

臺灣二〇〇八年國際科學展覽會

科 別：工程學

作品名稱：滑鼠狂想曲

得獎獎項：第三名

赫伯特胡佛青年工程獎：第一名

學校 / 作者：國立新竹女子高級中學
國立新竹女子高級中學

楊思婷
吳仔捷

作者簡介



我是楊思婷，就讀於國立新竹女子高級中學。從小學、國中、一直到高中都很幸運的有機會接觸科學展覽，雖然一直都沒有得到什麼名次，但從這當中，可以學到與同伴合作的重要及科學的思考方式。而且我對科學一直有著一股莫名的熱情，在高中裡曾經參加過遠哲科學趣味競賽、TTSA 資訊研習營等，不僅是高中裡美好的回憶，也讓我認識更多校外的高手，使自己一直有不進則退的動力。

我是吳仔捷，就讀於國立新竹女子高級中學。從國小、國中一直到高中都投身於科學展覽的製作，雖然以前未曾在科展上得到很好的成績，但是在從事科學研究的過程中，我始終抱有高度的熱忱，也從中學到很多，不僅是做研究該有的態度，也學習到如何與人合作、溝通……。這次很榮幸能入選 2008 年國際科展，希望在這幾天的活動中有很大的收穫。

英文摘要(Abstract) :

Caprices of the Mouse

Optical mouse can take continuous snapshots very quickly of the contact surface and compare the images sequentially to detect the direction and amount of movement. This study uses this feature to design a simple optical measurement system, including lens, illumination and contact surface choice, as well as the measurement program using raw input model to accept the movement information from the mouse. This system can measure the distance and speed of the motion object under the non-friction condition. From the experiment test result, this optical measurement system is workable and satisfactory.

Contact surface to optical sensor distance farther, can measure the higher speed of the motion object, but will cause the lower resolution of the optical sensor. This will limit the variety of the contact surface; superficial smoother object is unable to measure. In the future if we can use the high performance optical sensor and assist with rangefinder, believed this system can have more widespread applications.

中文摘要：

滑鼠狂想曲

光學滑鼠會以很高的速度不斷地對著接觸面拍照，藉由比對每幅影像間的變化來偵測滑鼠移動的速度與方向，本研究利用此特點而設計一個簡易的光學量測系統，其中包括透鏡、光源與接觸面材質的選擇，以及利用 Raw Input 模式讀取個別滑鼠移動訊息而發展出來的量測程式，使得此系統可以在無接觸與無摩擦的情況下來測量外界物體的移動速度與距離，經由實驗證明，在光學感測器還可以感應與追蹤的範圍內，量測的數據還蠻精準的。

接觸面到光學感測器透鏡的距離越遠，能夠測得移動物體的極速也越高，但是會造成感測器的解析度下降，如此限制了接觸面的材質種類，無法量測表面較為光滑的物體，但是在設計得宜的情況下，仍有蠻多方面的用途，日後若能採用較高效能的光學感測器並加上測距儀的輔助，相信此系統的應用層面會更為廣泛。

一、研究動機與目的：

滑鼠是個人電腦的基本配備之一，可分為機械式與光學式兩大類，光學滑鼠由於具有不易磨損、不需要經常清理等優點，而且製造技術成熟、價格合理，幾乎已成為一般消費者選購滑鼠時的唯一考量。當我們在操作滑鼠時，螢幕的游標會隨著滑鼠的移動而移動，其移動的方向與速率和滑鼠的移動成等比例的同步，反過來，若是滑鼠固定不動而改為移動鼠墊，那麼，游標的移動方向將會與鼠墊的移動方向相反，但是，移動速率仍然成等比例的關係，是否可以在適當器材的輔助下，利用滑鼠來測量物體的速度與位移呢？這個念頭，時時縈繞在我們的腦海中。

我們希望經由本篇研究，利用滑鼠可以判定接觸面的位移方向和速率的特性，在適當的器材輔助下，將光學滑鼠改裝成簡易的光學量測系統，可以在非接觸的情況下，用來測定物體的移動速率與位移。

二、研究過程：

1. 光學滑鼠的構造與原理 [1][5][6]



圖 1-1 光學滑鼠的外觀



圖 1-2 光學滑鼠的內部



圖 1-3 光學滑鼠的組成元件拆解

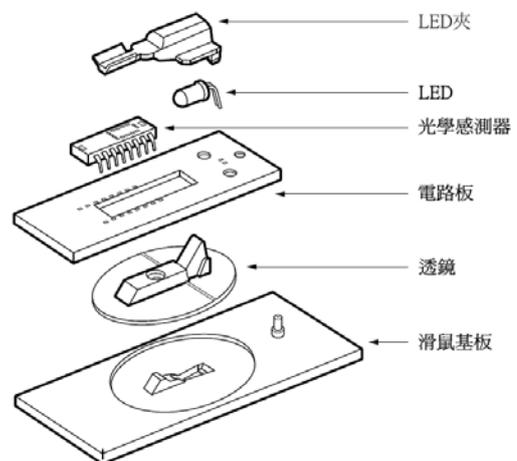


圖 1-4 光學滑鼠的組成元件示意圖

光學滑鼠主要是由紅色的發光二極體 LED、光學感測器、透鏡、電路板及一些電子元件所組成，其內部結構如圖 1 所示。光學感測器類似一個微型的攝影機，當滑鼠在移動的時後，就以很高的速度不斷地對著接觸面拍照（安捷倫公司製造的光學感測器 ADNS-2051 以每秒 2300 幅拍照），藉由分辨每幅影像間的變化，即可獲得目前滑鼠的移動方向與速率，並將此訊息透過 USB 介面傳送至電腦，螢幕游標也得以做出同步的反應。

爲了讓光學感測器能夠順利的拍攝，必須使用發光二極體 LED 來提供光源，光源在接觸面反射後，由透鏡來聚焦，最後在光學感測器上成像，圖 2 顯示了發光二極體 LED 的光線路徑。圖 3 所顯示的是光學感測器連續拍攝的兩幅影像，因爲影像是往左下移動，所以可以推知滑鼠是往右上移動。

