的環境下，使用數位型三用電表測出光敏的亮阻值 $a$ 與暗阻值 $b$ (如圖 16、圖 17)分別約為  $1.92k\Omega$  與  $45.6k\Omega$ ，代入公式得出分壓電阻值  $R_2 = \sqrt{1.92k \times 45.6k} \cong 9.36k$ 。



圖 16 實測亮阻值



圖 17 實測暗阻值



圖 18 多個分壓電阻阻值比較

接著，我們取出分壓電阻的理論近似值 10k 前後數個不同阻值進行比較(如圖 18)。我們先將對應的電壓數值調整為相同，再用鐵桶一起遮蔽光源而得到電壓變化程度比較(如圖 19)，可明顯看到理論值確實能達到最佳靈敏度(如表 2)。

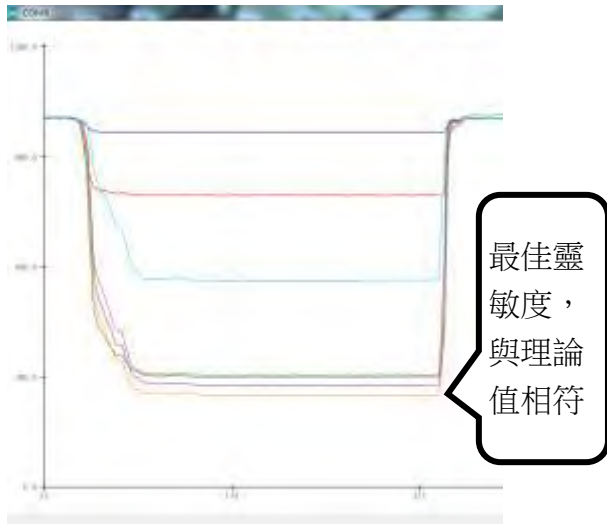


圖 19 變化程度比較圖

表 2 不同分壓電阻的電壓變化程度排名

變化排名	對應顏色	阻值	測試腳位
7	深藍	$51\Omega$	A0
6	紅	$510\Omega$	A1
5	天藍	$100k\Omega$	A6
4	綠	$4.7k\Omega$	A2
3	黑	$33k\Omega$	A5
2	紫	$20k\Omega$	A4
1	黃	$10k\Omega$	A3

備註：最高亮度為 268 Lux 的環境下測試

#### 四、 硬幣通過個數的偵測原理

##### (一) 非接觸偵測硬幣個數的初始想法

我們想要避免使用接觸式的機械結構來偵測硬幣個數以增加耐用度，因此利用光來達成非接觸偵測。先將光敏電阻裝設在硬幣必會通過的位置(稱為偵測點，如圖 20 所示)，並使該處維持高亮度。利用光敏電阻對亮度敏感的特性，當硬幣通過時便會暫時遮蔽一下光源，使偵測點先變暗又恢復變亮，產生亮度數值變化(如圖 21)。每當程式判斷此行為發生一次，我們便能知道有一枚硬幣通過。

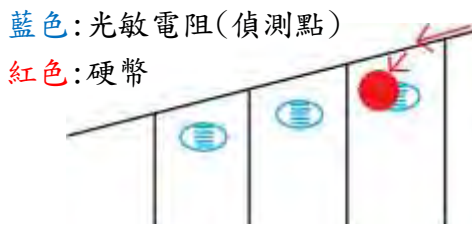


圖 20 硬幣通過偵測點示意圖

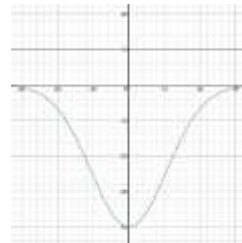


圖 21 亮度變化模擬圖

##### (二) 實作計數功能所發現的問題

實作計數功能後，竟發生數次明顯偵測不到硬幣掉落的狀況？經過多次試驗後才發現，如未規劃硬幣掉落的方式，有可能會發生未通過偵測點的情況！所以我們在軌道矩形框下方的左右兩側加入擋板(圖 22)，限制掉落路徑才能確保硬幣通過偵測點，這使我們瞭解到硬體結構設計的重要性！



擋板可限制硬幣掉落範圍，但無法避免如紅色軌跡的硬幣翻轉現象。

圖 22 未控制通過路徑會有硬幣翻轉現象



硬幣翻轉會造成難以判斷通過個數。

圖 23 硬幣通過時的遮光量問題

雖然裝上了擋板可使硬幣必通過偵測點，但數據上卻常在同時間範圍內產生兩個亮度低點(圖 23)。也就是說，有時候程式會誤判為兩個硬幣！追根究柢才發現，硬幣在掉落過程中會在兩擋板間碰撞翻滾，以致多次遮蔽光敏電阻，且每次硬幣通過的時間皆不一致。經多次實驗皆難以區分連續兩枚硬幣通過與單枚硬幣翻滾的差異，迫使我们再度重新思考硬體設計。

### (三) 計數偵測方式的修正

為了避免硬幣翻轉造成軟體判定的困難，我們更改偵測點的位置為朝上平貼於軌道。如此一來，硬幣沿著軌道自然下滑時可完全遮蔽光敏電阻，且同直徑的硬幣，通過光敏電阻的時間可以控制到幾乎相同。考量使用較小的光敏電阻，硬幣遮蔽的時間較長，故我們選用 4mm 的光敏電阻(圖 24)。除此之外，由於我們改變偵測方向為朝上，故在室內光源穩定的條件下，可以不必自帶 LED 燈，直接利用室內現場的日光燈做為偵測光源(圖 25)。



圖 24 硬幣平貼滑過可完全遮蔽光敏電阻



圖 25 偵測方向更改為上方

## 五、 多國版本的國家別判定

### (一) 利用二進制建立所代表的國家配置表

利用透明壓克力不影響光敏電阻偵測的材質特性，我們製作對應各國家硬幣直徑大小的分離式分類板。在機台上設立三個分類板偵測點(圖 20)，並建立二進制編碼(各國家代碼於表 3)。使用者僅需於剛開機時放入分類板，由軟體依各偵測點的遮

蔽狀態(圖 21)判定代表的國家別，而各國分類版上則依照該國硬幣直徑製作相對應的矩形框。



圖 26 分類板偵測點



圖 27 用分類板遮蔽狀態編碼

表 3 國家代碼配置表

代號	編碼	所代表國家
0	000	未放入分類板
1	001	台灣
2	010	馬來西亞
3	011	新加坡
4	100	未配置
5	101	未配置
6	110	未配置
7	111	未配置

## (二) 利用標準差判斷偵測點是否被遮蔽

我們利用標準差來協助判定分類板偵測點的遮蔽狀態。於剛開機時，先將分類板偵測點其中一個視為待測點(如圖 28)，採樣其前後兩個未遮蔽的光敏電阻 A、B 各二十次，計算平均值 $\bar{X}$ 及標準差 $S$ ，假設所使用的光敏電阻品質一致，則根據常態分布規則，「約有 99.7%的資料，落在距離算數平均數 $\bar{X}$ 三個標準差的範圍內」(陳吳煜，2011)(註 7)，如圖 29 所示。

因為我們的資料是用來推估，根據統計學理論，使我們在待測點的讀值低於 $\bar{X} - 3S$ 時，能宣稱有 99.7%信心認定該待測點並非屬一般未遮蔽的狀態(即該點有遮蔽發生)。我們依此方法分別判定三個偵測點是否被遮蔽，再配合表 3，便能判定放入分類版所屬的國家別，使程式能對應各通道應有的幣值。

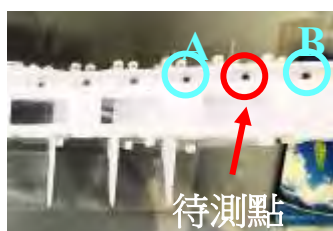


圖 28 判斷待測點是否遮蔽

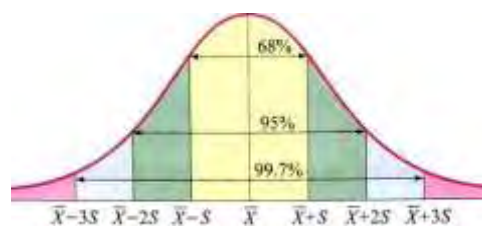


圖 29 常態分佈圖

資料來源：陳吳煜。數學 C(III)(176)(註 8)。新北市：泰

## 六、 硬幣計數的方法探討

起初，我們很簡單的思考當一個硬幣完全遮蔽光敏電阻時，亮度會降到最低，故可藉實驗得出一個足夠小的判準值，若亮度低於該值則視為硬幣通過。但實際測試後發現會發生誤判的狀況，原因是我們採用直接現場光源，而人員探頭查看或手部從上方揮動，皆會造成亮度干擾而計數錯誤。

### (一) 考慮變化率作為判定方法的可行性

我們思考硬幣通過和其它干擾發生時的差異。因硬幣緊貼軌道通過，相較於人手於上方揮動的干擾，除了亮度差值較大以外且同時被影響的時間短。因此可以利用數學課剛好學到的微分觀念來監測亮度變化率，做為辨識硬幣通過的行為特徵。

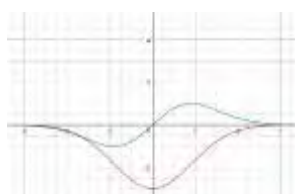


圖 30 一階微分圖形

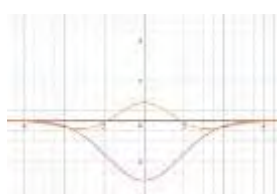


圖 31 二階微分圖形(時長)

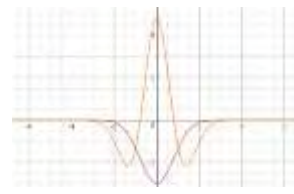


圖 32 二階微分圖形(時短)

我們先利用 Desmos 繪圖網站模擬亮度會先衰減再回復原先值(圖 30、圖 31、圖 32 中的紅色曲線)，觀察其斜率(一階微分值)會先變負數再轉為正數，也就是亮度變化率會先遞減再轉為遞增(即圖 30 中的綠色曲線)。但亦可繼續利用亮度變化曲線凹性向上的部分，其二階微分值為正(圖 31 中的橘色曲線)。

而在相同亮度變動的情況下，因為硬幣通過的時間遠低於人員探頭等干擾的花費時間，造成光源變化快。圖 31 和圖 32 可看出相同亮度變化下，影響時間短，所造成的二階微分值(橘色曲線)會明顯較大。

## (二) 實作驗證(於國內測試)

接著我們用程式來驗證數學理論，在圖 33 中，藍色線是直接偵測到的亮度數值，紅色線是對其取一階微分值，綠色線是取二階微分值。為方便觀察，故將三者數值平移至不同高度。圖 33 模擬了三種狀況，第一部分是人員探頭，光差值大且影響時間長；第二部分是硬幣通過，光差值更大但影響時間短；第三部分是一般雜訊，光差小且影響時間長。一階或二階微分均可用來判定。

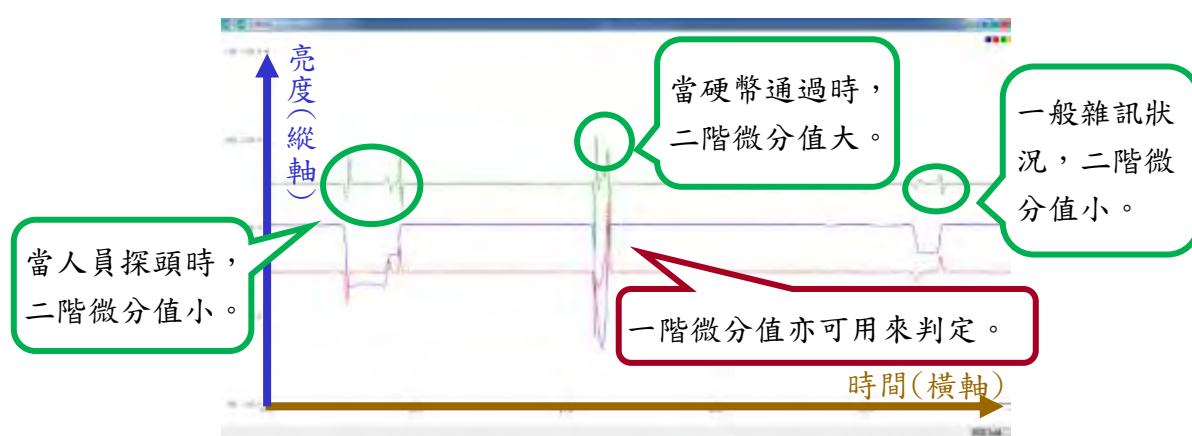


圖 33 穩定光源下的一階、二階微分圖形

因為硬幣通過時，以極快的速度改變光敏電阻所偵測到的亮度，故二階微分值的變化非常明顯，雖然其他干擾也能明顯的降低亮度，但由於速度慢，故其變化率不大。而光差小且影響時間短的狀況可透過設寬容值，忽略亮度過小的變動即可。由圖 33 可發現，所有變化率低的干擾，已可歸類為雜訊。

## (三) 硬幣計數方法與LCD顯示

當硬幣由軌道滑下時，硬幣會依序經過每一個光敏電阻。如有中途落入矩形框中，則會造成前後兩個偵測點的計數差異。將矩形框相鄰兩個光敏電阻的計數值相減，即可得出該格矩形框所落下的硬幣個數。假設圖 34 中，C 點計數為 100，D 點計數為 95，則可得知第三個矩形框中落下了 5 枚硬幣。

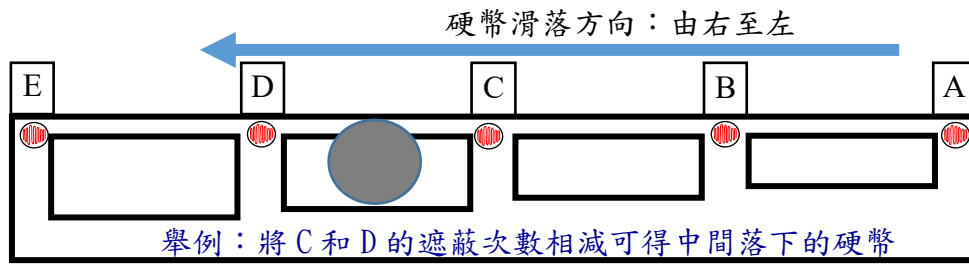


圖 34 硬幣計數方法示意圖

由於分類版上有二進制編碼，可利用程式判別國家，對應直徑由小到大的各個幣值，將所計算的個數後乘上幣值後加總金額，即可將所對應的國家、各通道的幣值與個數和加總後的金額以循環方式顯示在 LCD1602 顯示器上。

## 七、 排除頻閃效應干擾的硬體濾波法

前文提到我們去到馬來西亞發表製作過程及分享經驗，但在國內測試成功的作品，在當地竟然無法正常運作，回國後卻又恢復正常。這引起了我們的興趣，進而發現是受頻閃效應的干擾。因此，我們繼續研究，詳細解決過程會在接下來的部分繼續解說。

### (一) 理論推導

我們請教了科內老師過去的經驗是如何解決頻閃效應的干擾？老師建議我們可以使用 OPA 運算放大器製做 VCVS 二階單一增益低通主動濾波器電路來濾除交流電的頻率雜訊(如圖 35)，其功能是僅讓固定數值以下的頻率通過。

