



國立勤益科技大學  
電子工程系研究所碩士班

碩士論文

觸控介面整合於遊戲機的研究  
The study of touch interface integration  
on game machine

研究生：林聖諺

指導教授：蔡忠和 教授

中華民國 一百零一 年 六 月

觸控介面整合於遊戲機的研究

The study of touch interface integration on game machine


研究生：林聖諺

指導教授：蔡忠和 教授

國立勤益科技大學

電子工程系研究所

碩士論文



Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Engineering  
in  
Institute of Electronic Engineering  
National Chin-Yi University of Technology

June 2012

Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國 一百零一年 六月

國立勤益科技大學  
研究所碩士班  
論文口試委員會審定書

本校 電子工程系碩士班 林聖諺 君

所提論文 觸控介面整合於遊戲機的研究

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

論文口試委員會：

召集人： 林宸生

委員： \_\_\_\_\_

林宸生

賴雲龍

指導教授： 謝中平

所 長： 

中華民國 一 百 零 一 年 六 月

# 觸控介面整合於遊戲機的研究

學生：林聖諺

指導教授：蔡忠和

國立勤益科技大學 電子工程系研究所碩士班

## 摘要

近年來由於智慧型手機的普及，電容式觸控介面在消費型電子產品上的應用越來越廣泛，而觸控式介面在遊樂器上的應用也越來越受到重視。

在印刷電路板上製作的觸摸按鍵和觸摸滑條，利用投射式電容感應的原理，這種方式在電子產品上應用已經非常廣泛，不過使用在遊戲介面上卻還很少見。

本篇論文研究將傳統的遊戲控制器改以觸控介面來呈現，改變現有的觸控滑條的形狀，將觸控滑條設計成同心圓狀。而新設計的同心圓狀滑條在搭配圓形滑條或觸摸按鍵之後，各能達到不同的遊戲操控功能，展現不一樣的遊戲操控方式。

**關鍵詞：**觸控介面、觸控滑條、遊戲控制器

# **The study of touch interface integration on game machine**

Student : Sheng-Yan Lin

Advisor : Chung-ho Tsai

Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Engineering

in  
Institute of Electronic Engineering  
National Chin-Yi University of Technology

## **Abstract**

With popularity of smart phone, the application of capacitive touch interface is more extensive than ever. More and more people pay much attention to touch interface game machine.

The Implementation of touch click and touch slide on printed circuit board applies the principle of projected capacitive sense. This technique is very popular in application of electronics , but it is rare in the game consoles.

In this paper, we adopt touch interface to replace the traditional game controllers. The original shape looks like a single of circle, and the redesigned new shape looks like concentric circles showing a big difference to the shape of a touch slider.

For conducting the experiments, two forms of PCB layout, concentric with a single circle model and concentric with touch buttons, are designed to evaluate the effects. As the results show, the touch interface can practically achieve several new control features, not possible by traditional game controller, and offers a new way to enjoy the game experience.

**Keyword :** touch interface , touch sliders , game controllers

## 誌 謝

首先要先感謝我的指導教授蔡忠和老師，在這兩年細心的教導，不僅完成本論文，而在論文的指導之外，關於學校課程的相關知識，老師都能給予指導以及協助，每當在學習的旅途中遭遇瓶頸時，老師都夠給予指點，讓我重新找到前進的方向。

在這兩年的日子裡，感謝的是家人的支持，讓我在這兩年能夠讓我專注於學習，經濟上的負擔，給予求學中的生活所需，以及感謝學長炳生、柏伸、哲暉、信甫在課業上的指導，以及共同奮鬥的同學尚澤、啟瑞、凱澤，學弟建仲、凱淵，室友羽姍、文鈞、俊瑋、佳琳、佑任、孟寬、家孟、彥儒，回想起這兩年生活的點滴，課業上的討論、All night 趕作業、生日聚會慶生，以及大學時期曾經待過的弦音吉他社的學弟妹們的支持與鼓勵，都讓我的研究生生活變得更加充實快樂。

最後要感謝的是系主任林熊徵教授的協助，電子系辦公室的行政人員，以及在碩士班時期幫助我過的人，接下來將踏入社會，結束學生生涯，不過在未來的日子裡仍會持續努力，也會記得在勤益科大渡過的美好時光。

聖 諺

# 目 錄

中文摘要	-----	i
英文摘要	-----	ii
誌謝	-----	iii
目錄	-----	iv
圖目錄	-----	vi
表目錄	-----	ix
<b>第一章 緒論</b>	-----	<b>1</b>
1.1 文獻回顧	-----	1
1.2 研究動機與目的	-----	7
1.3 章節概要	-----	8
<b>第二章 觸摸感應技術</b>	-----	<b>9</b>
2.1 表面電容觸控	-----	9
2.2 投射式電容觸控	-----	11
2.3 電容觸控感測應用	-----	12
2.3.1 捕捉電容感測操作	-----	13
2.4 觸控按鍵以及觸控滑條介紹	-----	15
2.4.1 觸控按鍵	-----	15
2.4.2 觸控滑條	-----	17
<b>第三章 遊戲操控介面</b>	-----	<b>23</b>
3.1 觸控滑條形狀的改良	-----	24
3.2 同心圓狀滑條	-----	25
3.3 雙觸控滑條(同心圓狀+圓形滑條)	-----	28
3.4 觸控滑條加上觸控按鍵	-----	31
<b>第四章 機構介紹</b>	-----	<b>38</b>
4.1 系統架構	-----	38
4.2 使用機構介紹	-----	42

4.2.1 PSoC 介紹	42
4.2.2 CSD 觸摸感應模組介紹	42
4.2.3 GPL32500A 開發板	51
<b>第五章 實驗結果</b>	<b>54</b>
5.1 實驗環境	54
5.2 結合圓形滑條與同心圓狀滑條的雙滑條實驗	54
5.2.1 角度值抓取實驗	54
5.2.2 程度值抓取實驗	57
5.2.3 角度值與程度值同時抓取實驗	58
5.3 同心圓狀滑條搭配八顆觸控按鍵的實驗	61
5.3.1 方向值抓取實驗	61
5.3.2 程度值抓取實驗	63
5.3.3 方向值與程度值同時抓取實驗	65
5.4 作為遊戲控制器控制 GPL32500A 開發板	67
<b>第六章 結論</b>	<b>69</b>
<b>參考文獻</b>	<b>70</b>



## 圖目錄

圖 1.1	Joystick 類型的遊戲控制器	2
圖 1.2	Wheel 類型的遊戲控制器	2
圖 1.3	早期的 GamePad - Family Computer 的 GamePad	2
圖 1.4	任天堂 64 的 GamePad	2
圖 1.5	SONY 公司的 PlayStation 的 GamePad	2
圖 1.6	SEGA 公司的 Dreamcast 的 GamePad	2
圖 1.7	任天堂遊戲主機 Wii 的主要控制器	3
圖 1.8	SONY PS3 的「PlayStation Move 動態控制器」	3
圖 1.9	Kinect 感應器裝置	3
圖 1.10	包含雙螢幕的任天堂 DS	6
圖 1.11	Sony Ericsson Xperia Play	6
圖 1.12	PlayStation Vita 正面	6
圖 1.13	PlayStation Vita 背面 5 吋背板電容式多點觸控板	6
圖 2.1	表面式電容觸控板結構圖	10
圖 2.2	投射式電容觸控板結構圖	11
圖 2.3	電容式觸控按鍵感測方法	13
圖 2.4	觸控按鍵的圖案與感測距離	14
圖 2.5	典型的觸控按鍵設計	15
圖 2.6	觸控按鍵的大小與手指的關係	16
圖 2.7	觸控滑條工作原理	17
圖 2.8	中空的圓形滑條	18
圖 2.9	中間包含觸控按鍵的圓形滑條	18
圖 2.10	中間包含機械按鍵的圓形滑條	19
圖 2.11	搭配觸控按鍵的圓形滑條	19

圖 2.12	搭配觸控按鍵的圓形滑條上下左右中心功能鍵觸發示意圖	20
圖 2.13	水平加上垂直的雙滑條手機	21
圖 2.14	手指在滑條上的位置	22
圖 3.1	使用者操控方向的程度示意圖	24
圖 3.2	新設計的同心圓形狀滑條	25
圖 3.3	手指在同心圓滑條的位置	26
圖 3.4	同心圓滑條 - 使用者操控的程度示意圖	27
圖 3.5	圓形滑條 - 使用者操控的程度示意圖	28
圖 3.6	新設計的圓形+同心圓雙滑條	29
圖 3.7	圓形+同心圓雙滑條示意圖	30
圖 3.8	同心圓滑條內埋藏觸控按鍵	31
圖 3.9	同心圓滑條加觸控按鍵示意圖	32
圖 3.10	兩點以上觸摸情況	33
圖 3.11	八顆觸摸按鍵表示圖	34
圖 3.12	實際做出來的銅箔感應塊尺寸說明圖	37
圖 4.1	硬體架構圖	39
圖 4.2	電容感應電路	39
圖 4.3	自製改變銅箔感應塊形狀的觸控式遊戲控制器	40
圖 4.4	CY8C24994 與其 CSD 模組的兩顆外部元件實體圖	40
圖 4.5	GPL32500A 開發板	41
圖 4.6	手指與觸摸板的電容模型	43
圖 4.7	CSD 的原理方塊圖	44
圖 4.8	計數器產生兩個不重疊的時脈	45
圖 4.9	開關電容等效電路	46
圖 4.10	開關電容等效電路與 Sigma-Delta 調變器	47

圖 4.11	比較器輸出波形圖-----	48
圖 4.12	調變器位元流濾波器調變波形示意圖-----	49
圖 4.13	CSD 模組的計數值-----	50
圖 4.14	GPL32500A 開發板-----	51
圖 4.15	系統架構圖-----	53
圖 4.16	函數配置圖-----	53
圖 5.1	實驗 1.1 觸摸示意圖-----	55
圖 5.2	實驗 1.1 實驗結果-----	55
圖 5.3	實驗 1.2 觸摸示意圖-----	56
圖 5.4	實驗 1.2 實驗結果-----	56
圖 5.5	實驗 2 程度值抓取實驗觸摸示意圖-----	57
圖 5.6	實驗 2 實驗結果-----	58
圖 5.7	實驗 3 角度值與程度值同時抓取實驗觸摸示意圖-----	59
圖 5.8	實驗 3 實驗結果-----	60
圖 5.9	實驗 4 觸摸示意圖-----	61
圖 5.10	實驗 4 實驗結果-----	62
圖 5.11	程度值抓取實驗觸摸示意圖-----	63
圖 5.12	實驗 5 實驗結果-----	64
圖 5.13	實驗 6 角度值與程度值同時抓取實驗觸摸示意圖-----	65
圖 5.14	實驗 6 實驗結果-----	66
圖 5.15	操縱角色行進方向-----	67
圖 5.16	同時觸摸上與下使用招式-----	68
圖 5.17	同時觸摸左與右使用招式-----	68

## 表 目 錄

表 1.1	遊戲控制器按鍵表-----	4
表 3.1	方向運算表-----	35
表 5.1	個人電腦資料-----	54



# 第一章 緒論

## 1.1 文獻回顧

### (1) 遊戲控制器

遊戲控制器[1]常見於各種電視遊樂器，或是遊戲機台上，用來控制遊戲，操縱遊戲中的角色或是特定物件，早期的遊戲控制器大致來說能夠分為三大類，分別是 GamePad、Joystick(圖 1.1)以及 Wheel(圖 1.2)[2][3]。

多數的遊戲控制器在功能上，不外乎是做方向上面的操控，以及搭配數位按鍵來控制特定動作，早期的 GamePad 按鍵數量較少，僅有方向鍵以及兩顆數位按鍵，圖 1.3[4]為早期的 GamePad。後來 GamePad 持續發展，任天堂公司發表的任天堂 64 增加了類比式搖桿，之後類比式搖桿漸漸出現在各種廠牌的遊樂器的遊戲控制器上，如圖 1.4-1.6[5]-[7]所示。

近幾年來遊戲控制器已經不再侷限於只有特定形式，任天堂在 2006 年推出的 Wii 搭配遙控器類型的遊戲控制器，如圖 1.7[8] 所示，以及 SONY 在 2010 年發表的主機 PS3(PlayStation 3)的棒狀控制器(圖 1.8[9])PlayStation Move，都不再侷限於特定的形狀，甚至不需要遊

戲控制器也能進行遊戲的操控，在 2010 年微軟在本身的遊樂器 Xbox 360 上推出新的遊戲操控周邊設備-Kinect 感應器裝置(圖 1.9[10])，利用內建的三個鏡頭帶給玩家「免控制器的遊戲與娛樂體驗」。



圖 1.1 Joystick 類型的遊戲控制器



圖 1.2 Wheel 類型的遊戲控制器



圖 1.3 早期的 GamePad - Family Computer 的 GamePad



圖 1.4 任天堂 64 的 GamePad



圖 1.5 SONY 公司的 PlayStation 的 GamePad



圖 1.6 SEGA 公司的 Dreamcast 的 GamePad



圖 1.7 任天堂遊戲主機 Wii 的主要控制器



圖 1.8 SONY PS3 的「PlayStation Move 動態控制器」



圖 1.9 Kinect 感應器裝置

表 1.1 為遊戲控制器的按鍵表，依照發表年份排列，可以看見遊戲控制器在按鍵數量上的演進。

表 1.1 遊戲控制器按鍵表

名稱	廠商	年份	方向鍵	數位按鍵	類比搖桿	其它
Family Computer	任天堂	1983	4 個方向	2 顆	X	
Sega Mark III	SEGA	1985	4 個方向	2 顆	X	
超級任天堂	任天堂	1990	4 個方向	6 顆	X	
SEGA Saturn	SEGA	1994	8 個方向	8 顆	X	
PlayStation	SONY	1994	4 個方向	8 顆	2 組	
任天堂 64	任天堂	1996	4 個方向	8 顆	1 組	
Dreamcast	SEGA	1998	4 個方向	6 顆	1 組	
PlayStation 2	SONY	2000	4 個方向	8 顆	2 組	
GameCube	任天堂	2001	4 個方向	6 顆	2 組	
Xbox	微軟	2002	4 個方向	6 顆	2 組	
Xbox 360	微軟	2005	4 個方向	6 顆	2 組	
Wii	任天堂	2006	4 個方向	2 顆	X	三軸加速器
PlayStation 3	SONY	2006	4 個方向	8 顆	2 組	兩顆類比按鍵
Wii 傳統控制器	任天堂	2009	4 個方向	8 顆	2 組	
PlayStation 3 的 PlayStation Move 主控制 器	SONY	2010	X	4 顆	X	一顆類比按鍵 三軸陀螺儀偵測器 三軸加速度偵測器 地磁力偵測器
PlayStation 3 的 PlayStation Move 副控制 器	SONY	2010	4 個方向	2 顆	1 組	一顆類比按鍵



## (2) 觸控技術在遊戲控制上的應用

近年來由於觸控技術越來越發達，在消費性電子產品上，也越來越常見到使用觸控技術來當作輸入介面的產品。而在各種類型遊樂器當中，最常見到使用觸控方式，來當做輸入介面的遊樂器，是掌上型遊樂器。

任天堂在 2004 推出包含雙螢幕的掌上遊樂器，其中下方的螢幕為觸控面板，如圖 1.10 所示[11]，包含控制四個方向的十字鍵，六顆數位按鍵，以及主機下方的觸控式螢幕搭配附帶的觸控筆來控制遊戲進行。

Sony Ericsson 在 2011 推出了以遊戲為主要訴求的智慧型手機如圖 1.11 所示[12]。除了本身搭配電容式觸控螢幕之外，其特色就是外加了遊戲專用鍵盤，包含控制四個方向的十字控制鍵，還有四顆數位按鍵之外，在觸控技術的應用上，就是在遊戲鍵盤中央的「類比式觸控搖桿」，與類比搖桿一樣能夠讓用來操控方向及程度大小的變化，不同在於它使用觸控形式來呈現，體積較小，能夠與遊戲專用鍵盤一起收納於整隻手機當中。

SONY 在 2011 年發表的掌上型遊樂器，如圖 1.12-1.13 所示[13]。

包含四個方向的十字案件，以及兩顆類比搖桿和六顆數位按鍵。而在觸控技術的應用上，PlayStation Vita 正面包含 5 吋 OLED 多點觸控螢幕，背面是 5 吋背板電容式多點觸控板。



圖 1.10 包含雙螢幕的任天堂 DS



圖 1.11 Sony Ericsson Xperia Play



圖 1.12 PlayStation Vita 正面



圖 1.13 PlayStation Vita 背面 5 吋背板電容式多點觸控板

## 1.2 研究動機與目的

在觸控介面應用於遊戲控制上面，較常看到被使用在掌上型遊樂器，或是遊戲專用的手機上面，由於觸控按鍵不需要預留機械按鍵活動的空間，較容易藏於完整的表面下，適合用於隨身攜帶的電子產品上。目前觸控介面應用在掌上型遊樂器上，大多是以觸控板的形式來控制遊戲，較少見到使用觸控按鍵、觸控滑條、觸控類比搖桿的形式出現在遊戲控制器上。

本篇論文研究將傳統的遊戲控制器改以觸控介面來呈現，改變現有的觸控滑條的形狀，將觸控滑條設計成同心圓狀。而新設計的同心圓狀滑條在搭配圓形滑條或觸摸按鍵之後，各能達到不同的遊戲操控功能，展現不一樣的遊戲操控方式。

## 1.3 章節概要

本論文共分為六章，除了第一章的緒論外，其餘章節分別敘述如下：

### 第二章 相關原理的介紹

介紹電容式觸摸感應技術，表面式電容觸控、投射式電容觸控，以及電容觸控感測應用，還有觸控技術在遊戲控制上的應用，以及觸摸按鍵和觸摸滑條的介紹。

### 第三章 遊戲操控介面

說明我們新設計的觸控滑條形狀，並且搭配觸控按鍵來當作遊戲控制器的設計理念及介紹。

### 第四章 機構介紹

介紹本篇論文所使用的機構。

### 第五章 實驗結果

討論本篇論文在不同觸摸情況下的實驗結果。

### 第六章 結論

敘述本篇論文的結論，以及未來可改進的地方，以及未來可能發展的地方。

## 第二章 觸摸感應技術

觸摸感應技術[14]主要有基於電阻式的觸摸感應技術，以及基於紅外線式的觸摸感應技術和基於電容式的觸摸感應技術。時常見到以觸控按鍵以及觸控面板的方式被廣泛應用在提款機、自動售票機、遊樂器、MP3 播放器、平板電腦、智慧型手機或是一些電子裝置上。

本章節主要介紹電容式的觸摸感應技術，以及觸控按鍵及觸控滑條，和觸摸感應技術應用在遊樂器上的介紹。

### 2.1 表面電容觸控

表面電容方式的結構如圖 2.1 所示，由透明導電膜和分別放置在四個角落的電極構成。

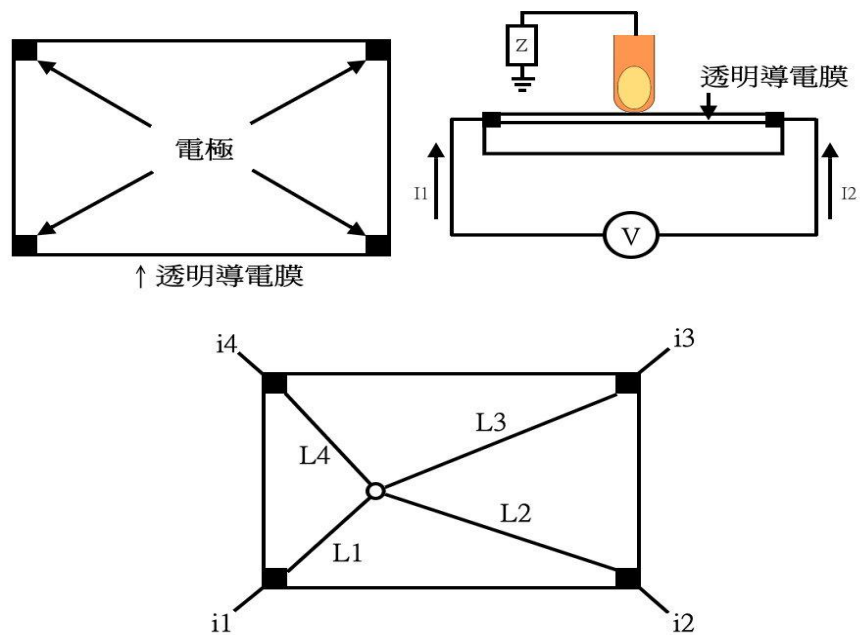


圖 2.1 表面式電容觸控板結構圖

在使用的時候，四個角落的電極施加相同電壓，面板整體會形成均勻電場，全部都是同相位時，面板上的電容會放電，此時電流不會流動。當手指接觸到面板的時候，變成與利用電容器接地的狀態相同，電流從四個角落通過手指流動，越靠近觸碰部位的電極的電流值越大，透過量測四個角落的電極的電流量，就可以判斷手指觸摸的位置。