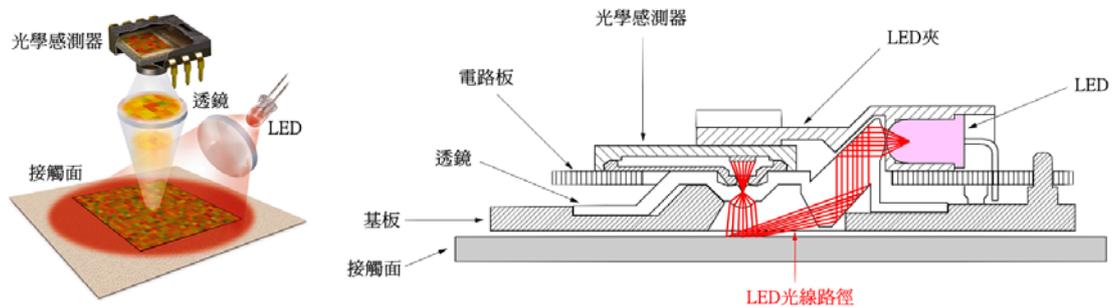


圖 2 光學滑鼠的 LED 光線路徑

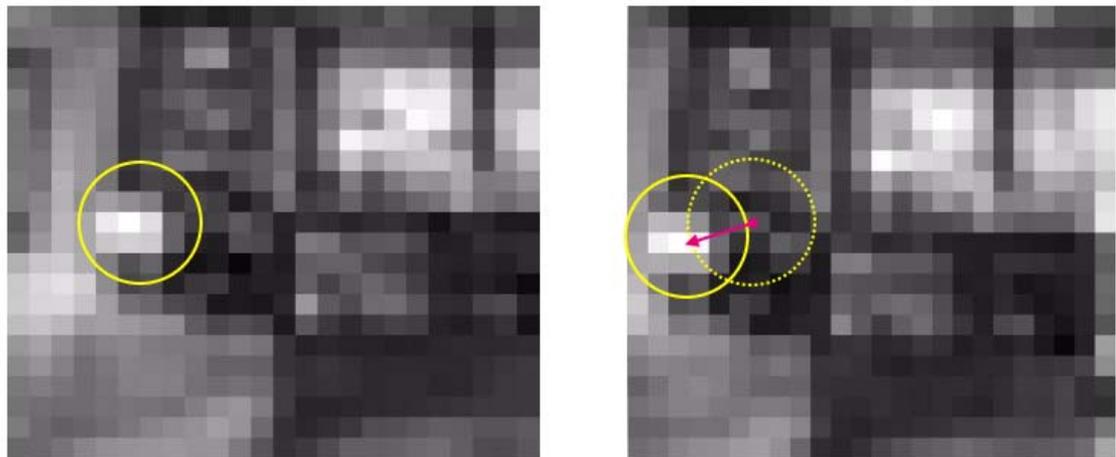


圖 3 光學感測器連續拍攝的影像

2. 利用光學滑鼠的量測系統

光學滑鼠在使用時必須緊貼著接觸面，依據製造廠商安捷倫 Agilent(現改爲 Avago 安華高製造)的建議[5]，接觸面到透鏡的高度爲 $2.4 \pm 0.1\text{mm}$ ，若是超過容許誤差的話，就會影響到滑鼠的靈敏度與解析度。此外，接觸面的材質與發光二極體 LED 的亮度，也一樣會影響到滑鼠的運作。在能夠精確工作的前提下，滑鼠有其最大移動速度的限制，像一般滑鼠常用的安捷倫 Agilent ADNS-2051 的最大移動速度爲每秒 14 英吋（時速約爲 1.28 公里）。

有了上述必須近距離量測、物體的速度必須很慢的限制，幾乎很難直接利用滑鼠

做量測速度與位移方面的用途，但是，若能將接觸面到透鏡的高度提升的話，情況就會大為改善，例如高度提升至 240mm，利用相似形（算式如下）可以推算出最大移動速度變為每秒 1400 英吋（秒速 35.56 公尺；時速約為 128 公里）。

$$\frac{2.4}{14} = \frac{240}{Speed} \Rightarrow Speed = 1400 \text{ (inch/sec)}$$

經由簡單的測試，發現滑鼠的光學感測器無法對 240mm 外的移動物體有所感應，推究其原因，可能是 240mm 外移動物體的反射光源進入感測器的強度不足，為了改善這種現象，採用了凸透鏡（聚光）與 50W 投射燈（增強反射光源強度）來加以輔助，很神奇地，凸透鏡與滑鼠間的距離經過適當的調整後，光學感測器對於 240mm 外的移動物體有明顯的反應（滑鼠的發光二極體 LED 會變亮），圖 4 為我們光學量測系統的示意圖。

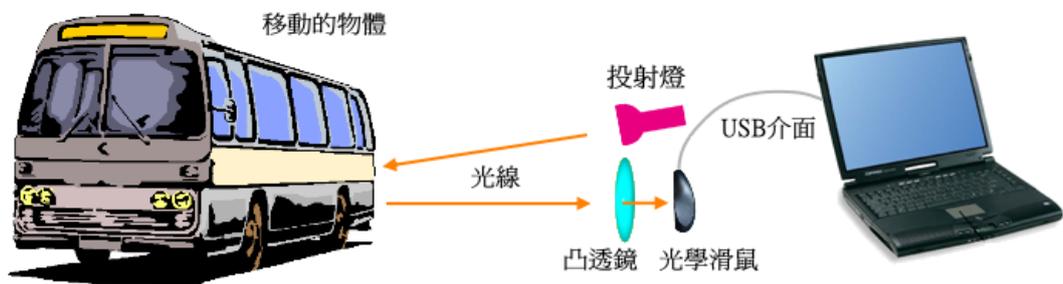


圖 4 光學量測系統示意圖

3. 必須克服的問題

(1) 透鏡的更換

凸透鏡的主要功能是負責聚集光線，參考文獻[7]對於光學滑鼠的透鏡 Agilent HDNS-2100 有著詳盡的介紹，圖 5 是光學滑鼠相關元件組裝時的要求，超過其規定的距離，光學感測器是無法有效運作的。為了感應出較遠處的移動物體，勢必要更換透鏡，為了減少外界光線的干擾，以及讓光學量測系統有整體的感覺，透鏡最好能夠與滑鼠儘量靠近，所以短焦距的凸透鏡是較佳的選擇。另外，此透鏡的直徑也不宜太小，以便能夠有效地收集移動物體反射來的光線。

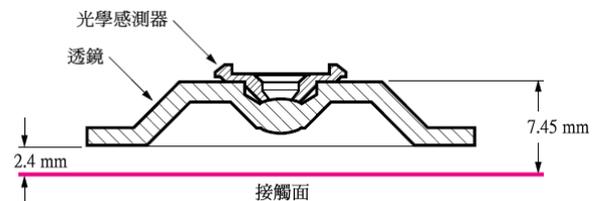


圖 5 光學滑鼠相關元件組裝時的要求

至於透鏡與光學感測器間的距離，則必須經過實際測試方可得知，務必調整到讓光學感測器最靈敏的程度，只要被偵測的物體一移動，滑鼠的紅色發光二極體 LED 就能夠立即亮起（代表光學感測器已動作）。

至於透鏡與光學感測器間的距離，則必須經過實際測試方可得知，務必調整到讓光學感測器最靈敏的程度，只要被偵測的物體一移動，滑鼠的紅色發光二極體 LED 就能夠立即亮起（代表光學感測器已動作）。

(2) 輔助光源的尋找

光學感測器其實就是一個微型的 CMOS 高速攝影機，滑鼠藉由分辨每幅影像間的陰影變化來判定目前滑鼠的移動方向與速率，圖 6 顯示光學感測器 Agilent

ADNS-2051 在不同 LED 亮度下，解析度與透鏡至接觸面（黑色複寫紙）距離的關係[5]，可以看出光源的強度與種類對於光學感測器的解析度有很大的影響，雖然 50W 投射燈的光源使得光學感測器有所反應，但是體積較為龐大，是否有其他較方便的光源可供選擇，值得實驗嘗試看看。