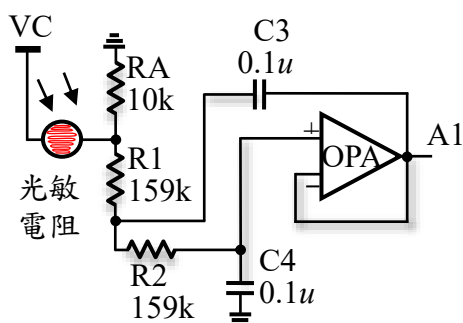


圖 35 二階單一增益低通主動濾波器電路圖

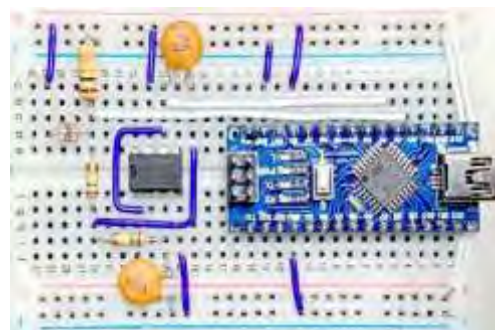


圖 36 二階單一增益低通主動濾波器



經過測試，我們自製的分類機每秒最多不會超過 10 枚硬幣通過，因此我們設定僅讓低於 10 赫茲的頻率通過。假設我們想要僅讓固定數值 $f_c$ 以下的頻率通過，二階低通濾波器的電路公式為

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_3 \cdot C_4}}$$

為簡化材料，故使用相同電容及電阻。假設電容 $C_3 = C_4 = 0.1\mu$ 法拉，電阻 $x = R_1 = R_2$ ，代入公式以計算電阻值 $x$ ，其推導過程如下：

$$10 = \frac{1}{2\pi \sqrt{x^2 \cdot (0.1\mu)^2}} = \frac{1}{2\pi \cdot x \cdot (0.1\mu)}$$

經計算後可得到 $x = R_1 = R_2$  約為  $159k\Omega$ 。再利用麵包板實作出線路(如圖 36)。

## (二) 實作驗證

圖 37 的藍色線為頻閃效應下的原始波形，紅色線為濾波後的波形，藉此觀察硬體濾波的效果。可看到原始光源閃爍的振幅已經降低，且保留了物體通過的變化量，效果十分顯著。由於我們的作品上有八顆光敏電阻，每顆皆須複製相同的硬體線路，十分複雜，故我們想要嘗試僅用軟體而達到相同判定效果。

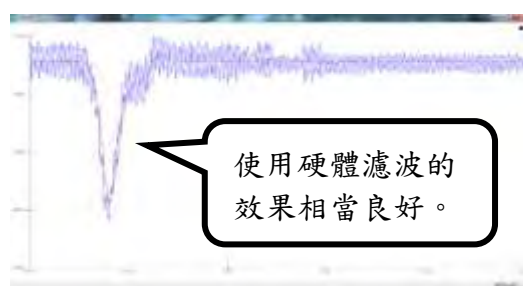


圖 37 使用硬體濾波的前後波形比較

## 八、 頻閃效應下分離出遮蔽時間的軟體方法

頻閃效應下由於亮度劇烈變化，已無法直接使用微分來判定，而我們仍必須要想辦法分離出一枚硬幣通過造成的亮度差與時間差，以下是我們思考時間差的歷程。

## (一) 一般軟體濾波法探討

無論是我們所想到的或是網路找的軟體濾波方法，其原理都是基於平均數或中位數的概念。我們建立一段緩衝區實作軟體濾波，並將藍色線設為原始波形，紅色線設為濾波後的波形。實驗發現，平均數濾波法也會使數值變化減小，且會造成反應稍稍延遲(如圖 38)。而中位數濾波法「對流量、速度等快速變化的參數不宜」(shenhaiyu, 2013)(註 8)，且會忽略極端數值(如圖 39)，此外，還需將緩衝區內的數字不斷排序，消耗大量計算資源使反應更加延遲。

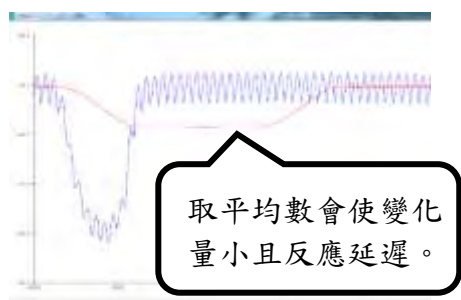


圖 38 平均數濾波使變化反應不明顯

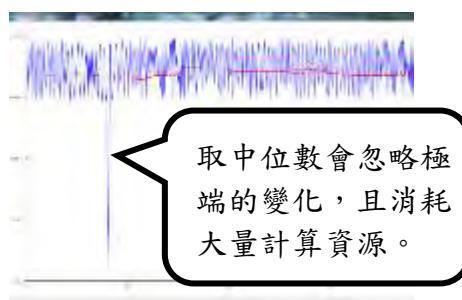


圖 39 中位數濾波無法反映短時間遮蔽

## (二) 自定的軟體濾波法探討

### 1. 將原始波形改為階梯波來觀察

為了保留頻閃效應下遮蔽物通過的低頻波動，我們想到若設定一寬容值，則可將波形整形為階梯波來簡化問題(如圖 40)。此一嘗試刺激了我們的想法，若完全取波峰值連線所形成的階梯波，則可視為最近似於連續變化的波形，亦可視為時時在適應現場光源的變化(如圖 41)。

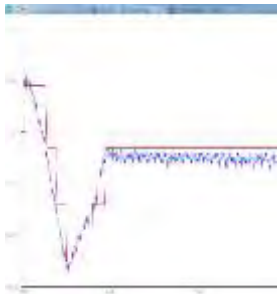


圖 40 將波形簡化為階梯波

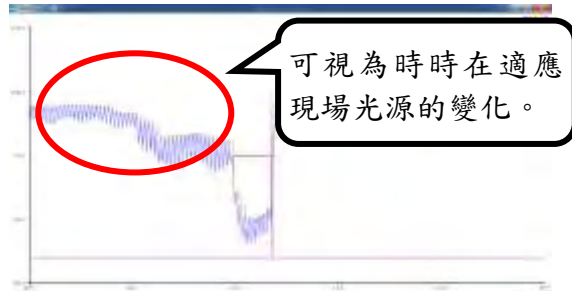


圖 41 波峰連接形成最近似連續變化的波形

## 2. 定義「峰對峰變動臨界值」和「波峰變動臨界值」

由上述實驗啟發，想到可設定一個數值劇減的臨界值，藉此來分辨硬幣開始通過(如圖 42)。我們發現在同一頻閃效應的光源環境下，其每次測得的峰對峰值(波峰到波谷的距離)和波峰值的變動兩者皆在一定程度範圍內。故我們於系統開機時各自採樣 100 次「峰對峰值」與連續兩次的「波峰差值」(如圖 43)，並計算出各自的三倍標準差值，分別定義為兩者的「變動臨界值」。

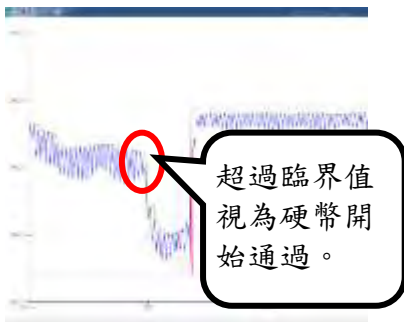


圖 42 設定判定開始通過的臨界值

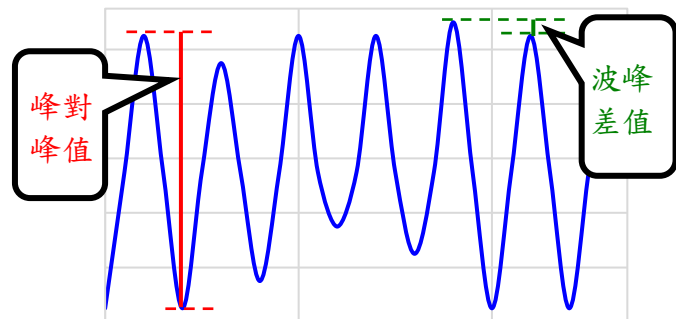


圖 43 定義「峰對峰值」與「波峰差值」

## 3. 硬幣通過開始、結束與判定接受的準則

由統計學理論知，當偵測數值與平均值相差超過三倍標準差時，可使我們在 99.7% 的信心水準下，相信數值發生了劇變，以此來定義遮蔽狀態的開始或結束。在頻閃效應狀態下，我們不斷檢查「峰對峰值」與「波峰差值」，而將「遮蔽開始」定義為符合以下一種：

- (1) 前後峰對峰值相差超過「峰對峰變動臨界值」。
- (2) 前後波峰差值相差超過「波峰差變動臨界值」。

當「遮蔽開始」後，立即將前次的波峰值(即遮蔽發生前的最大亮度)，稱為「基準值」，並開始記錄亮度最小值。由於硬幣直徑固定，通過軌道時的遮蔽時間相當穩定(紀錄於表 4)。若遮蔽超過平均時間(millis)，則解除判定狀態(視為外在干擾)，繼續取波峰值適應光源變化。若當前亮度返回基準值附近，視為數值劇變結束。藉由不斷比較，我們將「遮蔽結束」定義為符合以下一種：

- (1) 遮蔽時間超過平均的硬幣通過時間(見表 4)。
- (2) 當前亮度與「基準值」相差小於「峰對峰變動臨界值」。

有了遮蔽開始與結束的定義，便可排除長時間遮蔽的干擾。因為硬幣通過所造成特性為亮度變化大與時間短，可藉由遮蔽時間內的「基準值與亮度最小值的差值」與「遮蔽時間差」，計算其變化率，若變化率夠大才視為硬幣通過，符合我們要偵測的硬幣特性。

表 4 各國不同硬幣在硬幣分類機上通過的平均時間(millis)

代號	1	2	3
國別/幣名	台灣/新台幣 NTD	馬來西亞/令吉 RM	新加坡/元 S\$
幣值/直徑	1 元/20mm	5 sen/17.78 mm	5 cents/16.75mm
通過時間	73millis	80 millis	56 millis
幣值	5 元/22mm	10 sen/18.80mm	10 cents/16.75mm
通過時間	60 millis	33 millis	32 millis
幣值	10 元/26mm	20 sen/20.60mm	20 cents/21.36mm
通過時間	55 millis	28 millis	26 millis
幣值	20 元/26.85mm	50 sen/22.65mm	50 cents/24.66mm
通過時間	52 millis	29 millis	28 millis
幣值	50 元/28mm		100 cents/22.40mm
通過時間	46 millis		25 millis
備註：皆以 2018 年測試已發行的最新版硬幣，在機台水平狀態時測量。			

#### 4. 軟體判定的實驗結果

圖 44 與圖 45 為實作的效果展示，「波峰值」為綠色線，「基準值」為紅色線，「最小波谷值」為黃色線。若遮蔽時間過久則重新適應光源，不會造成判定久佔的狀況(如圖 44)。而一旦判定遮蔽開始，若亮度變化率大才會判定為硬幣通過，而排除人員活動的干擾，不會被誤判，結果符合預期。

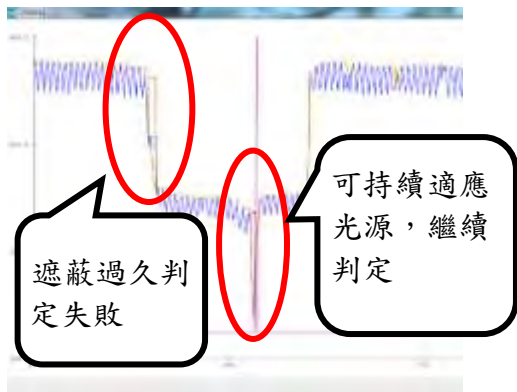


圖 44 時間先決與自適應光源

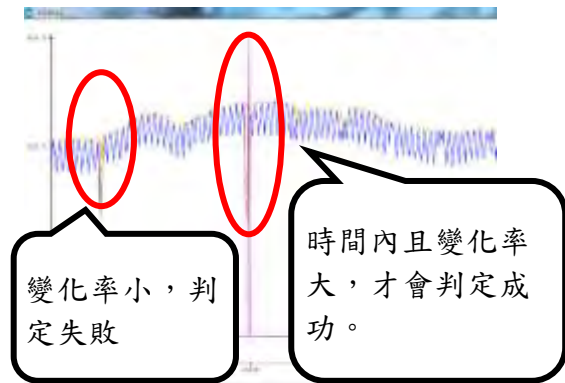


圖 45 時間內檢查變化率來判定

#### 九、 找出不同亮度環境下的硬幣區分值函數

因為我們的作品是利用現場光源進行偵測，改變了環境的現場亮度，硬幣通過的變化率就會跟著不同，我們亦不可能在每種亮度下都找一個變化率判準值，在指導老師的幫助下，我們學習利用四組不同現場亮度及硬幣遮蔽的數據，討論如何找到「預測」函數，並比較其優劣性。

##### 1.採樣不同現場光源下區分硬幣的亮度值：

為了排除如人手由上方揮過造成的誤判，我們需要找到一個可以區分是否為硬幣通過的亮度判定標準。因為硬幣在平貼光敏電阻滑過時，造成的亮度值最低，我們在四個不同的亮度環境下測試，分別紀錄人手在光敏電阻上方 1 公分處揮過和硬

幣滑落遮蔽的亮度值，取兩者平均數作為硬幣區分值(如表 5)。若遮蔽期間的最低亮度值高於硬幣區分值，判定為非硬幣物品通過，反之，視為硬幣通過。

表 5 實驗取得現場亮度與判定值的數據

編號	現場亮度值 x (環境條件)	手於上方揮過 (實驗值 A)	硬幣通過 (實驗值 B)	硬幣區分值 y (A+B)/2
1	641	275	230	252.5
2	670	340	300	320
3	812	432	391	411.5
4	864	514	436	475
備註：亮度值為 0~1023				

## 2.拉格朗日(Lagrange)差值法

利用拉格朗日(Lagrange)差值法，可找出一條通過四個數據點的函數(如圖 46 的紫色線)，在紫色線以上的數值視為雜訊，以下則判定為硬幣通過。但是，我們發現拉格朗日曲線，能預測的範圍幾乎只能在實測的上、下界(641 到 864 之間)。超過兩端點後，由於三次曲線特性會迅速遞增而無法推估實測值以外的硬幣區分值。

由圖 46 可見當現場亮度值超過 900 後，硬幣區分值會迅速提高，造成手揮動造成的無法被判定為雜訊。根據多項式函數特性，再加入數據所得到的更高次函數會愈無法用來預測。我們列出拉格朗日差值法的公式如下：

$$y = 252.5 \cdot \frac{(x - 670)(x - 812)(x - 864)}{(641 - 670)(641 - 812)(641 - 864)} + 320 \cdot \frac{(x - 641)(x - 812)(x - 864)}{(670 - 641)(670 - 812)(670 - 864)} \\ + 411.5 \cdot \frac{(x - 641)(x - 670)(x - 864)}{(812 - 641)(812 - 670)(812 - 864)} + 475 \cdot \frac{(x - 670)(x - 670)(x - 812)}{(864 - 641)(864 - 670)(864 - 812)}$$