## 2.2 投射式電容觸控

圖 2.2 為投射式電容觸控面板的基本結構與動作原理，透過捕捉電極間的電容變化，進行觸控位置偵測。

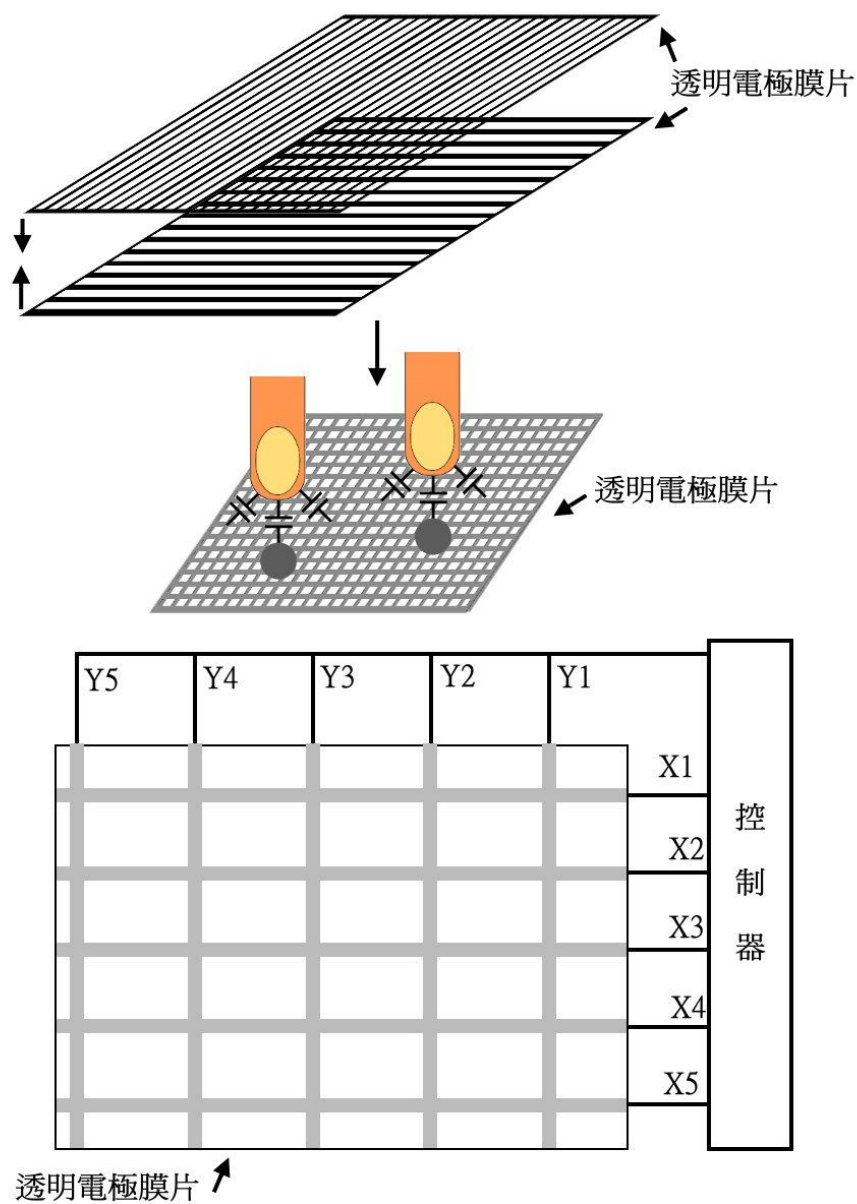


圖 2.2 投射式電容觸控板結構圖

由一組橫條紋狀和一組直條紋狀的透明電極膜片相疊，使得兩片透明電極膜片的電極交錯垂直。由於人體會攜帶水分，是優秀的導體，所以手指靠近電極時，手指與電極之間的電容會增加，這時候檢查哪一條線的靜電容量變大，就能夠知道面板被手指觸控的位置。

## 2.3 電容觸控感測應用

而近年來，由於消費性電子產品小型化，無機械接點的觸控開關也開始越來越受到重視，由於觸控開關沒有機械結構，使用壽命長，耐久性較傳統機械式開關佳，設計自由度也較高。接下來介紹一些觸控開關使用的靜電容量觸控的感測方式。

觸控按鍵的具體結構是在印刷電路板上製作圖案，由於不需任何切換器元件，所以觸控開關的成本非常低，不過用來感測電容量變化的控制單元製作成本較高，較難普及。不過近幾年來，Cypress 公司的 PSoC 技術[15]，透過類比電路與單晶片微處理器的一體化，製作電容式觸控感測器的成本也大大降低。



### 2.3.1 捕捉電容感測操作

電容式觸控按鍵的方法與基本設計和投射式電容的觸控方式相同，如圖 2.3 所示。

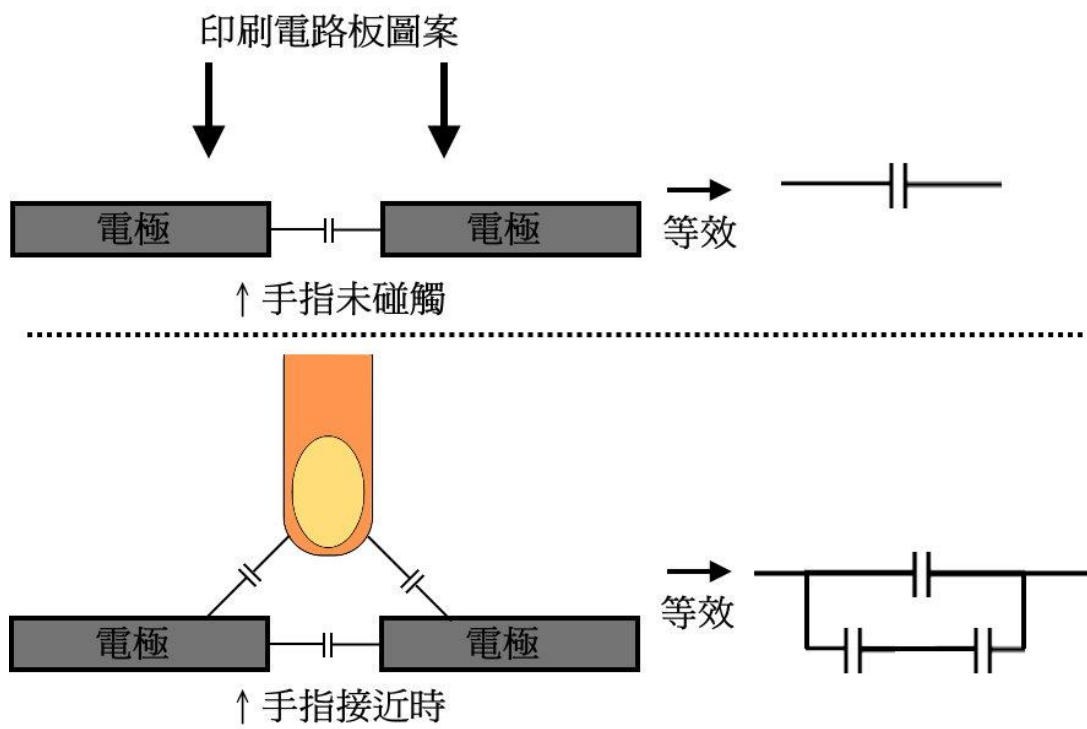


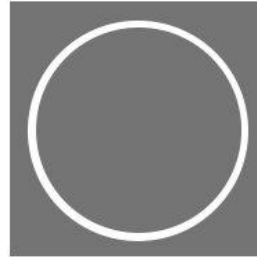
圖 2.3 電容式觸控按鍵感測方法

透過捕捉電極之間的電容變化，在印刷電路板上製作形狀，形成電極，其中一方當作接地，另一個當作感測電極。圖 2.4 是觸控按鍵的圖案與感測距離，隨著按鍵形狀、尺寸不同，感測距離也會產生變

化。距離太長容易發生失誤，距離太短容易反應遲鈍，因此實際應用必須根據用途與機器的結構，調整按鍵部位的圖案。



按鍵大小：小  
檢測距離：短



按鍵大小：大  
檢測距離：長



多個感應銅箔組成的觸控滑條



圖 2.4 觸控按鍵的圖案與感測距離

## 2.4 觸控按鍵以及觸控滑條介紹

### 2.4.1 觸控按鍵

使用電容感應技術，可以把傳統的機械式按鍵換成電容式觸控按鍵，也能增加設計的靈活性。由於電容式的觸控按鍵能夠隱藏在完整的表面底下，因此不需要像機械式按鍵一樣需要預留機械按鍵的空間。

- 觸摸式按鍵的大小和形狀

圖 2.5 是一種典型的觸控按鍵設計，圓形的銅箔觸摸感應塊，在感應塊的外圍鋪銅接地。感應塊和外圍的鋪銅中間有間隙，間隙的程度和寄生電容  $C_p$  成反比。

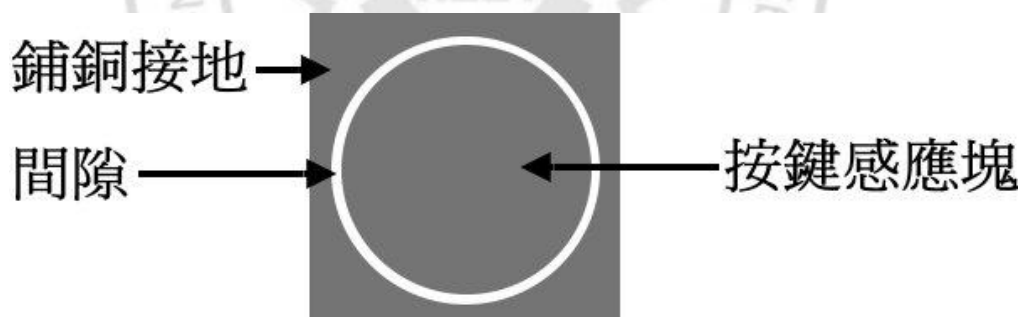


圖 2.5 典型的觸控按鍵設計

而觸控按鍵的大小與手指的大小差不多為最理想的狀況，因為手指觸摸而產生的手指觸摸電容  $C_F$  與手指和按鍵感應塊的接觸面積成正比，若是按鍵感應塊的面積太小，手指觸摸之後產生的  $C_F$  也會較

小，會影響到靈敏度。但是按鍵感應塊如果比手指大太多，只是增加了可以觸摸的面積而已，對於手指觸摸電容  $C_F$  的影響並不會增加，如圖 2.6 所示。

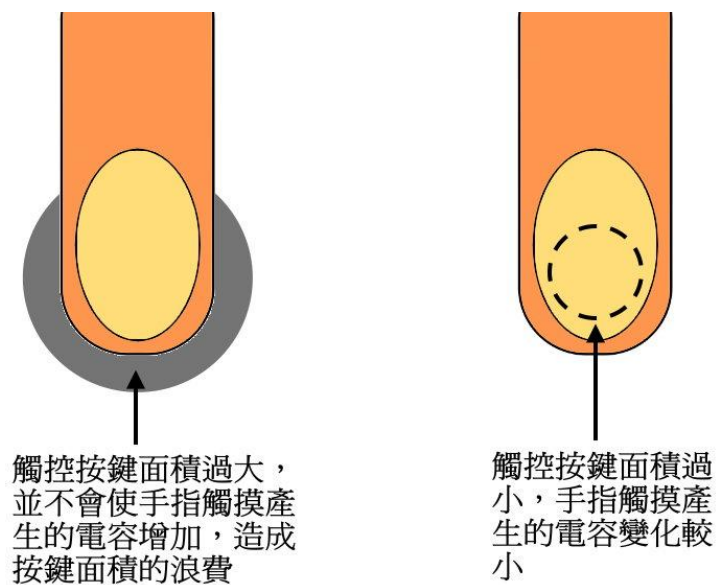


圖 2.6 觸控按鍵的大小與手指的關係

## 2.4.2 觸控滑條

### 1. 觸控滑條的介紹

將多個電容感應器並排放在一起，就可以實現滑條的功能，如圖

2.7 所示。

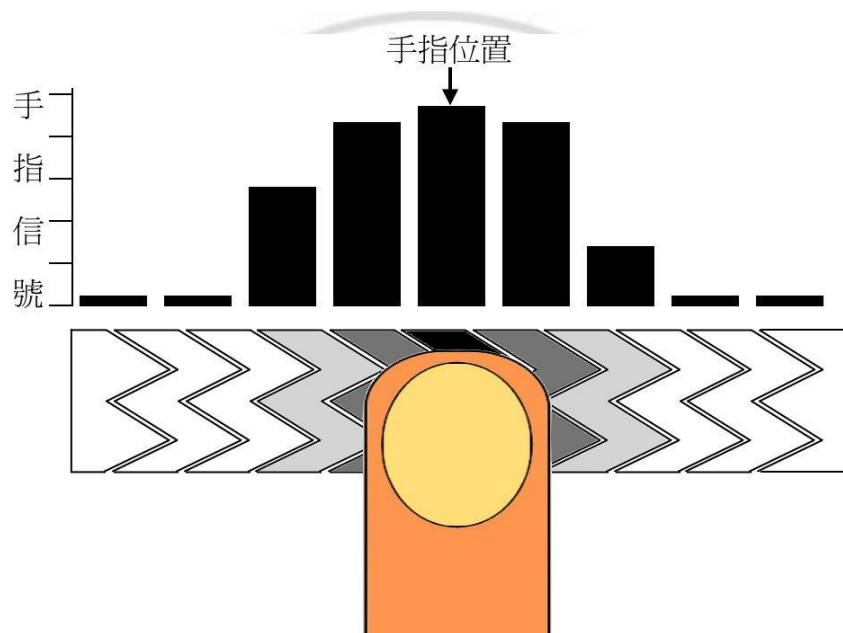


圖 2.7 觸控滑條工作原理

觸控滑條通常應用在類似 MP3 等歌曲點播、音量調整，或是燈光點亮程度。滑條在設計時需要保證手指可以同時覆蓋，或者接近至少 2 個感應器，如圖 2.7 的計數值曲線上會呈現一個凸起形狀的變化趨勢，然後透過插值算法可以精確算出目前手指的中心位置，這個位置的分辨率要遠遠大於實際感測器的個數。而位

置的變化就是手指滑動的方向和位移，即可以轉化成使用者輸入的訊息。

## 2. 滑條的形狀

改變滑條的排列形狀，可以讓滑條呈現各式各樣的線條，進而美化產品外觀，也能達到不同的功能，圖 2.8-圖 2.10 是幾種常見的圓形滑條。

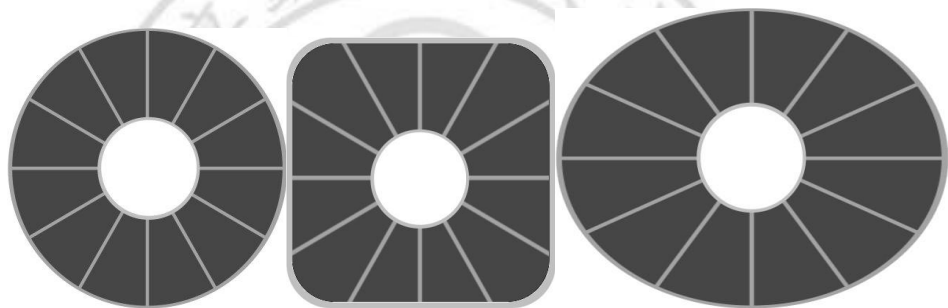


圖 2.8 中空的圓形滑條

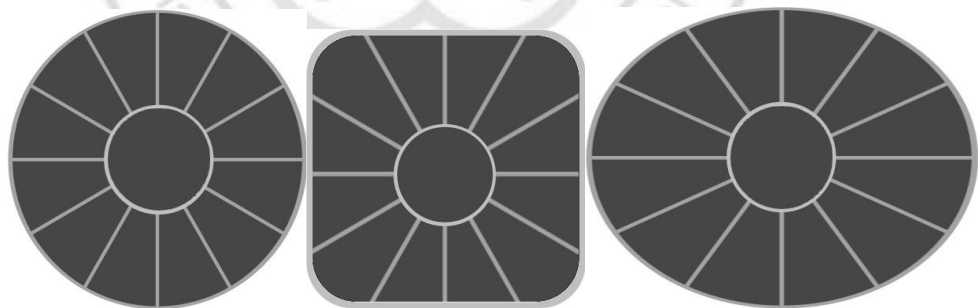


圖 2.9 中間包含觸控按鍵的圓形滑條

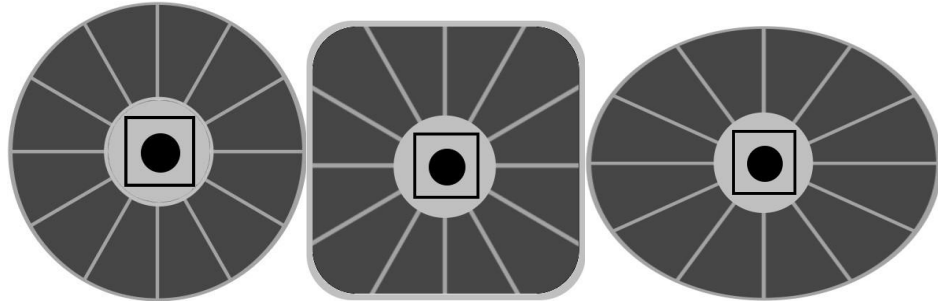


圖 2.10 中間包含機械按鍵的圓形滑條

觸摸滑條除了可以實現滑條本身的功能，像是聲音控制，選單的快速移動，還可以在滑條其中增加觸摸按鍵。定義滑條的某一個，或是某幾個區域，具有按鍵的功能，如圖 2.11 與圖 2.12，在被定義的區域感測到手指觸摸再放開之後，便認為是做了一次按鍵的操作，也拓展了滑條原本的功能。