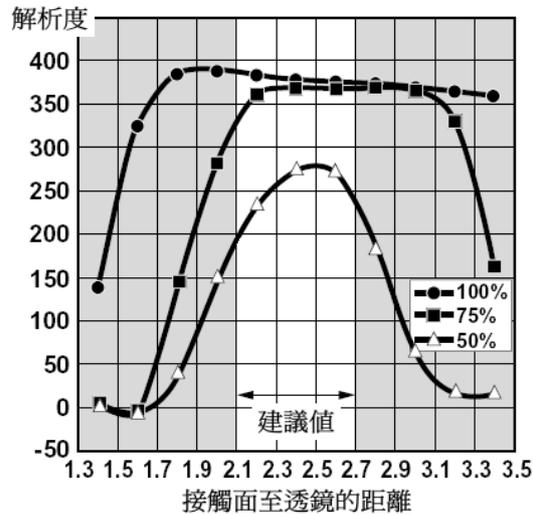


圖 6 解析度與透鏡高度在不同亮度下的關係

(3)接觸面的限制

接觸面的種類與材質也影響著光學感測器的解析度，圖 7 顯示了透鏡到不同接觸面在不同高度距離的解析度[5]，各種不同的接觸面如白紙（White Paper）、白色卷宗（Manila Folder）、佛麥卡塑膠貼面（Burl Formica）、深色胡桃紋（Dark Walnut）、黑色複寫紙（Black Copy）等，在建議值的距離範圍內，雖然光學感測器的解析度並沒有很大的差異，但是在更換了光源與透鏡後，是否依然如此？也是必須透過實驗方可得知。

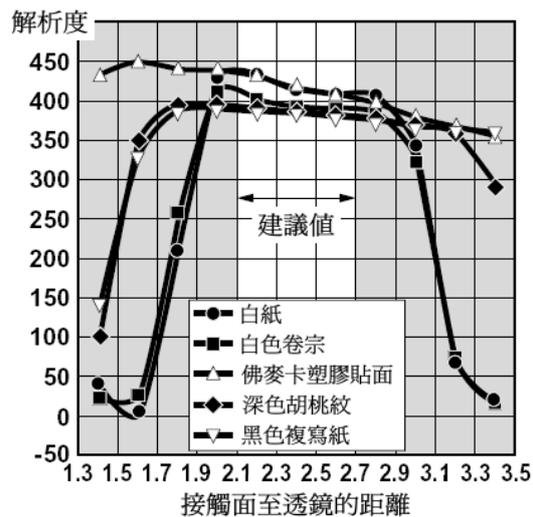


圖 7 解析度與透鏡高度在不同接觸面下的關係

(4)如何讀取滑鼠透過 USB 介面傳送過來的訊息

滑鼠的光學感測器主要是由影像擷取系統（Image Acquisition System）、數位訊

號處理器 (Digital Signal Processor)、USB 微控器等三個單元所組成[5]，滑鼠移動的時後，影像擷取系統就以很高的速度不斷地對著接觸面拍照，每幅影像間的變化經由數位訊號處理器分析後，將目前滑鼠的移動方向和位移交給 USB 微控器，產生 USB 訊號而傳送至電腦。

對於個人電腦 PC 的使用者來說，USB 是目前在使用上最方便的一種介面，但是 USB 裝置的韌體與驅動程式在設計上則是相當的繁瑣複雜，還好 MicroSoft 的 Windows 作業系統針對滑鼠、鍵盤、搖桿等 USB 類型的輸入裝置都提供了人性化介面裝置 (Human Interface Device HID) 的驅動程式，程式設計師可以透過程式語言本身所提供的事件與方法或是利用 Windows API 函式 (使用 hid.dll、setupapi.dll、kernel32.dll 等三個動態連接函式庫) 來與這些裝置通訊與交換資料[2][3]。

(5) 滑鼠移動資訊及物體真實移動距離的關連性

有了滑鼠傳來的物體移動相關資訊後，還必須建立起這些資訊及物體真實移動距離的關連性，找出轉換函數後，就可以用來測定物體的移動距離，至於物體移動速度的量測，只要再搭配上精準的計時器即可。

三、研究結果：

1. 量測系統的架構

(1) 透鏡的選擇與安裝

我們找到了圖 8-1 所示的 10 倍、15 倍與 22 倍等三種倍率的短焦凸透鏡，經過測試後，決定採用 22 倍的凸透鏡 (焦距約為 11.36mm)，因為其焦距最短，除了能讓光學量測系統有整體的感覺外，也易於調整隔離柱的長度，使得光學感測器至最靈敏的程度，圖 8-2 為 22 倍凸透鏡與光學感測器組裝的情形。



圖 8-1 不同倍率之短焦凸透鏡

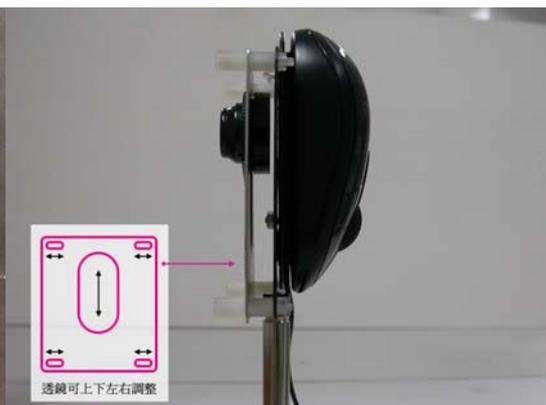


圖 8-2 透鏡與光學感測器的組裝

(2) 光源的選擇

我們嘗試了圖 9 中所示的六種光源，依序為 1 瓦強光型 LED 頭燈、50 瓦鹵素投射燈、1 瓦 LED 手電筒、1.5 瓦燈泡手電筒、3 瓦強光型紅色 LED、4.5 瓦石

石英頭燈，接觸面至透鏡的距離設定為 240mm，經過實驗，發現編號 2、5、6 的 50 瓦鹵素投射燈、3 瓦強光型紅色 LED、4.5 瓦石英頭燈均可讓光學感測器有明顯的反應，經過實用性與方便性的考量，我們決定採用編號 6 的 4.5 瓦石英頭燈為輔助光源。



圖 9 各式測試光源

(3)系統架構

如圖 10 所示，我們利用了滑軌、固定滑塊、立柱、4.5 瓦石英頭燈、相機雲台、22 倍凸透鏡、滑鼠等元件組成了光學量測系統，在使用此系統作量測前，必須調整光源的角度，使其反射光能夠經過透鏡聚集後進入光學感測器。