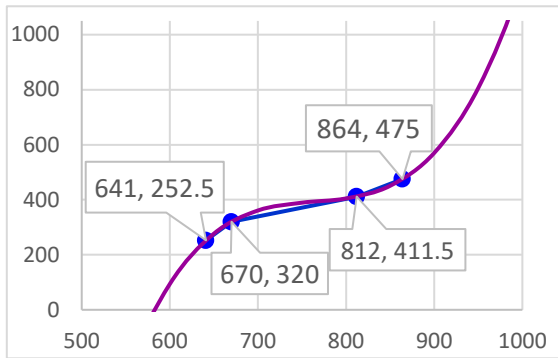


圖 46 拉格朗日差值法

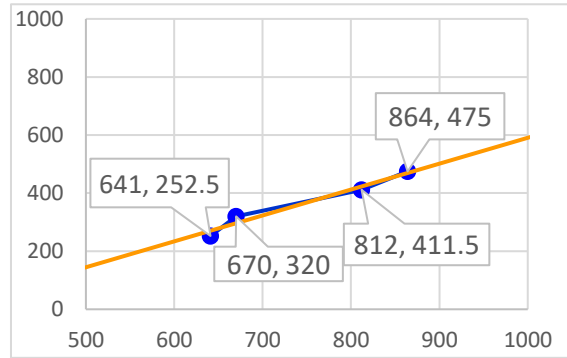


圖 47 線性迴歸法

### 3.線性迴歸(Linear regression)法

迴歸直線是給一組數據所找到的線性方程式，能使殘差平方和最小，簡單來說就是可以求出最接近所有數據點的直線。若把當前的光敏電阻值設為X，對應到的硬幣區分值設為Y，就能利用我們求出來的迴歸直線「進而利用X來偵測Y的值」(許志農，2010)(註9)，達到預測的效果。由於計算太過複雜，藉由老師指導，我們利用 Excel2016 試算表軟體的趨勢線功能(如圖 48)，獲得線性迴歸直線的公式如下：

$$y = 0.8918x + 301.18$$

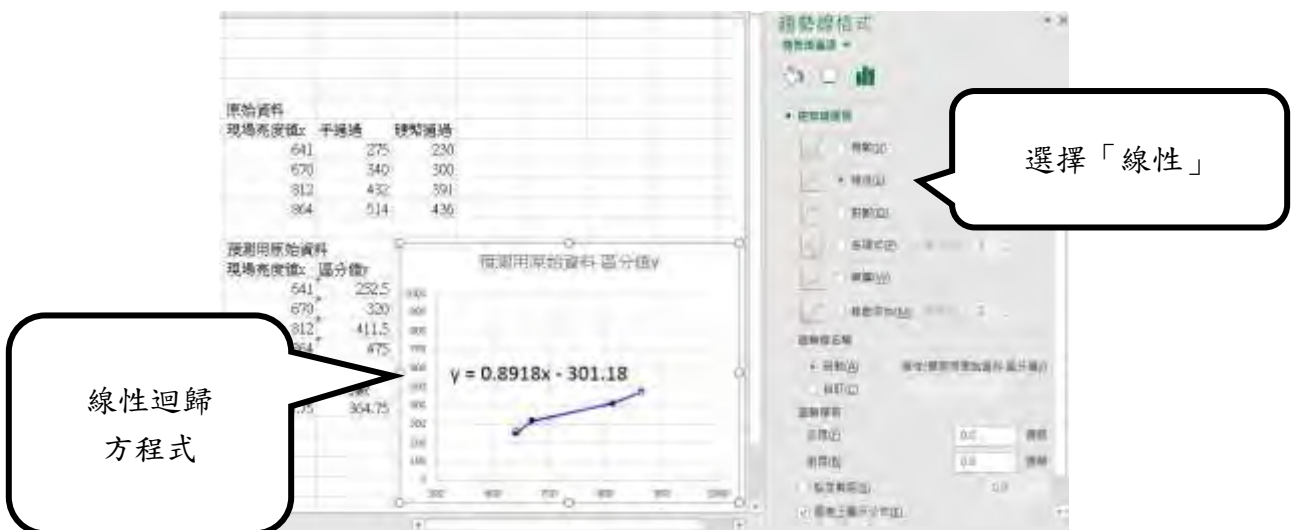


圖 48 利用 Excel 的趨勢線功能求出線性迴歸方程式

接著我們比較拉格朗日差值法與線性迴歸法的差異。雖然使用線性迴歸法不會通過所有的數據點，但其函數為一次函數，比拉格朗日差值法更能有效的預測判準值(如圖 47 的橙色線)。因此，最後我們採用線性迴歸法作為區分值函數。

#### 十、 完整判定硬幣通過的流程

經過上述討論，我們已成功得出亮度差與時間差的關係，藉此可自動判定不同亮度下，硬幣通過的變化率判定值，完整的流程規則如下：

- 1.當「遮蔽開始」時，將前次波峰值儲存為「基準值」。
- 2.遮蔽期間持續更新「最小波谷值」與記錄「遮蔽時間」。
- 3.當符合「遮蔽結束的判準」的其中一種，視為遮蔽結束。
- 4.將「基準值」代入硬幣區分值函數得出理論的硬幣遮蔽亮度。
- 5.利用基準值、理論遮蔽亮度和硬幣掉落的平均時間，計算出「判定變化率」。
- 6.計算遮蔽期間的斜率，若大於「判定變化率」才將通過個數值加一。

#### 十一、 補助外加光源板與手機藍牙互動

雖然現場亮度過低已非一般使用狀況，但我們仍提供輔助光源板的方案。使用黑色壓克力板為底色降低漏光現象，背面黏貼 LED 燈條，接觸點則用錫箔紙擴大導電面積以利放入，利用 LED 燈不會有頻閃效應的特性提供輔助光源。



圖 49 使用 LED 燈條製作的光源板



此外亦結合藍牙模組，可將硬幣數量與總金額即時同步傳送至手機，達成與行動裝置的結合。



圖 50 利用藍牙與行動裝置互動

十二、軟體判定流程圖

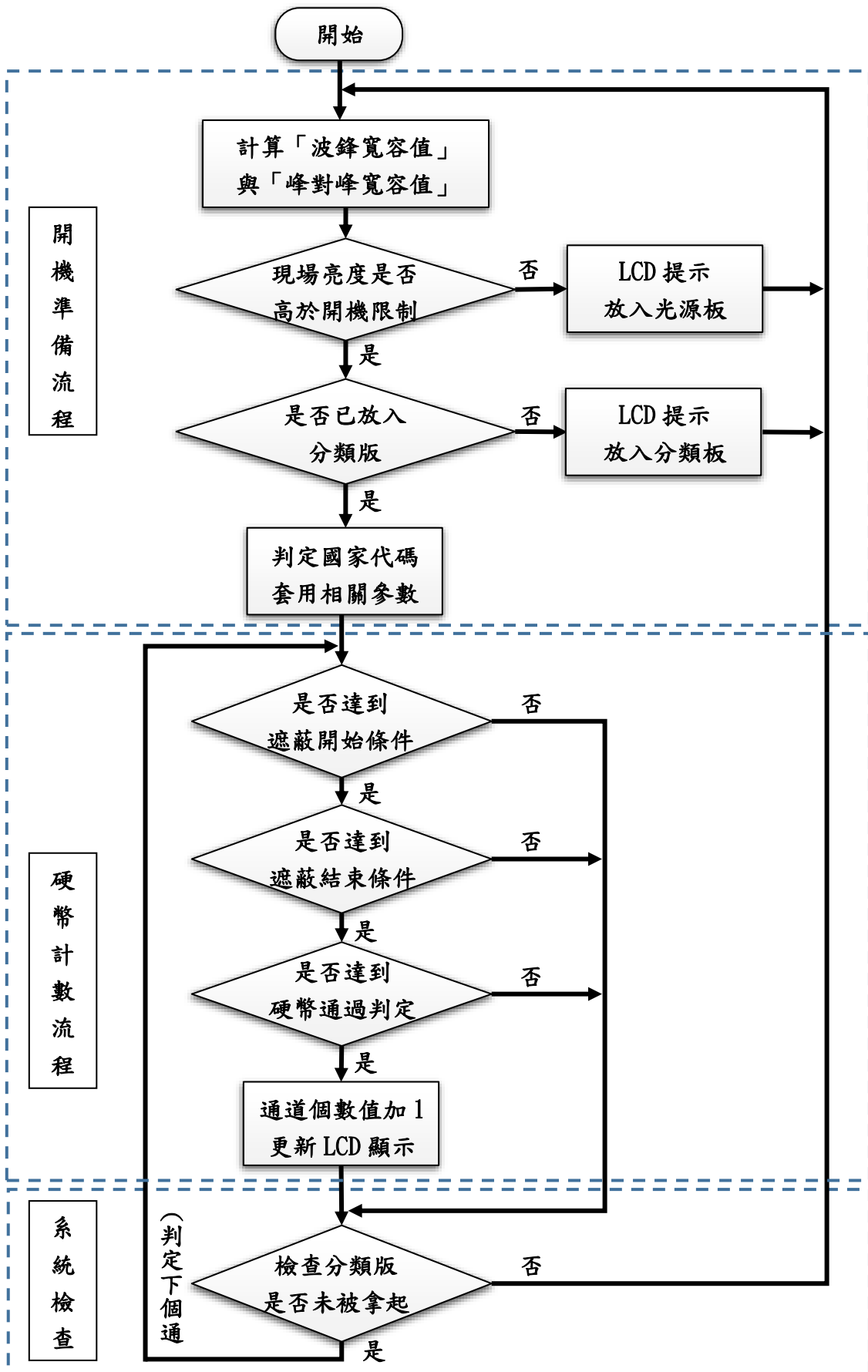


圖 51 軟體判定流程圖

## 陸、研究結果

在我們的作品中，使用了數學理論和許多程式的技巧來協助完成偵測機制，這也是我們以這個專題作為研究中心的原因。我們在「偵測」這方面使用了很多方法，而這些成果在未來設計其他偵測機制時都可供參考，希望我們的研究成果，能造福這個世界。

### (一) 可跨國版本的設計

我們從設計一個通道的偵測個數機制拓展到可重複掃描偵測數個通道；從製作一個適用台灣的硬幣分類機，拓展到跨國使用。考慮作品內共同的特性規畫機制，而不須重複購置功能相同的機器，達到節省資源的目標。

### (二) 材料的簡化及量產

在製作過程中我們不斷修正，結合學習新的製做工具，將設計規格精確數據化。同時整合軟硬體，在操作細節中替使用者考量，達到節省材料、簡化佈線，達成精緻可量產的目標。

### (三) 以軟體取代硬體濾波及自動適應現場光源變化

利用單晶片和數學理論，在一定程度的閃爍光源下，使用軟體而非硬體達成物體通過的判定問題，達到最節省元件的目的，且可以針對現場光源自動調整判定過程，使我們的作品可以在劣質光源環境下判定硬幣是否通過。

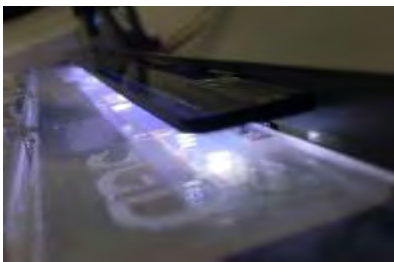


圖 52 光源板運作實況



圖 53 硬幣分類機完成圖



圖 54 背面接線圖

## 柒、討論與心得

### (一) 軟體與硬體解決方法在本硬幣分類機的優劣比較

#### 1. 硬體的優點及缺點

本文中硬體濾波的方式，可以讓我們在很短的時間內完成，但考慮大量製作的情況，就會快速增加製作成本，成本也會隨之提高。

#### 2. 軟體的優點及缺點

使用軟體來解決問題，需要耗費大量的開發時間，但是能利用單晶片的計算能力，將成本降到最低，且能縮小體積，若需要維修也會較容易。

整體來說，利用硬體可以更快的解決目前的問題，但是消耗的成本卻遠遠大於軟體的解決方法。軟體也能解決大部分的問題，同時磨練自己的實力，缺點則是投入的時間會比使用硬體來的多，必須依照現況挑選設計方法。

### (二) 可改進空間

我們的成品還是有很大的進步空間，判定的機制是基於機台處於水平的狀態，故須先確認放置的水平狀態。若因機台非水平狀態而造成硬幣滑落的速度過慢，則會被視為雜訊，因此，保持機身水平其實是很重要的。未來仍可朝向降低機台傾角影響的方向改進。此外，也可以將利用現有的偵測理論，但更改偵測位置且做成封閉系統，應可再提高偵測機制的適用範圍。

## 捌、結論

我們在非接觸式偵測上，只運用單晶片和數學的能力設計出了一套偵測系統(分類板判別、硬幣是否通過等)。過程中所學到的生活態度以及經驗，整理為五大點，心得如下：

### (一) 新製造工具使用

我們利用學校的資源，學習了雷射切割及電腦 3D 繪圖，學習用更新更好的工具，比過往手工製作更精準。未來工具仍會進步，我們須要不斷地自我突破，超越前人的製作技術，在這個過程中，也一併解決了我們為何需要受教育的疑惑！

### (二) 元件的節省與對細節的重視

做事到要注意每一個細節，如：雷射切割前要先對每個小部件先測試才不會浪費。而我們也曾因為沒有使用一致的電阻，造成花了大量的時間除錯。在這個製作過程中，我們體會到必須瞭解課本觀念的真正精神，而不是一知半解，每個似懂非懂的觀念都很可能造成錯誤而不自知。

### (三) 利用數學知識與不同的思考角度

在實做得過程中，體會到軟體跟硬體都不是萬能的，雖然我們利用了微分和標準差等數學工具解決遇到的問題，但有好硬體才能有詳盡的原始數據讀值，軟體才能發揮效用。舉例來說，為了使光敏電阻達到最高靈敏度，除了猜測和試誤法，其中還運用了數學課教的微積分求極值以及統計上控制誤差的觀念，這過程是課堂上學不到的。日後我們不會再拘泥於單一解法，而是嘗試把數學運用到現實生活中來解決問題。

### (四) 軟硬體整合及團隊性的大專題開發

這是我第一次在團隊裡共同開發一個完整的大型專案，團隊內要彼此配合協調，否則就會影響整體進度。軟、硬體也要一直來回修正並從實作中發現問題，而不是純軟體或硬體的拼裝。這次專題讓我們體驗了軟、硬體整合考量的重要性和團隊間的默契，是個十分難得的經驗。