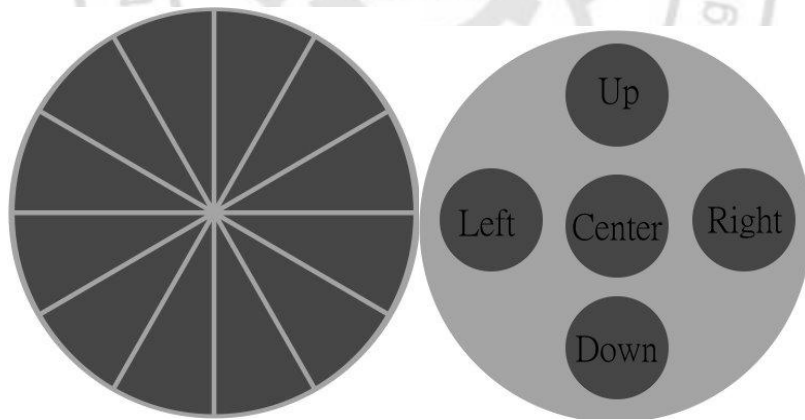


圖 2.11 搭配觸控按鍵的圓形滑條

(a) 正面(b) 背面

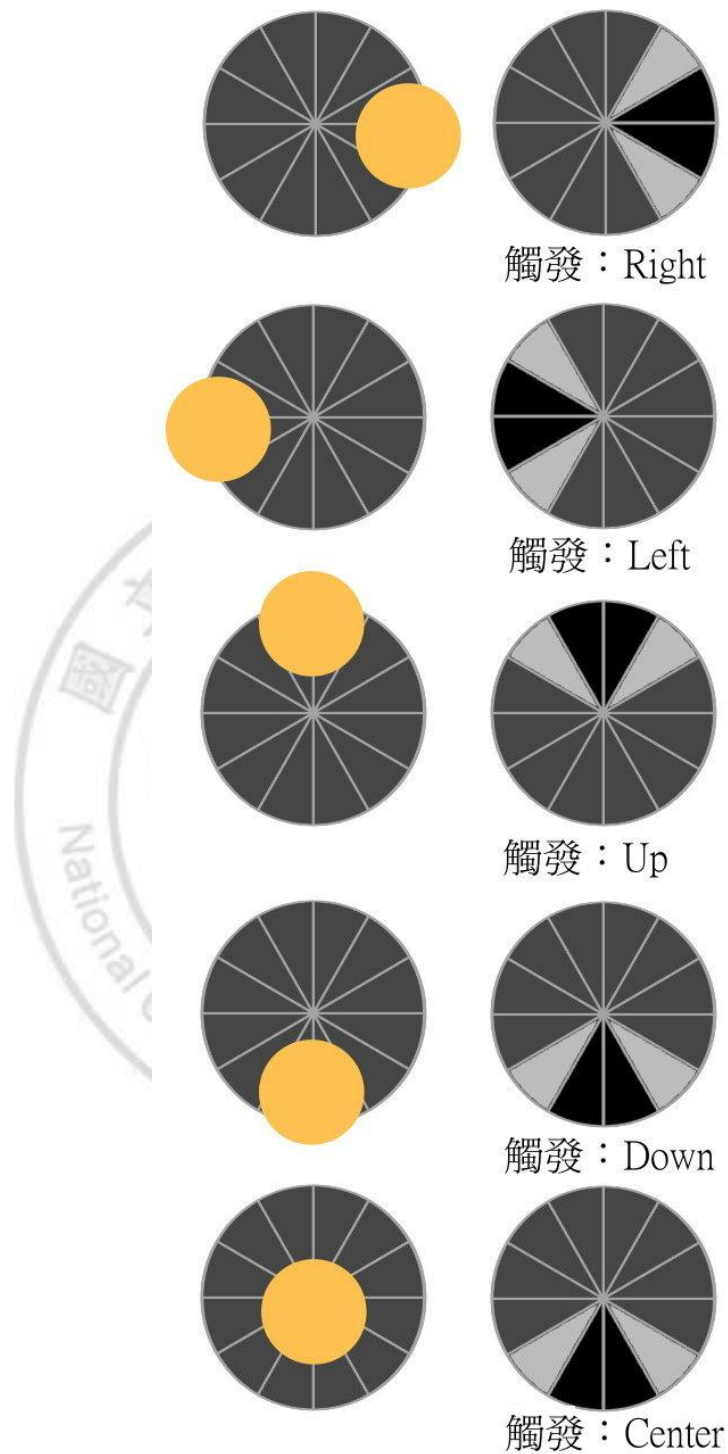


圖 2.12 搭配觸控按鍵的圓形滑條上下左右中心功能鍵觸發示意圖

而圖 2.13 是一種已經應用於手機的，水平加上垂直的雙滑



條，其中還有數個觸摸按鍵。

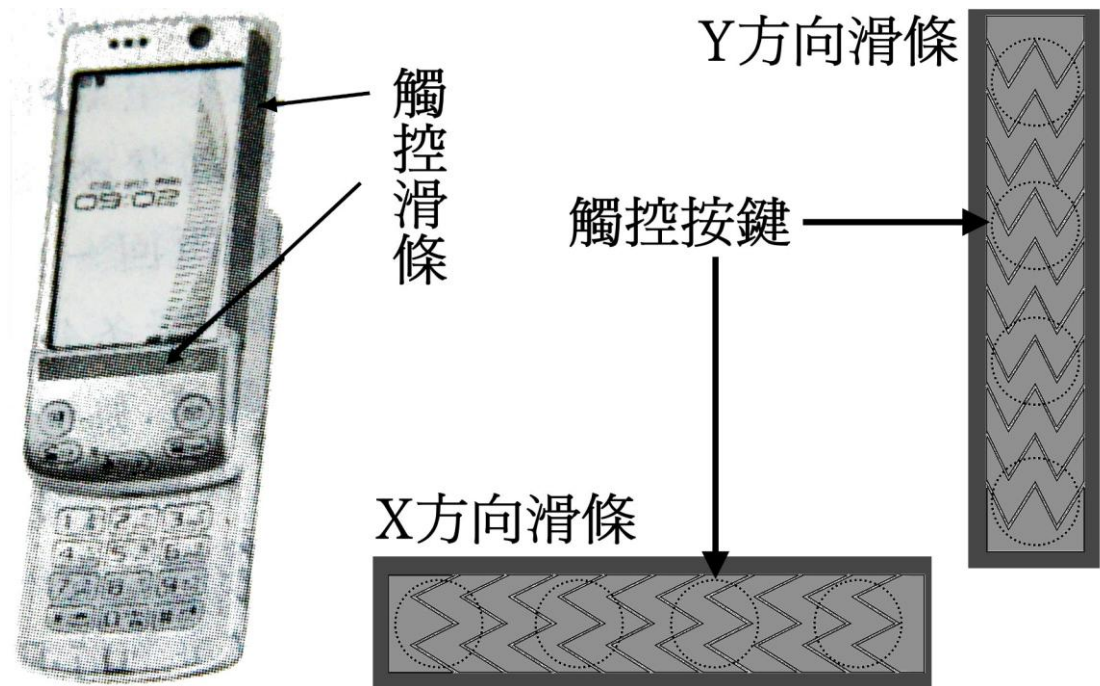


圖 2.13 水平加上垂直的雙滑條手機

### 3. 在滑條上偵測手指

滑條通常被做成鋸齒排列，在前面的章節提過，因為需要保證手指在觸摸滑條的時候，可以同時覆蓋或者接近至少 2 個感應器，所以滑條通常被設計成鋸齒排列。而每一個鋸齒條對應一個銅箔感應塊。當手指觸摸到滑條，並且在上面移動時，手指中間對應的銅箔感應塊的感應量最大，兩邊的銅箔感應塊則順序遞減。這樣就可以使用重心

法來確定手指在滑條上的位置。

以下是重心法的計算公式：

$$\bar{n} = \frac{\sum_{n=i}^m n \cdot a_n}{\sum_{n=i}^m a_n}$$

$\bar{n}$ ：為重心，也就是手指觸摸到觸控滑條的位置

$a_n$ ：第  $n$  個觸控滑條感應塊上的差值

$i \sim m$ ：超過雜訊臨界值的感應塊數目 ( $m > i$ )

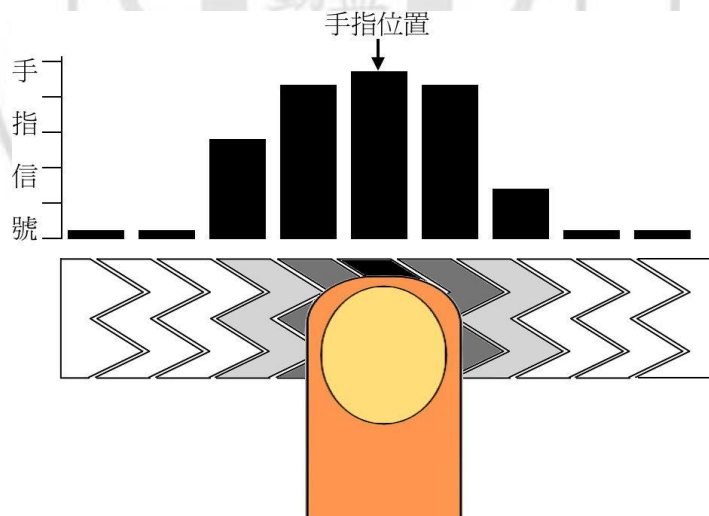


圖 2.14 手指在滑條上的位置

### 第三章 遊戲操控介面

本篇論文研究將傳統的遊戲控制器以觸控介面來呈現，改變現有的觸控滑條的形狀，將觸控滑條設計成同心圓狀。而新設計的同心圓狀滑條在搭配圓形滑條或觸摸按鍵之後，各能達到不同的遊戲操控功能，展現不一樣的遊戲操控方式。

本章節說明我們新改良的同心圓狀觸控滑條的設計理念及介紹，並且拿來做兩種搭配，第一種是與同心圓滑條與圓形滑條的搭配，第二種是同心圓滑條與八顆觸控按鍵的搭配。

### 3.1 觸控滑條形狀的改良

本文研究如何將滑條應用在遊戲控制器上，能夠達到不同的操作效果，嘗試改變觸控滑條的形狀，來達到不同的控制功能，並且應用在遊戲的控制上面。我們模擬類比搖桿，能夠測量到使用者目前操作的方向，並且能夠區分使用者操作的程度差別，如圖 3.1 所示。

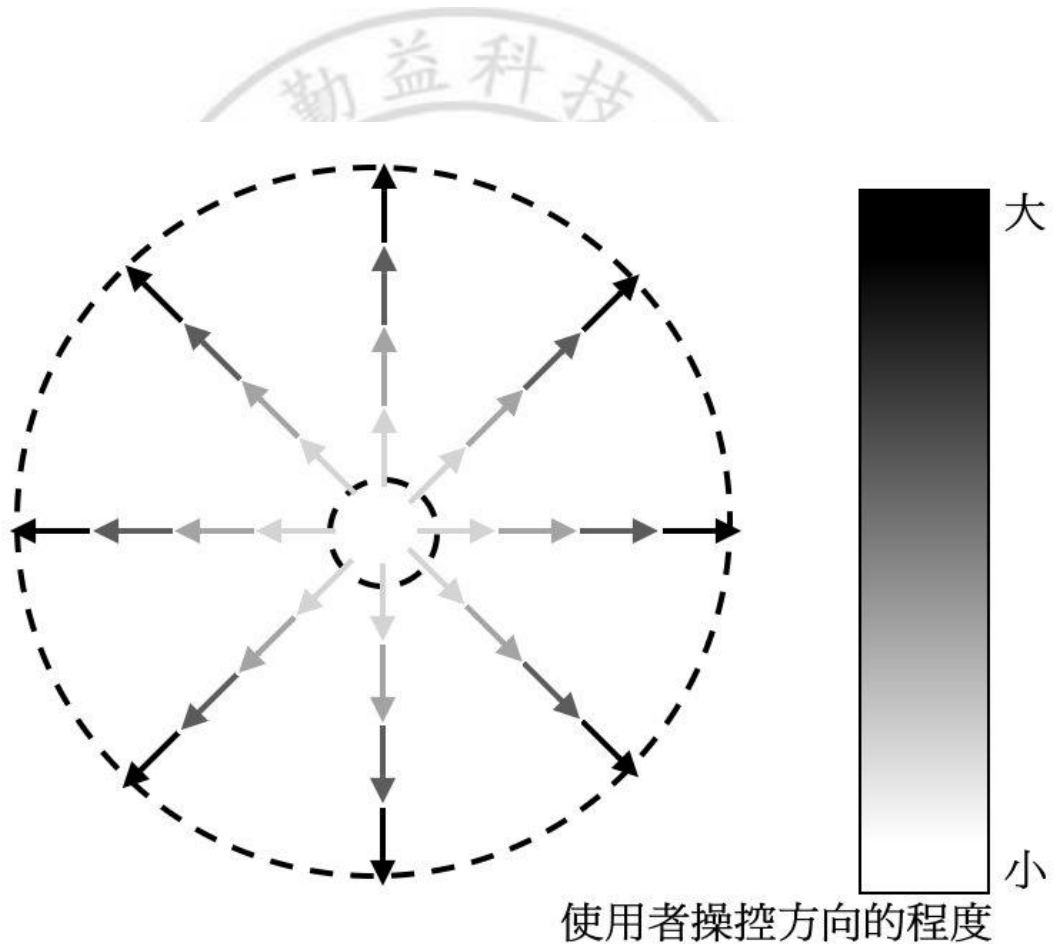


圖 3.1 使用者操控方向的程度示意圖

## 3.2 同心圓狀滑條

首先的構想是將滑條設計成同心圓狀，如圖 3.2 所示。

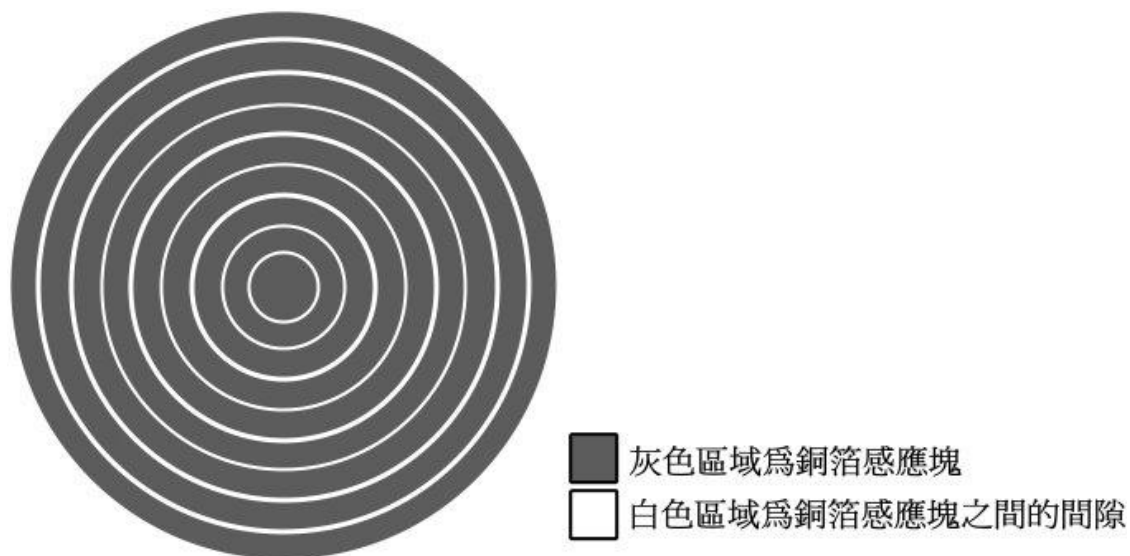


圖 3.2 新設計的同心圓形狀滑條

手指在同心圓滑條上觸摸時，偵測到的手指信號情況如圖 3.3 所示。與前面介紹過的觸控滑條一樣，同心圓滑條的設計最好能夠讓手指能夠同時觸摸到兩塊以上的銅箔感應塊，因此每一塊的銅箔感應塊寬度不宜寬於手指。

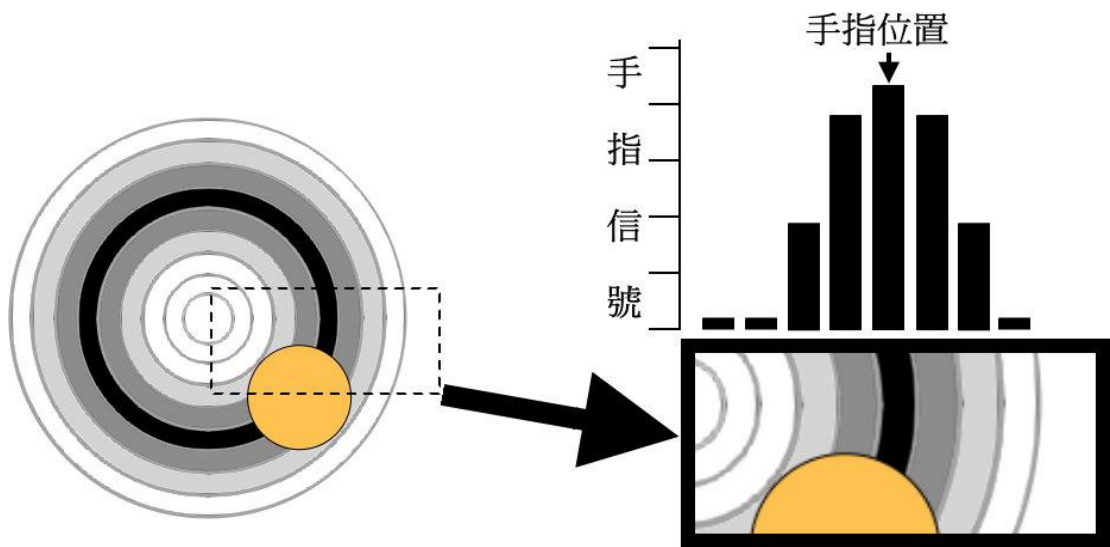


圖 3.3 手指在同心圓滑條的位置

同心圓滑條的銅箔感應塊由中心點向外擴張，我們偵測到手指在同心圓滑條上的位置之後，將手指目前位置當作使用者在操作程度上定義，當手指在中心點時，表示操作的程度最小，而當手指越遠離中心點，表示操作的程度越大。如圖 3.4 所示。

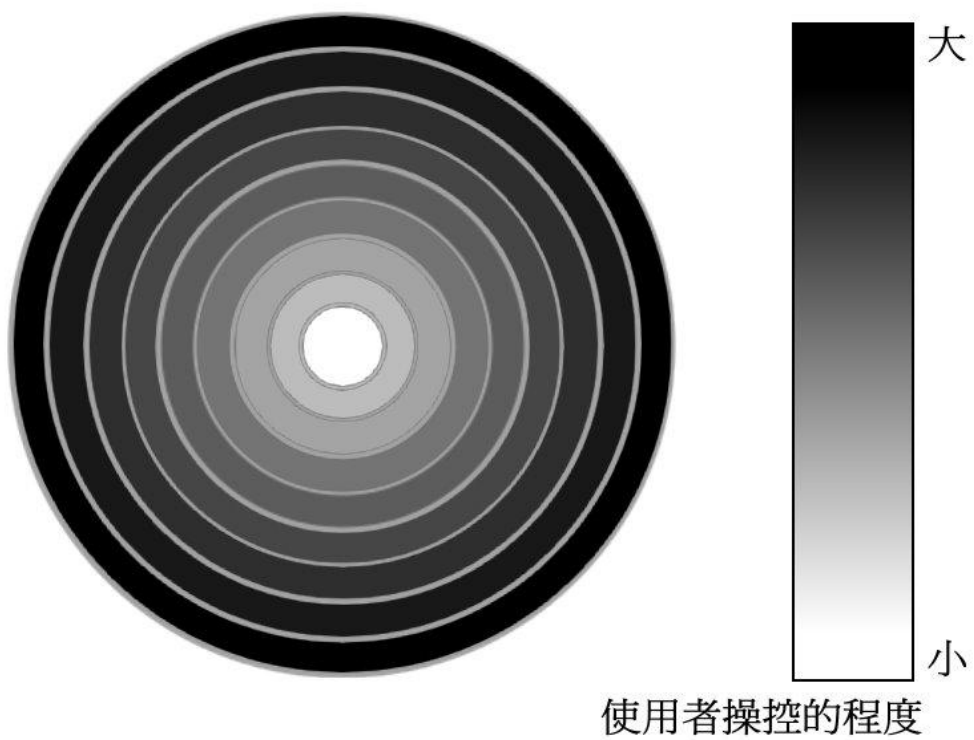


圖 3.4 同心圓滑條 - 使用者操控的程度示意圖



### 3.3 雙觸控滑條(同心圓狀+圓形滑條)

同心圓滑條能夠用手指的位置來當作使用者操作的程度大小，不過單靠這樣的形狀還沒有辦法偵測方向，因此我們能夠讓與其它觸控滑條，或者觸控按鈕做結合與搭配，才能拓展同心圓滑條的功能。

由於我們除了能從同心圓滑條上得知使用者操控的程度訊息之外，還需要得知使用者操控的方向訊息，才能達到類比搖桿所操控的功能，於是我們決定利用圓形滑條(如圖 3.5)，來將使用者手指所在的位置資訊，換算成角度，如此一來便可得知使用者的手指目前所操控的方向。

