

2017 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100027
參展科別 工程學
作品名稱 行動工具鼠
得獎獎項 大會獎：三等獎

就讀學校 高雄市立左營高級中學
指導教師 吳妙欣、許時嘉
作者姓名 孫瑜鎂

關鍵字 滑鼠、測距器、APP

作者簡介



學生姓孫，名瑜鎂，目前就讀於高雄市立左營高中三年級，從國中求學階段至今，同學都以化學妹（鎂）的綽號稱呼我。我從小就非常欣賞「名偵探柯南」、「宇宙兄弟」的漫畫人物，並期望自己長大後，成為像「柯南」或「南波日日人」一樣，擁有思考邏輯清晰與多面向的專業能力。由於我對物理及工程科學都有很濃厚的興趣，因此我從國中求學階段，就藉由參與各項比賽，來加深、加廣、加快學習自己有興趣的專業科目。未來我希望將創作研究結合日常生活，讓生活充滿科學、充滿樂趣。

摘 要

滑鼠的問世是電腦史上的重大發展，其關鍵設計是以編解碼技術與影像辨識技術，來判斷滑鼠的移動與方向。本作品「行動工具鼠」的最初設計構想是利用滑鼠滾輪滾動的編碼機構與技術，應用圓周運動相對於距離移動的概念，再將滑鼠滾輪的圓周長，乘以滑鼠滾輪轉動圈數，即可得知滾動的距離；若再以單位時間，除以當下所移動的距離，即可得知即時的移動速度。作品更新版，第二代的設計策略，是利用滑鼠內光學鏡頭 IC，以非接觸的方式來偵測滑鼠移動的距離。目前最新的設計，是以無線滑鼠，接上手持式行動裝置，搭配自行設計的 APP 程式，以相對滑鼠移動的概念，來偵測滑鼠的移動方向，以及滑鼠移動軌跡的座標變化量，即可得知滑鼠實際的移動的距離。以此設計與應用，可以完全取代市售測距輪的所有功能，成為日常生活中便利且實用的好工具。

Abstract

The advent of the mouse is a major development in the history of computers. The key design of mouse is based on codec technology and image identification technology which is to used judge the direction of movement of the mouse. Design prototype of 「Portable Measuring Tools by Mouse, PMTM」 use the mouse wheel structure and codec technology with concept of moving distance of the circular motion, you can know the distance to scroll and get real time speed.

Design strategy of second generation PMTM is to detect mouse movement distance with non-touch manner by using optical lens IC inside the mouse. The latest design of PMTM combine wireless mouse with mobile phone by App Inventor 2 program. The actual moving distance can be calculated by detecting the amount of change in the moving direction and coordination change when mouse move.

Latest PMTM can replace commercial measuring wheel completely, it is a convenient and practical tool for daily life.

壹、研究動機

根據英國「每日鏡報」報導，一隻正常的滑鼠，每個星期平均會被點擊 2570 次；使用壽命內可以被點擊超過 37 萬次以上，在一般辦公室用的滑鼠，平均壽命大約 33 個月，並且可以滑(滾)出 680 公里以上的距離。但是，由於滑鼠的普及與便宜，使用者通常在滑鼠的使用上出現不順手時，就以為滑鼠使用壽命到了，進而更換滑鼠。然而一般滑鼠的故障現象，大都為滑鼠按鍵時好時壞、找不到滑鼠、靈敏度變差、滑鼠定位不準或無故發生游標飄移現象。然而這些滑鼠故障現象，大都是因為滑鼠連接線斷線、按鍵接觸不良、光學系統積污垢等等，實際上電子零件損壞而壽終正寢的情況並不多見。因此利用廢棄的滑鼠，用來判斷使用者將螢幕畫面向下一頁，或向上一頁滾動的編碼機構與技術，與偵測使用者的滑鼠移動方向和移動軌跡的光學鏡頭 IC，加以修改應用於距離與速度的測定便被構思出來。本作品不僅可達到廢棄物再利用之目的，更可以變成日常生活中不可或缺的好工具。

貳、研究目的

滑鼠的問世是電腦史上的重大發展，一般人使用滑鼠的機率與頻率，比使用鍵盤還高，由於滑鼠的普及與便宜，一般大眾對於滑鼠的使用總是少那麼一點耐心，使用者通常在滑鼠的使用上出現不順手時，就以為滑鼠使用壽命到了，進而更換滑鼠。事實上要製造出現今我們常用的滑鼠，它所需要的相關專業知識與技術是非常多且複雜的，例如：光學、編碼、解碼、機構、通訊協定、無線傳輸等等。有志於理工方面發展的莘莘學子，是可以從滑鼠身上學到非常多的專業知識與技術，甚至可以利用此方面的專業知識與技術，延伸開發出許多的創意與創作。本作品「行動工具鼠」的最初研究目的是利用廢棄的滑鼠，將滑鼠用來判斷使用者將螢幕畫面向下一頁，或向上一頁滾動的編碼機構與技術，以及偵測使用者的滑鼠移動方向與移動軌跡的光學鏡頭 IC，所延伸開發出低成本、操作容易的「行動測距器」與「速度里程計」，不僅可達到廢棄物再利用之目的，更可以變成日常生活中便利的好工具。

參、研究設備及器材

一、研究設備

「鼠速」研究設備		
設備名稱	作用 / 功能	備註
個人電腦	資料蒐集、電腦繪圖、模擬、程式設計、報告撰寫	
示波器	系統波形量測	外校教師支援
電源供應器	提供系統開發過程中的電源	
訊號產生器	提供系統開發過程中的訊號模擬	外校教師支援
三用電表	元件判斷、訊號量測	
行動電話	滑鼠移動軌跡資料收集、分析與結果顯示	

二、研究器材

「鼠速」研究器材		
器材名稱	作用 / 功能	備註
基本手工具	切割、剪裁、固定	起子、刀片等
手電鑽	鑽孔、磨光	
焊槍	電路焊接	
充電電池	電力儲存	
數位 IC(單晶片)	計次電路	
基本電子零件	顯示、保護等	LCD、LED 等
故障滑鼠	滾動旋轉編碼、光學 IC	
無線滑鼠	連接智慧型行動裝置	
滾輪	帶動滑鼠滾動	
伸縮桿	連接滾輪、調整測距器長短，方便手持	

肆、研究過程或方法

一、研究流程

本作品研究經過大量的資料蒐集以及學生與老師多次討論與作品改善，從擬定研究方向與計劃到撰寫研究報告之實施步驟分為十項，其流程如圖 4-1 所示。

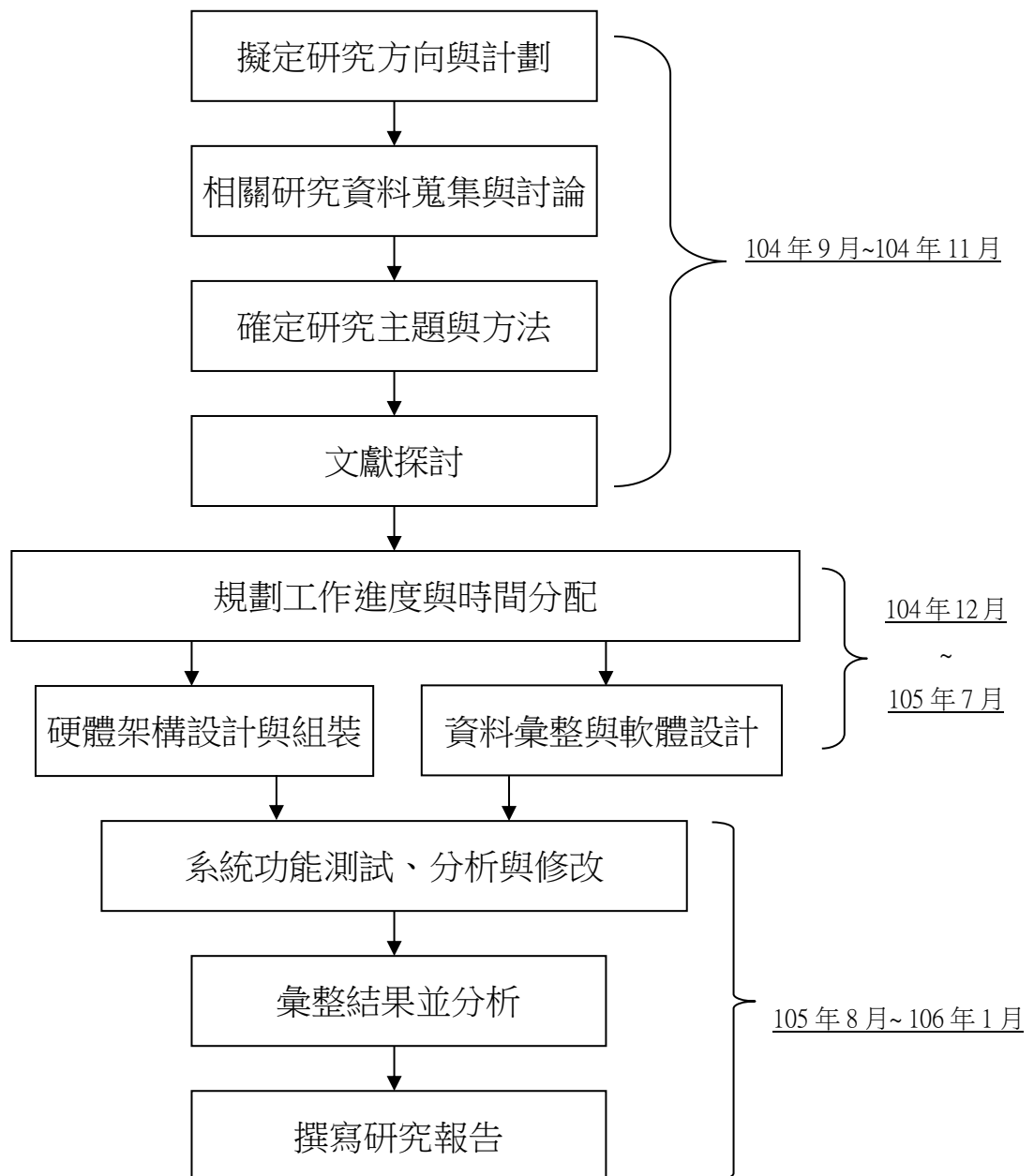


圖 4-1、研究進度與流程

二、研究方法

(一)、文獻探討

1、 滑鼠

電腦滑鼠是 1963 年美國人道格拉斯·恩格爾巴特 (Douglas Engelbart) 博士所發明。這個原型滑鼠是一個傳輸類比信號的設備，依靠底部兩個金屬輪帶動變阻器，由電阻值改變產生位移信號。其設計理念與現今的滑鼠一樣，都是藉由移動滑鼠來帶動螢幕上的游標，1967 年恩格爾巴特博士把它申請專利，並命名為「顯示系統 X-Y 位置指示器」。當時，這個原型裝置拖著一條長長的連線，如同老鼠的尾巴，因此被稱為「mouse」，恩格爾巴特博士也因此被稱為「滑鼠之父」。