### (五) 設立嚴苛的條件以激發潛能

在預設不浪費的前提下，使我們不斷想要突破困難。未來在設計產品的時候，應

該也要時時刻刻想辦法突破自己，強迫自己在困難中進步，在過程中磨練實力。學習享受逆境中學到的知識，是我們學到要持續堅持的人生態度。

## 玖、參考資料及其他

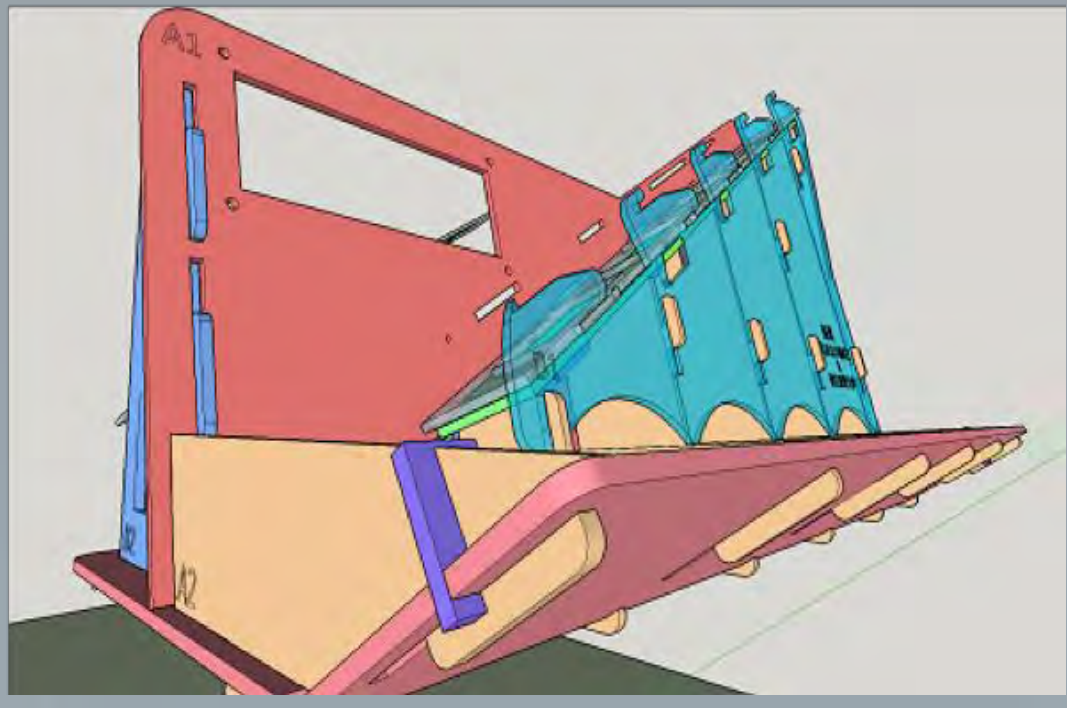
- 註 1：吳承勳、丁偉庭、謝凱閔、曾彥筑（2018）。電漿物理-日光燈到核融合。取自 <http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/2012/C1/C1.php>。
- 註 2：陳昱榮（2006）。日光燈及電子式安定器系統之動態分析(未出版的碩士論文)。臺南：國立成功大學工程科學系。
- 註 3：hyt0627（2017）。硬幣分類機製作教學(含詳細尺寸)。取自 <https://www.mobile01.com/topicdetail.php?f=181&t=5112917>。
- 註 4：梅問題教學網（2017）。《PChome 紙箱別丟!!》自製智慧型銅板收納盒，主動辨識與歸位 1 元，5 元，10 元，50 元。取自 <https://www.minwt.com/life/17459.html>。
- 註 5：施士文（2014）。Arduino 微電腦應用實習。新北市：台科大股份有限公司。
- 註 6：鐘國家、謝勝治（2001）。感測器原理與應用實習。台北市：全華科技圖書股份有限公司。
- 註 7：陳吳煜（2011）。數學 C(III)。新北市：泰宇出版股份有限公司。
- 註 8：shenhaiyu（2013）。十大濾波演算法程式大全（Arduino 精編無錯版）。取自 <http://www.geek-workshop.com/thread-7694-1-1.html>。
- 註 9：許志農（2010）。普通高級中學數學 2。新北市：龍騰文化事業股份有限公司。

## 【評語】 052314

1. 本作品開發多國錢幣分類系統，使用了數學理論和程式的技巧來完成偵測機制，設計一個通道的偵測個數機制拓展到可重複掃描偵測數個通道。利用單晶片和數學理論，在一定程度的閃爍光源下，使用軟體而非硬體達成物體通過的判定問題，達到最節省元件的目的，值得鼓勵。
2. 對於系統效益，應做量化評估；對於系統優化，應做進一步量化說明。
3. 硬幣分類機是技術成熟技術，一般分類機具備三種確認條件：幾何、重量、和成分（以感應方式進行），除自行開發之外，建議應多參考相關文獻，以進一步理解分類以及防偽機制。
4. 在一般光源下使用或許光源是問題，但一般需分類場合均採密閉防盜設計，若需導入光源，打光幾乎為必要，代表光源特性是可以選擇和控制的。解決頻閃造成的問題利益良善，但在工程上是否為最佳解決路徑可進一步評估。

# 簡介

本作品提出一個利用**數學與程式**方法，使**光敏電阻**能**克服頻閃效應干擾**且能**即時適應光源變動**，實現物品通過的**非接觸偵測**機制。以硬幣偵測為例，不使用舊作品利用機械結構(如微動開關...等)和大量晶片的方式，除了可使**硬體電路簡單**降低成本，亦能**降低線路複雜度及損壞率**，驗證僅運用一顆單晶片的可行性，未來更可應用於其他即時偵測機制上。



## 非接觸偵測原理

### 計數偵測方式的修正

我們偵測硬幣通過光敏電阻的亮暗變化，但硬幣**可能翻滾**而造成計數錯誤。因此我們改將偵測點朝上，使硬幣平貼滑落，**計算亮度變化率(斜率值)**即可排除人手造成的干擾。

藍色:光敏電阻(偵測點)  
紅色:硬幣

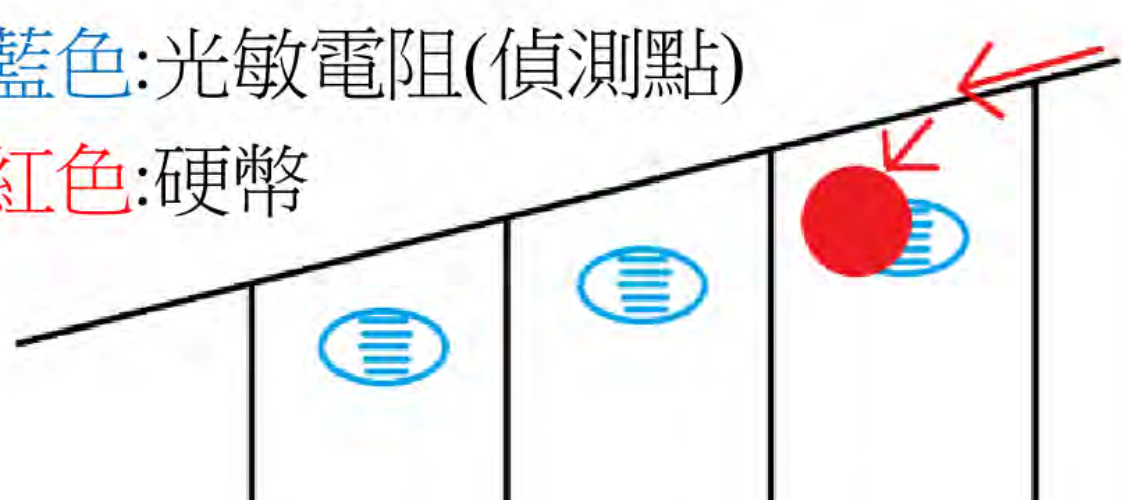


圖1 硬幣通過偵測點示意圖

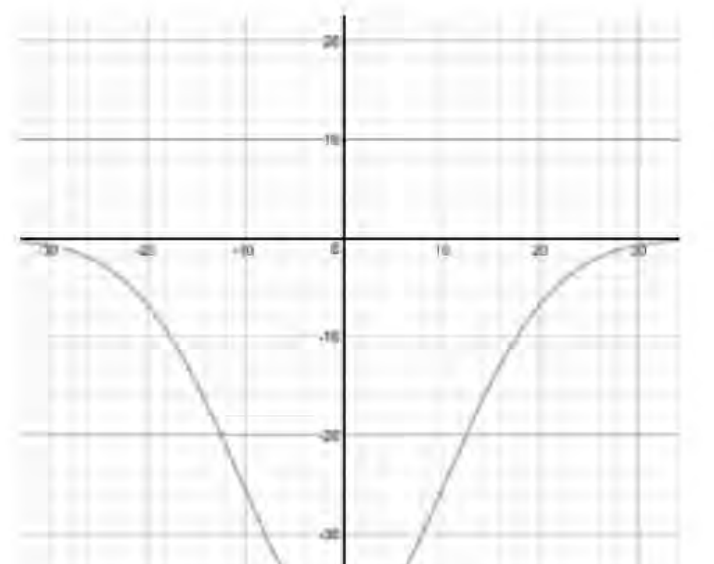


圖2 亮度變化模擬圖



圖3 未控制通過路徑會有硬幣翻轉現象

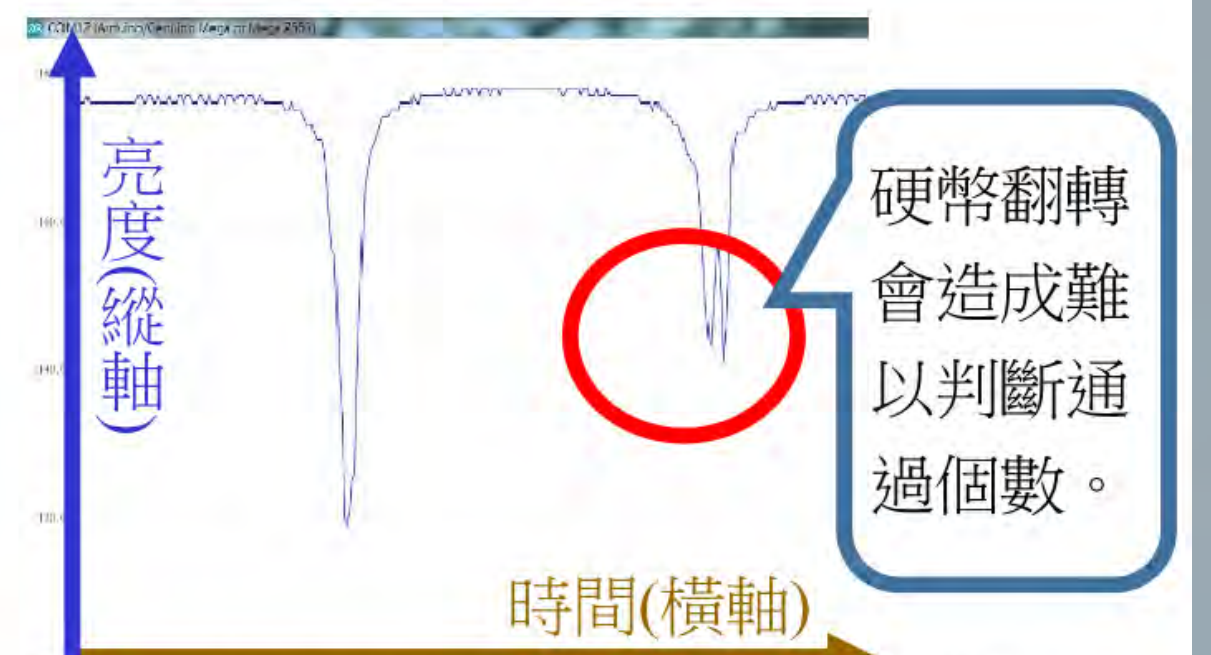


圖4 硬幣通過時的遮光量問題

利用**微分觀念**同時考慮**時間與變化量**，因為人手揮過時間較長，微分值小；而硬幣通過時間短，微分值大，我們就可以成功區分硬幣通過與干擾兩者了。

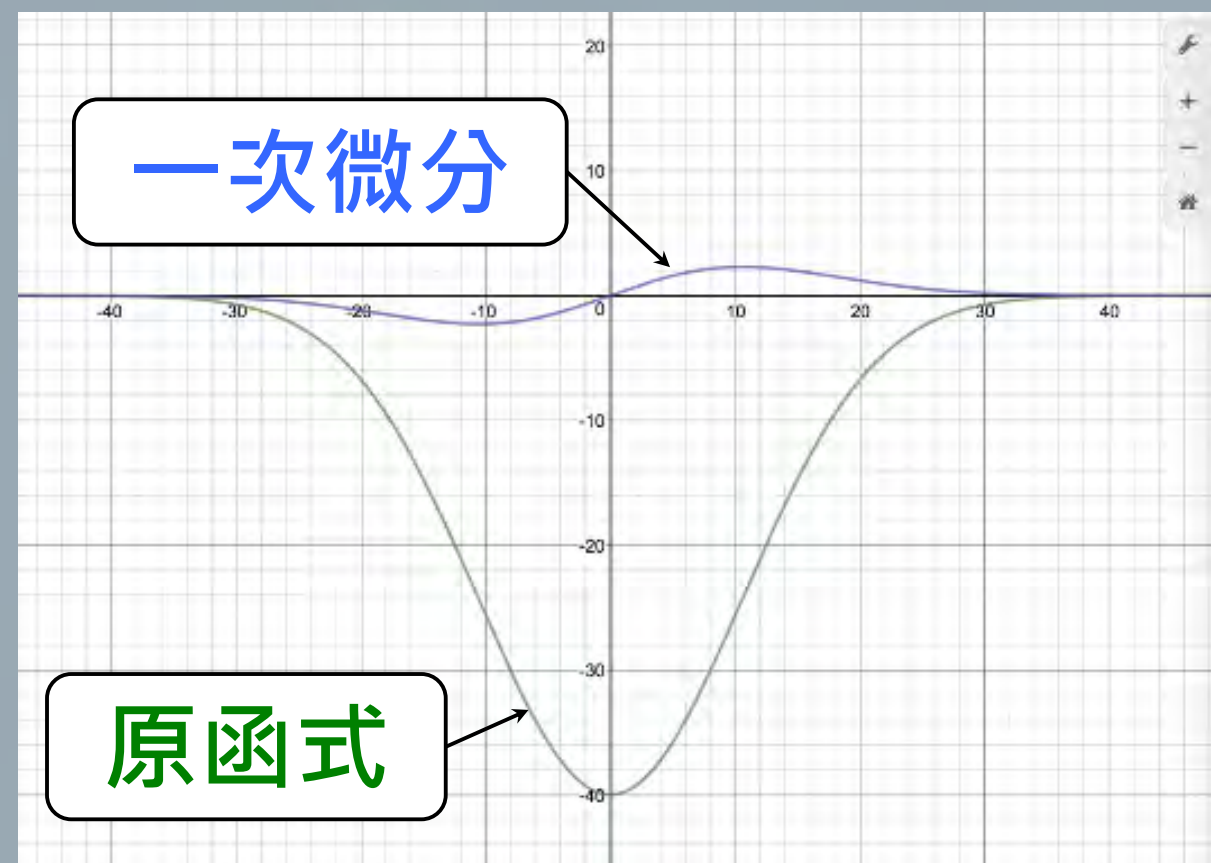


圖5 手、外物遮蔽光源 時間較長

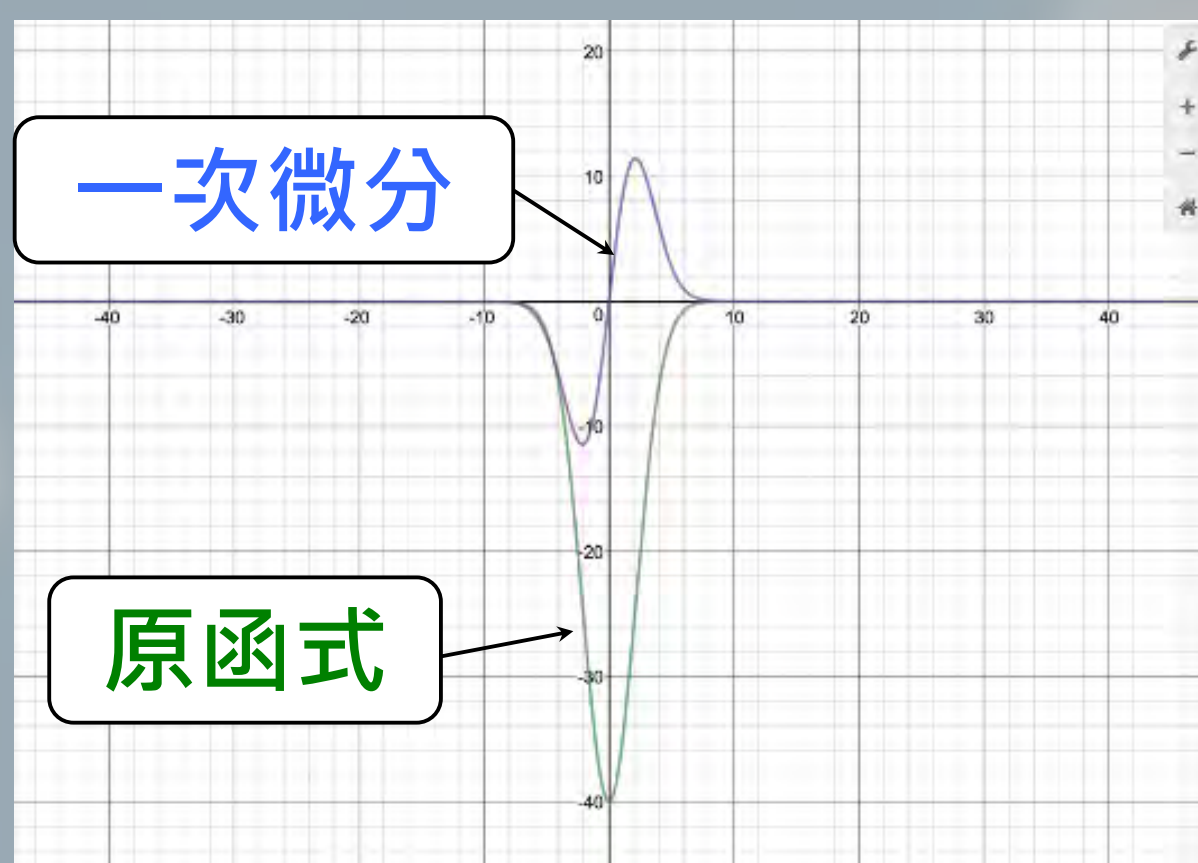


圖6 硬幣遮住光源 時間較短



圖7 判斷待測點是否遮蔽

### 硬幣計數方法與LCD顯示

硬幣沿軌道滑下會依序經過每一個光敏電阻。矩形框前後兩個偵測點的計數差異，即可得出該格所落下的硬幣個數。假設圖 34中，C點計數為100，D點計數為95，則可得知第三個矩形框中落下了5枚硬幣。