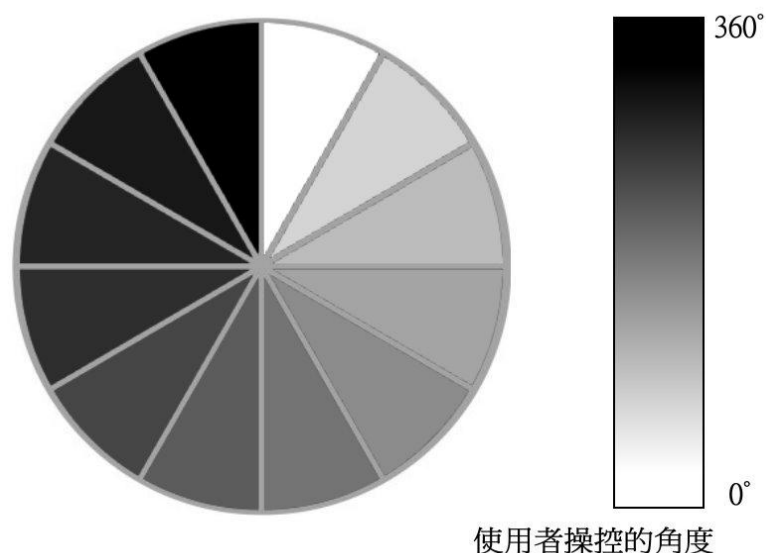
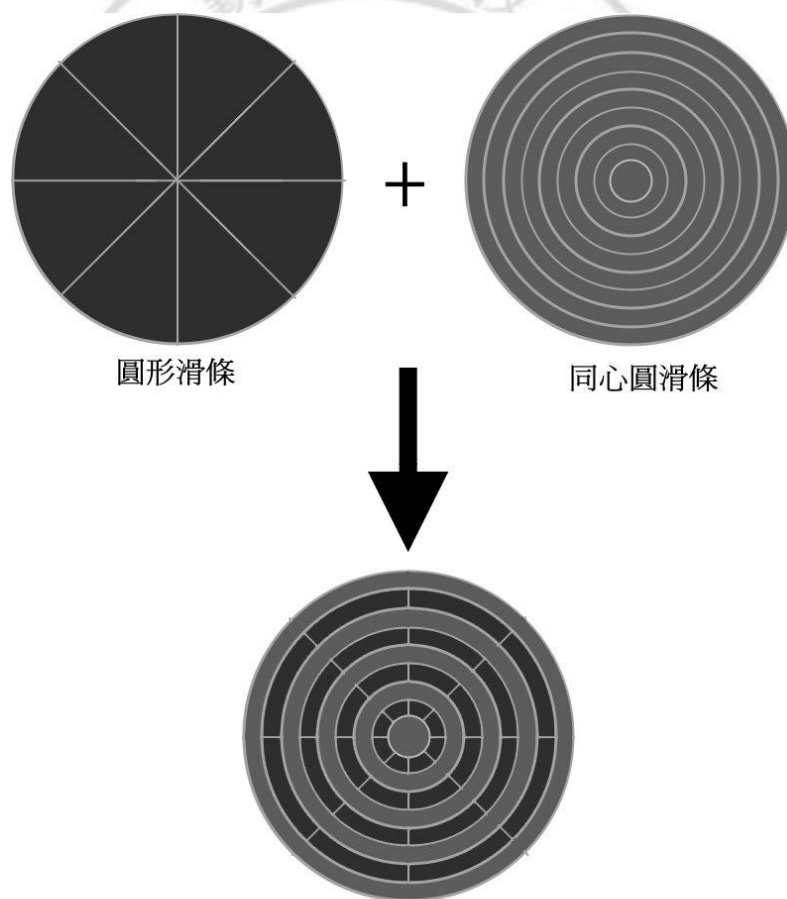


圖 3.5 圓形滑條 - 使用者操控的程度示意圖



於是在一開始我們採用圓形滑條與同心圓滑條做結合，利用圓形滑條來將偵測到手指的位置轉換成使用者操控的方向，然後用同心圓滑條將偵測到手指的位置轉換成使用者操控的程度大小。圖 3.6 為結合了八個觸摸感應塊的圓形滑條(深灰色)，以及由中心點往外擴張，五個觸摸感應塊組成的同心圓滑條(淺灰色)的新樣式滑條。



新設計的同心圓滑條+圓形滑條  
圖 3.6 新設計的圓形+同心圓雙滑條

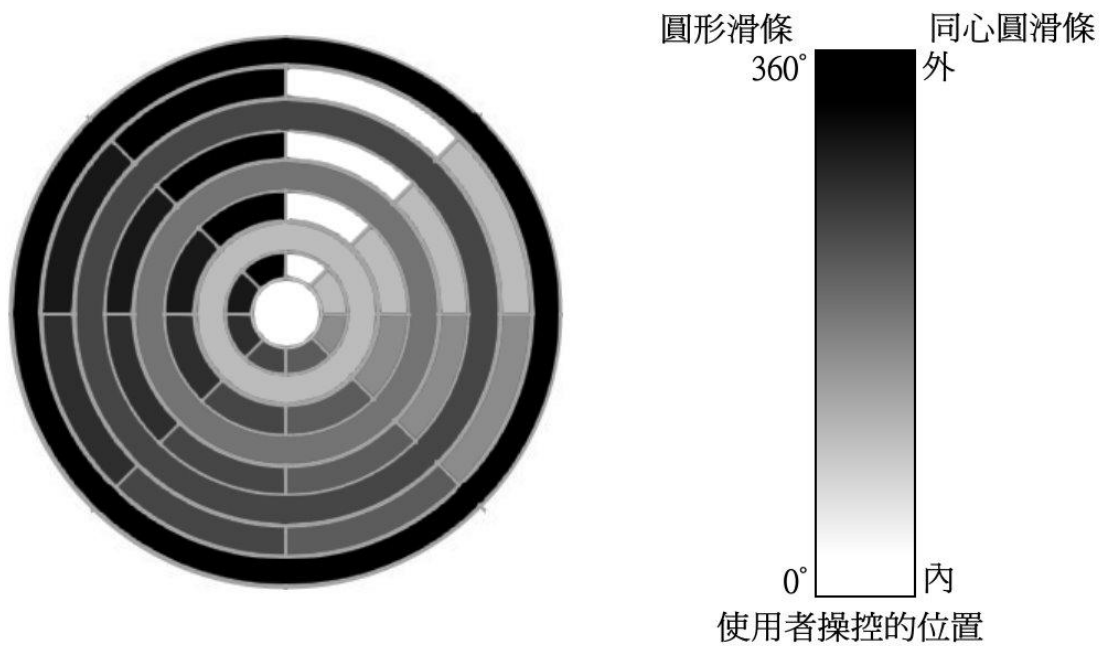


圖 3.7 圓形+同心圓雙滑條示意圖

如圖 3.7 所示，圓形滑條用來偵測手指所操控的方向，而同心圓型狀的滑條用來操控使用者所控制的程度大小，如此一來便達到了類比搖桿的功能，使用者除了能夠控制方向之外，也同時具有程度大小的特性。

### 3.4 觸控滑條加上觸控按鍵

如果只需要得知使用者所操控的方向性，以及程度的變化，也可以將前面所設計的同心圓狀滑條加上圓形滑條的雙滑條形狀的同箔感應塊做些改變。這個想法是在同心圓型狀的滑條上面放至八個方向的觸控按鍵，用觸控按鍵來讓使用者作方向上的操控，搭配原本設計的同心圓狀的滑條，如此一來除了能作為程度上的區別，也能夠以觸控按鍵來達到八個方向的偵測，如圖 3.8 所示。

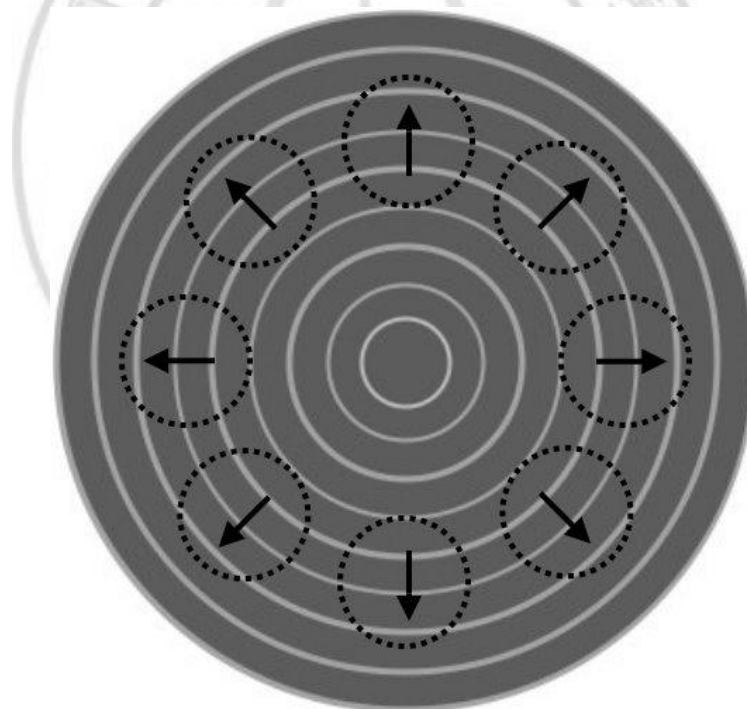


圖 3.8 同心圓滑條內埋藏觸控按鍵

有了這樣的想法，我們開始在同心圓滑條上結合八個方向的觸控

按鍵。而先前所設計的由圓形滑條加上同心圓狀滑條結合起來的雙滑條中，圓形滑條正好也是由八個銅箔感應塊所組成，因此在這邊正好能夠把它拿來當作八個觸控按鍵來使用，如圖 3.9 所示，也能達到在同心圓滑條中埋藏八個觸控按鍵的效果。

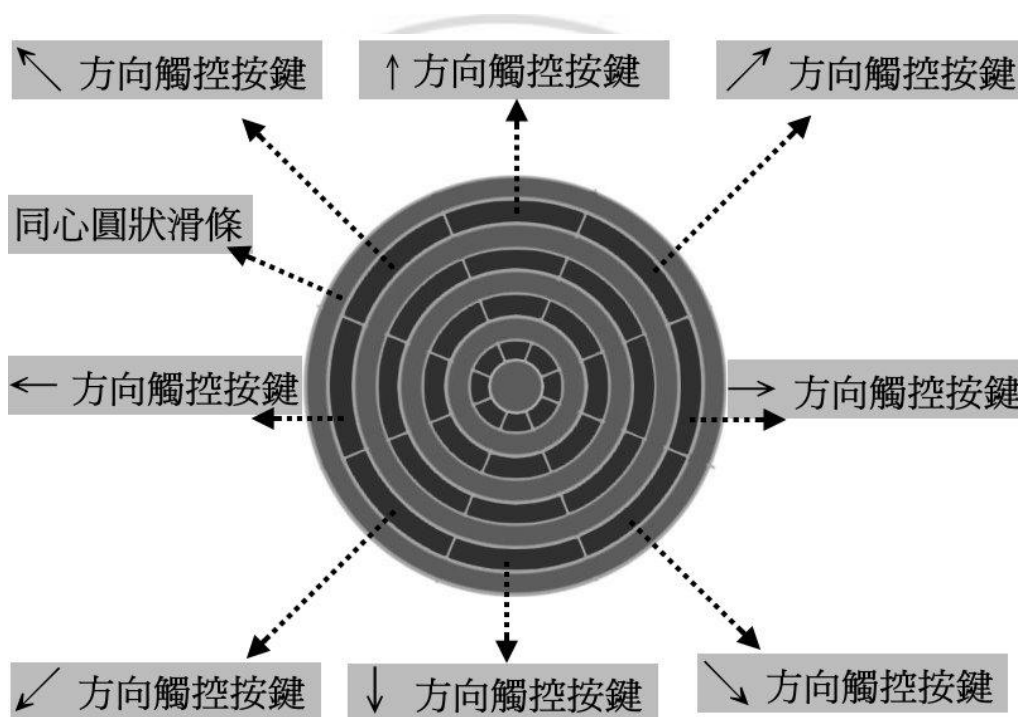


圖 3.9 同心圓滑條加觸控按鍵示意圖

使用圖 3.9 的方式來讓使用者當做方向及程度的控制，不僅僅能夠做單方向的操縱，如果使用者同時觸摸兩顆以上的觸控按鍵，也能夠同時偵測到兩個以上的方向，兩點以上的觸控，能使這種新形狀的

銅箔感應塊達到更多元化的操作輸入效果，如圖 3.10 所示。

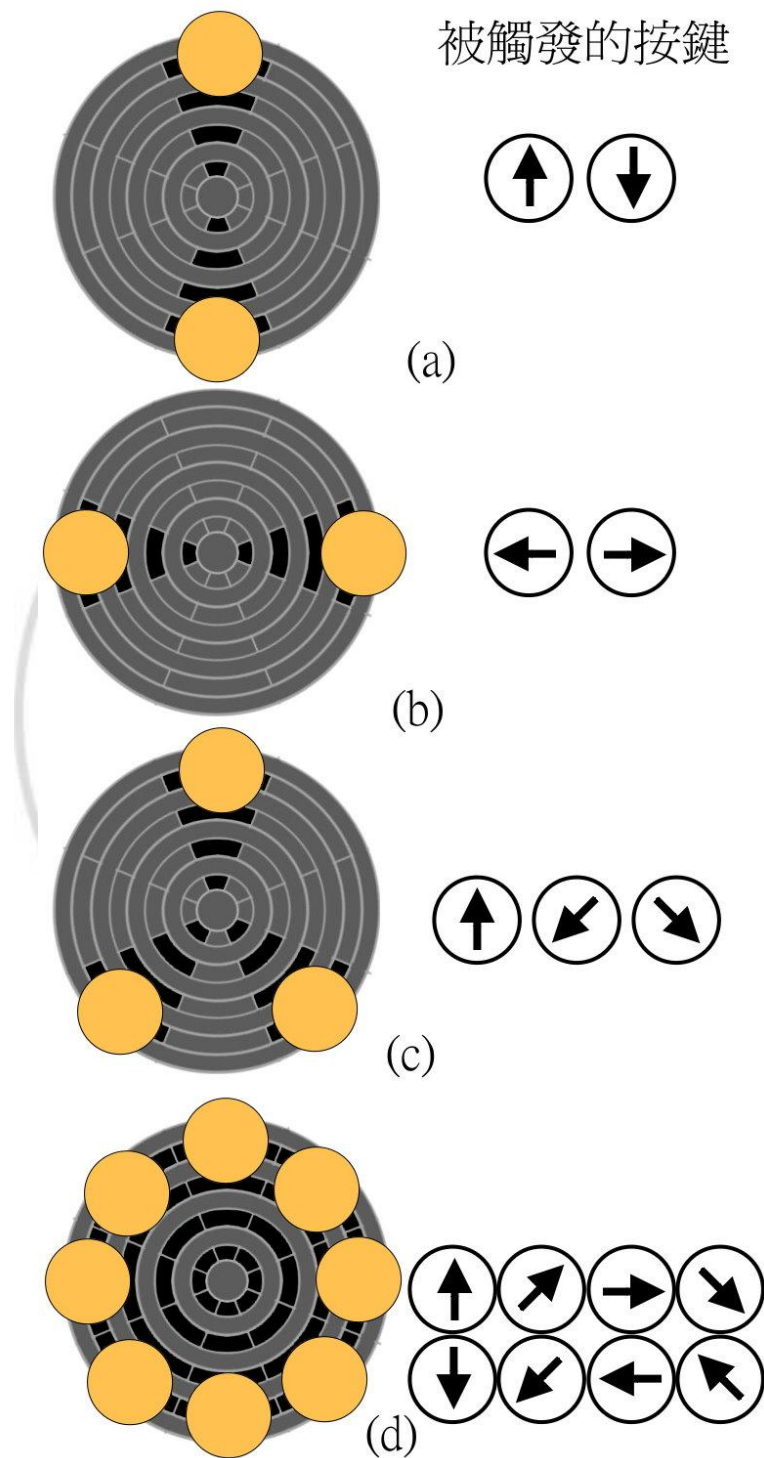


圖 3.10 兩點以上觸摸情況

圖 3.10(a)裡面，在同時觸摸↑與↓兩顆觸摸按鍵的情況下，兩顆按鍵可同時被觸發，而在圖 3.10(c)當中，也能夠做到超過兩點的觸摸，甚至可以到圖 3.10(d)中八個方向同時觸摸的情形，如果搭配  $N$  顆觸摸按鍵，就能產生  $2^N$  種觸摸方式。以我們使用 8 顆觸摸按鍵為例，就會有多達 256 種不同的觸摸方式可以去搭配應用，對於使用者輸入用來控制遊戲，或者是操縱角色，能有更多元的輸入方式。

在同心圓滑條使用到第二章所提的到重心法來偵測手指觸摸的位置，轉換成程度大小，而方向能夠做多點觸摸的辨識，圖 3.11 為八顆觸摸按鍵表示圖，一共有八個銅箔感應塊  $b_0$  到  $b_7$ 。

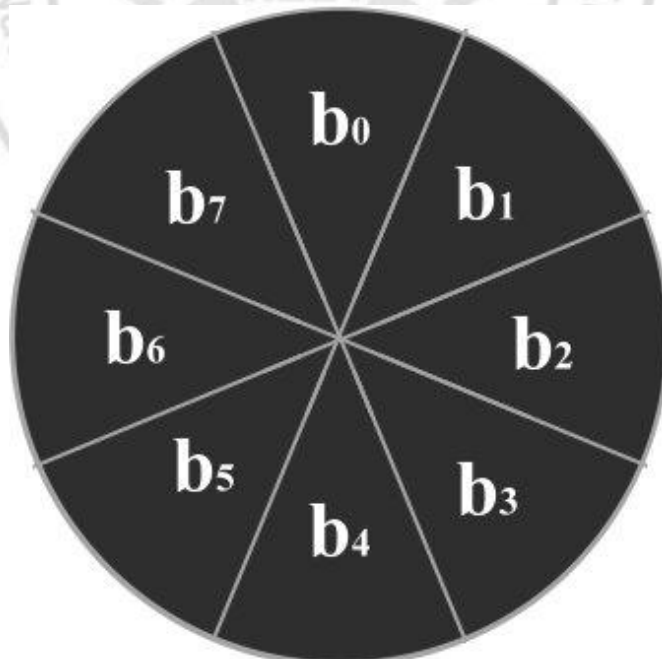


圖 3.11 八顆觸摸按鍵表示圖

接收到從八個觸摸按鍵抓取到的值，由以下公式，依照把每個觸摸按鍵給予不同的加權，最後加總起來成為 Ds 這個數值。

$$Ds = \sum_{n=0}^7 2^n \cdot b_n$$

接著將 Ds 的值，來作方向的部分的分析，利用 C 語言中，位元的 AND 運算(&)，以及右移運算(>>)，來從 Ds 數值中取出方向值，一共分為八個方向，UP 代表 ↑，Right\_on 代表 ↗，Right 代表 →，Right\_under 代表 ↘，Down 代表 ↓，Left\_under 代表 ↙，Left 代表 ←，Left\_on 代表 ↖。

表 3.1 方向運算表

<b>UP</b>	<b>= Ds &amp; 1</b>
<b>Right_on</b>	<b>= (Ds&amp;2) &gt;&gt; 1</b>
<b>Right</b>	<b>= (Ds&amp;4) &gt;&gt; 2</b>
<b>Right_under</b>	<b>= (Ds&amp;8) &gt;&gt; 3</b>
<b>Down</b>	<b>= (Ds&amp;16) &gt;&gt; 4</b>
<b>Left_under</b>	<b>= (Ds&amp;32) &gt;&gt; 5</b>
<b>Left</b>	<b>= (Ds&amp;64) &gt;&gt; 6</b>
<b>Left_on</b>	<b>= (Ds&amp;128) &gt;&gt; 7</b>

接著將所有的方向聯集起來，最終的結果為方向 D 的值，如下列式子所式。

$$D = UP \cup Right\_on \\ \cup Right \\ \cup Right\_under \\ \cup Down \\ \cup Left\_under \\ \cup Left \\ \cup Left\_on$$

而我們實際做出來的銅箔感應塊的尺寸大小，如圖 3.12 所示。同心圓的為半徑 2.9cm，而每條銅箔感應片的寬度為 0.3cm。會設計成這樣的尺寸大小是由於先前提到，滑條的設計最好能讓手指能夠一次碰到一個銅箔感應塊以上，而手指頭所觸摸的直徑範圍大約為 1cm 左右，這樣的尺寸能夠保證手指在觸摸時，一次能夠碰到兩塊以上的銅箔感應塊。