滑鼠發展里程的主要年代，如下頁圖 4-2 所示：

- 1968 年，滑鼠的原型誕生於美國史丹福大學。它的發明者是美國道格拉斯·恩格爾巴特博士。這隻滑鼠的設計目的，是為了用滑鼠來代替鍵盤那繁瑣的指令，從而使計算機的操作更加簡便。滑鼠的外形是一隻小木頭盒子，其工作原理是由它底部的小球帶動樞軸轉動，繼而帶動變阻器改變電阻值來產生位移信號，並將信號傳至主機。
- 1980 年初，出現了第一代的光學滑鼠，光學滑鼠具有比機械滑鼠更高的精確度。但是它必須工作在特殊印有微小格柵的光學滑鼠墊上。但滑鼠過高的成本限制了其使用範圍。
- 1981 年，第一隻商業化滑鼠誕生。(最早於 Mac 廣泛應用)
- 1983 年，羅技發明了第一隻光學機械式滑鼠，也就是我們今天所說的機械滑鼠。這種滑鼠結構成為了事實上的行業標準。
- 1999 年，安捷倫公司(Agilent, 後改組為安華高, Avago)發布了 IntelliEye 光學引擎，繼而市場上出現了不需要專用滑鼠墊的光學滑鼠，光學滑鼠的普及由此開始。
- 2003 年，羅技與微軟分別推出以藍芽為通訊協定的藍芽滑鼠。
- 2005 年，羅技與安華高合作推出第一款雷射滑鼠(無線, 可充電, Logitech MX1000)。
- 2006 年，第一隻克服玻璃障礙的有線雷射滑鼠問世(DEXIN, ML45)。
- 2006 年，藍牙雷射滑鼠問世(Acrox)。
- 2008 年，微軟推出採用 Blue Track 技術的藍光滑鼠，幾乎兼容所有硬體相容介面。

- 2009 年，羅技推出 DarkField 雷射追蹤技術。此技術基本上仍是採用雷射辨識，結合運用在實驗室的「暗視野(Darkfield)」顯微鏡技術，讓滑鼠也能看到透明材質中的小瑕疵、灰塵、微粒等微小物質，並藉此提供辨識定位資訊。(Logitech M905、M950)。
- 2009 年，蘋果公司推出新滑鼠 Magic Mouse(魔術滑鼠)，採用承襲自 iPhone、iPod Touch、MacBook 的多點觸控技術，把所有滑鼠按鍵、滾輪都拿掉，只以一整片多點觸控板，就能提供等同一般滑鼠的左、右鍵，以及 360 度滾輪功能，並能以兩指操作更多手勢功能。



圖 4-2、滑鼠發展里程的主要年代圖示

(圖片資料來源：掌上明珠-滑鼠。陳智信、楊智惠、黃耿祥。科學發展 2011 年 4 月。460 期。)

一般的光學機械滑鼠內部的主要結構有：(1)移動滑鼠帶動滾球(2)X方向和Y方轉桿傳遞滑鼠移動(3)旋轉編碼器的光學刻度盤(4)電晶體發射紅外線可穿過刻度盤的小孔(5)光學感測器接收紅外線並轉換為平面移動速度，如圖4-3所示。其工作原理是利用滾輪的移動來轉動X軸及Y軸上的光柵欄轉盤，電晶體發射的紅外線穿過這些小孔再讓光學感應器接受到時，就可以計算出鼠標應該移動的距離及速度。

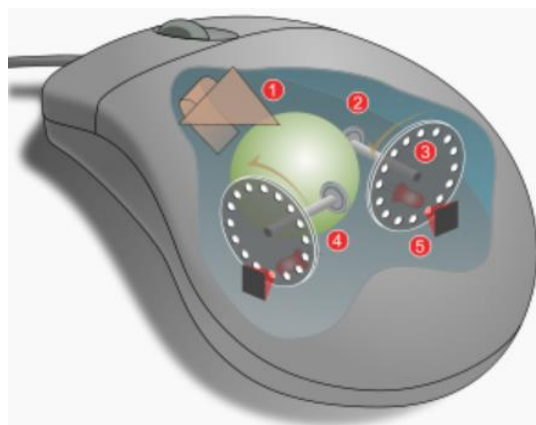


圖 4-3、光學機械滑鼠內部的主要結構 (圖片來源：維基百科。http://zh.wikipedia.org)

另一形式的光學滑鼠被稱為光電滑鼠，光電滑鼠與光學機械式滑鼠最大的不同之處在於其定位模式不同。光電滑鼠的工作原理是：在光電滑鼠內部有一個發光二極體，通過該發光二極體發出的光線，照亮光電滑鼠底部表面。然後將光電滑鼠底部表面反射回的一部分光線，經過一組光學透鏡，傳輸到一個光感應器內，形成圖像。當光電滑鼠移動時，其移動軌跡便會被記錄為一組高速拍攝的連貫圖像。最後利用光電滑鼠內部的一塊專用圖像分析微處理器，對移動軌跡上攝取的一系列圖像進行分析處理，通過對這些圖像上特徵點位置的變化進行分析，來判斷滑鼠的移動方向和移動距離，進而完成游標的定位。圖4-4所示為光電滑鼠內部結構與成相示意圖。圖4-5所示為光學感測器連續拍攝的兩幅影像，因為影像是往左下方向移動，所以可以判斷得知滑鼠是往右上方向移動。

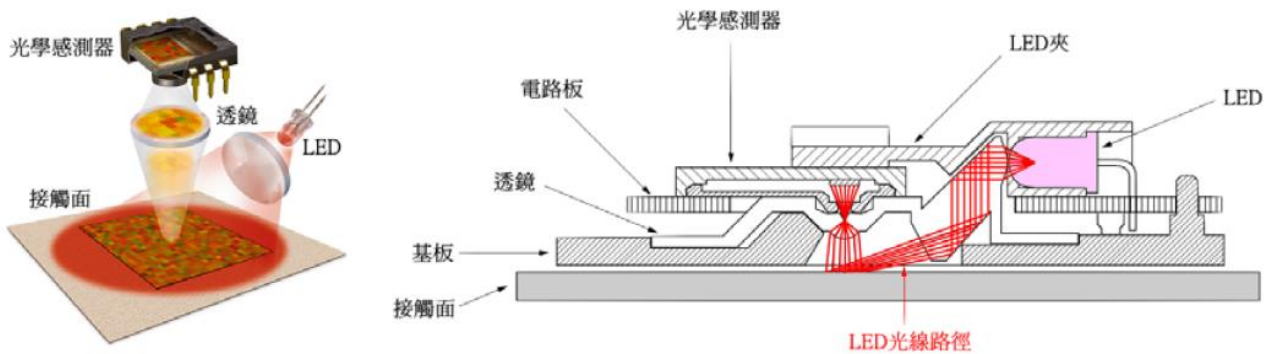


圖4-4、光電滑鼠內部結構與成相示意圖

(圖片資料來源：太平洋電腦網。http://www.wuyazi.com)

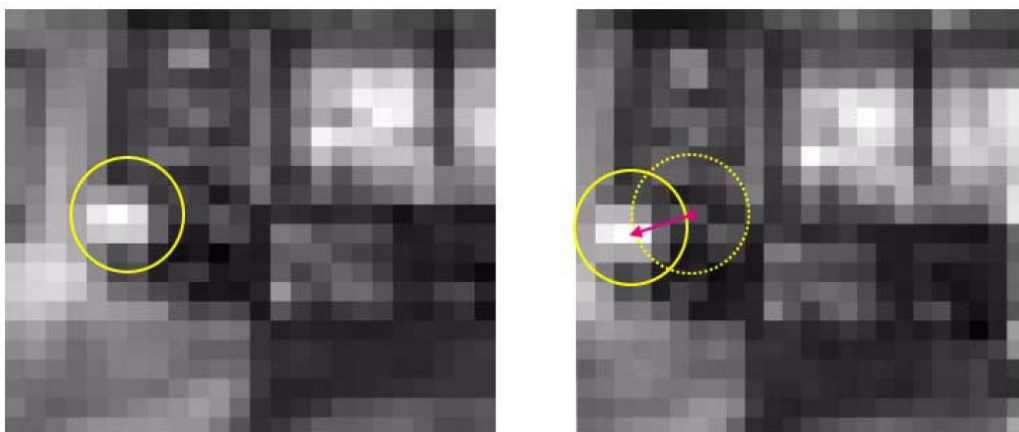


圖 4-5、光電滑鼠連續拍攝往右上方向移動的影像差異

(圖片資料來源：太平洋電腦網。http://www.wuyazi.com)

2、滑鼠滾輪與旋轉編碼器

一般市售大部分的光學滾輪滑鼠的滾輪，所採用的是機械編碼式滾輪結構，它的工作原理是靠連接在電路板上的編碼器，在滾動過程中帶動編碼器的編碼盤，產生的脈衝信號，進而感知滾輪滾動的方向與滾動量的多寡，進行相對應的控制電腦的動作，這樣的設計使得滾輪結構不僅簡單而且方便製造，但是機械編碼器的缺點就是長時間的使用，編碼盤會產生磨損，影響滾輪滾動的精確度。圖 4-6(a)(b)所示為滑鼠滾輪與編碼器的連接架構。



圖 4-6(a)、滑鼠滾輪機械式編碼器連接架構圖

圖 4-6(b)、滑鼠滾輪光學式編碼器連接架構圖

旋轉編碼器也稱為軸編碼器，它是將旋轉位置或旋轉量轉換成數位訊號的機電裝置。一般裝設在旋轉物體中垂直旋轉軸的一面。旋轉編碼器用在許多需要精確旋轉位置及速度的場合，如工業控制、機器人、滑鼠及軌跡球等。旋轉編碼器可分為絕對型及增量型兩種，增量型編碼器也稱作相對型編碼器，利用檢測脈衝的方式來計算轉速及位置，一般會由其他裝置或電路進一步轉換為速度、距離、每分鐘轉速或位置的資訊。增量型編碼器有二個輸出訊號點，分別稱為 A 和 B，二個輸出訊號是正交輸出。增量型編碼器的單圈脈衝數為其旋轉一圈時會輸出的方波數，但其訊號的先後順序不同、順時針旋轉與逆時針旋轉亦不同，輸出訊號如圖 4-7(a)(b)所示。增量型編碼器分為機械式與光學式二種，機械式的編碼器會產生「彈跳現象」，需外加電路處理，一般機械式編碼器只適用在低轉速的設計，光學式的編碼器則用在高速或是需要高精準度的場合，目前市售大部分的光學滾輪滑鼠所採用的就是旋轉增量型機械式編碼器。如圖 4-8 所示。本作品設計原型，即以此類型之故障滑鼠，利用偵測旋轉機械式增量型編碼器的訊號，加以計算並顯示其數量，成為實用的測距器。

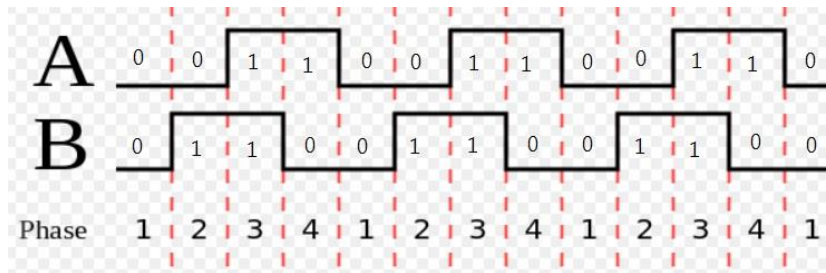


圖 4-7(a)、順時針旋轉增量型編碼器的輸出訊號

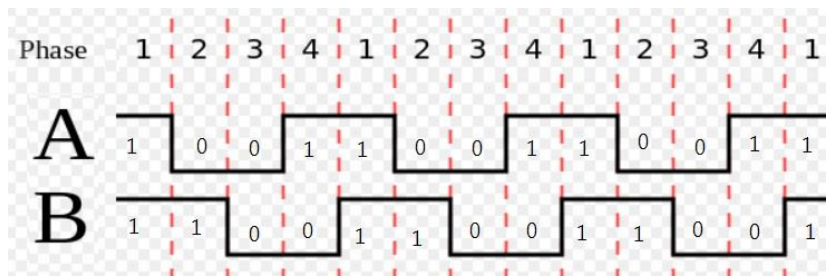
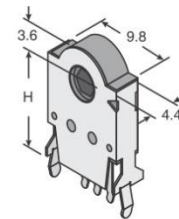