圖8 硬幣平貼滑過可完全遮蔽光敏



圖9 偵測方向更改為上

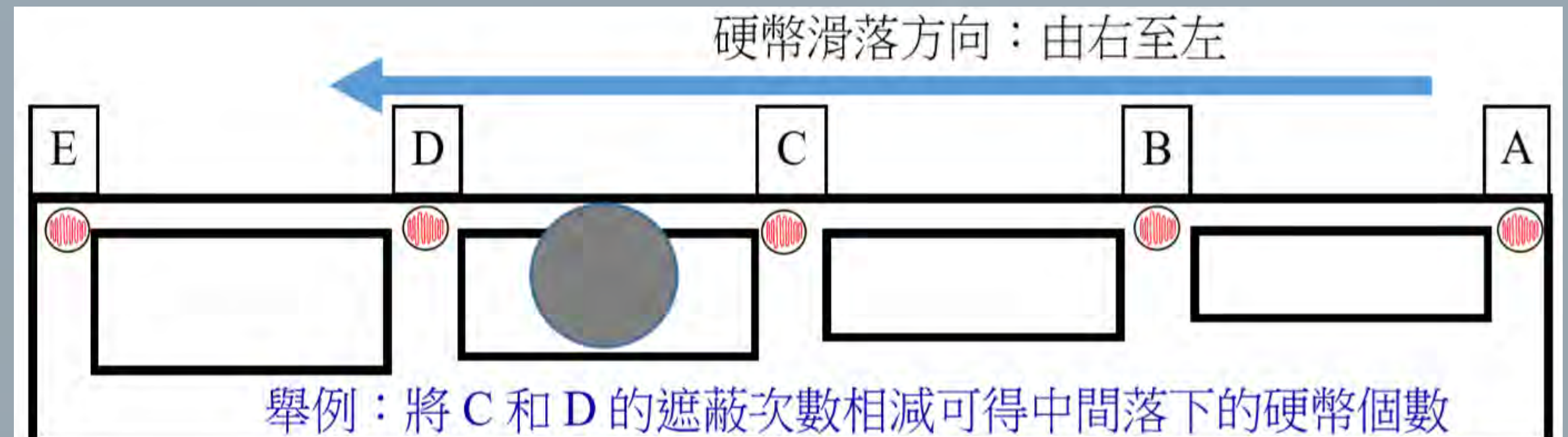


圖10 硬幣計數方法示意圖

## 頻閃效應與硬體濾波

舊型螢光燈會產生人眼無法察覺的快速亮暗變化(**頻閃效應**)，使我們原先的判定機制誤判為硬幣通過，老師建議我們可以製做VCVS二階單一增益低通主動濾波器來濾除交流電的頻率雜訊(如圖12)。實作後的效果十分良好，但由於有八顆光敏電阻皆須複製相同線路，引發我們想挑戰用軟體及數學找出排除干擾的另一種方法。

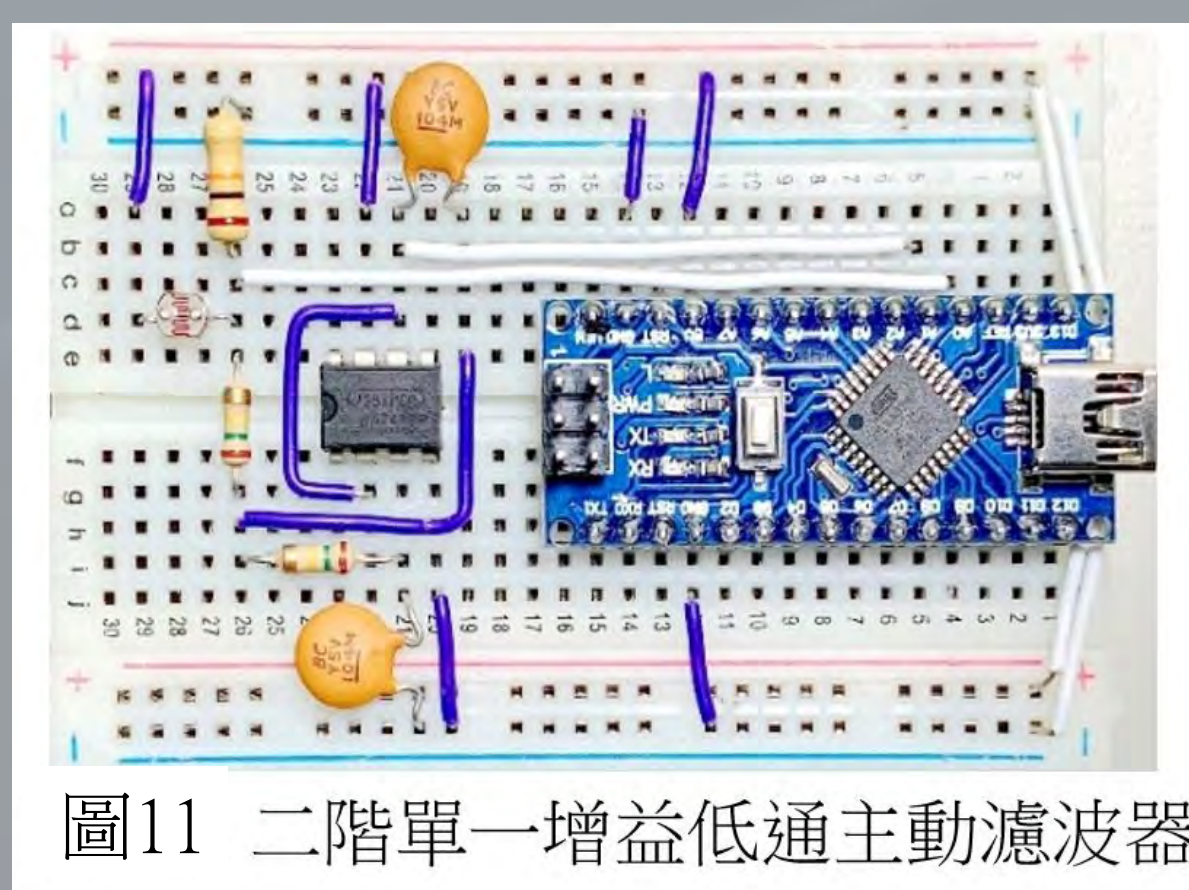
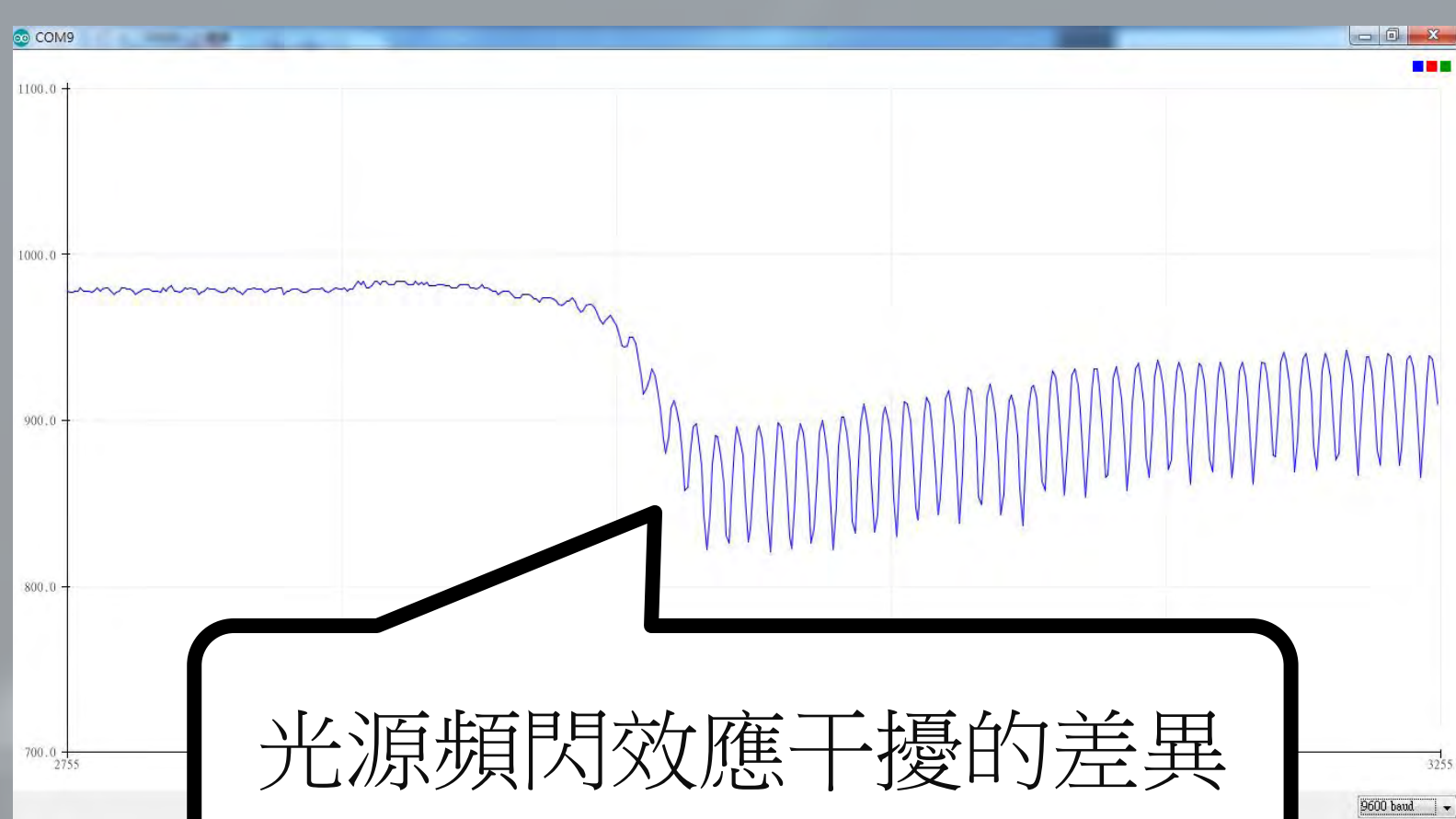


