

以電阻式觸控螢幕研製多點觸控辨識模組

鄭丞宏

國立彰化師範大學電子工程系
e-mail: m97642018@mail.ncue.edu.tw

黃其泮

國立彰化師範大學電子工程系
cphwang@cc.ncue.edu.tw

摘要

以傳統電阻式觸控螢幕開發多點觸控相關訊號處理模組，是本論文研究的重要成果。電阻式觸控螢幕的多點觸碰的辨識是以分離事件的時序判定目前手指的行為做為目前多點觸控人機介面的輸入裝置。多點觸控信號處理模組是由低通濾波器、差分電路、除彈跳電路、辨識單元、八分圓單元和編碼器等六個數位電路組成，主要功能包括多指觸碰偵測、觸點移動位置、以及速度與方向的追蹤，辨識結果以近似於滑鼠的多位元組編碼輸出，提供手指行為來操控作業系統或應用程式，進行圖形化人機介面的互動。

關鍵詞：電阻式觸控螢幕，多點觸碰。

Abstract

To develop the multi-touch recognition related signal processing modules based on a traditional resistive touch screen is the main theme of this paper. The multi-touch recognition module on a resistive touch screen refers sequentially timed events to determine the behavior of fingers that plays the role of multi-touch input device for human-computer interface. The multi-touch recognition module consists of a low-pass filter, difference circuit, de-bouncing circuit, discrimination unit, Octant unit, and Encoder circuit. Its functions include multi-finger touch detection, finger's touching location, moving speed and direction on the resistive touch screen. The recognition results are similar to the mouse multi-byte encoding output that provide the GUI control actions on the operating system or application program for human-computer interface.

Keywords: Resistive touch screen, Multi-touch.

1. 前言

目前手持裝置的操作介面朝著多點觸控的趨勢發展。而廣泛運用的多點觸控螢幕有電容

式與紅外線式。電容式是根據接觸區域的表面電容量來判斷手指的位置[1][2]。紅外線式是利用紅外線接收和發射 LED 對排列在螢幕上 X 軸和 Y 軸方向，形成平面光線陣列，當有物體阻斷光源時即可偵測點選的座標。傳統電阻式觸控螢幕在技術上受限於面板結構，瞬間只能輸出一組座標點，無法實現多點偵測之功能。但電阻式觸控感測技術已相當成熟且成本低，因此仍是現在手持設備使用觸控面板時的主流技術。雖然用分割面板的觸控區塊，形成電阻式多點觸控，將單一觸控區以單一觸點方式進行區隔[3]，但其輸出電路構造複雜，而我們提出的多點辨識模組利用手指觸碰觸控螢幕時，輸出座標的連續變化事件，以序向數位電路來辨識目前的手指數目或手指的位置移動方向、速度而達到多點觸控感測之目的，對等於目前廣泛使用的觸控功能。

本論文第二節描述多點觸控辨識系統結構，第三節說明手指辨識核心技術，第四節詳述系統實作，第五節呈現實驗結果，第六節為本論文的結論。

2. 多點觸控辨識系統結構

圖 1 為多點觸控辨識系統結構圖，包含低通濾波器(LPF: Low Pass Filter)、差分電路(Difference circuit)、除彈跳電路(Debouncing circuit)、八分圓單元(Octant unit)、辨識單元(Discrimination unit)、與編碼器(Encoder)。當觸控螢幕被觸碰時會輸出類比座標 $X(t)$ 、 $Y(t)$ ，經由類比/數位轉換器產生接觸點的座標值 X_n 、 Y_n ，接著輸入到多點觸控辨識模組進行手指觸碰螢幕時的連續事件鑑別，做為系統的主要輸出。