圖 4-7(b)、逆時針旋轉增量型編碼器的輸出訊號

ALPS EC10E 系列：10MM 空心軸編碼器

- 額定值：0.5mA @ 5 VDC
- 操作壽命：100,000 次迴圈
- 增加型
- 應用包括電腦輸入設備（例如滑鼠）、音頻視頻設備和通信設備的控制器



貿澤 庫存編號	Alps 料號	圖	尺寸 “H”	制動器扭矩	電阻	制動器 數量
688-EC10E1220505	EC10E1220505	A	7mm	5+/-3mN•m	12	24
688-EC10E1220501	EC10E1220501	A	9mm	5+/-3mN•m	12	24

圖 4-8、旋轉增量型機械式編碼器規格與實際外觀圖

(圖片資料來源：貿澤電子。http://www.mouser.com/catalog/Traditional_Chinese/638/868.pdf)

3、滑鼠內光學影相感測 IC

ADNS-2051為光學滑鼠內常用的光學影相感測IC，其接腳與功能說明如圖4-9所示。圖4-10所示為光學滑鼠內，光學影相感測IC應用電路圖。圖4-11(a)(b)所示為光學滑鼠內光學影相感測IC相關參數與規格。圖4-12所示為光學滑鼠內光學影相感測IC實體圖。根據IC資料手冊說明，當光學鏡頭偵測到滑鼠移動時，會在第6隻接腳XY_LED輸出訊號，用來提高LED的亮度，以利光學影相感測IC擷取照片及比對與前一張影像差異。當在第15隻接腳接上Hi的電位，即可使滑鼠進入待機狀態，因此本作品之第二代進階的設計，只要以相對移動滑鼠墊的概念來製

造出滑鼠移動的現象，在測距器的滾輪貼上滑鼠可感應的標籤，即可以非接觸的方式，偵測出測距器的滾輪之滾動圈數，進而換算出滾動之距離為多少。

Outline Drawing of ADNS-2051 Optical Mouse Sensor

Pinout

Pin	Pin	Description
1	SCLK	Serial port clock (input)
2	XA	XA quadrature output
3	XB	XB quadrature output
4	YB	YB quadrature output
5	YA	YA quadrature output
6	XY_LED	LED control
7	REFA	Internal reference
8	REFB	Internal reference
9	OSC_IN	Oscillator input
10	GND	System ground
11	OSC_OUT	Oscillator output
12	GND	System ground
13	V _{DD}	5.0 volt power supply
14	R_BIN	LED current bin resistor
15	PD	Power down pin, active high
16	SDIO	Serial data (input and output)

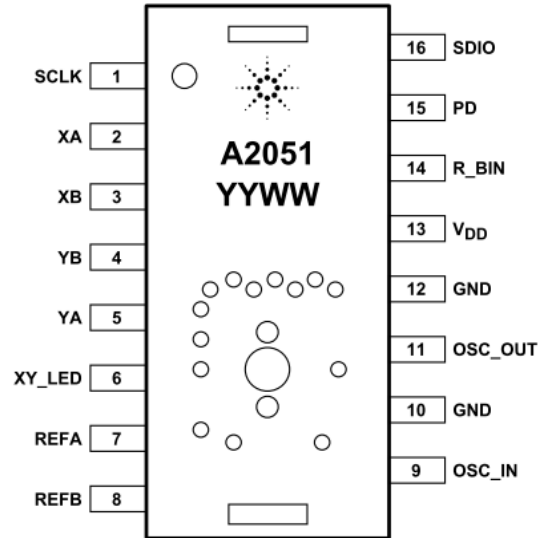


Figure 1. Top view.

圖4-9、光學滑鼠內常用的光學影相感測IC，ADNS-2051的接腳與功能說明

Alternative Application using Quadrature Output Pins

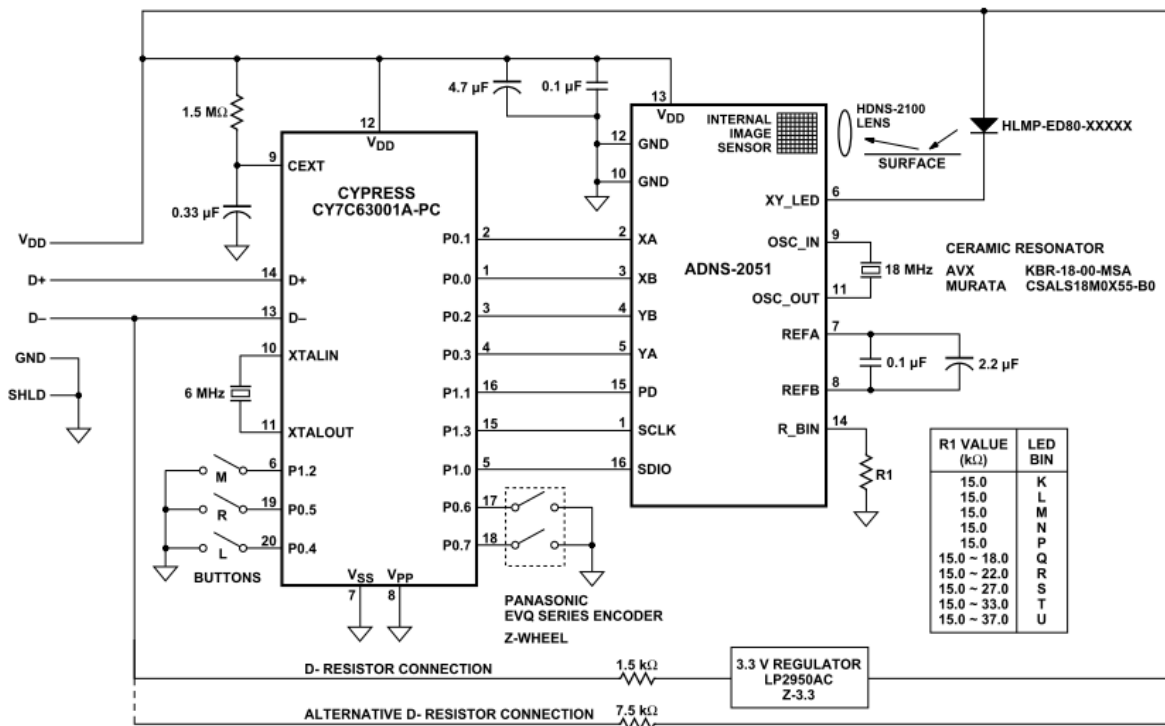


圖4-10、光學滑鼠內光學影相感測IC應用電路圖

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Operating Temperature	T _A	0		40	°C	
Power Supply Voltage	V _{DD}	4.25	5.0	5.5	volts	Register values retained for voltage transients below 4.25 V but greater than 4 V.
Power Supply Rise Time	V _{RT}			100	ms	
Supply Noise	V _N			100	mV	Peak to peak within 0-100 MHz.
Clock Frequency	f _{CLK}	17.4	18.0	18.7	MHz	Set by ceramic resonator.
Serial Port Clock Frequency	SCLK			f _{CLK} /4	MHz	
Resonator Impedance	X _{RES}			55	Ω	
Distance from Lens Reference Plane to Surface	Z	2.3	2.4	2.5	mm	Results in ±0.2 mm DOF. (See Figure 10.)
Speed	S	0		14	in/sec	@ frame rate = 1500/second.
Acceleration	A			0.15	g	@ frame rate = 1500/second.
Light Level onto IC	IRR _{INC}	80		25,000	mW/m ²	λ = 639 nm λ = 875 nm
		100		30,000		
SDIO Read Hold Time	t _{HOLD}	100			μs	Hold time for valid data. (Refer to Figure 28.)
SDIO Serial Write-Write Time	t _{SWW}	100			μs	Time between two write commands. (Refer to Figure 31.)
SDIO Serial Write-Read Time	t _{SWR}	100			μs	Time between write and read operation. (Refer to Figure 32.)
SDIO Serial Read-Write Time	t _{SRW}	120			ns	Time between read and write operation. (Refer to Figure 33.)
SDIO Serial Read-Read Time	t _{SRR}	120			ns	Time between two read commands. (Refer to Figure 33.)
Data Delay after PD ↓	t _{COMPUTE}	3.2			ms	After t _{COMPUTE} , all registers contain data from first image after PD ↓. Note that an additional 75 frames for AGC (shutter) stabilization may be required if mouse movement occurred while PD was high. (Refer to Figure 12.)
SDIO Write Setup Time	t _{SETUP}	60			ns	Data valid time before the rising of SCLK. (Refer to Figure 26.)
PD Pulse Width (to power down the chip)	t _{PDW}	700			μs	Pulse width to initiate the power down cycle @ 1500 fps. (Refer to Figure 12 and Figure 14.)
PD Pulse Width (to reset the serial port)	t _{PDR}	100			μs	Pulse width to reset the serial port @ 1500 fps (but may also initiate a power down cycle. Normal PD recovery sequence to be followed. (Refer to Figure 15.)
Frame Rate	FR		1500		frames/s	See Frame_Period register section.
Bin Resistor	R1	15 K	15 K	37 K	Ω	Refer to Figure 8.

圖4-11(a)光學滑鼠內光學影相感測IC相關參數與規格

AC Electrical Specifications

Electrical Characteristics over recommended operating conditions. Typical values at 25°C, V_{DD} = 5.0 V, 1500 fps, 18 MHz.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Power Down	t _{PD}		700		μs	From PD↑ Time uncertainty due to firm- ware delay. (Refer to Figure 12.)
Power Up from PD↓	t _{PUPD}			50	ms	From PD↓ to valid quad signals 705 μsec + 75 frames. (Refer to Figure 12.)
Power Up from V _{DD} ↑	t _{PU}			30	ms	From V _{DD} ↑ to valid quad signals 705 μsec + 40 frames
Rise and Fall Times:	SDIO	t _r	30		ns	C _L = 30 pF (the rise time is between 10% and 90%)
		t _f	16		ns	C _L = 30 pF (the fall time is between 10% and 90%)
	XA, XB, YA, YB	t _r	50		ns	C _L = 30 pF (the rise time is between 10% and 90%)
		t _f	20		ns	C _L = 30 pF (the fall time is between 10% and 90%)
	ILED	t _r	40		ns	With HLMP-ED80-XXXXX LED (the rise time is between 10% and 90%)
		t _f	200		ns	With HLMP-ED80-XXXXX LED (the fall time is between 10% and 90%)
Serial Port Transaction Timer	t _{SPTT}	0.7	0.9	1.0	s	Serial port will reset if current transaction is not complete within t _{SPTT} . (Refer to Figure 36.)
Transient Supply Current	I _{DDT}		20	37	mA	Max. supply current during a V _{DD} ramp from 0 to 5.0 V with > 500 μs rise time. Does not include charging current for bypass capacitors.