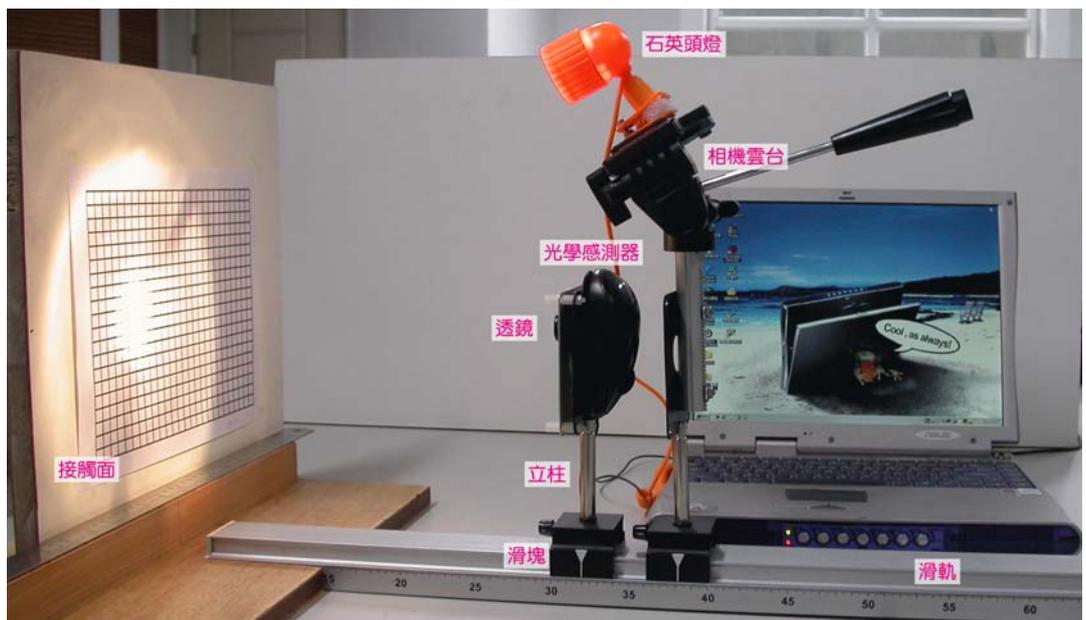


圖 10 光學量測系統的架構

2. 透過 USB 介面讀取光學感測器傳送過來的訊息

(1) Raw Input 模式的 Windows API 函式

Microsoft 的 Windows 作業系統針對滑鼠、鍵盤、搖桿、觸控面板等 USB 類型的輸入裝置提供了人性化介面裝置 (Human Interface Device HID) 的驅動程式，程式設計師可以透過程式語言本身所提供的事件與方法或是利用 Windows API 函式來與這些裝置通訊與交換資料。

但是 Windows 對於電腦系統的滑鼠與鍵盤做了些保護措施，就算您的電腦上

連接了好幾個滑鼠與鍵盤，Windows 會把這些滑鼠或是鍵盤傳送來的資料分別整合包裝起來，感覺起來好像整個系統就只有一組滑鼠與鍵盤，也就是說，Windows 下的應用程式，是無法區分目前接收到的滑鼠或是鍵盤訊息，到底是由哪一個滑鼠或是鍵盤傳來的。為了解決這個問題，Microsoft 的 WindowsXP 與 Vista 提供了 Raw Input 模式的 API 函式（使用 user32.dll 動態連接函式庫）[8]，使得應用程式可以區別與接收任何一個 HID 人性化介面裝置（包括滑鼠與鍵盤在內）傳送過來的訊息。

(2)程式實作：讀取光學感測器透過 USB 介面傳送過來的移動訊息

應用程式可利用下列的 API 函數來完成 HID 人性化介面裝置的 Raw Input 資料輸入模式：

- `GetRawInputDeviceList`：取得電腦系統中所有輸入設備的清單。
- `RegisterRawInputDevices`：向系統註冊要執行 Raw Input 的輸入設備。
- `GetRawInputDeviceInfo`：取得輸入設備的相關訊息。
- `GetRawInputData`：取得輸入設備以 Raw Input 模式傳送過來的訊息。



圖 11 以 Raw Input 模式讀取各滑鼠的資料

我們參考了文獻[8][9]，使用 Microsoft Visual Studio 2005 C# 實作 Raw Input 模式的應用程式，可以獨立地讀取光學感測器傳送過來的移動訊息，並不會受到電腦系統中其他滑鼠的影響，程式執行時的畫面如圖 11 所示。

3. 解析度與接觸面

(1)解析度實驗

本實驗所使用的光學感測器為 Agilent ADNS-2051，依參考文獻[5][7]的說明，接觸面到透鏡的距離為 2.4mm 的時候，解析度為 400cpi (counts per inch)，若是接觸面到透鏡距離增加的話，依相似形的原理，可以理解其解析度是會往下降的。為了解接觸面到透鏡間距離與其解析度的關係，我們製作了 10 張不同間隔距離的網格，如圖 12 所示，分別放在透鏡前方 D 的地方，在等間隔地移動網格的同時，紀錄下光學感測器傳送過來的訊息，將此訊息整理成移動距離（單位為像素 pixel）並繪製成圖表後，我們可以約略找到接觸面與透鏡在不同距離下光學感測器的解析度，以 $D = 24cm$ 為例，在較大的網格間距時，網格的移動距離與光學感測器感應到的移動距離，幾乎是成線性比例的關係，直到網格間距 2.76mm 時還可以維持這種線性關係，但是網格間距為 2.09mm（或以下）的時候就破壞了這種線性關係，所以我們可以推估在 $D = 24cm$ 的時候，光學感測器的解析度約為 9.2cpi（網格間距 2.76mm）。

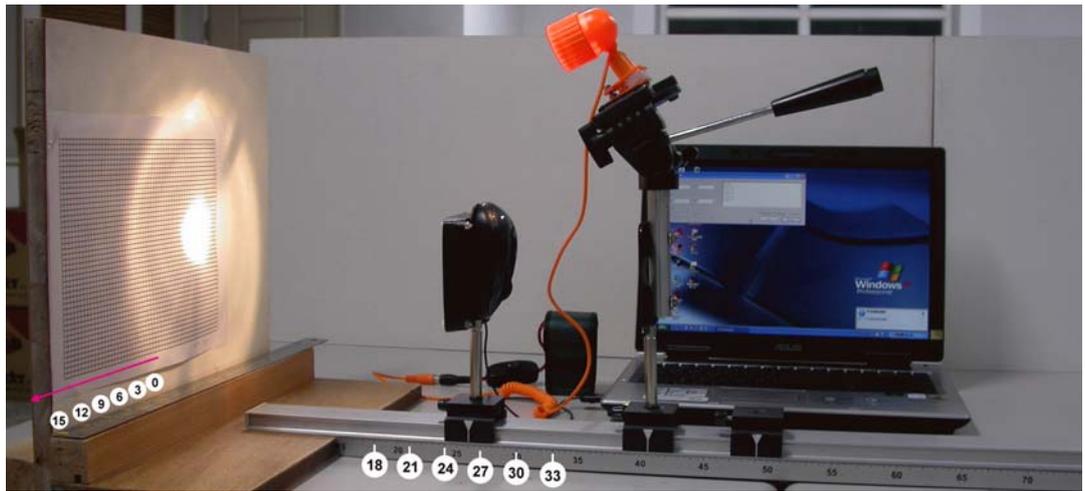
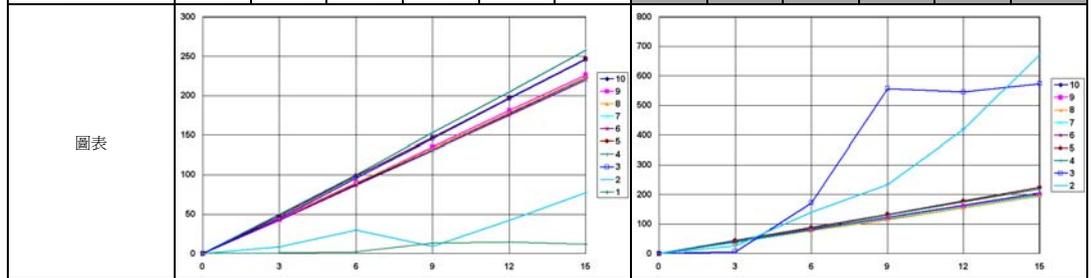