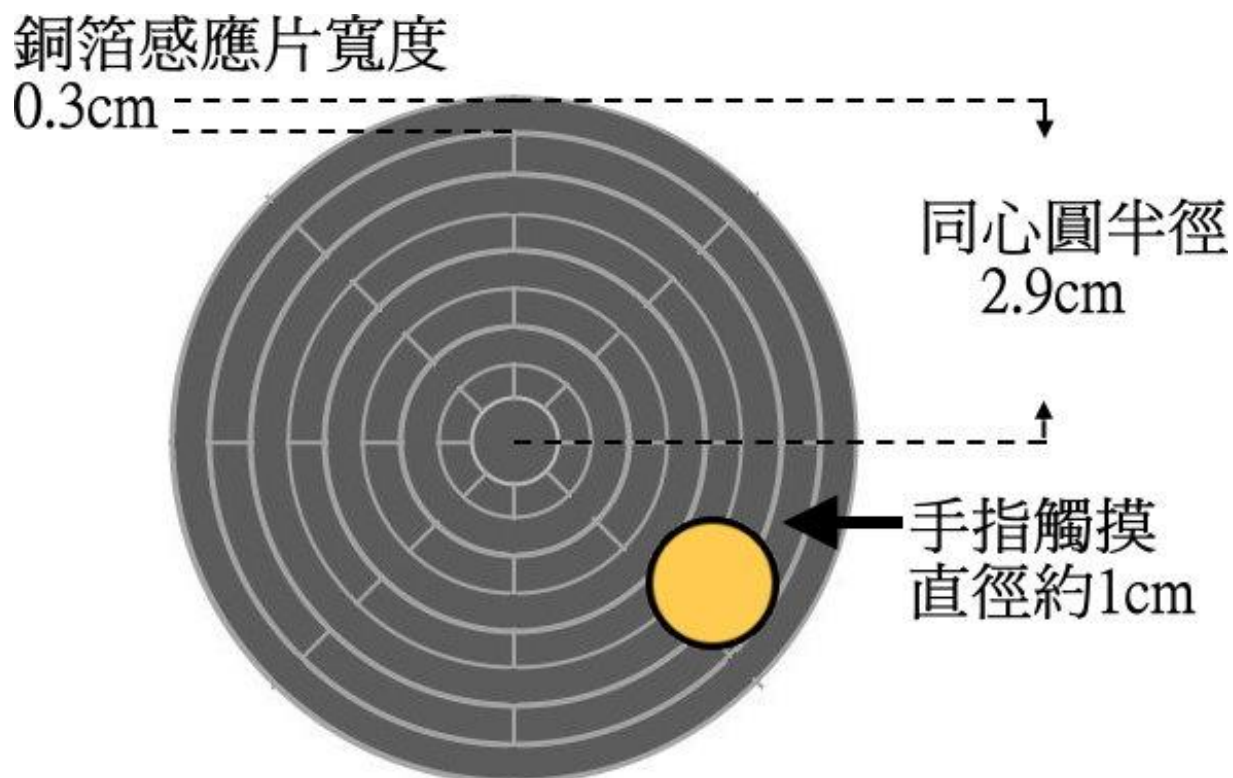


圖 3.12 實際做出來的銅箔感應塊尺寸說明圖

## 第四章 機構介紹

### 4.1 系統架構

硬體電路的主要架構如圖 4.1 所示，包含了上一個章節提到，新設計形狀的銅箔感應塊，以及 PSoC 晶片- CY8C24994，與 GPL32500A 開發板。

銅箔感應塊用來偵測手指觸摸的信號；而 CY8C24994 這顆 PSoC 晶片的部分包含了 CSD 模組-用來偵測銅箔感應塊電容變化的感應電路，CSD 模組會將偵測到的手指信號經由軟體處理轉換成控制信號，再經由 RS232 串列通訊與 GPL32500A 開發板作溝通，用來控制 GPL32500A 開發板上遊戲的進行。

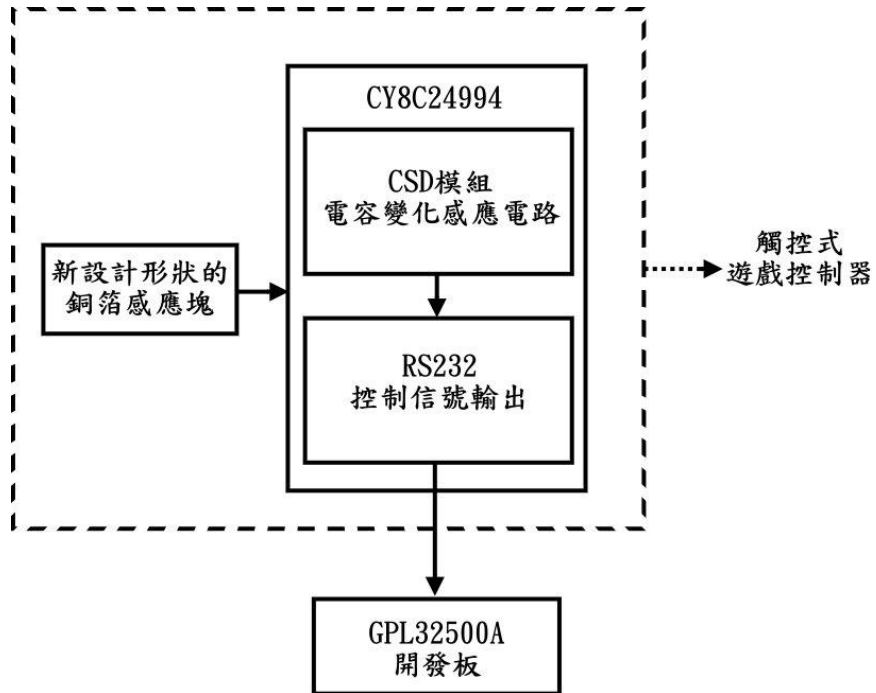


圖 4.1 硬體架構圖

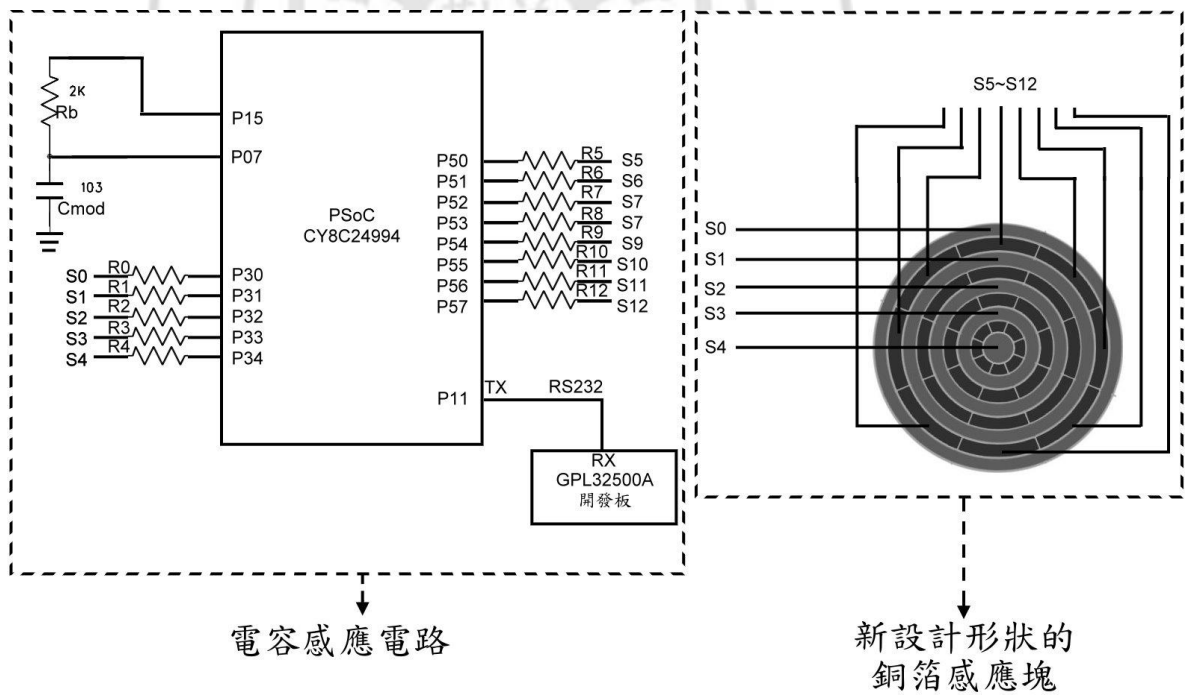


圖 4.2 電容感應電路

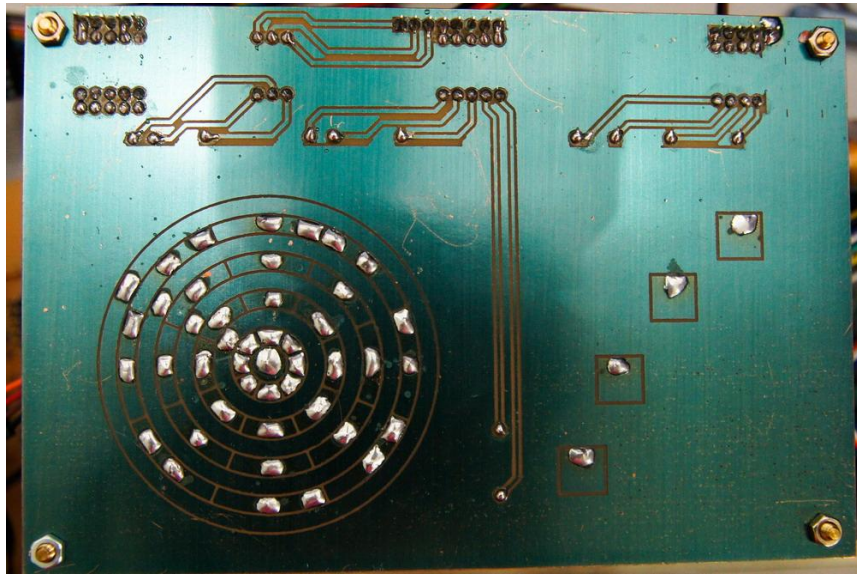


圖 4.3 自製改變銅箔感應塊形狀的觸控式遊戲控制器

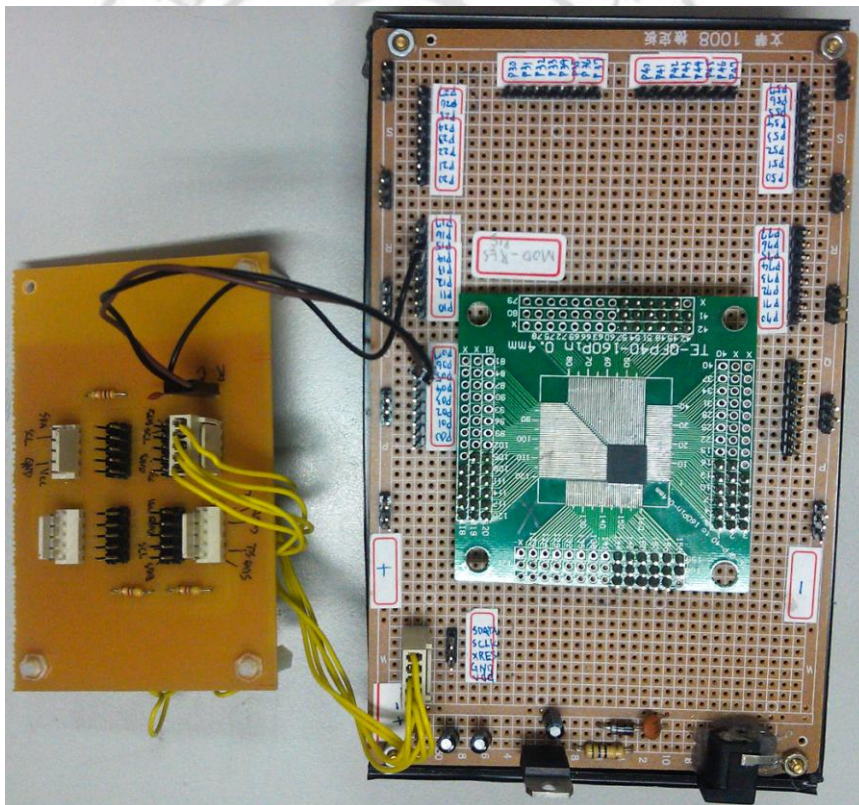


圖 4.4 CY8C24994 與其 CSD 模組的兩顆外部元件實體圖



圖 4.5 GPL32500A 開發板





## 4.2 使用機構介紹

### 4.2.1 PSoC 介紹

本篇論文，使用 Cypress 公司所開發的 PSoC 晶片 - CY8C24994[16]，包含的 CSD 模組來製作偵測銅箔感應塊電容變化的感應電路。

PSoC(Programmable System-On-Chip)可程式化系統單晶片，是一種可程式化的混合訊號陣列架構，由一個晶片內建的微控制器 (MCU) 所控制，整合可自由設計的類比電路以及數位電路。而在 PSoC 晶片內部整合許多常用的元件，如 UART、定時器、放大器、比較器、數位類比轉換器、脈波寬度調變、濾波器、以及 SPI、GPIO、I2C 等元件數十種元件。

### 4.2.2 CSD 觸摸感應模組介紹

CapSense 觸摸感應技術是基於 PSoC 晶片，採用電容式感應方式的一種觸摸技術。在一般應用中，可以用手指和觸摸板的電容模型，如圖 4.6 所示。

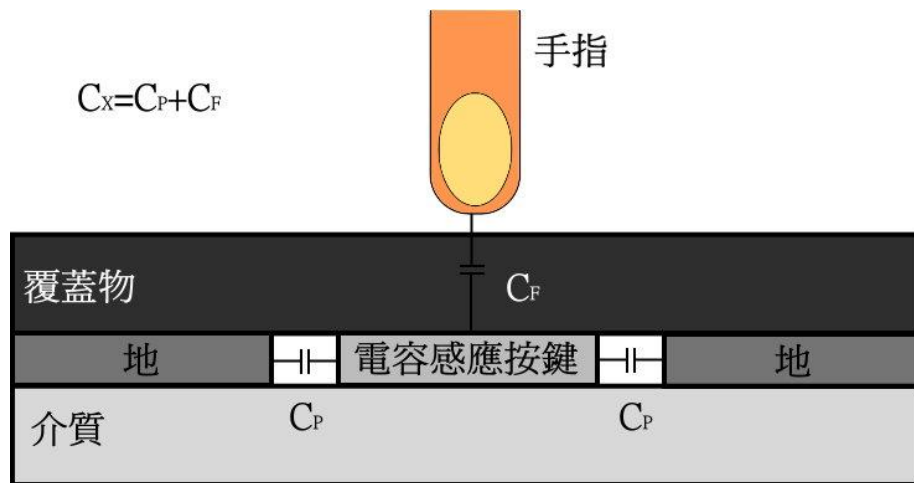


圖 4.6 手指與觸摸板的電容模型

圖 4.6 中最底層為印刷電路板，中間層為導電的銅箔，上層為絕緣覆蓋物。用於電容感應的電極就是圖中的電容感應按鍵，是一塊接近手指大小的銅箔片，它與地之間存在一個寄生電容  $C_P$ ，當手指觸摸電容感應按鍵時，由於手指是導電體，手指與電容感應按鍵之間產生了感應電容  $C_F$ ，電容感應按鍵與地之間的電容變為  $C_X$ ，如下列公式：

$$C_X = C_P + C_F$$

由 CapSense 所測量的總電容  $C_X$  就是寄生電容  $C_P$  與觸摸電容  $C_F$  的總和。

CSD 模組的原理方塊圖如圖 2.5 所示。

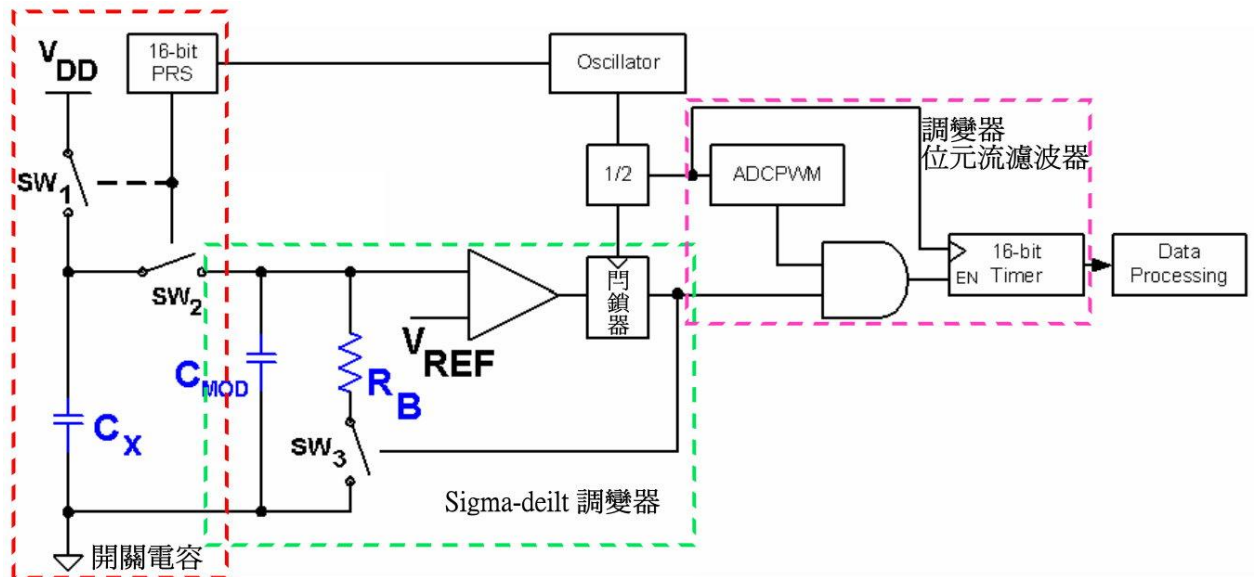


圖 4.7 CSD 的原理方塊圖

圖 4.7 為 CSD 的原理方塊圖，可依照上圖顏色分成三個區塊：開關電容、Sigma-Deilt 調變器、調變器位元流濾波器。

在開關電容的部分， $C_x$  為銅箔感應塊上的電容，另外有兩個開關  $SW_1$  與  $SW_2$ ，分別由 16bit 的計數器，產生兩個不重疊的時脈  $\Phi_1$  以及  $\Phi_2$  所控制， $\Phi_1$  表示  $SW_1$  開關的狀況， $\Phi_2$  則是表示  $SW_2$  開關的狀況，如圖 4.8 所示。