圖4-11(b)光學滑鼠內光學影相感測IC相關參數與規格

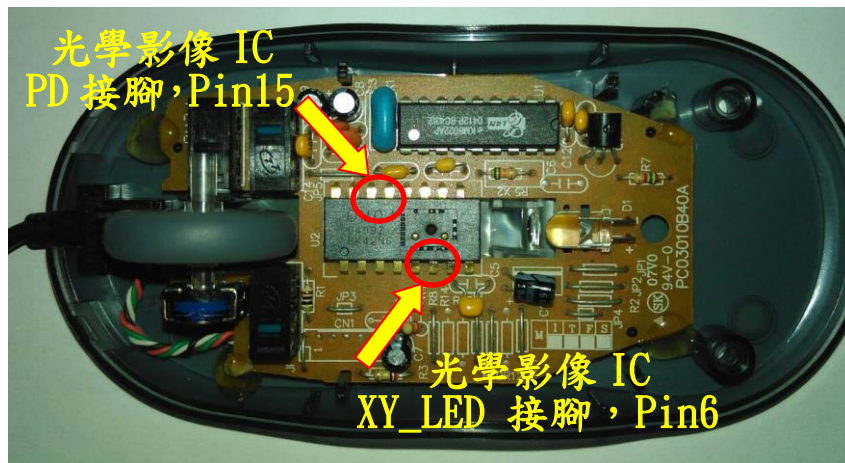


圖4-12、光學滑鼠內光學影相感測IC實體圖

4、距離測量原理

距離量測的主要目的為決定兩點間之斜距或平面距離，依儀器之不同可分為：

- (1)直接距離測量：利用如捲尺、測距輪(器)等工具直接量距，使用快速方便但測得的距離不長。
- (2)間接距離測量：利用經緯儀配合幾何光學之視角進行距離測量作業，亦稱光學距離測量。
- (3)電子設備測距：可歸入直接距離測量，為現今最常用速度快且精度高，例如電子測距儀、雷射測距儀、全站儀。(又稱為全能測量儀，係整合電子經緯儀、電子測距儀、電子計算機及電子記錄器成一體的儀器)

圖4-13(a)(b)(c)(d)所示分別為測距輪、光學經緯儀、雷射測距儀、全測站儀的實際外觀圖。其中測距輪的使用方法，是由測量者沿測量線推動測距輪前進，藉由測距輪之計數器計算測距輪測量過程中所轉動的圈數，再將測距輪(器)的圓周長，乘以測距輪轉動圈數，即可得知所測量的距離，並顯示於顯示螢幕上。



圖4-13(a)、測距輪(器)



圖4-13(b)、光學經緯儀



圖4-13(c)、雷射測距儀



圖4-13(d)、全測站儀

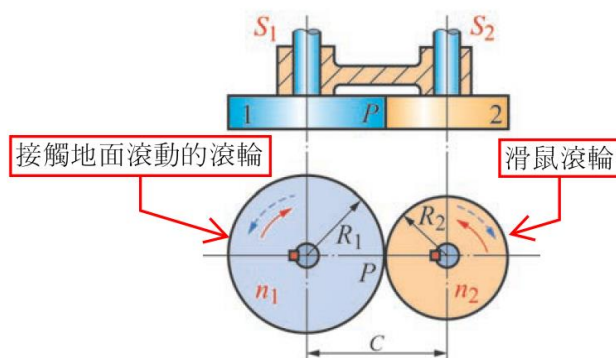
5、摩擦輪傳動原理

凡藉由摩擦力將一輪之迴轉運動直接傳遞給他輪，使他輪也同樣發生迴轉運動者，此種傳動機件稱為摩擦輪，圖 4-14 所示為木製摩擦輪的裝置。摩擦輪之所以能夠傳動，依賴於兩輪接觸處所產生之摩擦力，此為摩擦輪傳動原理。由於摩擦輪間屬於線接觸，難免會有滑動產生，所以傳動的功率不能過大，凡負載輕、速度快及速比不須準確時，往往採用摩擦輪傳動方式為宜。摩擦輪傳動之優點為裝置簡單，維修容易，成本低。傳動時起動緩和，噪音小。負荷輕時，可高速旋轉。負載過大時，在接觸處會產生滑動，使機件不致損壞。缺點則不適宜傳達較大動力。轉速比較不準確。因靠摩擦力傳動，所以接觸面容易磨損。

本作品原型是利用外接圓柱形摩擦輪的架構形式來帶動滑鼠的滾輪，如圖 4-15 所示，圓柱輪 1(接觸地面滾動的滾輪)固定於 S_1 軸上，圓柱輪 2(滑鼠滾輪)固定於 S_2 軸上，此兩軸固定於機架上，兩輪相切於 P 線，兩輪面的切線速度相等，但迴轉方向相反。



圖 4-14、木製摩擦輪的裝置



4-15、外接圓柱形摩擦輪架構帶動滑鼠示意圖

6、滑鼠監測程式

WinOMeter 是一個記錄滑鼠移動距離的小工具程式，它除了可以自動記錄滑鼠移動距離，還能記錄鍵盤按鍵敲擊次數和使用的總時間等等資料，並且能將所有記錄累積保存。當使用者在使用滑鼠在滑鼠墊上移動並作控制時，通常只會移動一小段距離後點擊控制確認鈕進行控制，但是當使用者使用一段時間後，每一次確認控制所移動的這一小小段的距離累加起來就變的很可觀了。圖 4-16 所示為 WinOMeter 工具程式執行後所監測的顯示畫面，其中 Keyboard Presses：代表鍵盤被按下的次數、Mouse Trajectory：代表滑鼠所移動的累積距離、Mouse Clicks：代表滑鼠按鍵被按的次數、Up Time：使用者使用的時間。此軟體免費下載可參考官方網站：<http://www.tjelinek.com/main.php?section=w>。

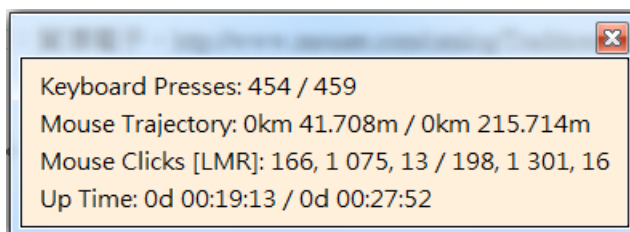


圖 4-16、WinOMeter 工具程式執行後所監測的顯示畫面

伍、研究結果

一、測距器初期設計作品

(一)、初期作品架構功能說明

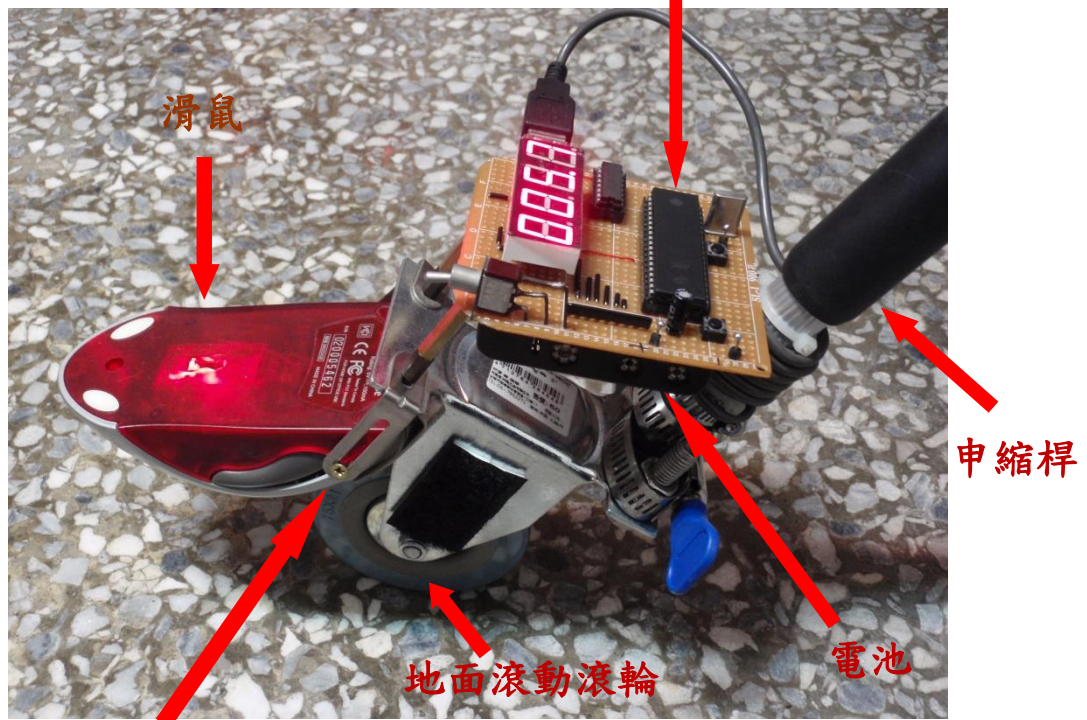
初期作品架構功能說明如下表 5-1 所示。

表 5-1、初期作品架構功能說明表

名稱	功能說明	備註
滑鼠	利用滑鼠的操作功能中，用來判斷使用者將螢幕畫面向下一頁，或向上一頁滾動的編碼機構與技術，並應用圓周運動相對於距離移動的概念，再將滑鼠滾輪的圓周長乘以滑鼠滾輪轉動圈數，即可得知所測量的距離。	
滾輪	利用外接圓柱形摩擦輪的架構形式來帶動滑鼠的滾輪。	
伸縮桿	連接滾輪、調整測距器長短，可隨使用者所習慣握持的高度作調整，快速伸縮拆裝不佔空間。	
距離換算與顯示電路	以單晶片程式偵測滑鼠滾動所帶動編碼器訊號的變化，計算出所對應的移動距離，並將距離以數字方式顯示出。	