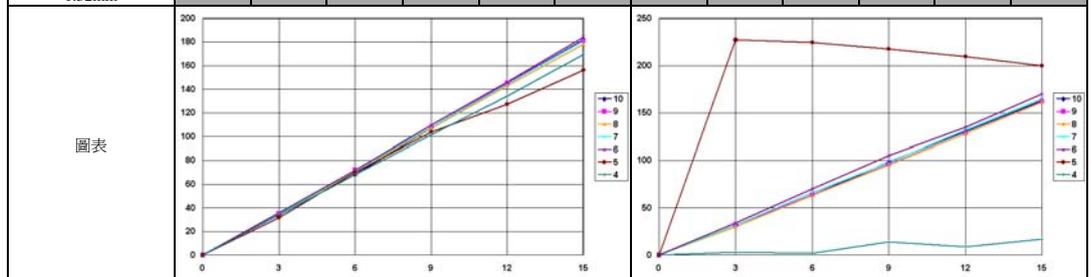
圖 12 光學感測器解析度實驗

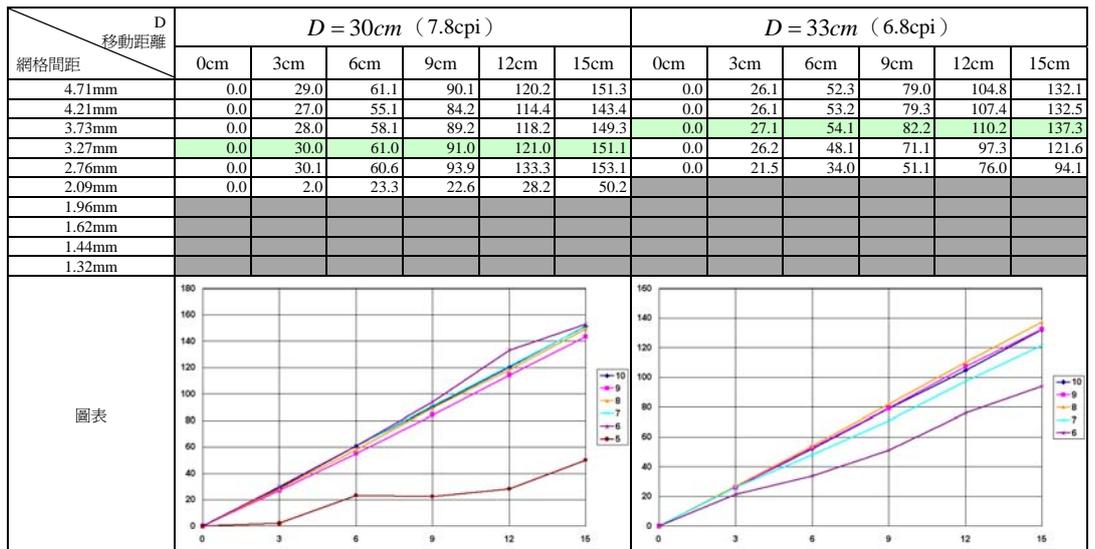
解析度實驗

D 移動距離 網格間距	D = 18cm (15.7cpi)						D = 21cm (13.0cpi)					
	0cm	3cm	6cm	9cm	12cm	15cm	0cm	3cm	6cm	9cm	12cm	15cm
4.71mm	0.0	44.0	88.1	133.1	177.2	222.3	0.0	40.0	80.0	120.0	160.0	200.1
4.21mm	0.0	44.0	90.0	135.1	181.2	226.4	0.0	38.0	79.0	118.1	160.0	199.1
3.73mm	0.0	45.0	90.1	133.2	178.2	223.3	0.0	37.0	78.0	115.0	155.1	196.1
3.27mm	0.0	42.0	87.1	130.1	175.2	220.2	0.0	38.0	80.1	120.1	159.2	199.2
2.76mm	0.0	42.0	87.0	131.0	175.0	220.0	0.0	41.0	81.0	123.0	164.0	206.0
2.09mm	0.0	48.0	99.0	147.0	197.0	247.0	0.0	44.0	89.0	134.0	179.0	224.0
1.96mm	0.0	50.0	100.0	153.0	205.0	258.0	0.0	43.0	86.0	131.0	175.0	219.0
1.62mm	0.0	45.1	96.0	145.3	196.7	245.8	0.0	7.0	172.0	557.7	544.8	574.3
1.44mm	0.0	8.2	30.0	9.0	42.1	77.0	0.0	27.0	139.2	233.3	419.4	671.5
1.32mm	0.0	1.4	2.2	13.0	15.0	12.0						



D 移動距離 網格間距	D = 24cm (9.2cpi)						D = 27cm (9.2cpi)					
	0cm	3cm	6cm	9cm	12cm	15cm	0cm	3cm	6cm	9cm	12cm	15cm
4.71mm	0.0	34.0	68.0	107.1	145.2	182.0	0.0	32.1	64.1	98.1	130.1	163.2
4.21mm	0.0	35.0	72.0	108.0	145.1	181.1	0.0	32.0	64.0	96.1	128.2	162.3
3.73mm	0.0	35.0	70.0	107.0	143.0	178.1	0.0	30.0	63.1	95.1	128.2	161.3
3.27mm	0.0	35.0	71.0	108.0	144.1	181.1	0.0	32.0	66.0	98.0	132.0	165.0
2.76mm	0.0	36.0	72.0	110.0	146.0	184.0	0.0	34.0	70.0	105.0	135.0	170.0
2.09mm	0.0	32.0	70.0	104.0	127.1	156.2	0.0	227.1	224.4	217.6	209.5	200.0
1.96mm	0.0	34.1	67.9	101.8	134.1	169.7	0.0	3.0	2.0	14.0	9.1	17.0
1.62mm												
1.44mm												
1.32mm												





(2)接觸面實驗

接觸面的材質種類也影響著光學感測器是否能夠有效地運作，由解析度的實驗得知，我們所設計的光學感測器在距離接觸面 24cm 的時候，可以有效地感應間距在 2.76mm 或以上的網格，所以可以推知接觸面的材質必須粗糙一點，使得光學感測器所拍攝的影像，能夠如間距 2.76mm 的網格有同樣的效果。