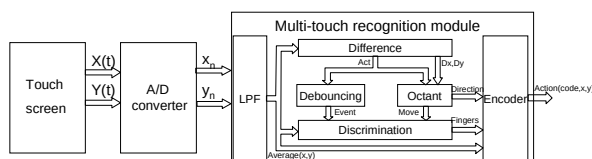


圖 1 多點觸控辨識系統結構圖

低通濾波器把輸入的座標值 X_n 、 Y_n 以平均化的運算，做為低通濾波器的功能實作基礎。輸出 $Average(x, y)$ 再經由差分電路取出座標的 dx 和 dy ，並依 dx 和 dy 值之變化鑑別出手指移動時發生的各種分離事件。圖 2 為各式分離事件的代碼，當無任何手指觸碰時，Act 輸出 Idle=1，若手指移動時，會根據 dx 和 dy 值的大小來分辨出是正常移動(Move)、快速移動(Move_fast)、或是新的手指加入或離開。其中，新的手指加入或離開時都會產生 $dy_negedge$ 、 $dy_posedge$ 、 $dx_negedge$ 、 $dx_posedge$ 等信號，做為分離事件的輸出。最後當手指指定點停留時，Act 輸出 Stay=1。

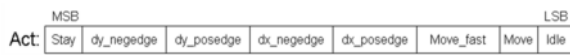


圖 2 分離事件代碼

差分電路輸出的分離事件代碼分別輸至除彈跳電路與八分圓單元。若八分圓單元偵測到輸入端 Act 的代碼動作為 Move 或 Move_fast 時，則將分析 dx 與 dy 計算出目前手指移動方向，並輸出方向代碼。若分離事件的代碼 Act 的值為 $dy_negedge$ 、 $dy_posedge$ 、 $dx_negedge$ 、 $dx_posedge$ 其中之一時，會使除彈跳電路內含的狀態機發生狀態改變，進而產生 Event 信號給辨識單元。

辨識單元內含一組狀態機，當除彈跳電路輸出 Event 時，用於辨識手指數量，輸出對應的手指數量代碼。最後，編碼器將收集方向代碼、手指數量代碼、目前座標值，並重新編碼後產生一組代碼 $Action(code, x, y)$ ，作為整體辨識系統的輸出， $Action(code, x, y)$ 詳細內容在系統實作時詳述。

3. 手指辨識核心技術

手指辨識核心技術的研發進程，是先收集大量手指在觸控面板上的座標信號，經 D/A 轉換成類比信號，並連接到示波器觀察波形之變化，用於觀察手指觸碰在觸控螢幕上的信號行為。另一方面，將資料輸入 Excel 用於分析歸納分離事件的辨識法則。

3.1 單指辨識

圖 3 為單指移動 x -軸信號波形，其中手指往 X 座標遞增的方向移動。信號經由低通濾波後，饋入差分電路產生 dx 信號如圖 4 所示。其

中可觀察出手指碰觸與離開時， dx 有巨幅變化。另一方面，手指在移動時， dx 有和緩起伏變化，顯示 dx 和緩區段最高點時，對應 x -軸移動信號斜率最陡，表示手指移動速度快。圖 4 中 dx 明顯呈現移動與碰觸的差別，所以 dx 經除彈跳電路濾除雜訊差分信號後，會產生 Event 信號，使得辨識單元的手指辨識之狀態機產生狀態改變，這個目的是要來鑑別手指碰觸或離開螢幕的數量。