(二)、初期作品實際外觀圖

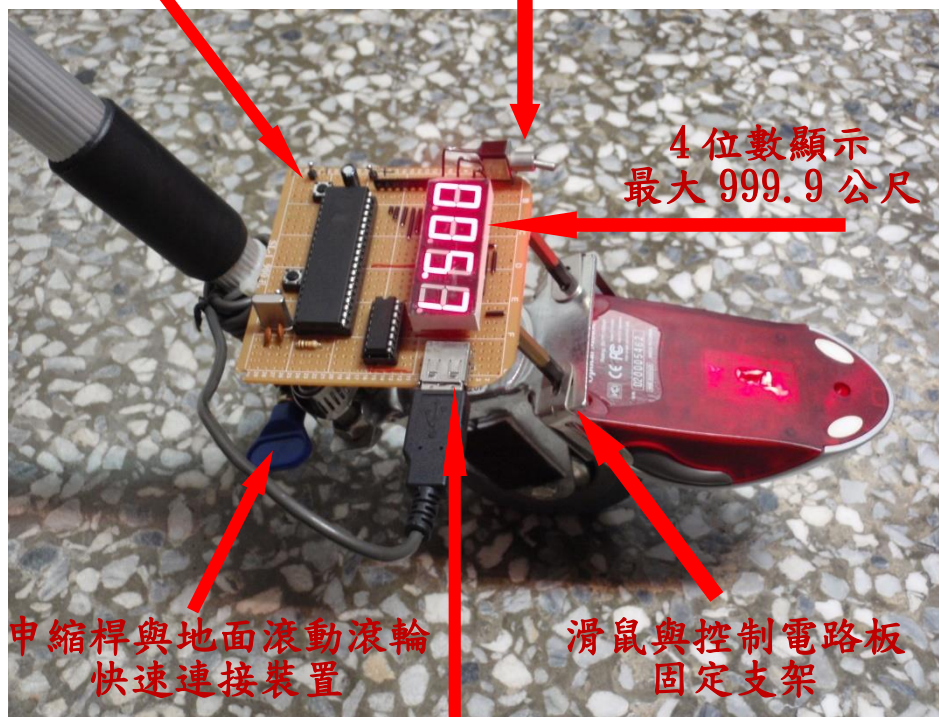
單晶片距離換算與顯示電路



滑鼠滾輪與地面滾動滾輪以磨擦架構帶動的磨擦接觸點

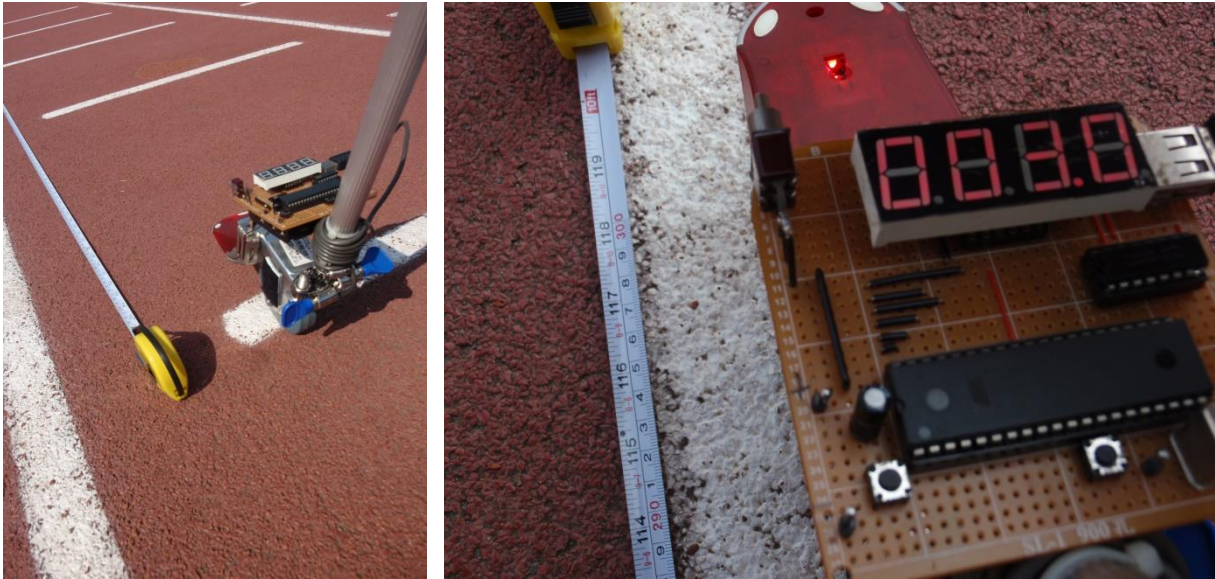
顯示資料清除按鈕

電源開關



USB 連接頭：提供電力到滑鼠，滑鼠滾動訊號傳回控制電路

(三)、初期作品實際測試與數據分析



測試地點：操場 PU 跑道					
測試距離		30 公分	3 公尺	50 公尺	100 公尺
測試次數					
1	4 位 數 7 段 顯 示 器 顯 示 數 字	0.4	3.0	50.8	104.3
2		0.3	3.1	51.2	103.9
3		0.2	3.1	52.3	103.7
4		0.3	3.0	52.3	103.9
5		0.4	3.0	53.1	104.2
6		0.3	2.9	52.6	103.8
7		0.4	2.9	52.3	103.6
8		0.4	3.0	52.4	104.4
9		0.3	3.1	52.9	104.5
10		0.3	3.1	52.1	104.7
平均值		0.33	3.02	52.2	104.1
誤差量		10%	6.7%	4.4%	4.1%
分析說明		測量距離短，若停止時，有稍微使滾輪來回晃動，會導致誤差較大。	超過 5% 誤差範圍	5% 誤差範圍內	5% 誤差範圍內
		滑鼠滾輪直徑 1.9cm，圓周長大約 6cm，滑鼠滾輪轉動的最小感應的有效距離為滑鼠滾輪圓周大小的 1/24 為 0.25cm(編碼器制動數 24，即編碼器旋轉一圈有 24 個訊號變化量的步階)。地面滾動滾輪的圓周長大約 22cm，遠大於滑鼠滾輪圓周長，因此測量距離較短時，使用者若在停止狀態下有稍微來回未晃動地面滾動滾輪，就會導致產生較大的誤差。			

(四)、初期作品研究結果

經實際的將作品於學校操場進行測試，再與標準的卷尺測量進行比較，10公尺以上的測量，確實達到合理的5%誤差標準之內。測量顯示值的最小變化量0.1公尺，一次最大測量可顯示999.9公尺。

1、影響精確度的原因

(1)、硬體設計產生的誤差

- (1-1)、接觸地面滾輪沒有彈性，因此在地面滾動時摩擦力不足滾動不順暢，另外與滑鼠滾輪的傳動也因摩擦力不足，產生傳動旋轉量的誤差。
- (1-2)、接觸地面滾輪因在地面滾動沾粘髒物，導致與滑鼠滾輪的摩擦系數變化，產生摩擦傳動旋轉量的誤差。
- (1-3)、本作品是偵測滑鼠滾輪帶動增量型編碼器產生的訊號，增量型編碼器分為機械式與光學式二種，機械式的編碼器會產生「彈跳現象」，需外加電路處理。一般機械式編碼器只適用在低轉速的設計，光學式的編碼器則用在高速或是需要高精準度的場合。目前市售大部分的光學滾輪滑鼠所採用的就是旋轉增量型機械式編碼器。作品即以此類型之故障滑鼠，利用偵測旋轉機械式增量型編碼器的訊號，並未外加處理彈跳現象的電路，且滑鼠滾輪旋轉一圈即產生24次0,1的變化，因此產生的誤差較大。

(2)、軟體設計產生的誤差

- (2-1)、由於本作品硬體設計最小的顯示單位為0.1公尺，滑鼠滾輪實際直徑1.9cm，圓周長大約6cm，滑鼠滾輪轉動的最小感應的有效距離為滑鼠滾輪圓周大小的1/24為0.25cm(編碼器制動數24，即編碼器旋轉一圈有24個訊號變化量的步階。因此距離顯示數值與軟體計算數據，會有39個步階訊號變化量的誤差。 $(0.25\text{cm} \times 40\text{步階訊號} = 10\text{cm} = 0.1\text{m})$ 。

(3)、測量時的人為誤差

- (3-1)、待測距離的地面嚴重不平時，測量人員於操作本作品時，沒有避開此測量路徑，則會產生較大的測量誤差。以及不易保持直線滾動進行距離測量。
- (3-2)、由於滑鼠的滾輪不管是順時針滾動或逆時針滾動都會驅使編碼器產生步階訊號的變化，因此若測量人員於操作本作品時，有原地來回滾動(晃動)的情況(0.25cm的微小變化就會使編碼器產生步階訊號的變化)，就會產生測量誤差。

二、測距器初期作品改善說明

(一)、作品改善方向分析

根據上述作品所產生的誤差原因分析，主要是由**摩擦輪傳動**方式所產生的誤差與機械編碼器所產生的**彈跳現象**所產生的誤差。摩擦輪傳動方式因為接觸地面的滾輪，因為在地面滾動沾粘髒物，導致與滑鼠滾輪的摩擦係數變化，產生摩擦傳動旋轉量的誤差，改善方法可以**綁刷毛刷除沾粘物**，但是會導致作品整體不美觀且不能確保沾粘物能夠清除。或以其它的方式傳動(例：齒輪傳動或皮帶傳動)來改善，**但是，因滑鼠滾輪本身的設計限制，不易改裝成齒輪傳動或皮帶傳動。**

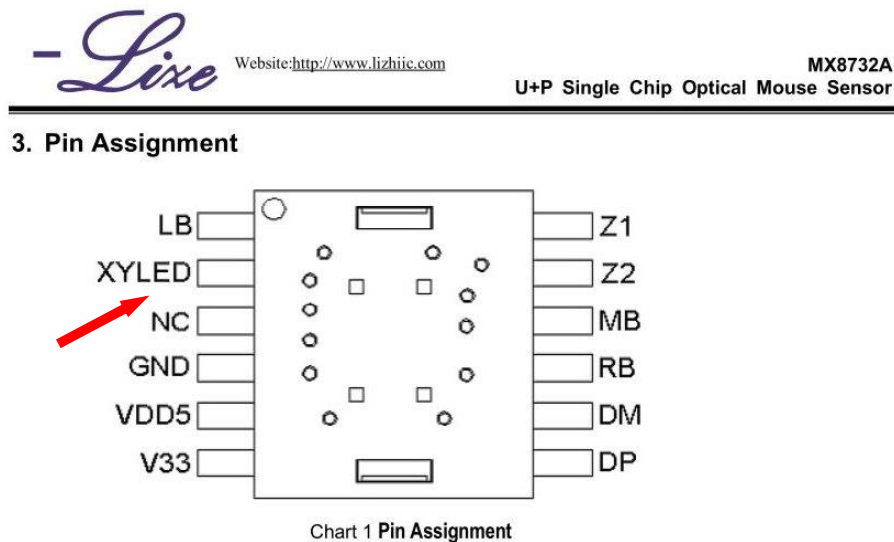
另外，由機械式編碼器所產生的彈跳現象，可以利用**RS正反器的閃鎖電路**來克服，或是改用**光學式編碼器**來避免產生彈跳現象。由於光學式的編碼器制動數為48，比機械式編碼器的制動數24，多一倍，不僅沒有彈跳現象，而且測量精確度可以再提高。但是整個電路的設計複雜度提高，相對成本也跟著提高。

(二)、作品設計的使用定位

由於本作品的設計想法是利用故障的滑鼠改裝成手持式的測距器，成本低、原理簡單、容易使用與維修是設計的主軸，另外，測距器的使用定位主要為測量彎曲線的距離，例如車禍現場煞車痕的距離，或是有高低起伏之中短路徑的距離，一般若為3公尺以下的距離會直接以捲尺或皮尺進行測量，不會使用測距器測量，因此使用測距器測量結果是被允許有合理範圍的誤差量，而且使用上會多次測量取平均值作為記錄值。

(三)、第二代作品設計改善策略

綜合上述的說明與分析，改善作品的策略是跳脫出摩擦輪的設計框架，改以利用滑鼠偵測使用者移動滑鼠方向的光學鏡頭 IC，來偵測滑鼠移動的距離，其原理可參考本文第 11~18 頁的說明。圖 5-1 所示為常用光學滑鼠內，光學影相感測 IC-MX8732A 的接腳與功能說明。圖 5-2 所示為光學滑鼠內光學影相感測 IC 應用電路圖。圖 5-3 所示為光學滑鼠內光學影相感測 IC 實體圖。根據 IC 資料手冊說明，當光學鏡頭偵測到滑鼠移動時會在第 2 腳 XYLED 輸出訊號，用來提高 LED 的亮度，以利光學影相感測 IC 擷取照片及比對與前一張影像差異。因此只要以相對移動滑鼠墊的概念來製造出滑鼠移動的現象，在滾輪貼上滑鼠可感應的標籤即可以非接觸的方式，偵測出滾輪之滾動圈數，進而換算出滾動之距離為多少。