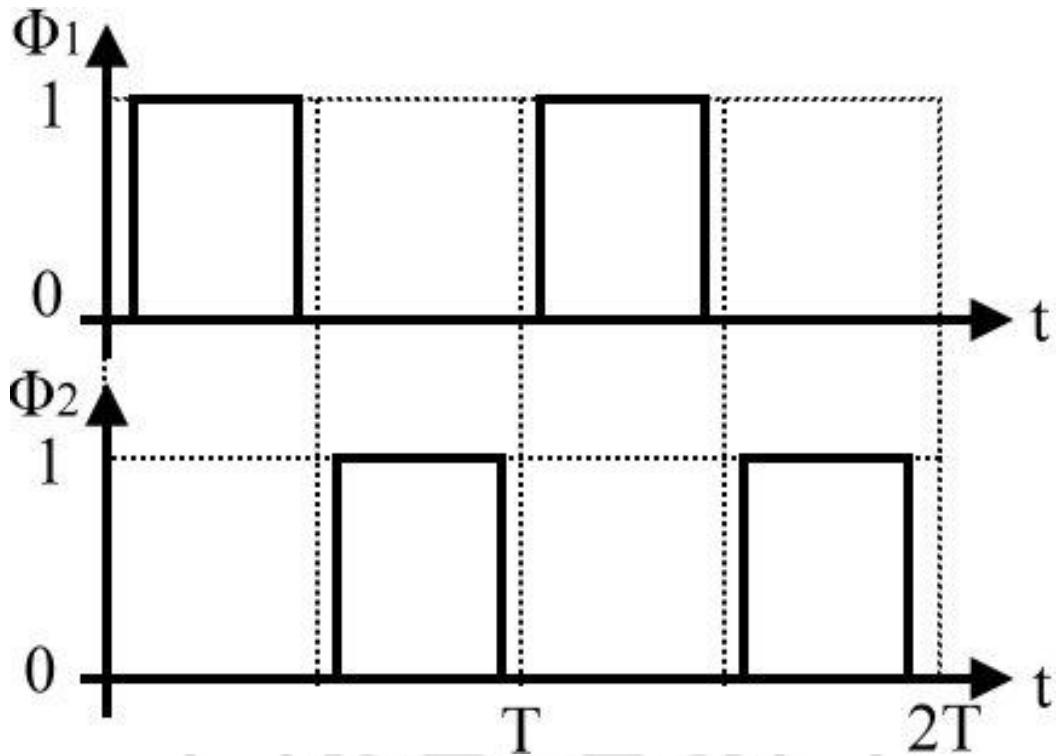


圖 4.8 計數器產生兩個不重疊的時脈

在這時候，開關電容電路會等效為一個電阻，如圖 4.9 所示，而這個等效電阻的電阻值  $R_c$  的為：

$$R_c = \frac{1}{f_x C_x}$$

在這裡  $R_c$  為整個開關電容電路的等效電阻， $f_x$  為計數器的頻率， $C_x$  是銅箔感應塊上的電容值。

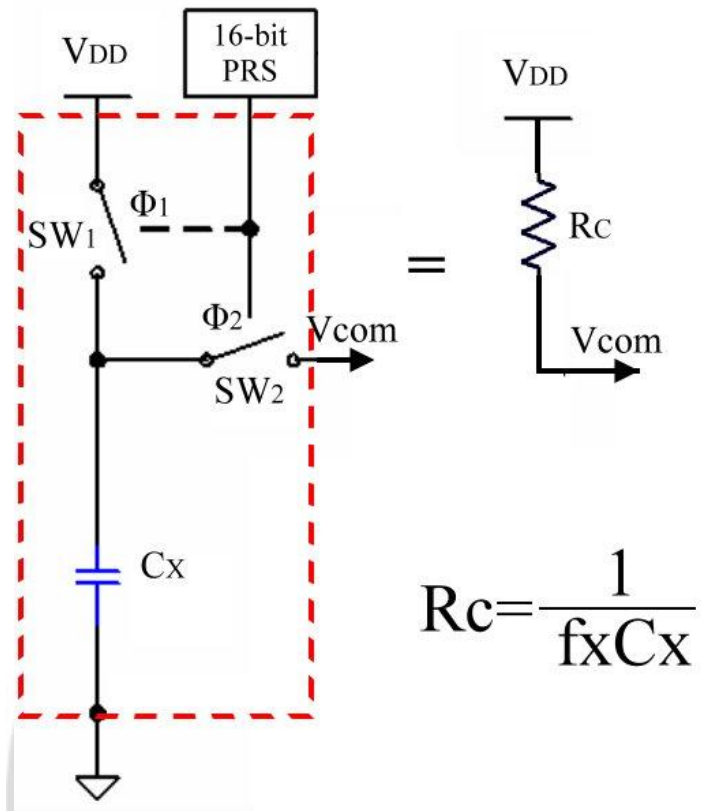


圖 4.9 開關電容等效電路

圖 4.10 為開關電容等效電路與 Sigma-Delta 調變器，在  $SW_3$  關閉時， $C_{MOD}$  上的電壓會經由  $R_B$  放電而下降。當  $SW_3$  打開時， $C_{MOD}$  上的電壓又會上升。比較器則會根據  $C_{MOD}$  上，相對於  $V_{REF}$  的電壓來更改輸出的狀態。

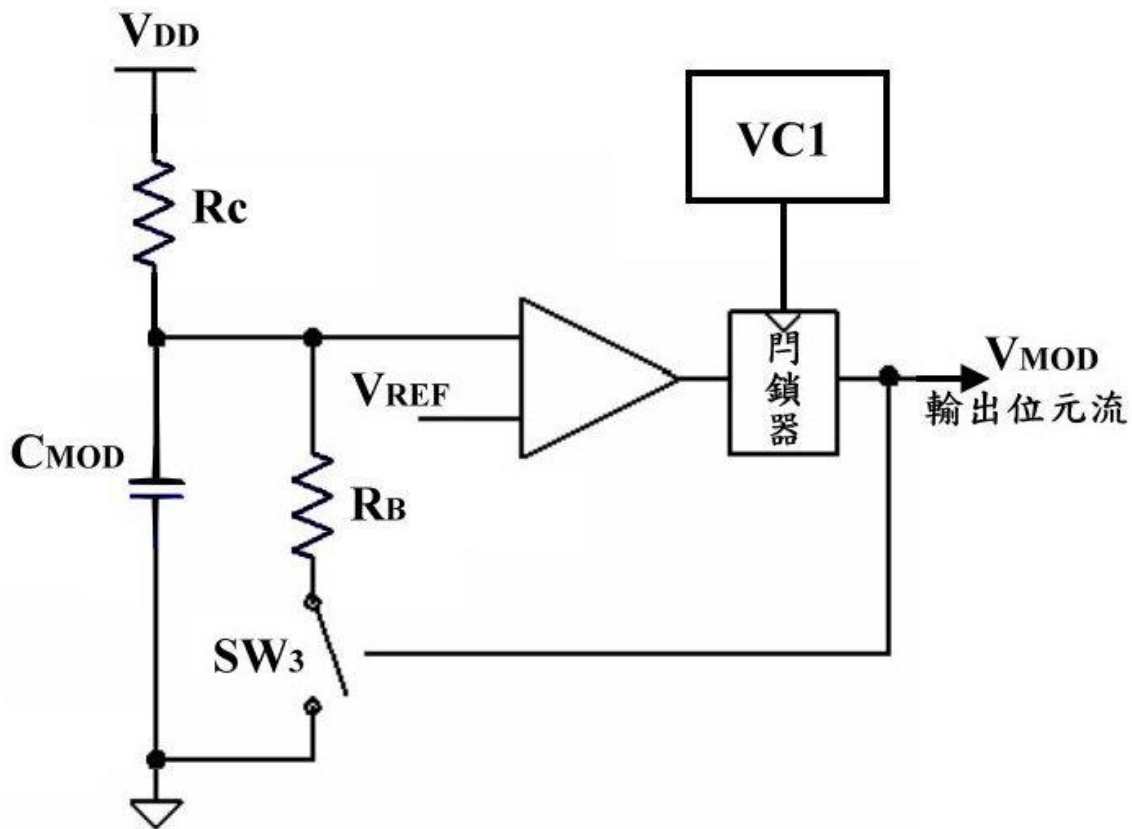


圖 4.10 開關電容等效電路與 Sigma-Delta 調變器

經過 Sigma - Delta 調變器，來測量比較器輸出在高電位的持續時間，依照前面開關電容電路的等效電阻公式，當有手指觸摸銅箔感應塊時， $C_x$  的值會變大，導致等效電阻  $R_c$  變小，這時候會有更多的電流流入  $C_{MOD}$ ，比較器的輸出準位在高電位狀態的時間會較長，而低電位狀態的時間則會較少。如果高電位與低電位的比值夠高，那麼按鈕就會處於手指接觸狀態，否則按鈕就會處於手指離開狀態，如圖 4.11 所示。

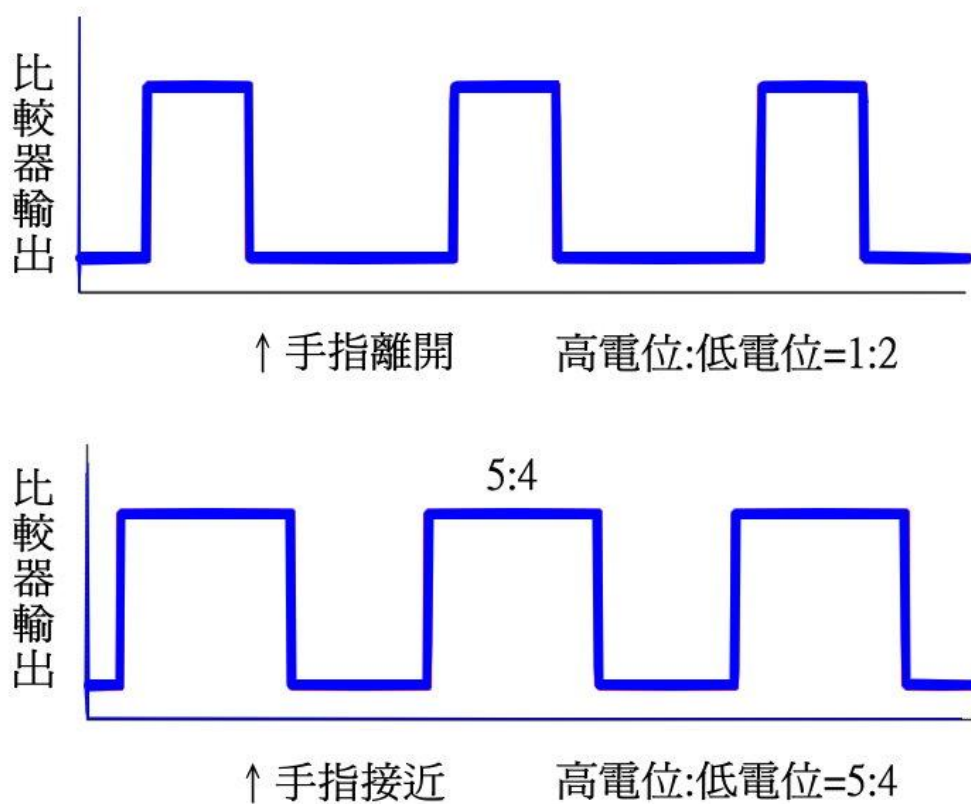


圖 4.11 比較器輸出波形圖

觸摸電容  $C_x$  的電容值，經由 Sigma - Delta 調變器轉換成輸出位元流的佔空比，然後要進行佔空比的測量，首先對 Sigma - Delta 調變器輸出的位元流進行計數，如圖 4.12 所示，Sigma - Delta 調變器輸出的位元流在高電位時可以通過並打開計數器，來對時脈較高的 VC1 來進行計數，接著在 ADCPWM 的下緣時會產生一個中斷，此時會讀出計數器的值，這個值就是基本計數值。

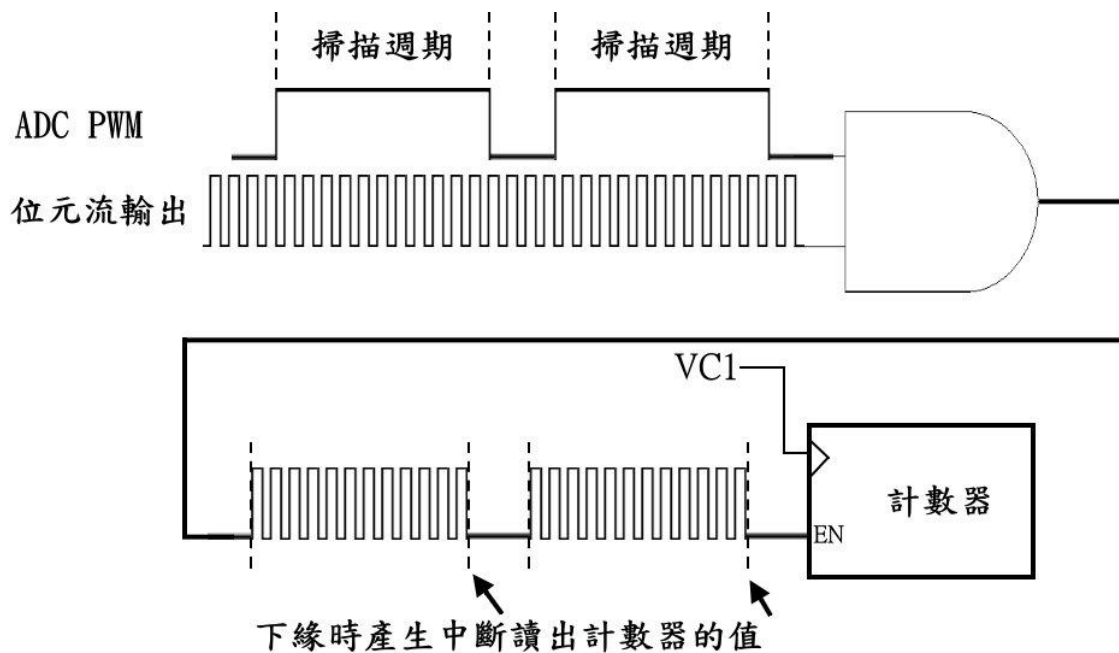


圖 4.12 調變器位元流濾波器調變波形示意圖

由於前面提到，當手指觸摸到銅箔感應塊時，比較器輸出的位元流在高電位的時間會比較多，因此基本計數值的值也會比較高。而圖 4.13 是 CSD 模組的計數值，CSD 模組會依照基本計數值來產生一個基準線，其他的部分是使用者所輸入的手指閾值，以及雜訊閾值。當基本計數值減去基本線的差值超過(手指閾值+遲滯)的值，就會判定為手指有觸摸到銅箔感應塊，而當這個差值減小到(手指閾值-遲滯)的值時，就會認為手指已經離開銅箔感應塊了。

我們在 CSD 參數設定的部分，將手指閾值設為 100，雜訊閾值設為 40，掃描速度 230KHz，參考電壓 4V。

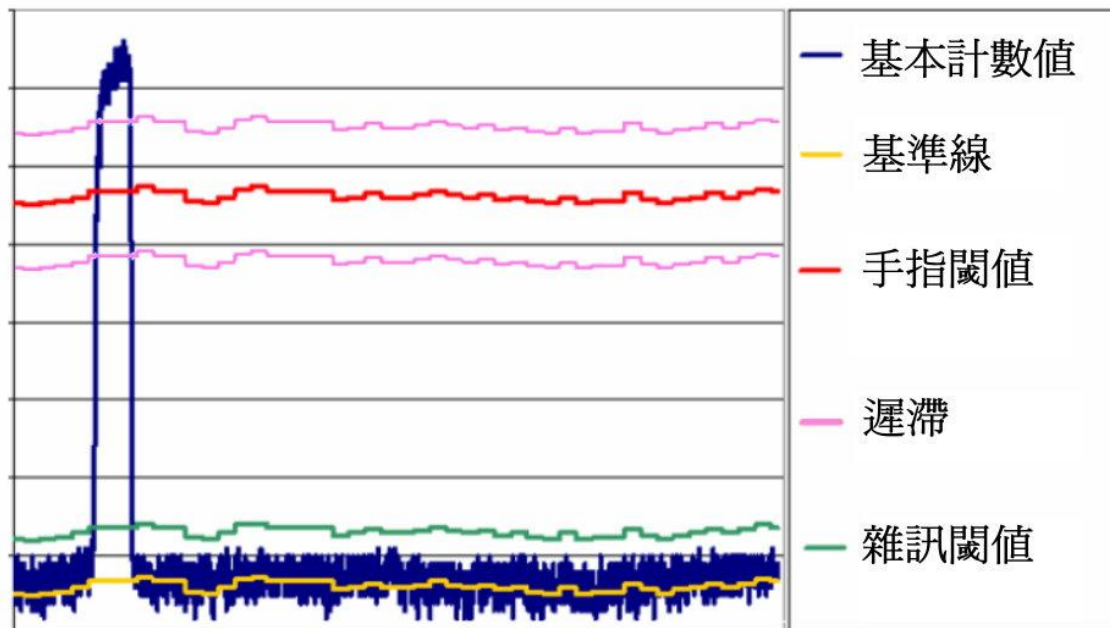


圖 4.13 CSD 模組的計數值



### 4.2.3 GPL32500A 開發板

本篇論文，使用凌陽公司所開發的 GPL32500A 開發板，用來當作模擬測試實驗機構，如圖 4.14 所示。



圖 4.14 GPL32500A 開發板

以下介紹一些 GPL32500A 的基本資料、重置選單、系統時脈、系統可靠性和操作模式。

#### 系統特徵：

- Built-in 32768Hz/6MHz crystal circuit
- Three built-in Phase-Lock Loop(PLL) circuits. One pumps from

32768Hz up to 12Mhz;One pumps from 6Hz up to 27MHz and the other pumps from 12MHz to 96 MHz.

- Supports clock driver in each operation mode to generate different kinds of speed in wild range.
- Low Voltage Reset(LVR)
- Bulit-in Watchdog Timer
- Support the Wait Mode, Halt Mode, and Sleep Mode for power management.
- The clock of each module can be turned on/off individually for saving power.



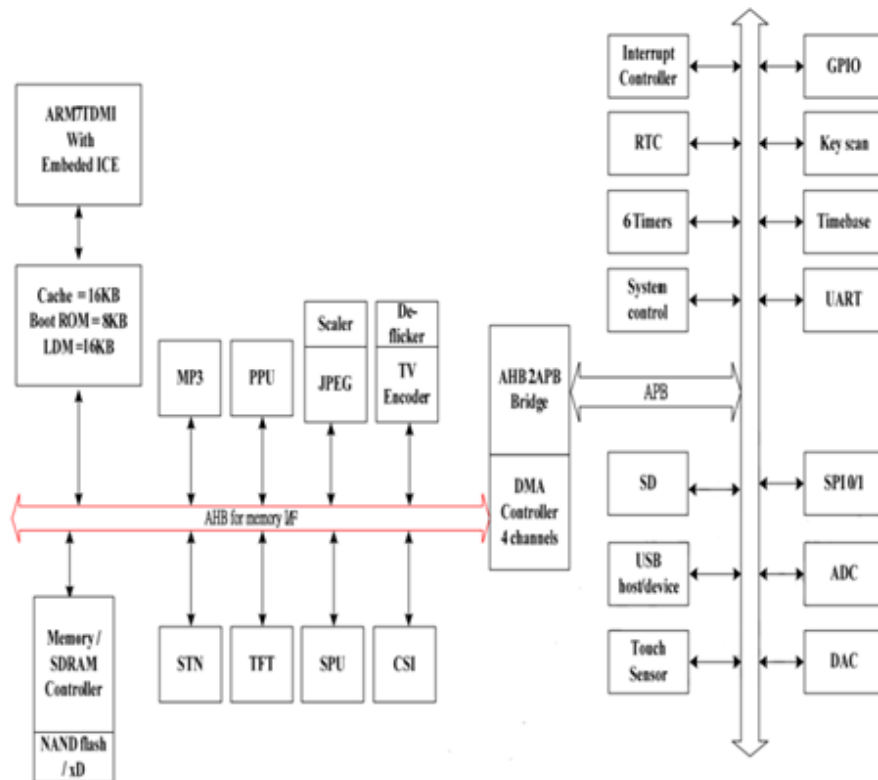


圖 4.15 系統架構圖

Name	Address	Description
P_SYSTEM_CTRL	0xD000000C	System Control Register
P_SYSTEM_CLK_EN0	0xD0000010	Clock On/Off Control Register 0
P_SYSTEM_CLK_EN1	0xD0000014	Clock On/Off Control Register 1
P_SYSTEM_RESET_FLAG	0xD0000018	Reset Event Flag Register
P_SYSTEM_CLK_CTRL	0xD000001C	System Clock Control Register
P_SYSTEM_LVR_CTRL	0xD0000020	Low Voltage Reset Control Register
P_SYSTEM_WATCHDOG_CTRL	0xD0000028	Watchdog Control Register
P_SYSTEM_WATCHDOG_CLEAR	0xD000002C	Watchdog Clear Register
P_SYSTEM_WAIT	0xD0000030	Wait Mode Entrance Register
P_SYSTEM_HALT	0xD0000034	Halt Mode Entrance Register
P_SYSTEM_SLEEP	0xD0000038	Sleep Mode Entrance Register
P_SYSTEM_POWER_STATE	0xD000003C	Current Power State Register
P_SYSTEM_PLEN	0xD000005C	PLL Divider Selection

圖 4.16 函數配置圖

## 第五章 實驗結果

實驗結果我們使用上一個章節所新設計的兩種新樣式滑條進行實驗，經由 RS232 將新樣式滑條的所得到值傳給電腦，並變成圖表輸出。

### 5.1 實驗環境

GPL32500A 嵌入式系統一台，結合圓形滑條以及同心圓狀滑條的觸控板一片，和一台個人電腦，個人電腦資料如表 5.1 所示。

表 5.1 個人電腦資料

個人電腦	
中央處理器	Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU Q8200 @2.33GHz 1.98GHz
主記憶體	3.00GB DDR3