圖11 二階單一增益低通主動濾波器

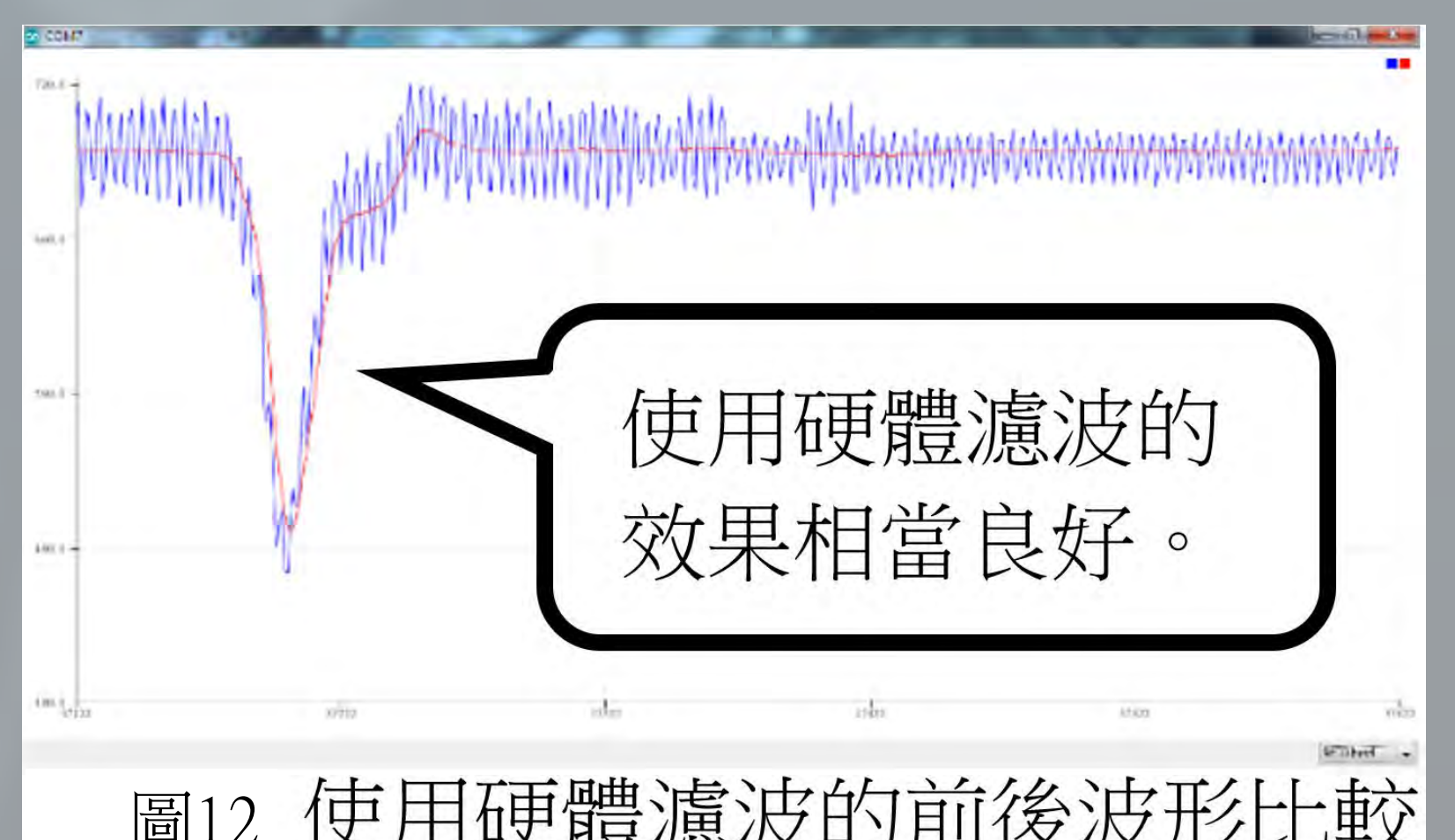


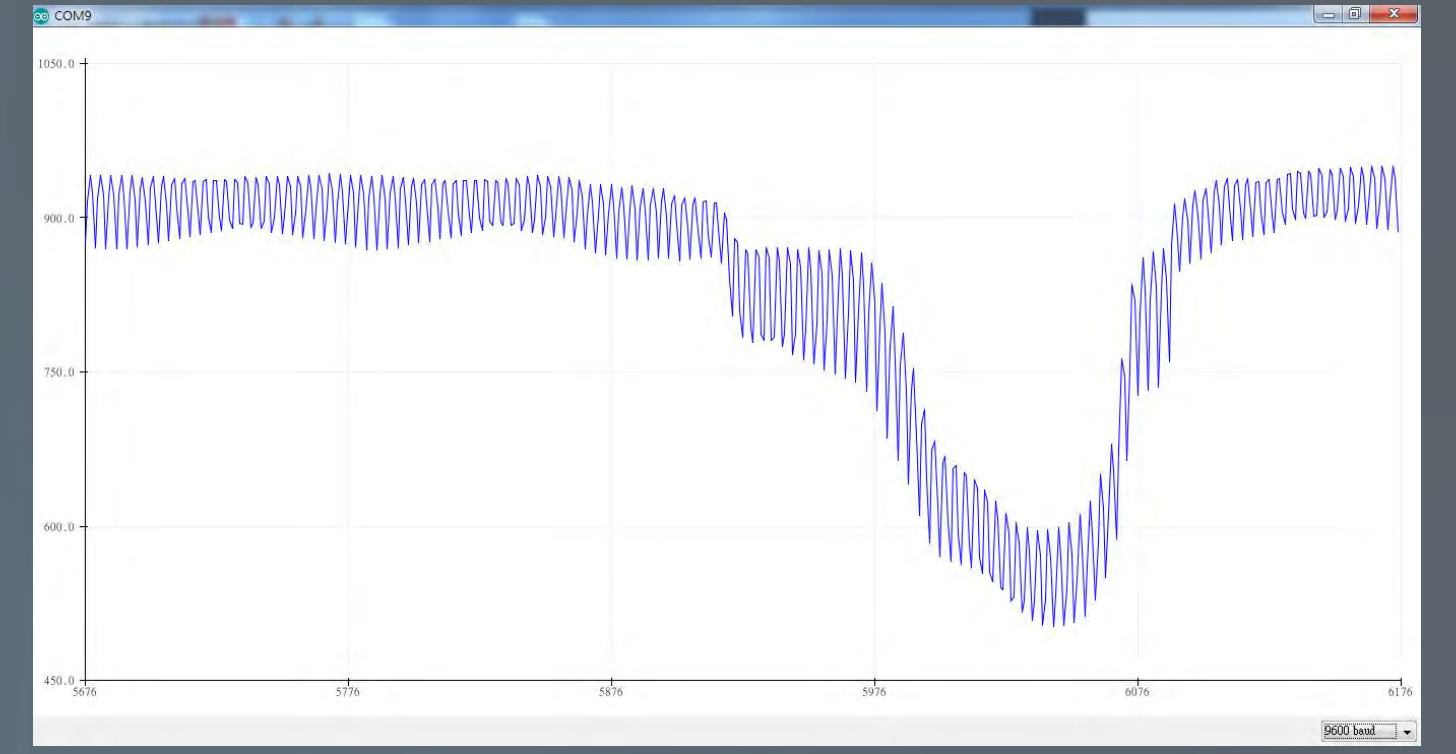
圖12 使用硬體濾波的前後波形比較



# 頻閃效應與軟體濾波

## 排除頻閃效應的困難點與一般軟體濾波法探討

頻閃效應下由於亮度劇烈變化，我們必須要排除光源自身的振幅，卻又要得到硬幣通過造成的亮度差(如右圖)。我們嘗試實作找到的軟體濾波方法，其原理都是基於平均數或中位數的概念。下圖將原始波形設為藍色線，濾波後的波形設為紅色線。



實驗發現，平均數濾波法會使數值變化減小，且會造成反應延遲(如圖 13)。而中位數濾波法會忽略極端數值(如圖 14)，此外，還需將緩衝區內的數字不斷排序，消耗大量計算資源使反應更加延遲。

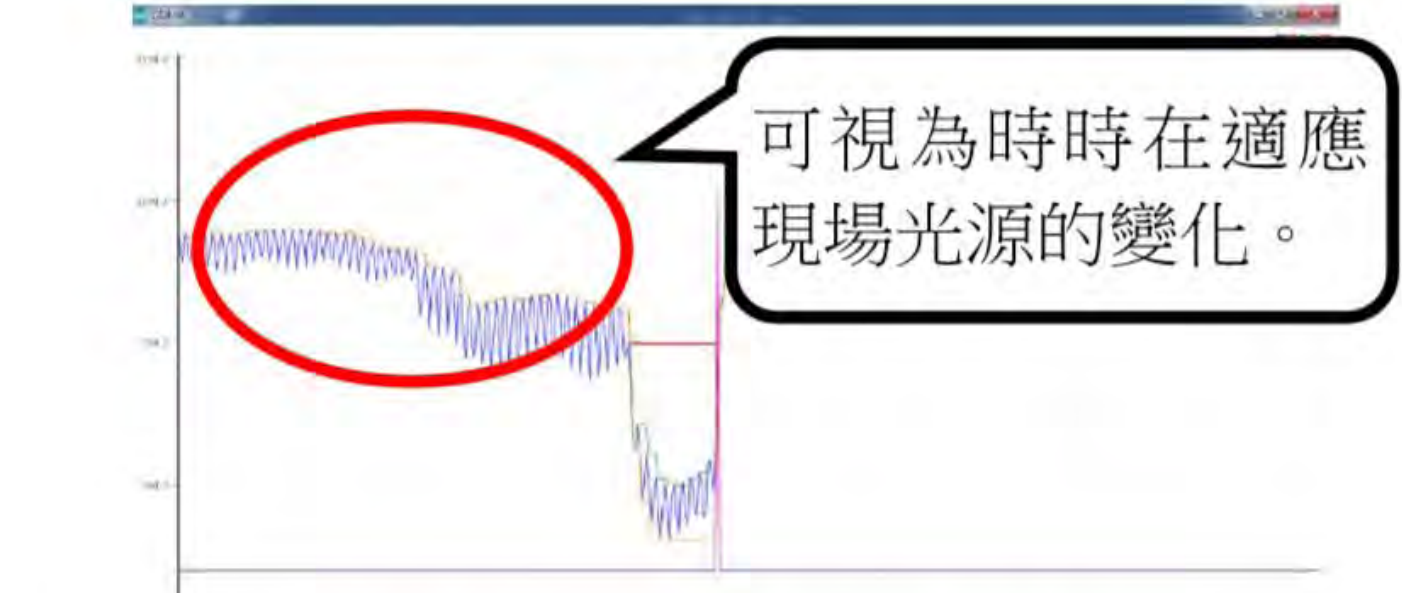
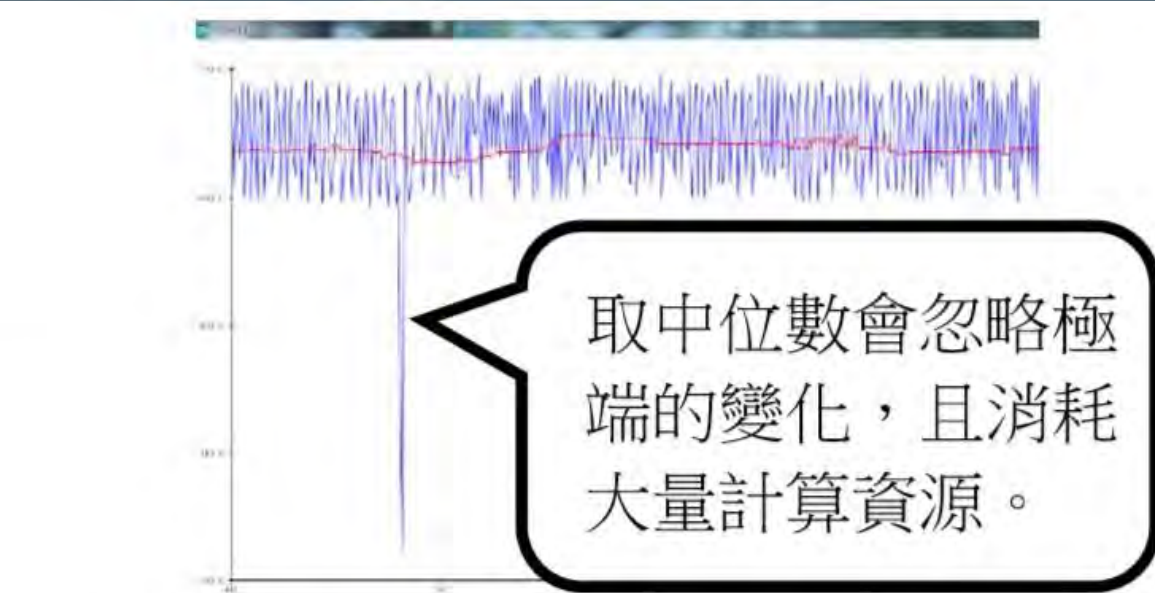
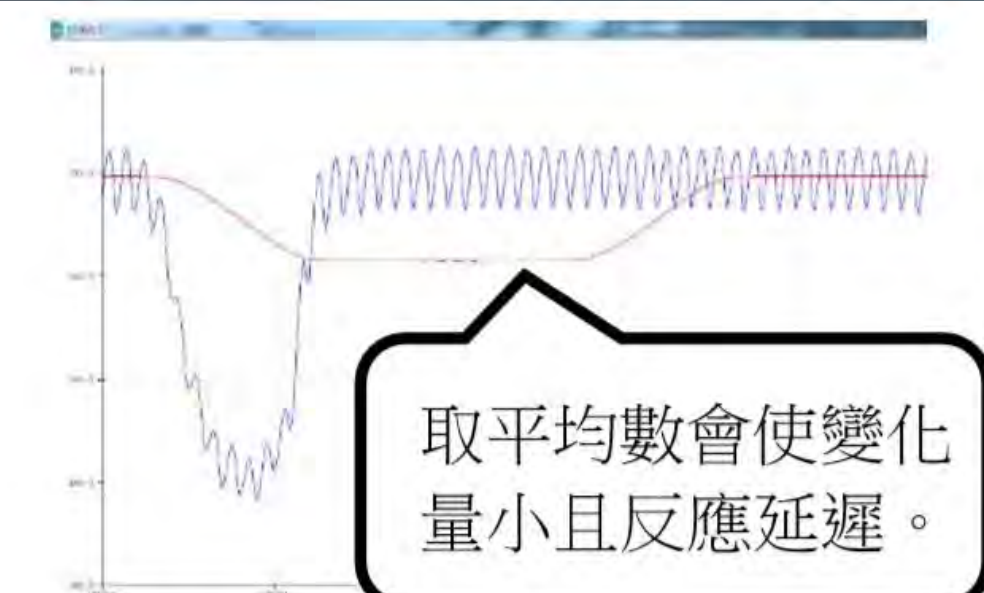


圖13 平均數濾波使變化反應不明顯

圖14 中位數濾波無法反映短時間遮蔽

圖15 將波形簡化為階梯波

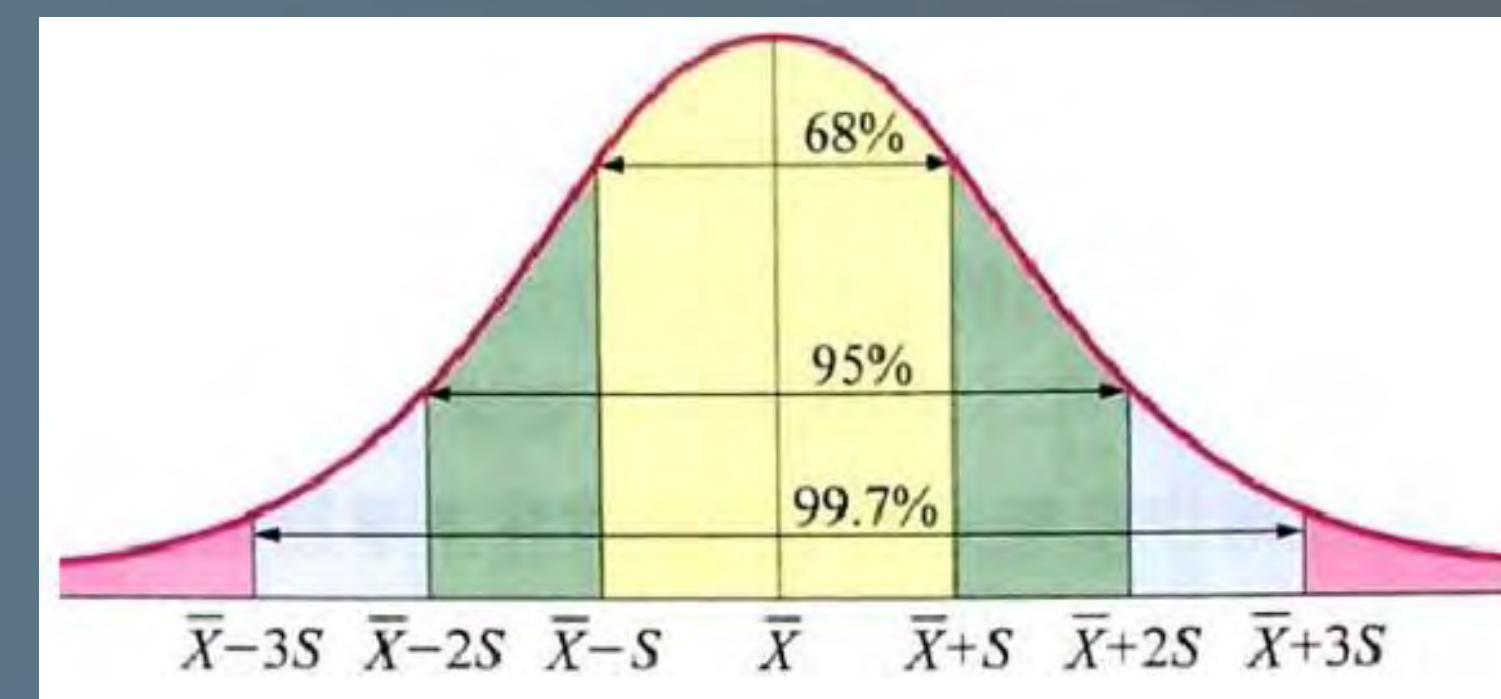
圖16 波峰連接形成最近似連續變化的波形

## 自訂濾波法：改為階梯波，保留大範圍變化

為了保留物品通過的變化量，我們想到將波形簡化為階梯波(如圖 15)。此一嘗試刺激我們大膽的將所有波峰值連線，形成時時適應現場光源且排除頻閃效應的新波形(如圖 16)。