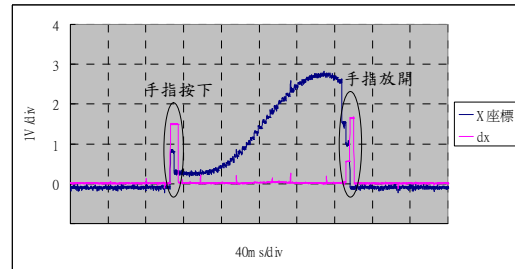


圖 3 單指移動 x -軸信號波形

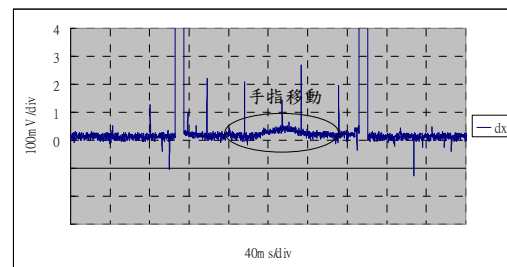


圖 4 dx 放大後之結果

3.2 多指辨識

當有單指觸碰時，若加入另一根手指則會發現座標有瞬間變動的現象。圖 5 為第二根手指觸碰的情形，當第二根手指觸碰時座標有明顯的變動，這個變動經差分後，由除彈跳電路單元產生 Event 信號，並使辨識單元的狀態機產生狀態改變，所以當有手指觸碰或離開，甚至有另一手指加入時，我們都可藉由 Event 的發生來得知。

經由多次實驗結果我們發現到，當第二指觸碰時，得到的座標為兩指座標的中點，在直角座標系中，若兩端點的座標分別為 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) ，則中點的座標公式為 $((x_1+x_2)/2, (y_1+y_2)/2)$ ，若第一指座標為 (x_1, y_1) ，即可用中點座標公式得到第二指座標 (x_2, y_2) 。

在兩指觸碰時，若有發生 Event，此時有可能是第一指或第二指離開，也有可能是第三根手指加入；由於在第二指加入時已經由中點座標公式得知其座標，所以如果是前兩指中的

一指離開可以馬上得知，但如果都不是就代表有第三指加入了。

在三指觸碰時，我們發現當第三指加入時，座標依然有 Event 現象，且得到的座標位在三指形成的三角形裡面，我們試著把三根手指依各種三角形的三頂點做測試，結果以三角形重心最為接近三指觸碰時的座標，於是當第三指加入時，我們以三角形重心公式 $G=((x_1+x_2+x_3)/3, (y_1+y_2+y_3)/3)$ 求出第三指座標。

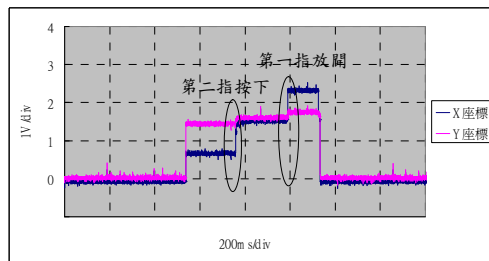


圖 5 第二根手指觸碰的情形

4. 系統實作

多點觸碰辨識模組使用了 Altera 公司 Cyclone II 來實作，觸碰螢幕為 Terasic 的 TRDB_LTM 電阻式觸控面板[4]，其內建 A/D 轉換器之輸出座標解析度達 12bit，可提供研究需求的座標變化解析度。多點辨識系統輸出之動作代碼，經由 RS232 串列埠傳送到 PC 並記錄，提供手指辨識核心技術研發時的參考數據。

4.1 低通濾波器

低通濾波器功能旨在消除觸控螢幕操作時的類比雜訊，可進一步提升除彈跳電路分辨手指行為的正確性。

低通濾波器是以平均化的運算來實作，結構如圖 6 所示。當 A/D 轉換器輸出 X_n 與 Y_n 時，低通濾波器分別把 (X_n, Y_n) 、 (X_{n-1}, Y_{n-1}) 、與 (X_{n-2}, Y_{n-2}) 相加後除以 3，最後輸出的 $Average(x, y)$ 即為平均化的信號低通濾波結果。