### 5.2 結合圓形滑條與同心圓狀滑條的雙滑條實驗

#### 5.2.1 角度值抓取實驗

**實驗 1.1：**用手指在新設計的滑條上，依照圖 5.1 中的觸摸途徑順時針重複五次，測量到的結果，顯示於圖 5.2 上。

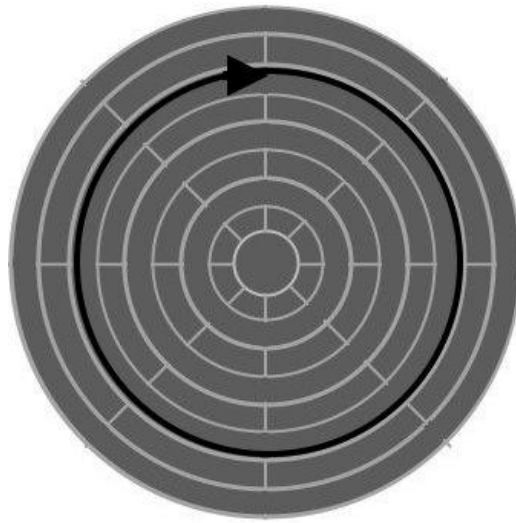


圖 5.1 實驗 1.1 觸摸示意圖

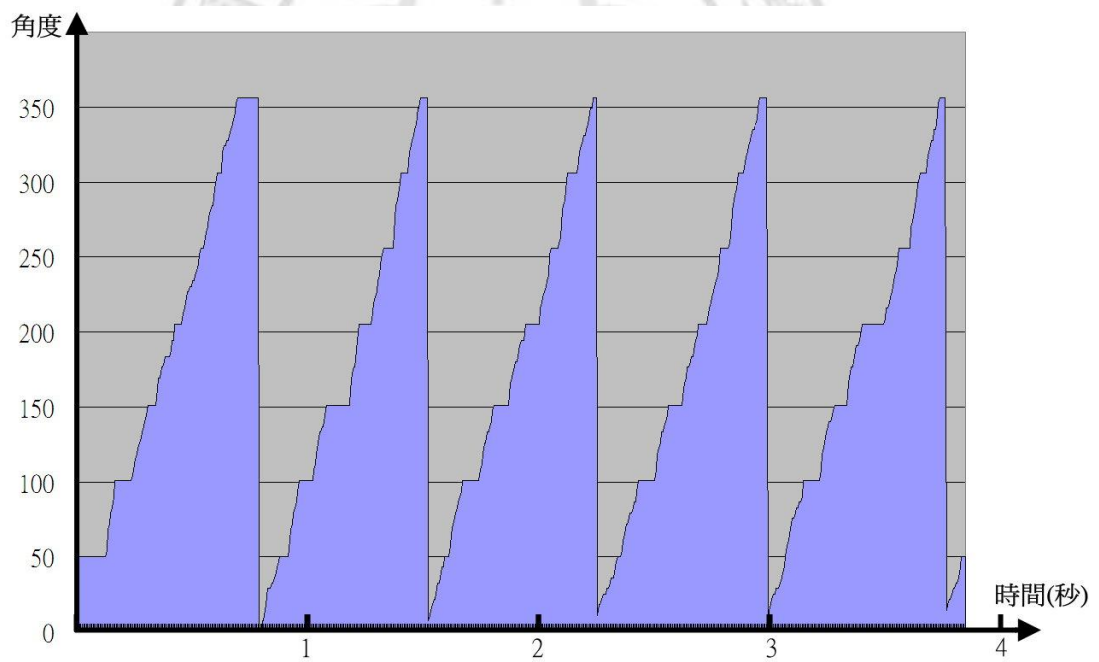


圖 5.2 實驗 1.1 實驗結果

**實驗 1.2:** 用手指在新設計的滑條上，依照圖 5.3 中的觸摸途徑，先順

時針觸摸一圈，再以逆時針回來，來回重複五次，測量到的結果，顯示於圖 5.4 上。

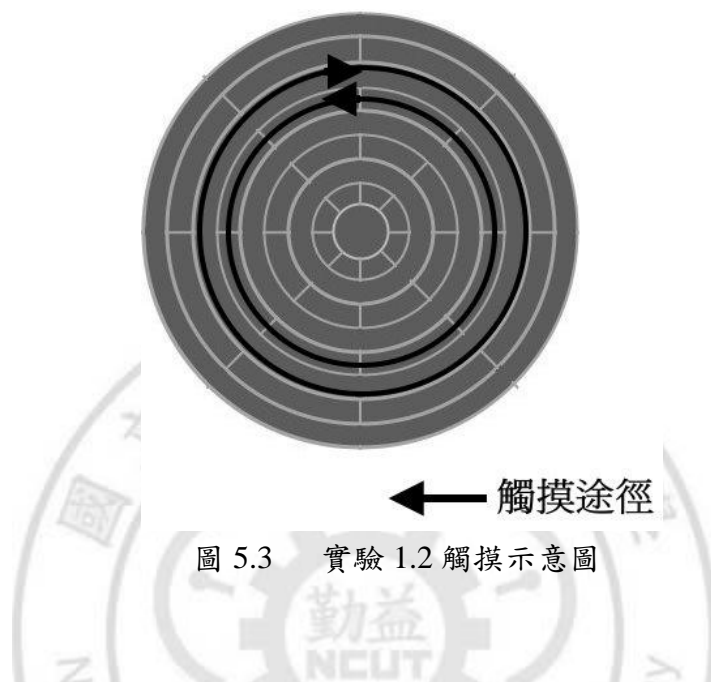


圖 5.3 實驗 1.2 觸摸示意圖

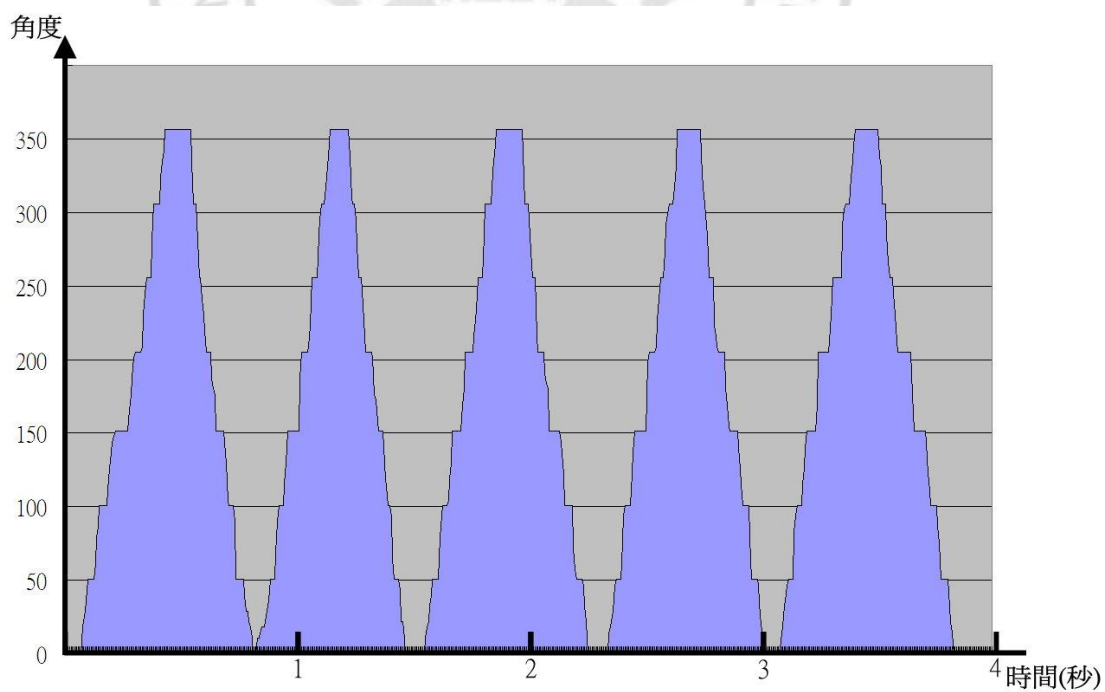


圖 5.4 實驗 1.2 實驗結果

## 5.2.2 程度值抓取實驗

**實驗 2:** 用手指在新設計的滑條上，依照圖 5.5 中的觸摸途徑，由外側開始向內側滑到中心點，再滑回外側，重複來回五次，測量到的結果，顯示於圖 5.6 上。

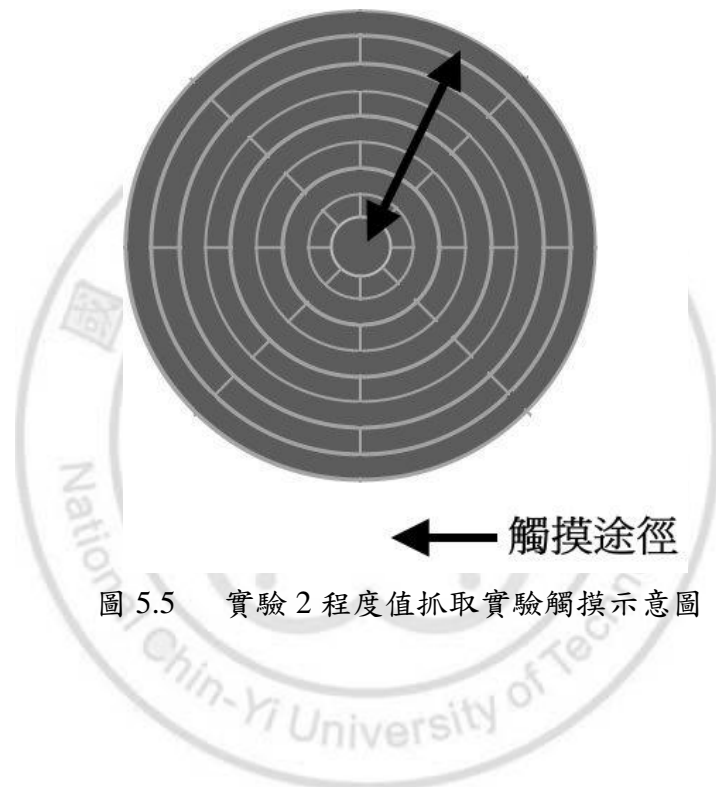


圖 5.5 實驗 2 程度值抓取實驗觸摸示意圖

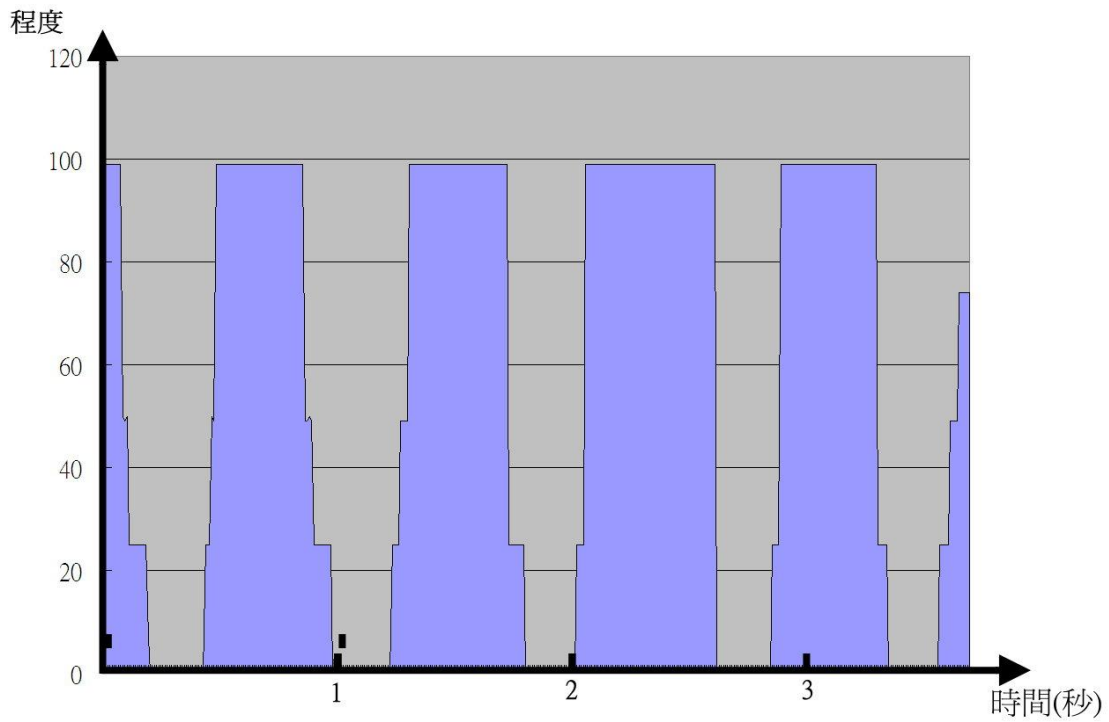
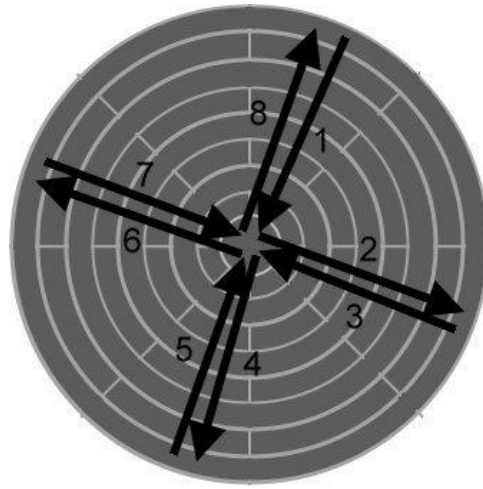