### 定義物品開始通過的條件

在同一頻閃效應的光源環境下「峰對峰值」(波峰到波谷的距離)和「波峰差值」皆在一定範圍內。於是我們在系統開機時各自採樣100次，並計算出三倍標準差分別定義為「峰對峰變動臨界值」和「波峰差變動臨界值」，藉此定義判定亮度變化非頻閃效應造成的條件。



### 1. 硬幣通過開始的準則

再次藉由統計學理論，使我們在99.7%的信心水準下，將頻閃效應下的「遮蔽開始」定義為符合以下一種：

- A. 前後峰對峰值相差超過「峰對峰變動臨界值」。
- B. 前後波峰差值相差超過「波峰差變動臨界值」。

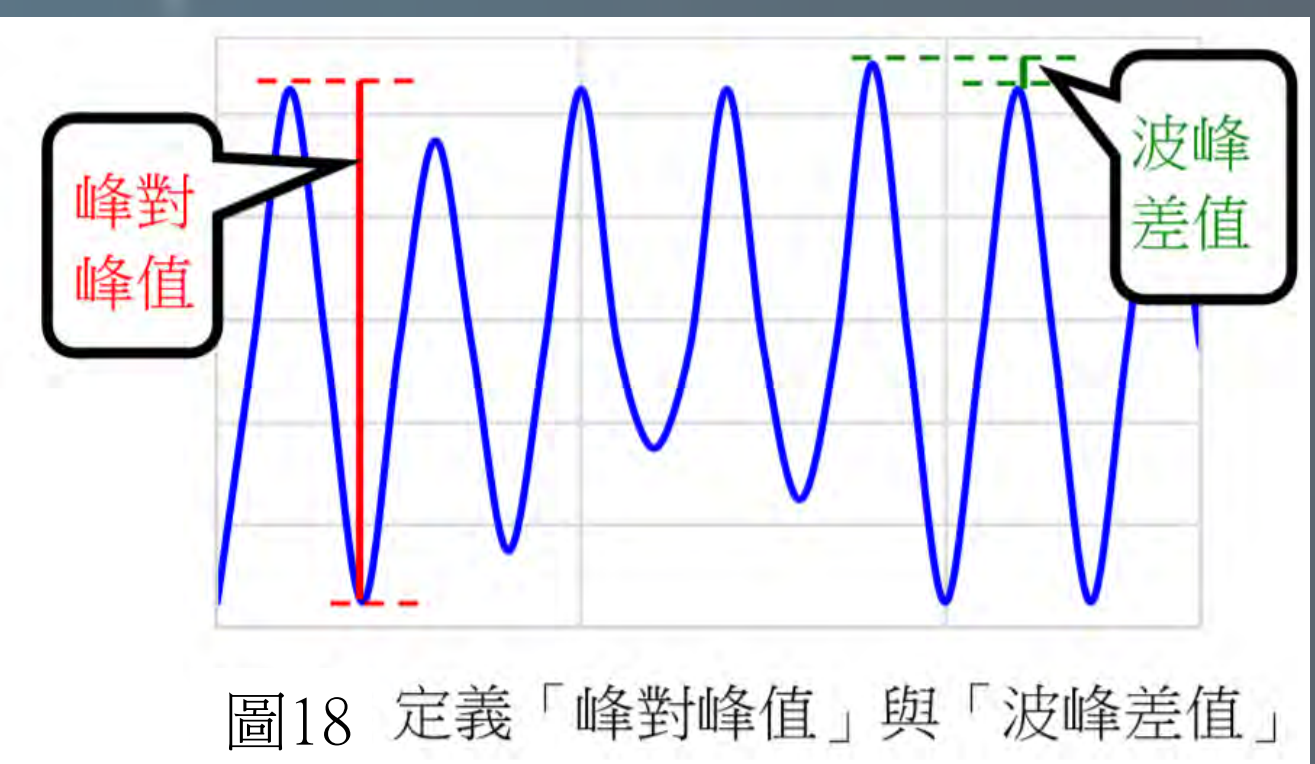
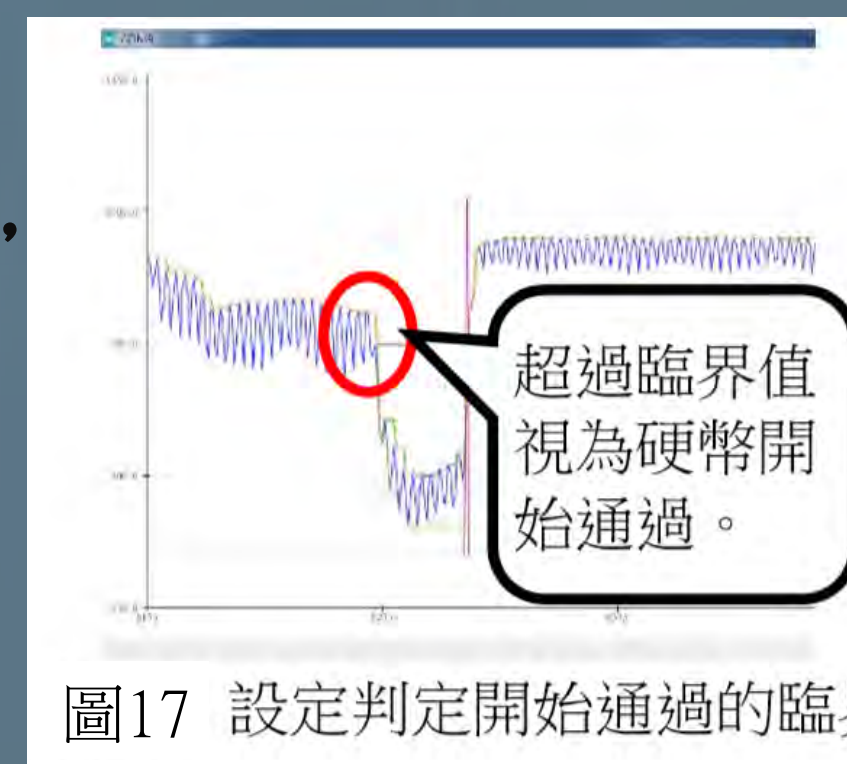


圖17 設定判定開始通過的臨界

圖18 定義「峰對峰值」與「波峰差值」

### 2. 硬幣通過結束的準則

當「遮蔽開始」時，將當下的亮度稱為「基準值」，並開始記錄亮度最小值。我們將「遮蔽結束」定義為符合以下一種：

- A. 遮蔽時間超過平均的硬幣通過時間(見表 2)
- B. 亮度與「基準值」差小於「峰對峰變動臨界值」

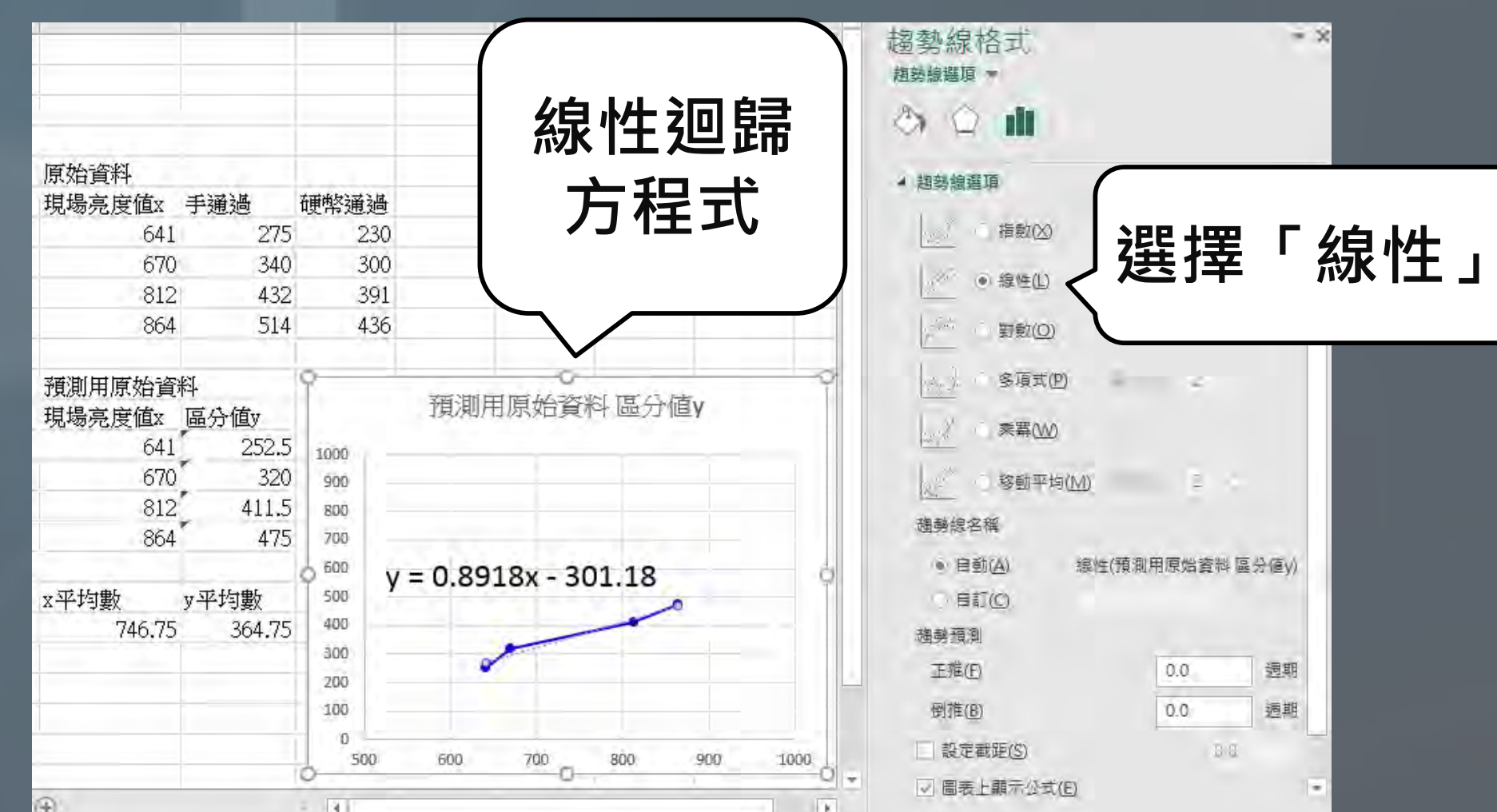
### 3. 遮蔽過久自動重新適應光源

若遮蔽超過平均時間(millis)，解除判定狀態(視為外在干擾)，繼續進行自適應光源動作。

有了遮蔽開始與結束的定義，便可計算其變化率，符合我們原先利用斜率偵測硬幣的判準

代號	1	2	3
國別	台灣	馬來西亞	新加坡
貨幣名稱	新台幣 NTD	令吉 RM	元 SS
幣值 / 直徑	1 元 / 20mm	5 sen / 17.78 mm	5 cents / 16.75mm
通過時間	73millis	80 millis	56 millis
幣值	5 元 / 22mm	10 sen / 18.80mm	10 cents / 16.75mm
通過時間	60 millis	33 millis	32 millis
幣值	10 元 / 26mm	20 sen / 20.60mm	20 cents / 21.36mm
通過時間	55 millis	28 millis	26 millis
幣值	20 元 / 26.85mm	50 sen / 22.65mm	50 cents / 24.66mm
通過時間	52 millis	29 millis	28 millis
幣值	50 元 / 28mm		100 cents / 22.40mm
通過時間	46 millis		25 millis

備註：皆以今年(2018)測試已發表的最新版硬幣，在機台水平狀態時測量。



## 軟體判定的實驗結果

我們將實驗結果的「波峰值」設為綠色，「基準值」設為紅色，「最小波谷值」設為黃色。若遮蔽時間過久則重新適應光源。但在時間內亮度變化率大則判定為硬幣通過，這樣就可以排除外在干擾，應且不會被誤判，結果符合預期。