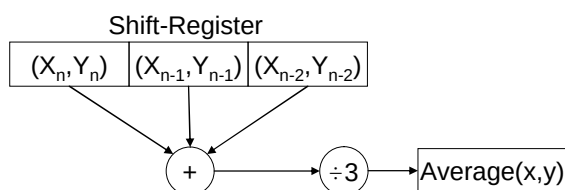


圖 6 平均化的運算

4.2 差分電路

差分電路功能為計算出方式分別為 $dx = (Average(X_n) - Average(X_{n-1}))$ ，以及 $dy = (Average(Y_n) - Average(Y_{n-1}))$ 。但由於座標取樣率達 2KHZ，只取前後兩筆座標是無法有效的判斷手指行為，所以我們在座標輸入時增加數層的位移暫存器，修正 dx 與 dy 的差分計算方式。其中 $dx = (Average(X_n) - Average(X_{n-k}))$ ，以及 $dy = (Average(Y_n) - Average(Y_{n-k}))$ ，據以改善 dx 、 dy 之差分值的明顯變化。讓辨識電路易於設置多重門檻值，藉由 dx 、 dy 值之變化來區分目前手指行為。為進一步提升辨識準確率， dx 信號經由數位微分電路取 dx 的正緣 ($dx_posedge$) 與的負緣 ($dx_negedge$) 信號。 dy 亦同取出正緣 ($dy_posedge$) 與負緣 ($dy_negedge$) 這四個輔助信號。藉以解析出是快速移動或碰觸。

4.3 除彈跳電路

除彈跳電路內含兩組產生 Event 信號之狀態機，分別根據輸入端 Act 的代碼中的 $dy_negedge$ 、 $dy_posedge$ 、 $dx_negedge$ 、 $dx_posedge$ ，觸發狀態機發生狀態改變來執行手指碰觸事件鑑別，據以產生 Event 信號給辨識單元。

圖 7 為產生 Event 信號之狀態機，在 S0 時，若有 $dx_negedge$ 或 $dx_posedge$ 輸入，將跳至 S1 或 S3，在 S1 時，若輸入為 $dx_posedge$ 則跳至 S2，這時內建的計數器在每一次座標取樣時會加一，目的是要測量手指的動作時間，以利排除不必要的雜訊，增加手指辨識的成功率，在 S3 時，若輸入為 $dx_negedge$ 則跳至 S4，若沒依照上述情況輸入，都會被判定為雜訊並且跳回 S0，在 S2 或 S4 時，若手指行為是定點停留 (Stay) 狀態，經判斷計數器大於預設值之後，產生一個 Event 信號至辨識單元。圖 8 為 X 座標與 Event 之關係圖，在手指的觸碰或放開時，都會使除彈跳電路產生 Event。

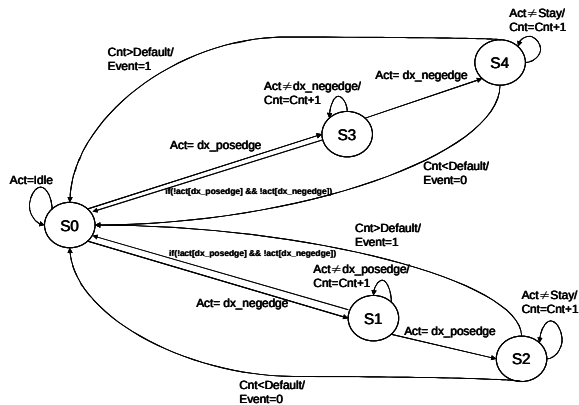


圖 7 鑑別手指碰觸Event信號之狀態機

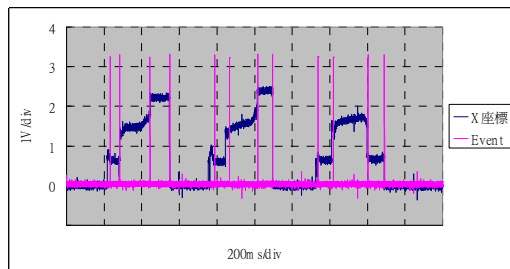


圖 8 X座標與Event之關係圖

4.4 辨識單元

辨識單元功能為判斷手指數量的增加或減少，其內含一組狀態機，如圖 9 所示，若 state=Finger0 時，當輸入為 Idle，表示無任何手指觸碰；當輸入為 Event，表示第一根手指觸碰，此時 $Buffer_1 = Average(x, y)$ ，state=Finger1。