圖 13-1 各色模造紙與牛皮紙



圖 13-2 雲彩紙



圖 13-3 岩片磚



圖 13-4 抵石子與磨石子



圖 13-5 皮革與胡桃木紋

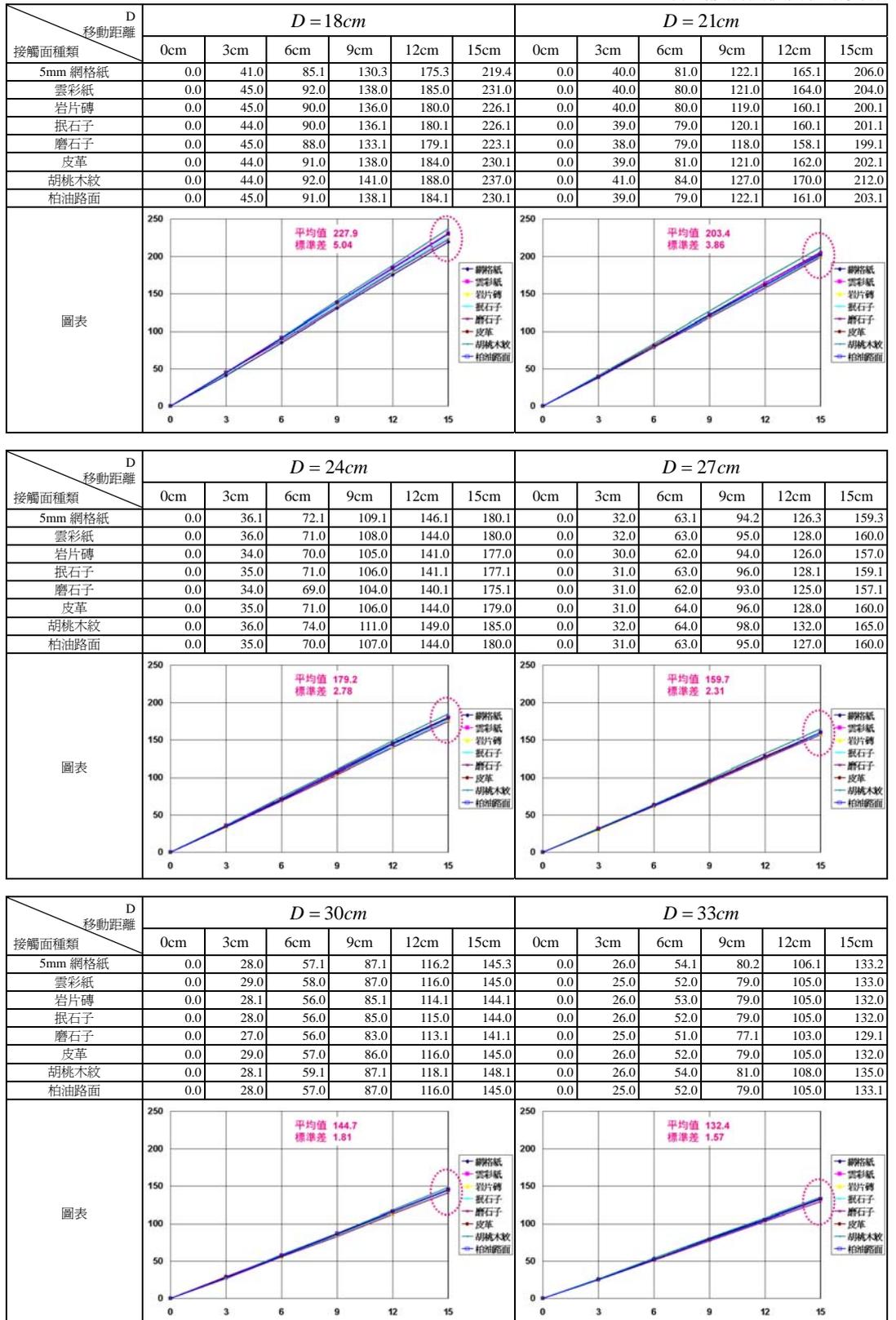


圖 13-6 柏油路面

如同解析度的實驗般，只要將接觸面由不同間距的網格紙換成各式材質即可，我們測試了各種顏色的模造紙、牛皮紙、雲彩紙、岩片磚、抵石子牆面、磨石子地面、皮革、胡桃木紋、柏油路面，發現其中的各色模造紙與牛皮紙都沒有反應，可能因為這些紙張對我們的光學感測器而言都太過於光滑了，其他的材質則都有明顯反應，而且各式材質的真實移動距離與光學感測器感應到的移動距離，幾乎是成線性比例的關係，相關的實驗數據如下列圖表所示。其中有一點是值得注意的地方，在各種材質接觸面的實際移動距離均為 15cm 的情況下，當接觸面與透鏡距離越遠，光學感測器的感應移動距離的標準差也越小，也就是說接觸面的材質種類對於光學感測器的感應移動距離所造成的影響也