Pin No.	Symbol	I/O	Function
1	LB	I	Left button input
2	XYLED	O	LED control (sink current)
3	NC	-	
4	GND	P	GND
5	VDD5	P	5V Power Input
6	V33	P	3.3V DC voltage output from internal regulator, This pin need to be tied to a 10UF/104 capacitor.
7	DP/CLK	I/O	USB D+ / PS2 CLK
8	DM/DATA	I/O	USB D- / PS2 DATA
9	RB	I	Right button input
10	MB	I	Middle button input
11	Z2	I	Z axis Input 2
12	Z1	I	Z axis Input 1

圖5-1、光學影相感測IC-MX8732A的接腳與功能說明

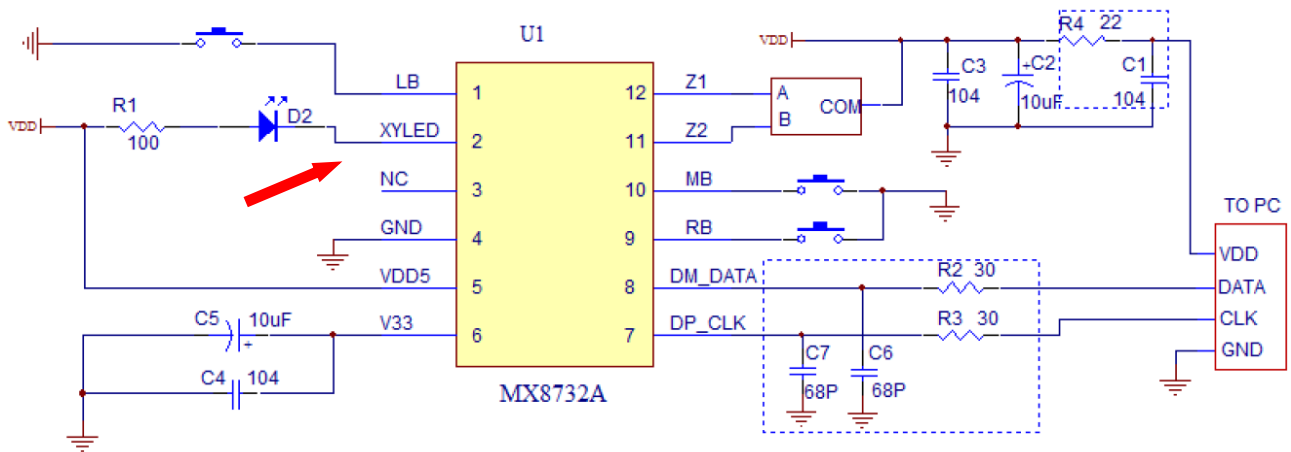


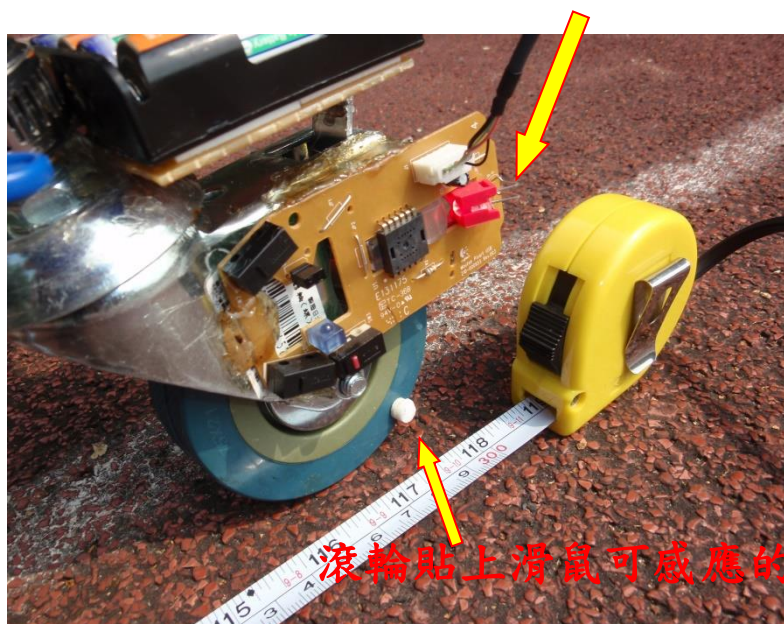
圖5-2、MX8732A光學影相感測IC應用電路圖



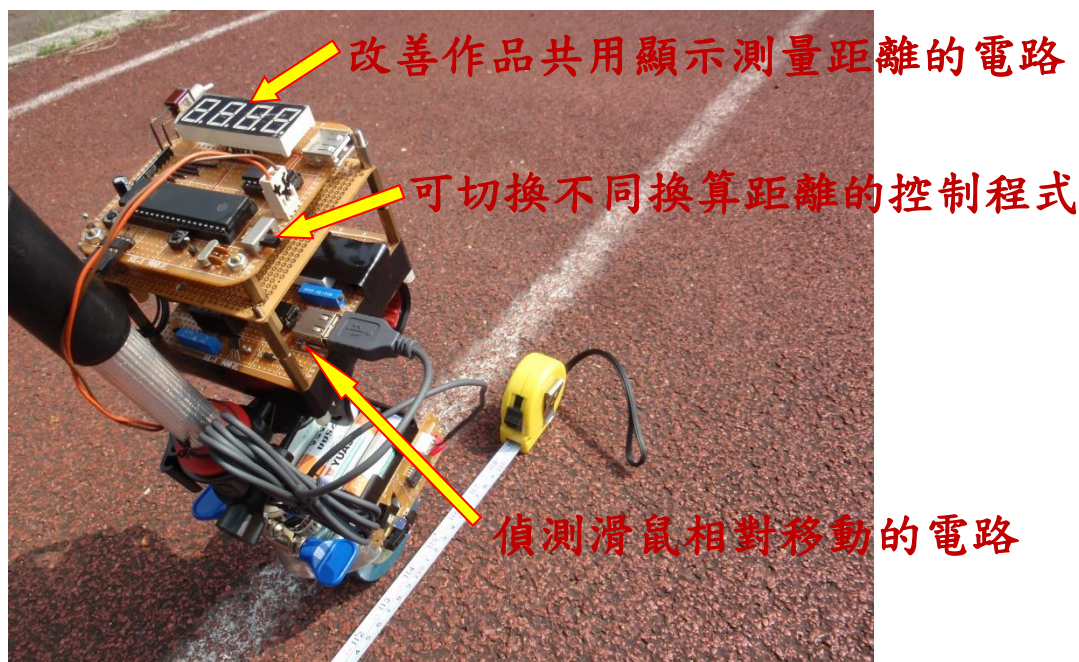
圖5-3、光學滑鼠內光學影相感測IC實體圖

(四)、第二代改善作品實體照片

光學非接觸式相對移動滑鼠墊偵測滑鼠移動



(五)、第二代改善作品測試結果



測試地點：操場 PU 跑道

測試距離		30 公分	3 公尺	50 公尺	100 公尺
測試次數					
1	4 位 數 7 段 顯 示 器 顯 示 數 字	0.3	3.0	49.8	99.3
2		0.3	3.0	49.9	99.8
3		0.3	3.0	50.0	99.5
4		0.3	2.9	49.8	99.6
5		0.2	2.9	49.7	99.8
6		0.3	3.0	49.8	99.7
7		0.3	3.0	49.7	99.5
8		0.3	2.9	50.0	99.3
9		0.3	3.0	49.9	99.2
10		0.3	3.0	49.8	99.4
平均值		0.29	2.97	49.84	99.51
誤差量		3.3%	1%	0.32%	0.49%
分析說明	當測量距離極短時，若於停止點，無法精確停止，或滑鼠移動索引標誌恰巧於臨界處未動作或誤動作，則會導致產生較大的誤差。		1%誤差範圍內	1%誤差範圍內	1%誤差範圍內
	地面滾動滾輪的圓周長大約 22cm，滑鼠移動索引標誌約 1cm，每滾動 10cm(周長 10cm)設置一點，共設置 2 點。作品精緻化改善後，長距離、近距離測試結果準確度都在 1%誤差之內，測量顯示值的最小變化量 0.1 公尺，一次最大測量可顯示 999.9 公尺				

(六)、第二代改善作品研究結果

- (1)、當測量距離極短時，若於停止點，無法精確停止，或滑鼠移動索引標誌恰巧於臨界處未動作或誤動作，則會導致產生較大的誤差。
- (2)、改善作品的設計策略是利用滑鼠偵測使用者移動滑鼠方向的光學鏡頭 IC，根據原廠光學 IC 的技術資料(參考內文第 14 頁)，Frame Rate (Speed) : 1500 Frames/s ； Distance from lens Reference Plane to Surface : 2.5mm MAX.，即光學 IC 每秒 1500 幅拍照速率，以及接觸平面到透鏡的高度(光學 IC 可感應到的距離)為 2.5mm，用相對移動滑鼠墊的概念來製造出滑鼠移動的現象，在測距輪的滾輪貼上滑鼠可感應的標籤，即可以非接觸的方式，偵測出地面滾動的滾輪之滾動圈數，來計算出移動距離。
- (3)、地面滾動滾輪的圓周長 22cm，滑鼠移動索引標籤約 1cm，每滾動 10cm(周長 10cm)設置一點，共設置 2 點。改善作品於學校操場進行測試，測試結果：長距離、近距離果準確度都在 1%誤差之內，測量顯示值的最小變化量 0.1 公尺，一次最大測量可顯示 999.9 公尺。

三、速度里程計作品設計

根據原廠光學 IC 的技術資料(參考內文第 15 頁)，Power Down (PD ↑) : 700us；Power Up from PD ↓ : 50ms；Data Delay after PD ↓ : 3.2ms，以及本作品地面滾動車輪的圓周長大約 63cm，相對滑鼠移動索引標誌約 1cm，因此滾動圈 63cm，須要在 53.9ms 之內完成，換算成一般計算的速度大約為 $\approx 42 \text{ km/hr}$ ($0.62\text{m}/0.0539\text{s}$)；每小時 42 公里。另外說明：如果安裝於一般成人所騎的 24 吋車輪的腳踏車，則可以測得的速度大約為 $\approx 127 \text{ km/hr}$ ($1.91\text{m}/0.0539\text{s}$)；每小時 127 公里。符合一般騎乘腳踏車可表現的速度。