若 state=Finger1 時，如果輸入為 Move 或 Move_fast，表示目前為手指移動行為；如果輸入為 Event，代表第二根手指觸碰，則 state=Finger2。

若 state=Finger2 時，如果輸入為 Move 或 Move_fast，表示目前為手指移動行為；如果輸入為 Event，若目前座標 $Average(x, y)$ 近似於 $Buffer_1$ 或 $Buffer_2$ ，則 state=Finger1；否則為第三根手指觸碰，則 state=Finger3。

若 state=Finger3 時，如果輸入為 Move 或 Move_fast，表示目前為手指移動行為，如果輸入為 Event，若目前座標 $Average(x, y) \approx (Buffer_1 + Buffer_2)/2$ 或 $\approx (Buffer_1 + Buffer_3)/2$ 或 $\approx (Buffer_2 + Buffer_3)/2$ ，則為三指放開一指，state=Finger2。

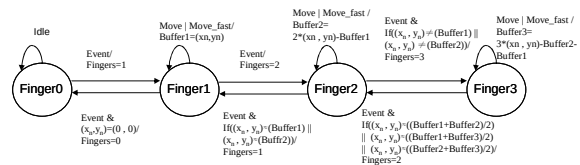


圖 9 辨識單元內含的狀態機

4.5 八分圓單元

圖 10 (a)為八分圓單元分析手指移動的八種方向，當輸入的 Act=Move 或 Move_fast 時才開始動作，藉由分析 dx 與 dy 計算出斜率 m 之值，圖 10(b)為不同 m 的數值劃分的區塊，各代表不同移動方向，待得知 dx 與 dy 之正負號和 m 值後，經表 1 查表後即可得知目前手指移動方向。

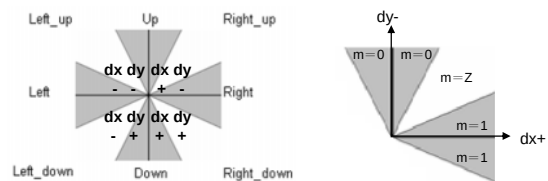


圖 10(a) 八分圓單元所 圖 10(b) 由m所劃分的
含的八種方向 的方向區塊

表 1

dx	dy	m	Direction
X	1	0	Up
X	0	0	Down
1	X	1	Left
0	X	1	Right
0	0	Z	Right_down
0	1	Z	Right_up
1	0	Z	Left_down
1	1	Z	Left_up

4.6 編碼器單元

當輸入端 Direction 或 Fingers 有變動時，編碼器單元會根據目前的手指數量、移動方向來產生一組 Action(code, x, y)，圖 11 為 code 的資料格式，其中 code[7:4]共 4bit 代表觸點動作代碼，code[3:0]共 4bit 代表方向代碼。方向代碼包含：上、下、左、右、右上、右下、左上、左下。觸點動作代碼包含：單點、單指移動、單指快速移動、單指放開、兩指按下、三指按下、兩指移動、兩指快速移動、三指移動、三指快速移動。

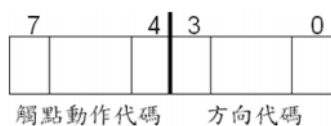


圖 11 code 的資料格式

5. 實驗結果

多點觸碰辨識系統的驗證是由兩組實驗來進行的，第一組實驗是將接收的動作代碼經由解碼動作之後顯示在 TextBox 上，並且設計一個立方體在 PictureBox 上，可依照使用者的手指行為來改變其大小。圖 12 為兩指向上移動實驗，第一根手指按下時為單點動作，第二根手指按下時顯示“兩指按下”，之後如果兩指動作是向上移動時則會放大立方體，反之如果兩指動作是向下移動則會像圖 13 一樣使立方體縮小。