越小。

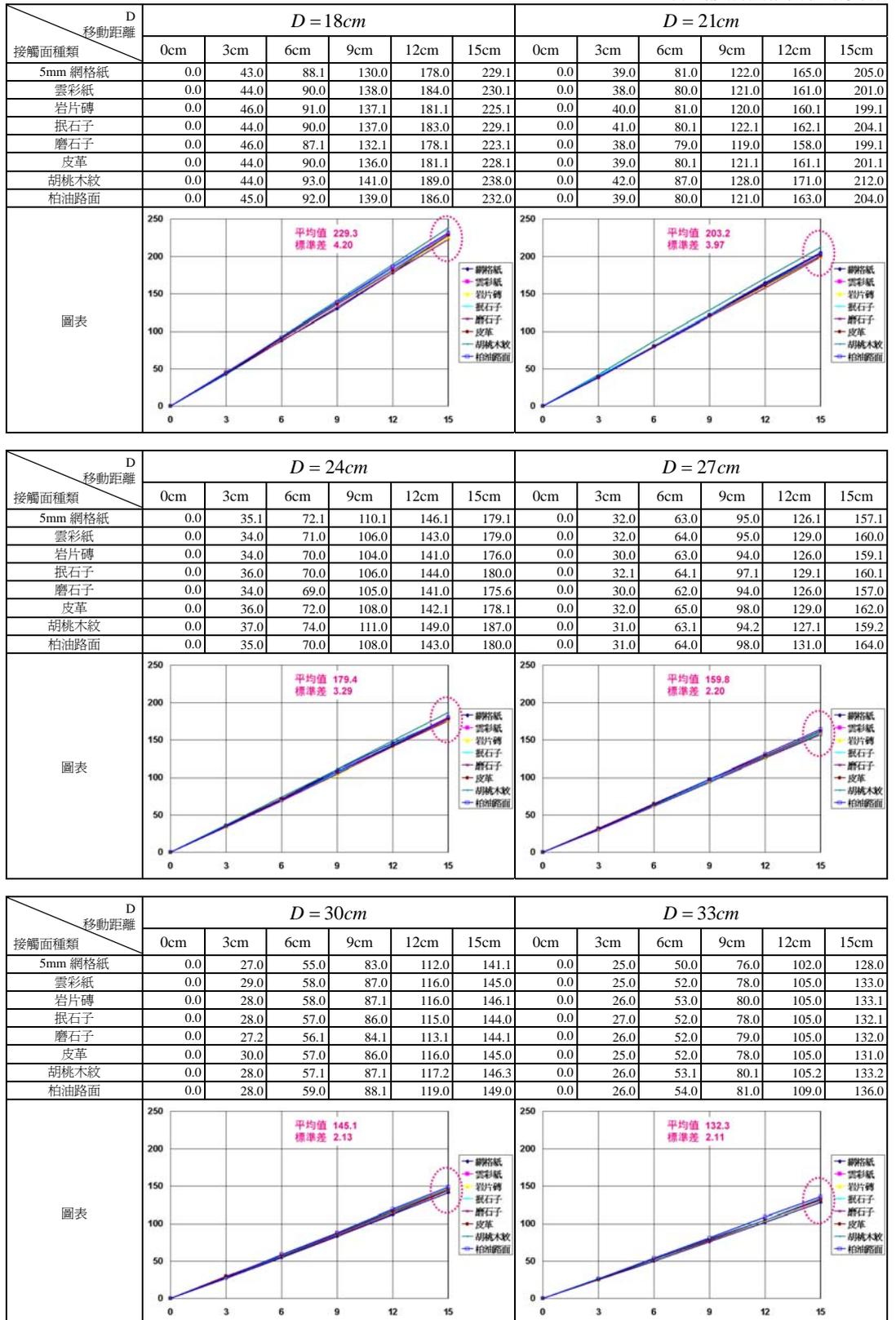
各式接觸面橫向移動實驗



上述測試均為橫向的移動，我們也將各式材質做了縱向移動的測試，由下列的實驗數據看來，光學感測器對於橫向與縱向移動的感應靈敏度與解析度幾乎是

一樣的。

各式接觸面縱向移動實驗



4. 量測軟體的實作

由解析度與接觸面的實驗看來，光學感測器與接觸面的距離越近解析度越好，但是材質的種類對於量測結果的影響也越大，經過折衷考量，決定接觸面至光學感測器間的距離設定為 24cm，根據實驗結果，各接觸面橫向與縱向各移動 15cm 的時候，光學感測器的感應移動距離平均為 179.2 pixel 與 179.4 pixel，量測程式可利用此比例關係，由光學感測器傳來的移動訊息來推得外界物體的真實移動距離。我們使用 Microsoft Visual Studio 2005 C# 來實作，除了透過 Raw Input 模式來讀取光學感測器傳送過來的移動訊息外，主要使用了一個計時器，可於固定的時間間格紀錄一次目前光學感測器的位置座標，再利用兩個滑動軸，來調整計時器的時間間格與紀錄游標位置的次數，測量終了，相關的數據與結果顯示在文字框 (RichTextBox) 中，另外，為了讓使用者有視覺上的效果，測量物體的速度變化情形顯示在圖片盒 (PictureBox) 內，圖 14 是量測軟體執行終了顯示結果的畫面。

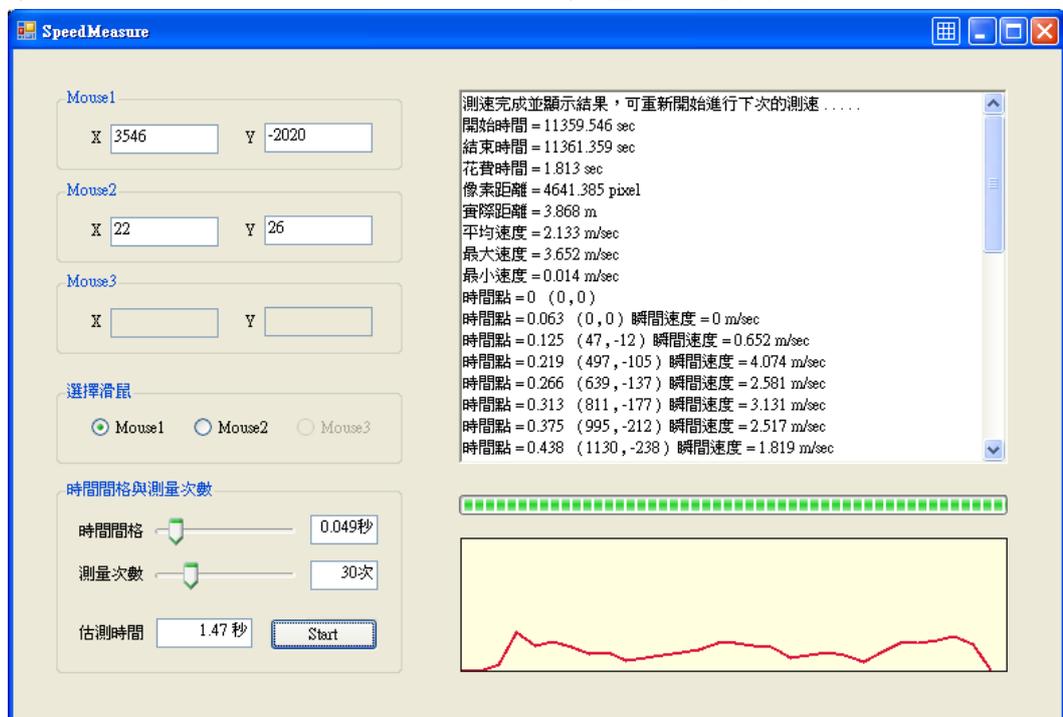


圖 14 量測軟體執行時畫面

5. 實際測試

(1) 移動距離測試

將接觸面置於光學感測器前方 24cm 處，移動接觸面多次，每次不等距離，同時以量測軟體量測 (圖 15)，紀錄下接觸面的真實移動距離與量測軟體量測距離，數據如下列表格所示，另外，以 Microsoft Excel

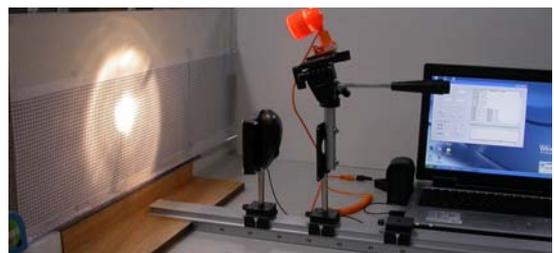
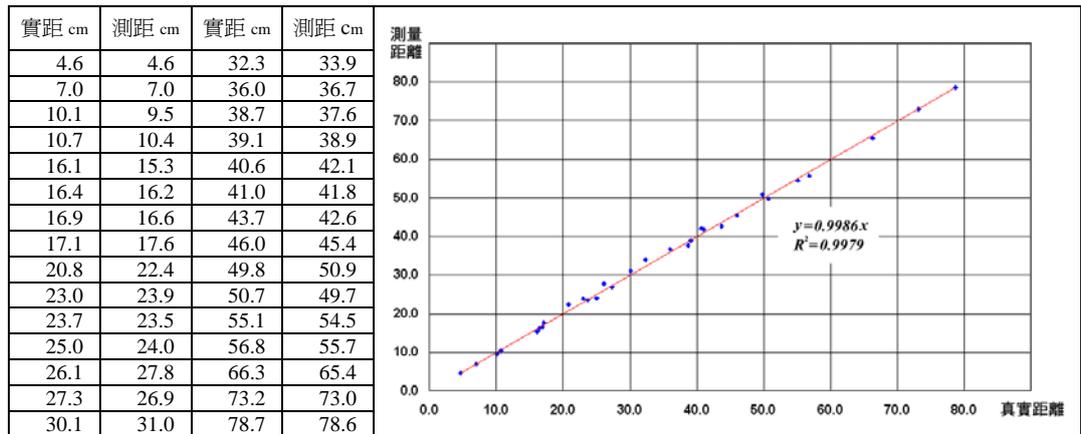