(一)、速度里程計作品外觀圖與測試

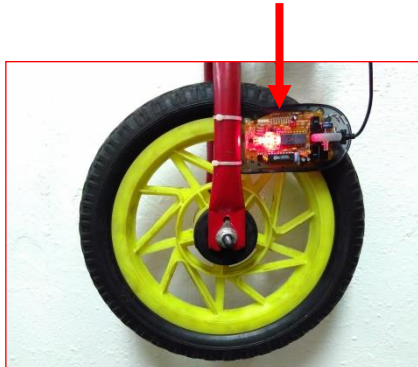
索引標誌尚未移動至光學 IC 下方

索引標誌尚移動至光學 IC 正下方

索引標誌移動出光學 IC 下方



LED 為一般亮度



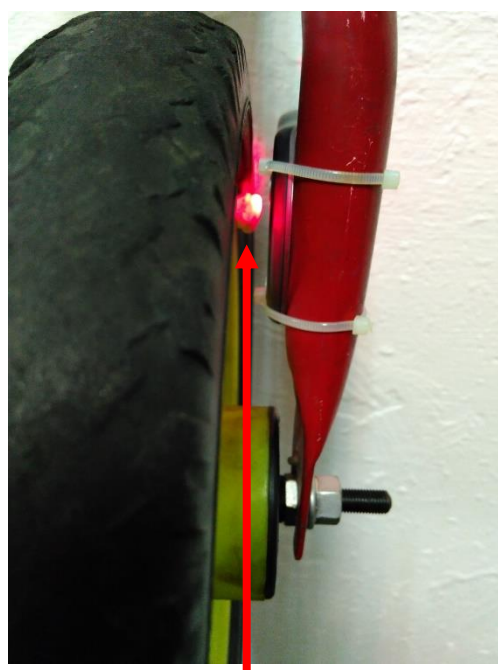
LED 亮度提高



LED 回到一般亮度

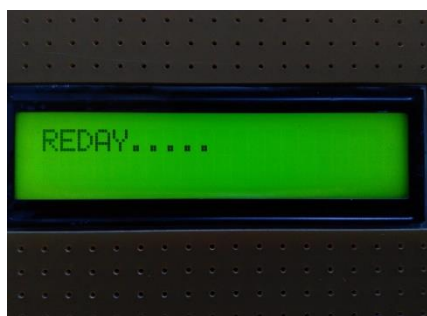


索引標誌尚未移動至光學 IC 下方，LED 為一般亮度



索引標誌尚移動至光學 IC 正下方，LED 亮度提高

(二)、速度里程計作品顯示結果



光學 IC 未被感應的顯示狀況
(速度里程計啟動後初始狀況)



光學 IC 第一次感應的顯示狀況
(索引標誌第一次轉過光學 IC 下方)



光學 IC 連續被感應的顯示狀況
(索引標誌連續轉過光學 IC 下方)

四、第三代作品設計-行動測距器

(一)、滑鼠的解析度

DPI 和 CPI 都可以用來表示滑鼠的解析度。DPI 是 Dots Per Inch 的縮寫，意思是每英寸的像素數。CPI 是 Counts Per Inch 的縮寫，意思是每英寸的採樣率。DPI 是一個靜態指標的描述，用在印表機或掃描儀上顯得更為合適；另外，由於滑鼠移動是個動態的過程，所以用 CPI 來表示滑鼠的解析度是較為恰當的。然而一般的滑鼠規格書中，大都使用 DPI 來表示滑鼠的解析度。在 CPI 的描述原理中，表示滑鼠每移動 1 英寸所能辨識出來的點，因此，CPI 可以解釋為滑鼠移動 1 英寸，游標在螢幕上就移動多少個點。如圖 5-4 所示。若換成以 DPI 的描述表示方式，就是當滑鼠在桌面上移動 1 英寸的距離，電腦螢幕上的游標就會移動多少 DPI 數。也就是說，在 1920 X 1080 解析度的螢幕上，若滑鼠解析度為 1920DPI，那麼滑鼠在平面上，由左往右，實際橫移一英寸的距離，則螢幕上滑鼠游標，就會從螢幕上最左方邊框，剛好移動到最右方邊框。

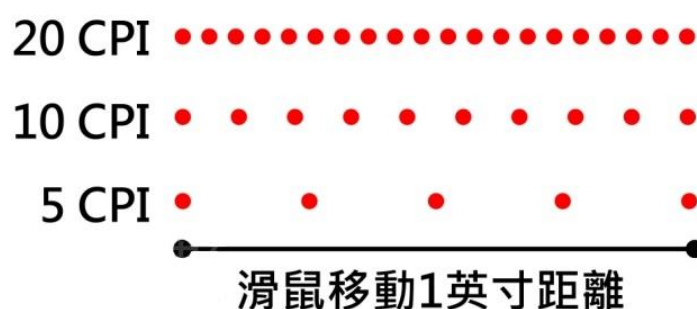


圖 5-4、滑鼠移動距離對應於螢幕上游標移動的點數

(二)、USB On-The-Go

USB On-The-Go 通常縮寫為 USB OTG，是 USB2.0 規格的補充標準。它可使 USB 設備，例如平板電腦或手機，從 USB 周邊設備變為 USB 主機，與其他 USB 設備連接通信。支持 OTG 的設備，可以不連接電腦的情況下直接接入 USB 儲存碟來讀取裝置內資料；手機或平板電腦可以直接接入滑鼠、USB 儲存碟、鍵盤等來擴充外界硬體功能。現今市售絕大部分的手機，都有支援 USB On-The-Go 的功能，只要手機中有提供「掛載 USB 儲存裝置」，如圖 5-5 紅色框線所示之功能，即可確定該手機具備 USB On-The-Go 的功能，該手機只要透過 USB OTG 線，即可以直接接入滑鼠、USB 儲存碟、鍵盤等來擴充功能。一般 micro USB 的手機充電線只用到裏面的四條線，第 1 腳的 +5V，第 2 腳的 D-，第 3 腳的 D+，第 5 腳的 GND。使用者只要將第 4 腳的 ID 訊號腳與第 5 腳的地端接在一起，並且把原來的 USB 公接頭改接成母接頭，即可成為一條 USB OTG 連接線。如圖 5-6 所示。



圖 5-5、手機 OTG 功能選項

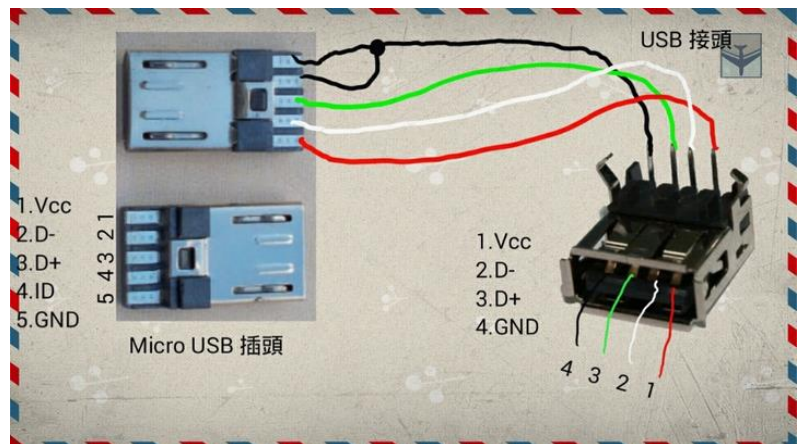
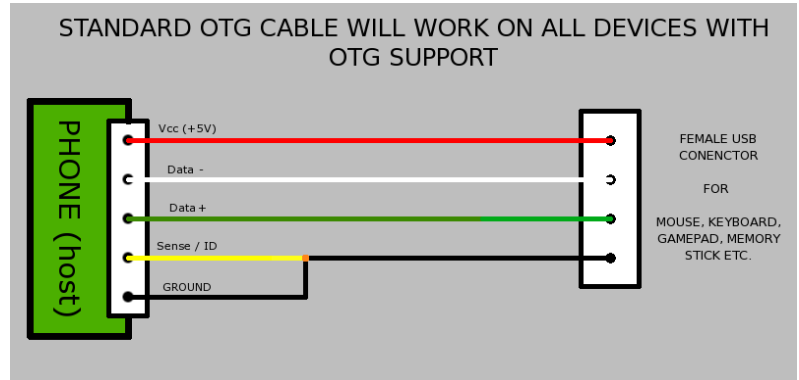


圖 5-6、手機充電線改接成 USB OTG 連接線

(三)、行動測距器設計架構

1.硬體設計





2.軟體設計與功能測試

iOS，原名 iPhone OS，是蘋果公司為行動裝置所開發的作業系統，所支援的裝置包括 iPhone、iPod touch 和 iPad。Windows Phone，簡稱 WP，則是微軟發布的一款行動作業系統，Android，中文稱為安卓，由 Google 公司所創立的，Android 作業系統是屬於 Linux 作業系統核心的一個分支，它是一個開放式的行動作業系統，主要設計用於觸控螢幕行動裝置，例如智慧型手機和平板電腦。由於 Android 作業系統是完全免費的，任何廠商都不須經過 Google 的授權，可隨意使用 Android 作業系統；Android 2.3.4 版本之後的智慧型手機作業系統，以及 Android 3.1 版本之後平板電腦的作業系統，更可以更廣泛地支援滑鼠、鍵盤、搖桿等 USB 外部週邊設備連接，因此大部分的行動裝置，都是以 Android 作業系統進行控制。

Android 作業系統之應用程式的開發，主要使用 Java 程式語言，但隨著行動裝置的應用程式需求大增，以及大量初學者的投入，因此，具有親合性，以及更容易入門的程式語言與軟體設計環境的「App Inventor 2」，便快速且廣泛的被使用。對於沒有程式設計背景的人或是需要快速做出 APP 應用程式的人來說，App Inventor 2 真的十分的方便。設計程式人員只要用 Google 的帳號，登入到 App Inventor 2 的網站，就可以來進行 APP 的程式開發，而且是免費的，本作品「行動工具鼠」的 APP，即是以 App Inventor 2 所完成的。如圖 5-7 所示。

「行動工具鼠」的 APP 設計原理是：當滑鼠左鍵被按下時(使用者進行滾動距離測量)，APP 程式先偵測出目前滑鼠游標所在螢幕的座標，隨即以即時的方式，記錄滑鼠移動軌跡的所有座標值，並同時以兩點座標間的距離公式：進行累加計算。

$$A(X1,Y1), B(X2,Y2), AB \text{ 的直線距離} = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2}$$