另一組實驗是即時映射出手指按下之先後順序與位置。圖 14 為多點觸碰辨識實驗，當第一指按下時顯示紅色方塊，而當第二指、第三指依序按下時，分別顯示綠色及藍色方塊來代表手指位置，此實驗將即時顯示觸控面板上的手指相對應位置。

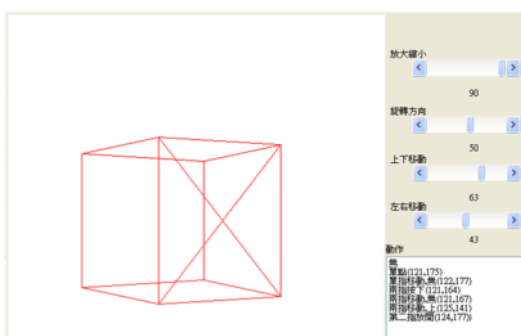


圖 12 兩指向上移動實驗

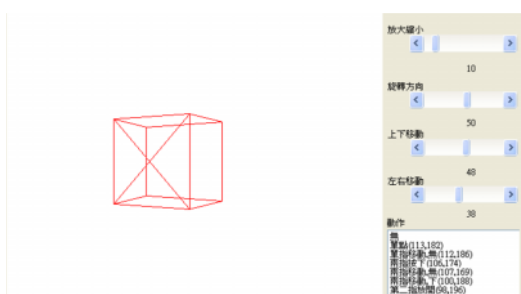


圖 13 兩指向下移動實驗

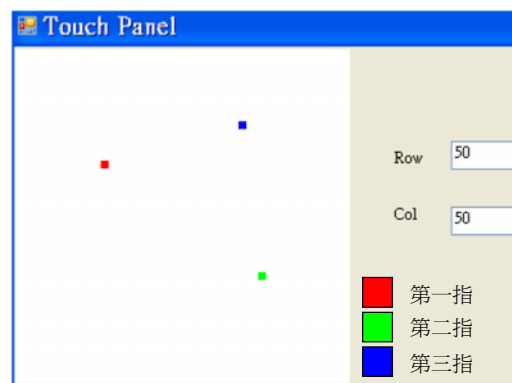


圖 14 多點觸碰辨識實驗

6. 結論

電容式多點觸控螢幕是目前手持裝置的操作介面的主流，但其製程比傳統電阻式觸控螢幕複雜。電阻式觸控感測技術已相當成熟且成本低，目前仍被部分手持設備做為觸控人機介面。以電阻式觸控螢幕為基礎的多點觸控技術是以分離事件的時序，用於手指行為的判定，其結果以滑鼠相似的位元組編碼輸出，成為手持設備的多點觸控人機介面的輸入裝置。多點觸控辨識模組利用手指觸碰觸控螢幕時，對連續輸出的座標變化鑑別出相關離散事件，配合多點觸控辨識模組中的序向數位電路，辨識目前碰觸螢幕的手指數目或手指的位置移動方向、速度而達到多點觸控感測之目的。已完成實作之多點觸控辨識模組，在電阻式觸控螢幕上進行各項操作驗證，藉由各種手指行為來操控圖形化的應用程式，已可正確辨識各項手指碰觸行為來達成模組預設的功能目標。

參考文獻

- [1] HCI.CN, “手機多點觸控技術的實現,” <http://hci.cn/support/repository/184.htm>, 2009。
- [2] 孫昌旭, “電容式欲勝電阻式多點觸摸還需要更多殺手應用,” <http://www.atlaspost.com/landmark-391129.htm>, 2008。
- [3] DIGITIMES, “多點觸控面板技術趨勢,” <http://www.digitimes.com.tw/tw/dt/n/shwnws.asp?CnIID=13&Cat=&Cat1=&id=141520#>, 2009。
- [4] Terasic, “TRDB_LTM UserGuid,” Terasic, 2007。