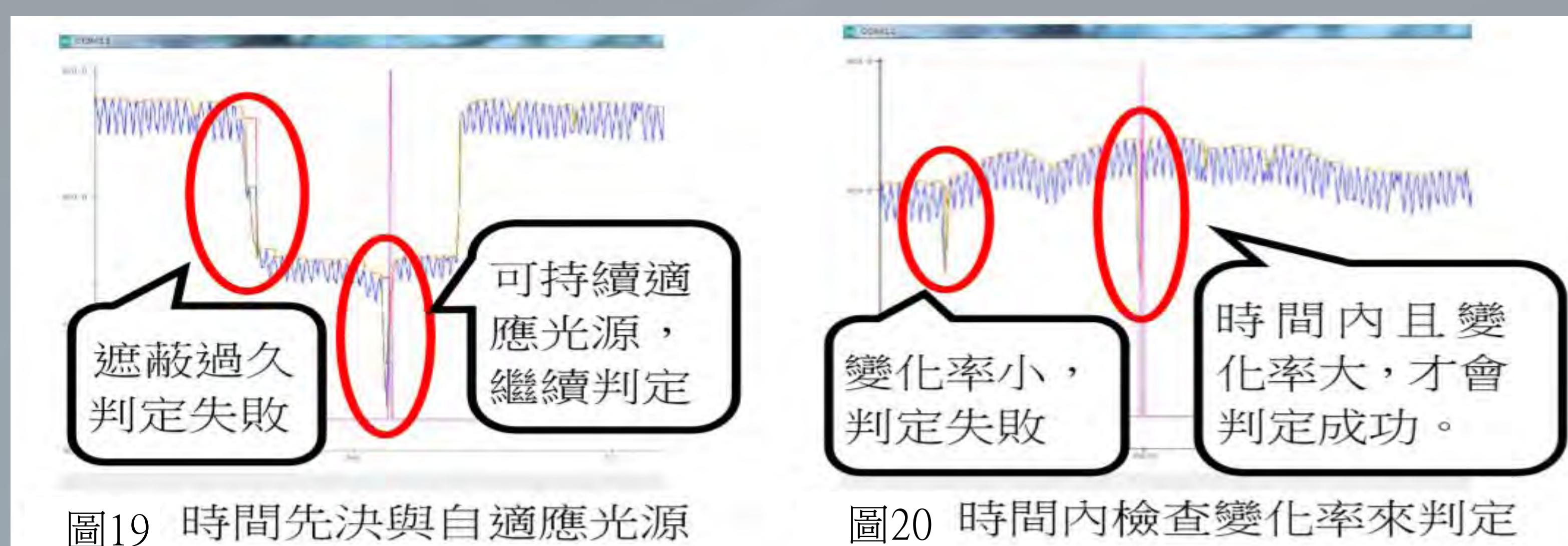


圖19 時間先決與自適應光源

圖20 時間內檢查變化率來判定

## 結論與心得

### 1. 以軟體取代硬體濾波

我們實做了僅用單晶片，結合數學理論和程式技巧，達成在閃爍光源下物體通過的判定問題。驗證元件最簡的可能性，發揮單晶片的運算性能，不僅只用於計數且能克服頻閃效應。

### 2. 自動適應現場光源，持續判定

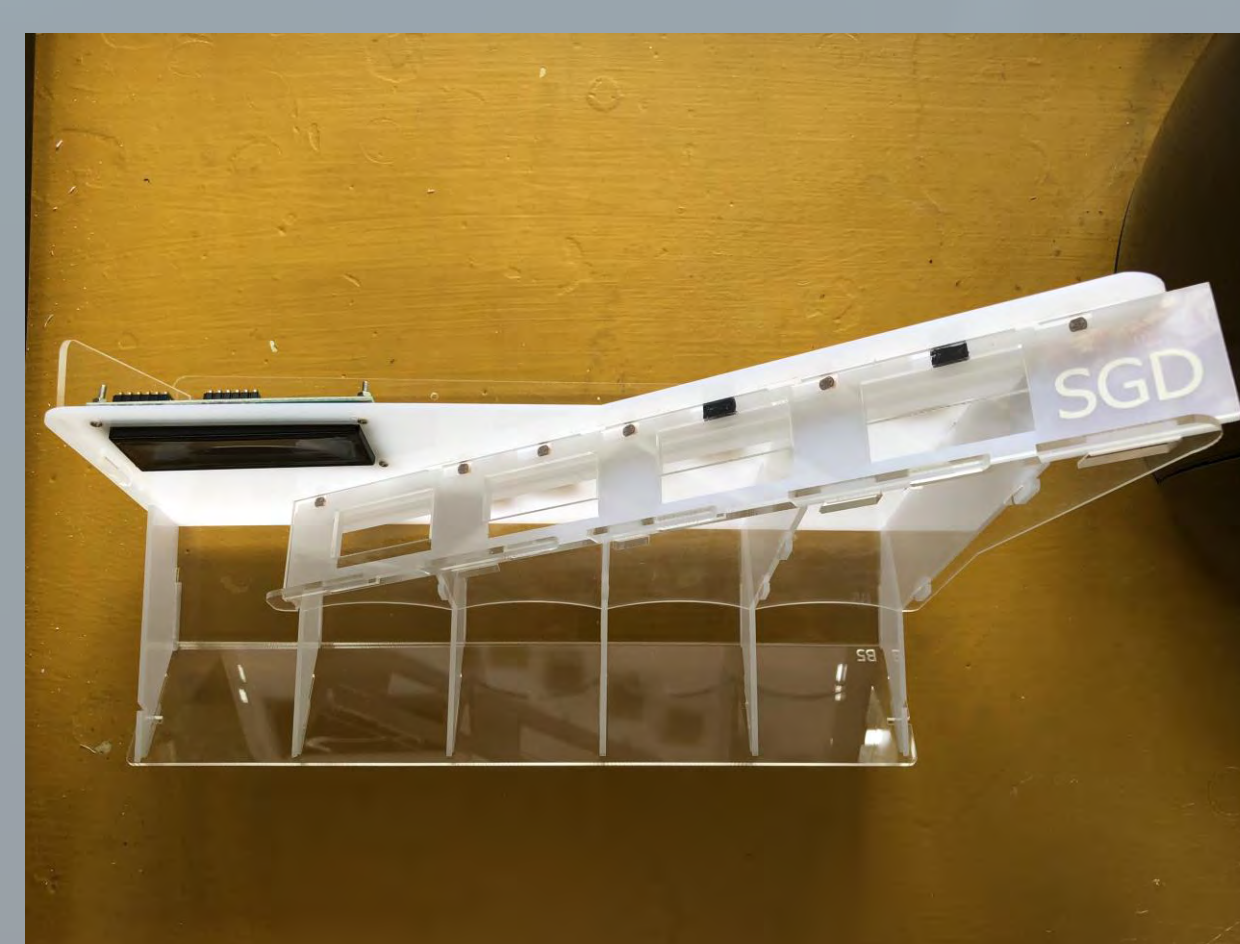
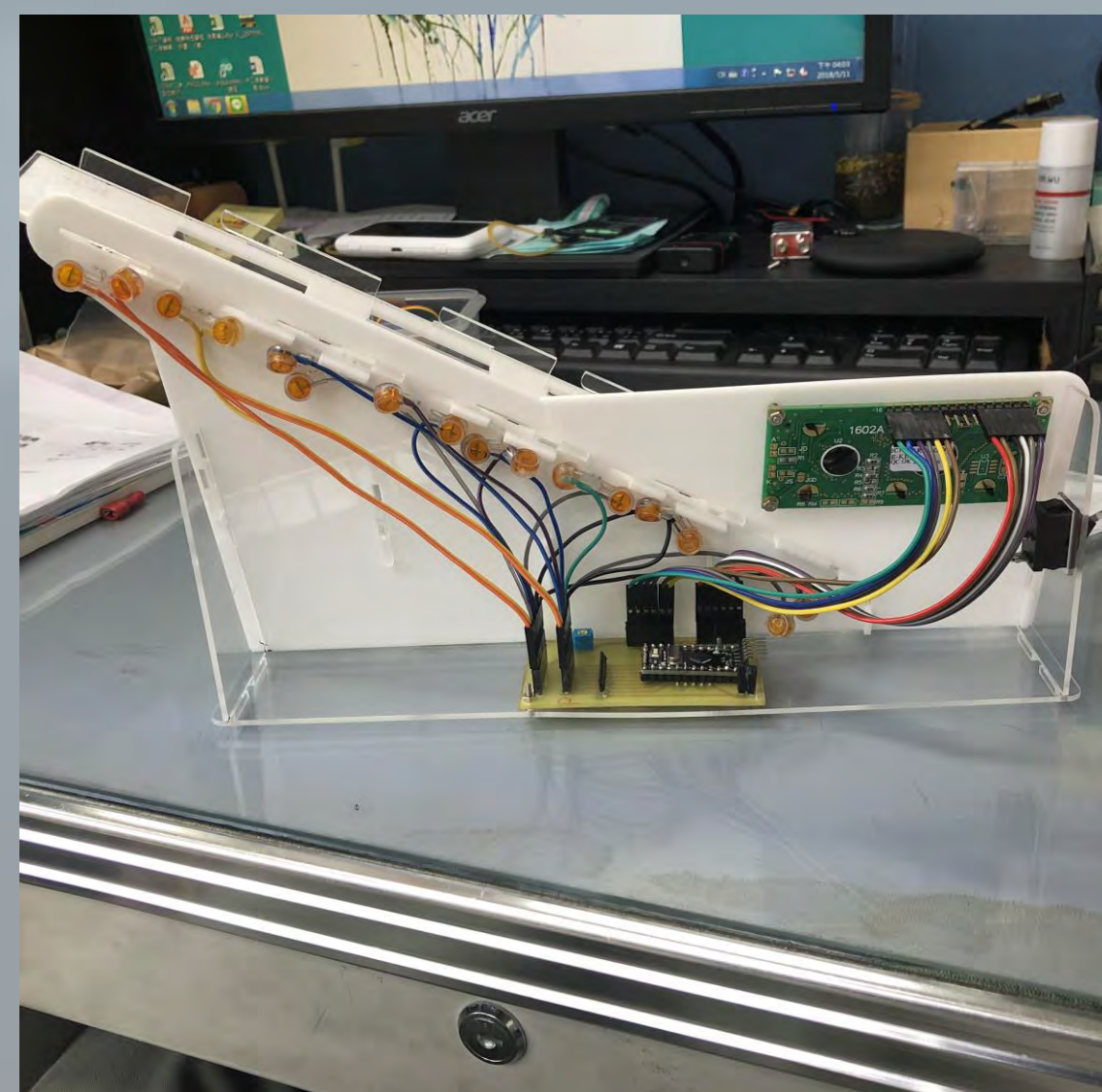
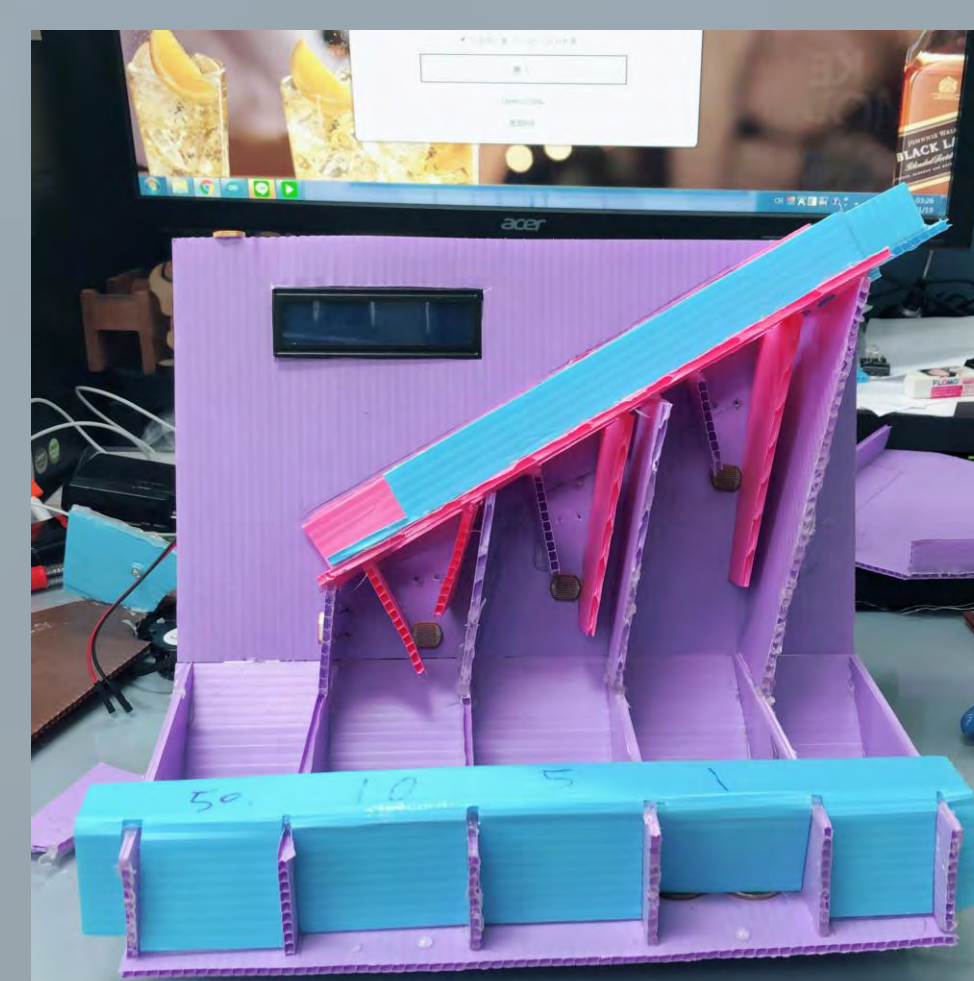
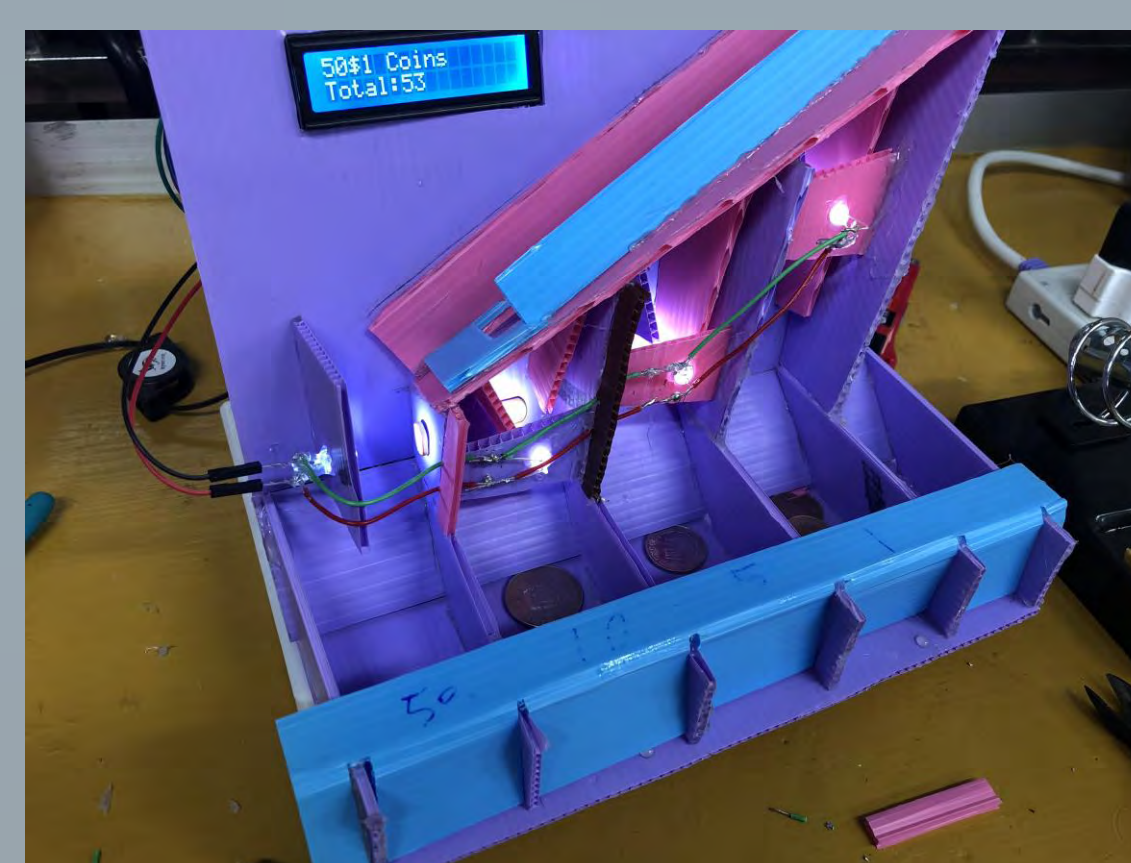
藉由程式與數學技巧，達成自適應現場光源，只要未達亮度最低下限，皆能自動調整判定函數，持續判定。

### 3. 跨國版本設計及規格化

第一次在團隊裡共同開發一個完整的大型專案，設計更換配件達成材料最簡，並且能共用相同機制。學習到新的製做工具，同時整合軟硬體，學習雷射切割及電腦3D繪圖，未來工具仍會進步，須需不斷地自我突破。

### 4. 嚴苛的條件以激發潛能

每一個細節都需要注意，使用數學課堂教的微積分求極值以及控制統計上的誤差，我們也體會到必須瞭解課本觀念的真正精神，強迫自己在困難中進步，而不是一知半解，每個似懂非懂的觀念都很可能造成錯誤而不自知。



## 參考資料

- 1: 吳承勳、丁偉庭、謝凱閔、曾彥筑 (2017)。電漿物理-日光燈到核融合。2018年9月8日，取自<http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/2012/C1/C1.php>。
- 2: 陳昱榮 (2006)。日光燈及電子安定器系統之動態分析。國立成功大學工程科學系：碩士論文。
- 3: hyt0627 (2017)。硬幣分類機製作教學(含詳細尺寸)。2018年11月5日，取自<https://www.mobile01.com/topicdetail.php?f=181&t=5112917>。
- 4: 梅問題教學網 (2017)。《PChome紙箱別丟!!》自製智慧型銅板收納盒，主動辨識與歸位1元、5元、10元、50元。2018年11月5日，取自<https://www.minwt.com/life/17459.html>。
- 5: 施士文 (2014)。Arduino微電腦應用實習。新北市：台科大股份有限公司。
- 6: 鐘國家、謝勝治 (2001)。感測器原理與應用實習。台北市：全華科技圖書股份有限公司。
- 7: 陳吳煜 (2011)。數學C(III)。新北市：泰宇出版股份有限公司。
- 8: shenhaiyu (2013)。十大濾波演算法程式大全 (Arduino精編無錯版)。2018年9月11日，取自<http://www.geek-workshop.com/thread-7694-1-1.html>。
- 9: 許志農 (2010)。普通高級中學數學2。新北市：龍騰文化事業股份有限公司。