圖 5.6 實驗 2 實驗結果

### 5.2.3 角度值與程度值同時抓取實驗

**實驗 3:** 用手指在新設計的滑條上，依照圖 5.7 中的觸摸途徑，按著箭頭依照數字順序滑動，同時測量角度以及程度大小，而將測量到的結果，顯示於圖 5.8 上。



← 觸摸途徑

圖 5.7 實驗 3 角度值與程度值同時抓取實驗觸摸示意圖



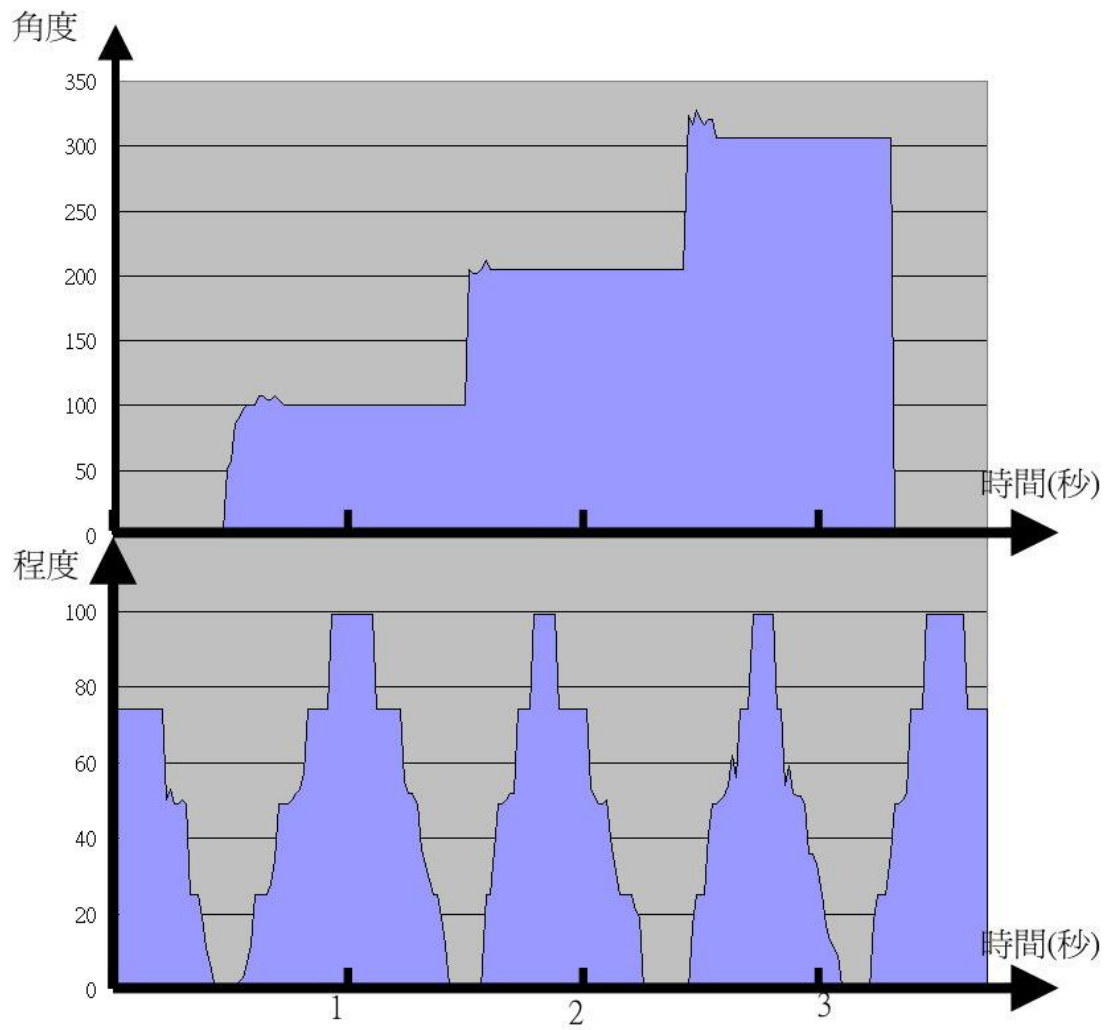


圖 5.8 實驗 3 實驗結果



## 5.3 同心圓狀滑條搭配八顆觸控按鍵的實驗

### 5.3.1 方向值抓取實驗

**實驗 4：**用手指在新設計的滑條上，依照圖 5.9 中的觸摸途徑順時針重複五次，測量到的結果，顯示於圖 5.10 上。

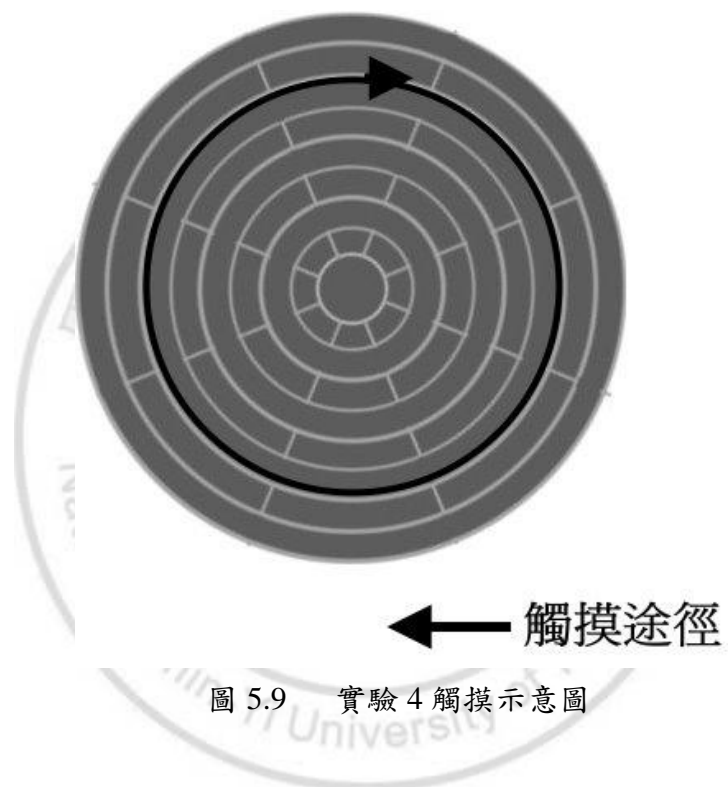


圖 5.9 實驗 4 觸摸示意圖

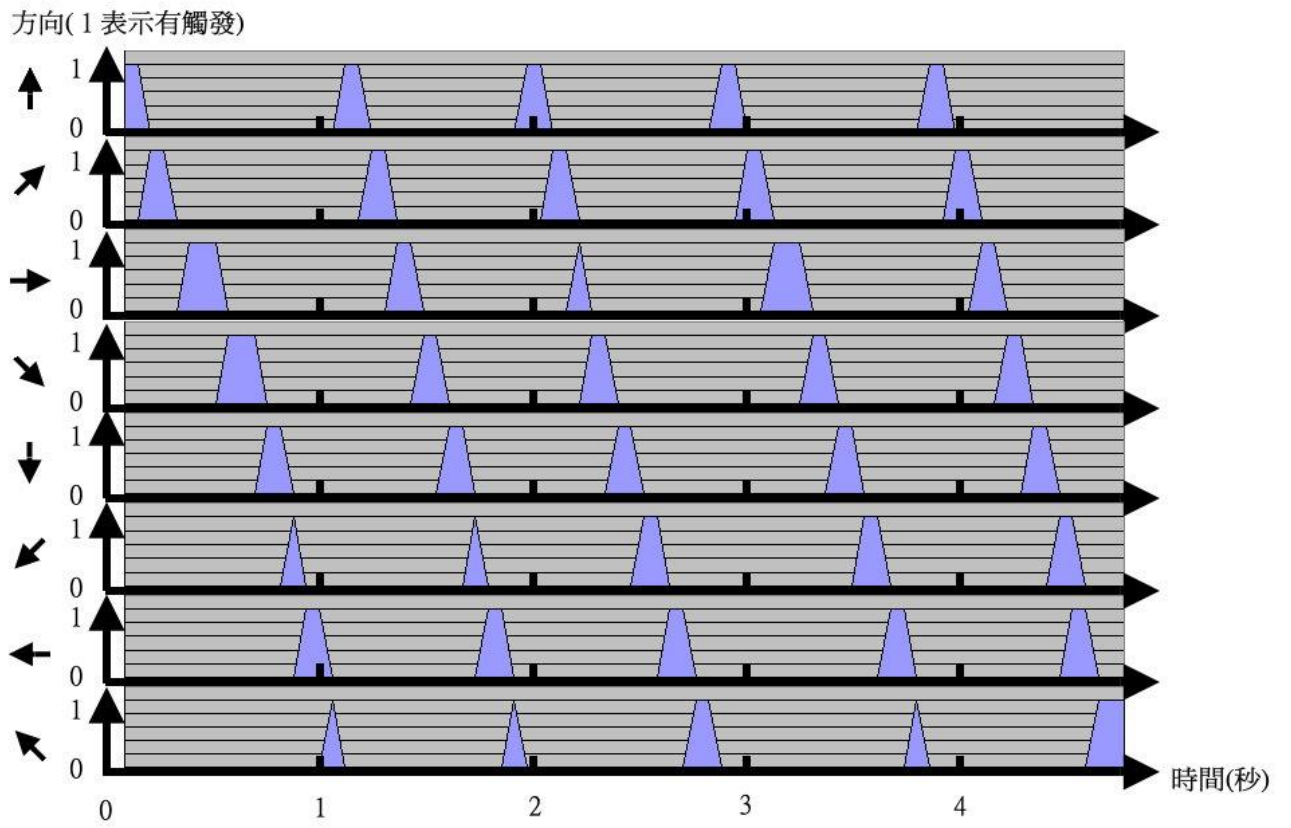


圖 5.10 實驗 4 實驗結果

### 5.3.2 程度值抓取實驗

**實驗 5：**用手指在新設計的滑條上，依照圖 5.11 中的觸摸途徑，由外側開始向內側滑到中心點，再滑回外側，重複來回五次，測量到的結果，顯示於圖 5.12 上。

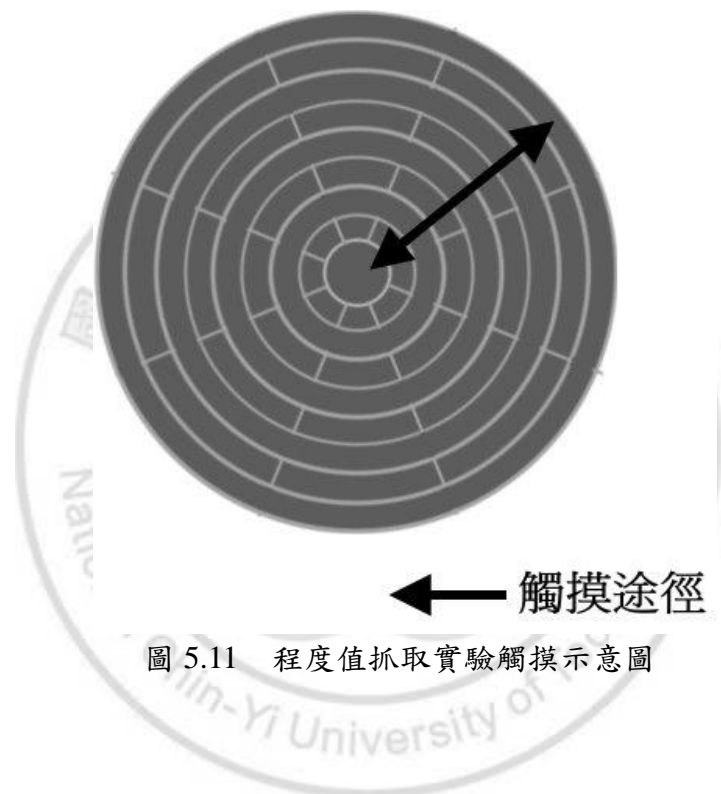


圖 5.11 程度值抓取實驗觸摸示意圖

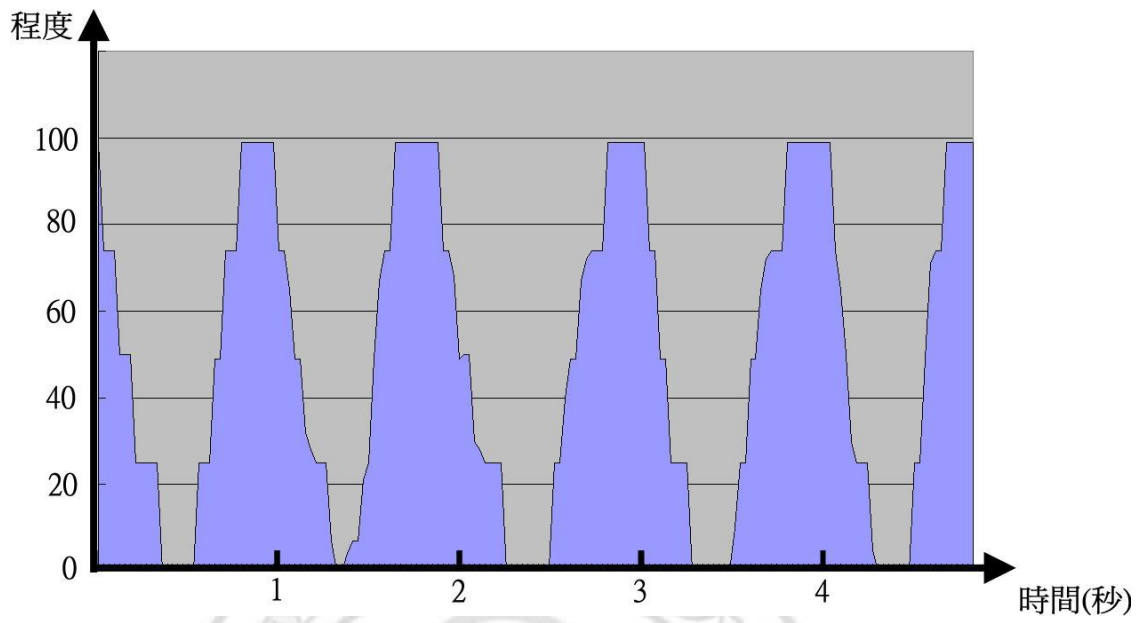


圖 5.12 實驗 5 實驗結果



### 5.3.3 方向值與程度值同時抓取實驗

**實驗 6：**用手指在新設計的滑條上，依照圖 5.13 中的觸摸途徑，同時測量方向以及程度大小，測量到的結果，顯示於圖 5.14 上。

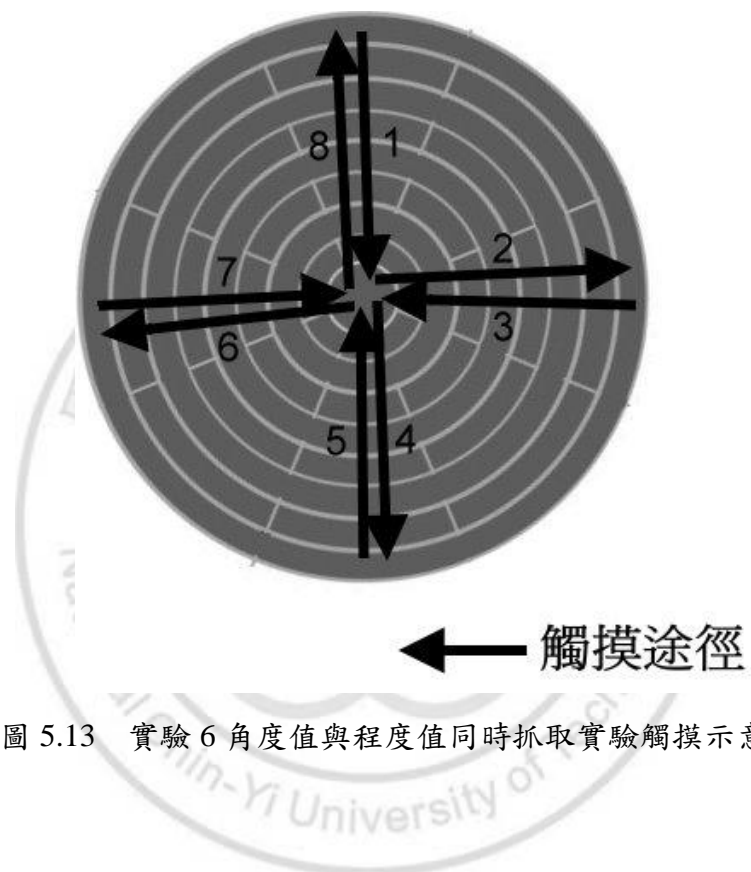


圖 5.13 實驗 6 角度值與程度值同時抓取實驗觸摸示意圖

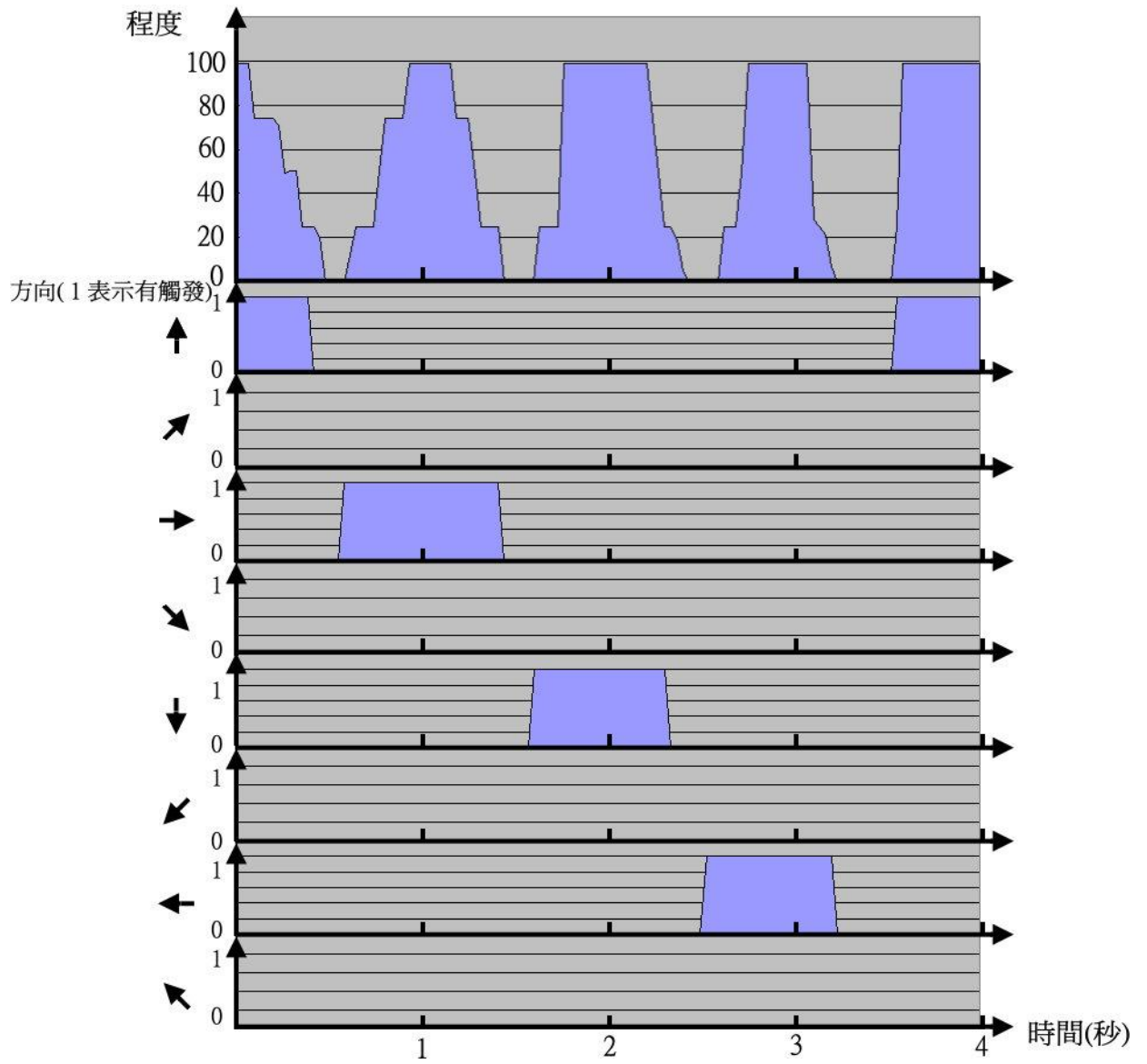


圖 5.14 實驗 6 實驗結果

## 5.4 作為遊戲控制器控制 GPL32500A 開發板

### 實驗 7：電路動作展示

圖 5.15-圖 5.17 為將成品用來當作遊戲控制器，控制 GPL32500A 開發板上遊戲的進行。

圖 5.15 為操縱角色行進方向，以及移動速度，圖 5.16 為同時觸摸方向上與下的觸摸按鍵，用來展現同時進行兩點以上的觸摸，可來操縱角色進行招式使用；而圖 5.17 為同時觸摸方向鍵的左與右鍵所使用的招式。



圖 5.15 操縱角色行進方向



圖 5.16 同時觸摸上與下使用招式

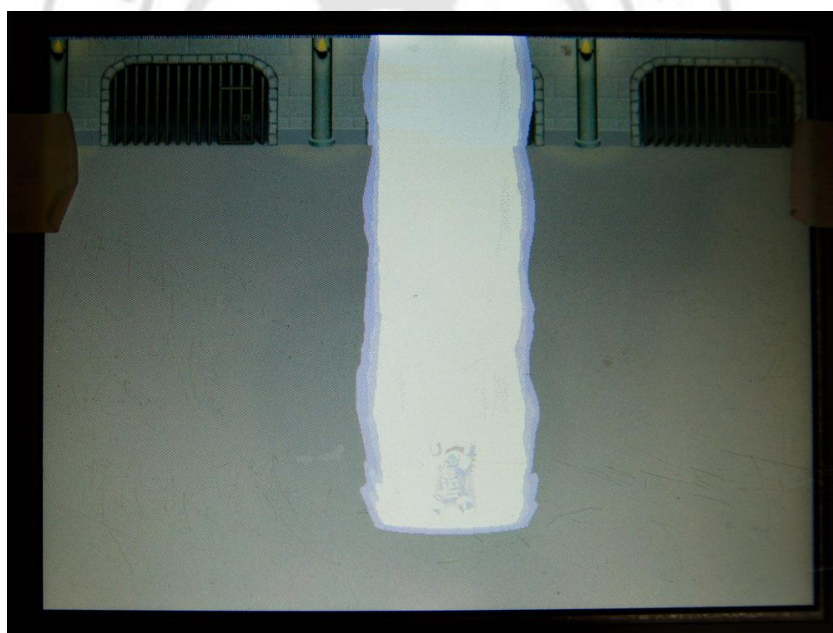


圖 5.17 同時觸摸左與右使用招式



## 第六章 結論

本篇研究主要是使用原有的投射式電容感應方式應用在印刷電路板上的原理，將印刷電路板上觸摸滑條的銅箔感應塊形狀，改設計成同心圓狀的滑條，用同心圓滑條搭配圓形滑條以及觸摸按鍵，用來當作遊戲控制器進行遊戲操作。

實驗結果，展現了兩種新樣式觸摸滑條所偵測出來的信號，第一種是結合了同心圓狀的滑條與圓形滑條的新樣式滑條，能夠同時偵測使用者所操控的方向以及程度，呈現類比搖桿的功能；第二種是結合了同心圓狀滑條與八顆觸摸按鍵的滑條，可以抓出使用者所操縱的方向，以及程度大小的值，而方向鍵的地方能夠同時多點觸摸，因此可以當作在操縱遊戲角色上，能夠有不同的輸入方式來施放角色招式。

不過將傳統的遊戲控制器，改以觸控的方式來呈現，在操作手感上會有一個適應的問題，由於觸控式的按鍵沒有機械式的按鍵的力學回饋，如何讓操縱者在使用遊戲控制器的操作上更能與遊戲產生互動，是觸控式遊戲控制器可以深入研究的方向。

## 參考文獻

- [1] Game controller [http://en.wikipedia.org/wiki/Game\\_controller](http://en.wikipedia.org/wiki/Game_controller)
- [2] Joystick 類型的遊戲控制器  
<http://warunaprabath.wordpress.com/2010/11/01/you-know-what-is-the-joystick/>
- [3] Wheel 類型的遊戲控制器  
[http://www.diytrade.com/china/pd/1631323/PS2\\_GC\\_XBOX\\_USB\\_4\\_IN\\_1\\_GAME\\_WHEEL.html](http://www.diytrade.com/china/pd/1631323/PS2_GC_XBOX_USB_4_IN_1_GAME_WHEEL.html)
- [4] Family Computer 的 GamePad  
[http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Famicom\\_controllers.jpg](http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Famicom_controllers.jpg)
- [5] 任天堂 64 的 GamePad  
[http://www.iandroid.cn/data/files/mall/article/2\(195\).jpg](http://www.iandroid.cn/data/files/mall/article/2(195).jpg)
- [6] PlayStation 的 GamePad <http://zh.wikipedia.org/wiki/File:DualShock.jpg>
- [7] Dreamcast 的 GamePad  
[http://www.thegametrain.com/products/Dreamcast/12065-dreamcast-joypad-controller-\(official\).html](http://www.thegametrain.com/products/Dreamcast/12065-dreamcast-joypad-controller-(official).html)
- [8] 任天堂遊戲主機 Wii 的主要控制器  
[http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Wii\\_Remote\\_Image.jpg](http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Wii_Remote_Image.jpg)
- [9] SONY PS3 的「PlayStation Move 動態控制器」<http://sofun.tw/ps3-move/>
- [10] Kinect 感應器裝置  
[http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Kinect\\_Sensor\\_at\\_E3\\_2010\\_\(front\).jpg](http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Kinect_Sensor_at_E3_2010_(front).jpg)
- [11] 任天堂 DS <http://zh.wikipedia.org/wiki/NDS>
- [12] Sony Ericsson Xperia Play  
[http://ivip.nicelives.net/shopping\\_a\\_3316822%60Sony%20Ericsson%20Xperia%20Play%20%E6%99%BA%E6%85%A7%E8%A7%B8%E6%8E%A7%E9%81%8A%E6%88%B2%E6%A9%9F](http://ivip.nicelives.net/shopping_a_3316822%60Sony%20Ericsson%20Xperia%20Play%20%E6%99%BA%E6%85%A7%E8%A7%B8%E6%8E%A7%E9%81%8A%E6%88%B2%E6%A9%9F)
- [13] PlayStation Vita [http://zh.wikipedia.org/wiki/PlayStation\\_Vita](http://zh.wikipedia.org/wiki/PlayStation_Vita)
- [14] 感測電路結構各展所長 電容式觸控技術百家爭鳴  
[http://www.2cm.com.tw/technologyshow\\_content.asp?sn=0803200008](http://www.2cm.com.tw/technologyshow_content.asp?sn=0803200008)
- [15] Cypress 公司的 PSoC 技術 <http://www.cypress.com/>

[16]CY8C24994 Datasheet <http://www.cypress.com/?rID=47416>