圖 15 光學量測系統測量接觸面移動距離

將數據的趨勢線繪出，由圖中得知 $R - squared = 0.9979$ ，代表真實移動距離與量測距離相關性非常的高。



(2) 移動速度測試



圖 16-1 可調速馬達與轉速計

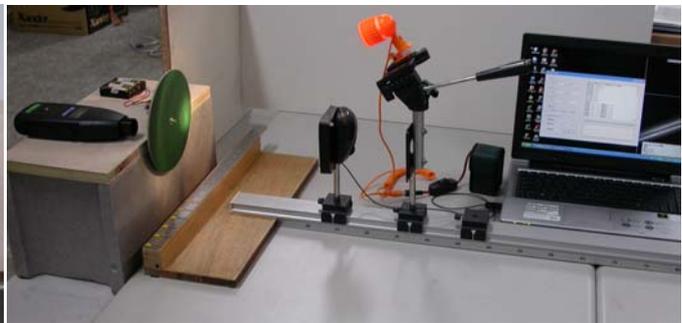
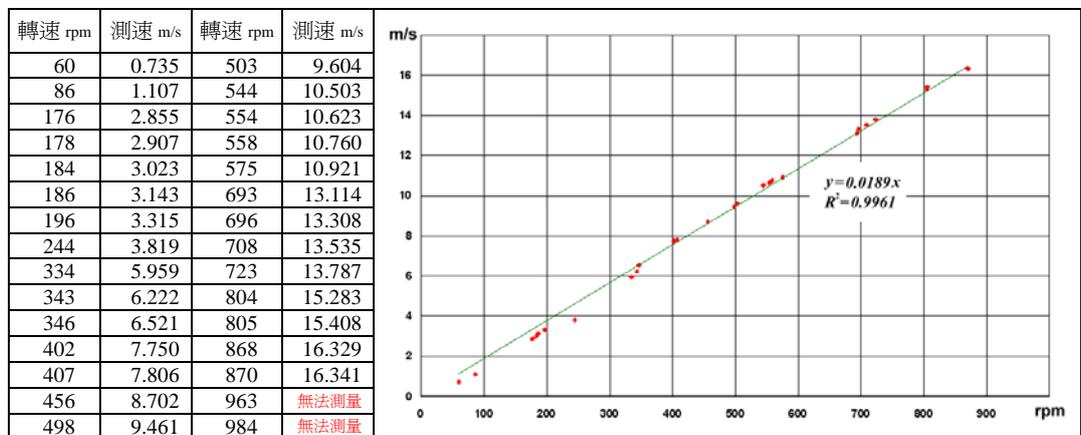


圖 16-2 光學量測系統測量轉盤面的速度



在沒有精準的測速儀器輔助下，如雷射測速儀或雷達測速儀，很難得知目前物體的真正速度來驗證我們的光學量測系統。實驗室有一支可以測量馬達轉速的光電式轉速計 Lutron DT-2234B（精確度 $\pm 0.05\%$ ），於是我們利用一組以脈波寬調變 PWN 方式調整轉速的馬達，在搭配上最易取得的雲彩紙轉盤後（圖 16），同時以光電式轉速計與光學感測器來測量馬達在不同轉速時轉盤面的轉速與盤面速度，數據如上列表格所示。

利用 Microsoft Excel 將量測數據的趨勢線繪出，由圖中看來，光電式轉速計所量得的轉速與光學量測系統所測得的轉盤面速度，幾乎是成線性函數的關係

($R-squared = 0.9961$)，又因為轉盤面的轉速 rpm 與速度 m/sec 是成等比例的關係(常數乘積 $2\pi r/60$)，所以，利用光學量測系統來量測外界物體的速度應該是蠻精準可靠的。

四、討論：

目前市面上現有測速儀的價格均非常昂貴，如雷達測速儀與雷射測速儀等，我們希望利用廉價耐用的光學滑鼠感測器，經過簡易的改裝後，能夠在非接觸的情況下用來測定外界物體的移動速率與位移，本研究至目前為止，仍有幾點可供後續研究與努力的方向。

- 接觸面到光學感測器透鏡的距離越遠，能夠測得移動物體的極速也越高，但是會造成感測器的解析度下降，如此限制了接觸面的材質種類，必須粗糙一點才行。最簡便的改進方法，就是採用較高性能的光學感測器，2005 年推出的 Agilent ADNS-3080，它的表面追蹤能力號稱是 ADNS-2051 的 40 倍，每秒拍攝 6469 幅影像，最大移動速度為每秒 40 英吋，解析度為 1600cpi，在使用較佳的光學感測器的情況下，對於光學量測系統的效能會有很大的助益。另外，雷射型光學滑鼠近來也日益普遍，Agilent 的 ADNS-6010 感測器具有更好的移動速度(每秒 45 英吋)與解析度(2000cpi)，雖然其光源與透鏡的組合比較特殊，不過非常值得我們去嘗試。
- 當馬達轉速較快的時候，光學量測系統就無法測量轉盤面的速度了，實驗中可以測得的馬達最高轉速為 870rpm，每秒 16.341 公尺，這與推算出來的理論值(每秒 35.56 公尺)還有一大段的差距，可能是雲彩紙的材質不夠粗糙，光學感測器無法在較高速的情況下做表面追蹤，轉盤面換上更粗糙的材質或是使用較高效能的光學感測器，情況應該會有所改善。
- 我們的光學量測系統必須知道接觸面與感測器間的距離，才可以做出正確的速度轉換計算，若是能夠整合並加上測量距離的工具，例如超音波測距儀或是雷射測距儀，哪麼在使用上會更有彈性。

五、結語與應用：

本研究成功地將日常所見的光學滑鼠改裝成光學量測系統，可以在無接觸與無摩擦的情況下來測量外界物體的移動速度與距離，雖然受限於光學感測器的效能，無法量測表面較為光滑的物體，但是在設計得宜的情況下，仍有其用途，例如帶狀跑步機的速度與移動距離、腳踏車及機車的速度與移動距離、輸送帶的傳送速度、轉盤面的速度等，日後若能採用較高效能的光學感測器，相信應用層面會更為廣泛。

六、參考資料：

1. Teo Chiang Mei, “滑鼠的秘密”, RUN!PC 雜誌, 第 158 期, 2007/03。
2. 林錫寬, “快速上手 USB 單晶片”, 全華科技, 2004。
3. 許永和, “介面設計與實習 - 使用 Visual Basic”, 全華科技, 2006/10。
4. 許清榮等著, “Visual C# 2005 建構資訊系統實戰經典教本”, 博碩文化股份有限公司, 2006。
5. Agilent Technologies, “Agilent ADNS-2051 Optical Mouse Sensor Data Sheet”, <http://literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-4289EN.pdf>, 2002/01。
6. Agilent Technologies, “Optical Mice and how they Work : The Optical mouse is a complete imaging system in a package”, <http://literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-4554EN.pdf>。
7. Agilent Technologies, “Agilent ADNS-2100 Solid-State Optical Mouse Lens Data Sheet”, <http://literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-2835EN.pdf>。
8. <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms645536.aspx>, 微軟 MSDN Library。
9. Smesser, Emma Burrows, “Using Raw Input from C# to handle multiple keyboards”, <http://www.codeproject.com/cs/system/rawinput.asp?df=100&forumid=375378&exp=0&select=2115788#xx2115788xx>。

評語

本作品利用光學滑鼠的光感測器系統為基幹再配以強光及聚焦鏡而成一簡易的光學量測系統，在冰接觸下，可測物體的位移及速度。整個作品具學理上的可行性，而其實驗設備亦屬完整，是一件好作品。