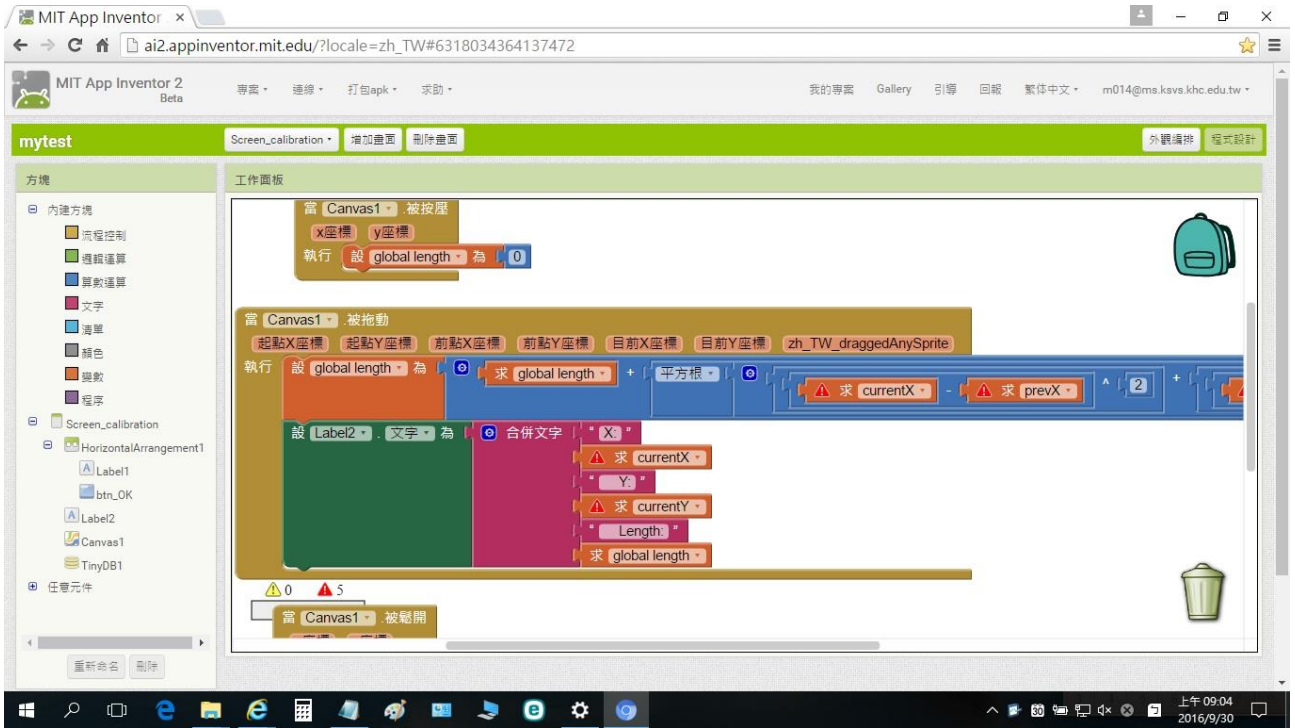


圖 5-7、App Inventor 2 程式開發環境

由於每一種滑鼠的 DPI 規格，以及滑鼠所要連接之行動裝置螢幕的解析度，都不盡相同，因此，使用者必須先進行 1cm 滑鼠實際移動距離，與螢幕游標實際移動距離的校正，如圖 5-8(a)(b)所示。如此才能準確的測量出滑鼠真實的移動距離。

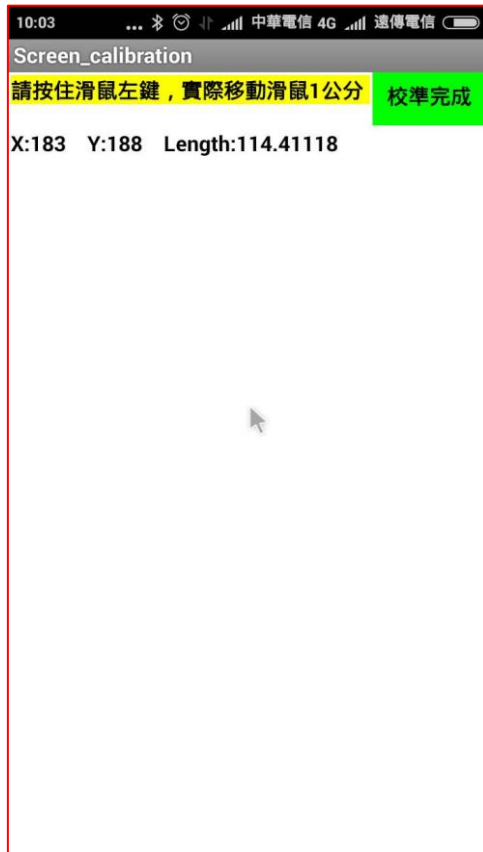


圖 5-8(a)、1cm 滑鼠實際移動距離校正

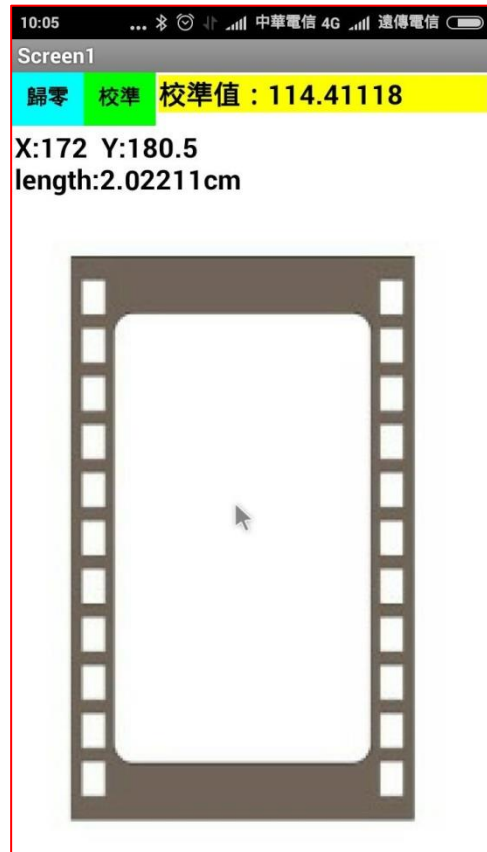


圖 5-8(b)、滑鼠實際 2cm 顯示的測量結果

(三)、市售測距輪功能與規格

市售測距輪所使用的原理，都是將旋轉編碼器安裝於與地面滾輪相同的軸心上，當地面滾輪滾動時，一起帶動旋轉編碼器轉動，並顯示出滾動的距離，不論是數位式顯示面板，或是機械式轉盤顯示，其最小解析度大都只到 0.1m，一般價格都落在 1 千元左右。本作品「行動工具鼠」：將無線滑鼠與智慧型行動裝置連接，充份擴展了滑鼠的使用功能，更增加了使用方便與可攜性，而且測量的最小解析度至少到 1mm 以上，可以完全取代市售測距輪的所有功能，成為日常生活中便利且實用的好工具。

ROTO-SURE®
1000 Econo Range

Features:

	PS	PG
Trigger Brake		●
Folds in Half	●	●
Push Button Release Clip	●	●
Push Button Zero Reset	●	●
Kick Down Side Stand	●	●
Debris Removing Scraper	●	●
Follows Fine Edges	●	●
Runs in Straight Line	●	●
Balanced In Line Movement	●	●
Better Traction	●	●
Wheel Runs on Sealed Roller Bearings	●	●


Specifications:


	Metric	Imperial
Measuring Distance	10 000 m	10 000 ft
Increments	0.1 m	0.1 ft
Wheel Circumference	1 m	3.2 ft
Wheel Diameter	0.32 m	1 ft
Weight	1.8 kg	3.9 lb

Uses:
Road Marking, Construction, Paving, Fencing, Pool Construction, Garden Layouts, Field Layouts, Factory Layouts, Property Assessments, ect. Can be used on most surfaces smooth and uneven over long or short distances.

Surfaces:

- Hard Smooth ★★★★★
- ▬ Paving ★★★★★
- 〰 Uneven ★★★★★
- ▨ Grass and Carpet ★★★
- ▧ Soft Sand ★★





◀ 4"單輪測距輪

4"雙輪測距輪 ▶

29

陸、討論

本作品經過 3 次的改善研究，製作後證明 3 次的作品都確實可行，但在第 1 代及第 2 代作品中，還有很大的改善空間，例如：

- (1)、第 1 代作品中，摩擦輪傳動方式缺點的改善。
- (2)、第 2 代作品中，若感應標籤剛好位於光學感測 IC 正下方，加上使用者測量過程中有太頻繁的停頓導致滾輪來回移動，則會造成測量結果產生較大的誤差。
- (3)、第 2 代作品中，若使用於半徑較小的滾輪上，所能測得的最快速度上限太低（受限於光學感測 IC 本身的反應速率）。

後續若繼續以滑鼠內光學 IC 的應用作研究，以下這些都是未來投入研究的方向與建議：

- (1)、作品設計成遠距離移動物體速度感測器，改善感應距離只有 2.4mm 的限制。
- (2)、利用滑鼠內的光學 IC 所拍攝的影像資料，設計成移動物體偵測判斷的防盜系統。
- (3)、擴增作品的其它功能，例如微量震動偵測器或是微量偏移修正系統等等。

最後第 3 代的作品，雖然在功能上，完全可以媲美一般市售的測距輪，但是在本作品中，尚未完整且實用的設計出，可快速安裝任何無線滑鼠的滾輪機構，因此對於作品商品化，還有努力的空間。其待改善之處有：

- (1)、設計出可快速安裝任何無線滑鼠的實體滾輪機構。
- (2)、增加 APP 程式的功能與操作界面的親和力。例如：結合 GPS 定位資訊、分段計算距離與累加計算距離的資料，同步顯示等。
- (3)、APP 程式可相容於不同的行動作業系統。例如：iPhone OS、Windows Phone 等。

柒、結論

用「麻雀雖小，五臟俱全」用來形容「滑鼠」這一項科技產品，既真實又貼切。它不僅是電腦與資訊科技的產品，更結合了光學、力學、電學、美學、、、等眾多科學於一身。若能清楚瞭解「滑鼠」所有設計背後的原理原則，就代表清楚瞭解一定水準以上的科學常識與技能。本作品經多次的改善，以相對移動滑鼠墊的概念來製造出滑鼠移動的現象，以非接觸的方式，偵測出滾輪之滾動圈數，進而換算出滾動之距離為多少。另外再創新設計，用手機連接無線滑鼠，以APP Inventor 2 撰寫程式，偵測滑鼠游標移動軌跡，分析螢幕座標變化量，換算出滑鼠真實的移動距離，成功地將光學滑鼠改裝成準確度極高的手持式測距輪、速度里程計等，可用於一般路面來測量距離，或安裝於腳踏車上的速度里程計。日後的學習者，若能再投入更多時間研究，相信應該可以利用滑鼠，開發出更多具實用性、創意性的輔助工具。

捌、參考資料

一、參考文獻

- [1] 黃銘宗、王淑慧(2006)。滑鼠科技發展及其對電腦使用者影響之研究。科技教育課程改革與發展學術研討會論文集。
- [2] 陳智信、楊智惠、黃耿祥(2011)。掌上明珠—滑鼠。科學發展，460 期。
- [3] Teo Chiang Mei(2007)。滑鼠的秘密。RUN!PC 雜誌，第 158 期。
- [4] 周國鵬(2008)。加速壽命試驗於無線滑鼠平均壽命之研究。華梵大學碩士論文。
- [5] 陳柏州(2000)。滑鼠設計與操作之評估研究。大葉大學碩士論文。
- [6] 黃偉誠(2014)。校正磨耗度之光柵測距輪。國立虎尾科技大學碩士論文。
- [7] 蔡朝洋(2007)。單晶片微電腦 8051/8951 原理與應用。台北：全華科技。
- [8] 王文彥(2015)。APP Inventor 2 Android 行動應用程式開發設計。台北：松崗公司。
- [9] 李春雄(2016)。手機程式設計 APP 使用 APP Inventor 2。台北：上奇資訊公司。
- [10] 楊思婷、吳仔捷(2008)。滑鼠狂想曲。臺灣：二〇〇八年國際科學展覽會。
- [11] 技嘉科技滑鼠設計大賽，http://ent.bhuntr.com/gigabyte_2014/。
- [12] 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>。
- [13] Agilent Technologies, Aligent ADNS-2100 Solid-State Optical Mouse Lens Data Sheet, <http://literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-2835EN.pdf>。

【評語】 100027

該研究動手實作性，拆解滑鼠內電路板並應用於距離量測、速度偵測等實質技術，且作品已達成熟產品，唯未來可考慮外形包裝，與其它應用技術。口條清楚，研究具工程中之再利用技術發展，屬循環經濟之研究內容。