

What's fun in EE

臺大電機系科普系列

觸控背後的世界

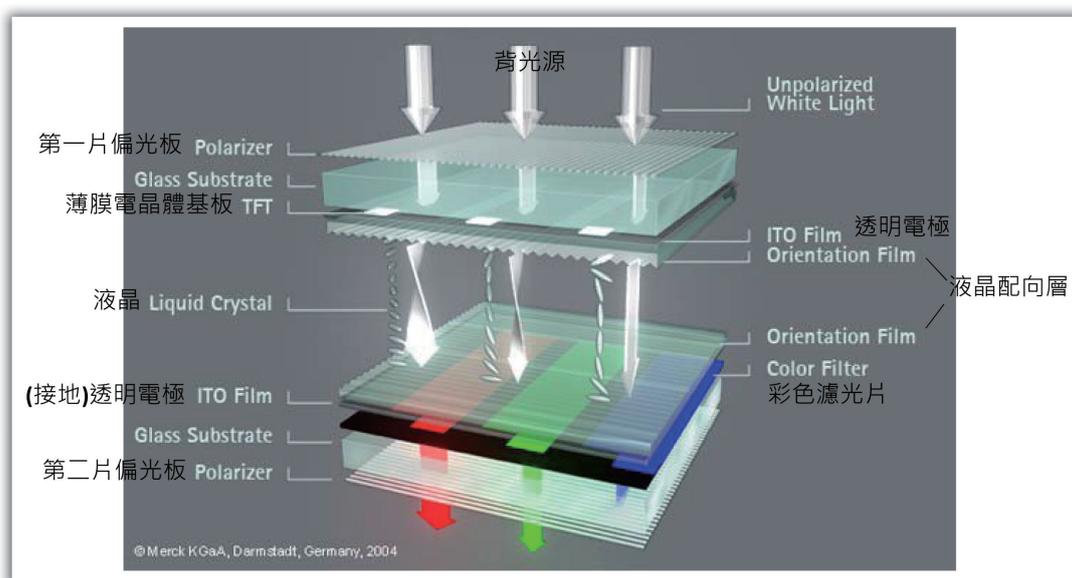
陳奕君／臺大電機系教授

曾在網路上看到一段影片，描述科技改變了現代人生活的方式，影片中有對父母把他們還在踉蹌學步的小朋友放在一個螢幕前，觀察他的反應。我想你已經猜到答案了，沒錯，這個可愛的小朋友不加思索地伸出他的手指，在螢幕上不停地觸摸著，似乎預期螢幕會有所反應。「觸控 (touch)」在最近這幾年間，已經悄悄成為我們生活中的一部分了。不論是在捷運與公車上或是馬路上，經常可見「低頭族」們施展「一指 (手指) 神功」和三 C 產品進行溝通。不過，當我們天天與觸控螢幕相處的同時，你可曾想過——它究竟是如何運作的呢？現在就讓我們來一探究竟吧。

平面顯示器

觸控螢幕顧名思義就是將平面顯示器 (flat panel display) 與觸控功能結合。所以在介紹觸控原理前，我們先瞭解一下目前常見的平面顯示器結構與原理。平面顯示器中最重要的一個元素就是負責圖像顯示的功能性材料，顯示器的名稱也往往以此顯示材料來命名，例如：液晶顯示器 (liquid crystal display) 就是利用液晶來顯示圖像，有機發光顯示器 (OLED display) 則是以有機發光二極體作為顯示材料。由於我們眼睛是透過光的接收來獲取呈現圖像的資訊，因此若以光來源作為區分，則常見的平面顯示器可歸納為：穿透式 (transmissive)、自發光式 (emissive) 與反射式 (reflective) 三種。在穿透式顯示器中，光乃來自於背光源，在通過顯示器中的薄膜電晶體基板與顯示材料後，再進入人眼中，目前最常見的液晶顯示器就屬於此類；而自發光式顯示器則不具有背光源，光乃是由顯示器中的顯示材料產生，例如有機發光顯示器就是利用一種有機物構成的電子元件作為顯示材料以產生光線；至於反射式顯示器，與前述兩者最大的差異就是本身並不具有任何發光源，而是靠外界的光線經顯示材料反射後而呈現圖像，就如同我們平日閱讀的書報雜誌，只是此時所呈現的圖像可隨時透過電子訊號的控制而產生變化。

接下來我們就以最常見的液晶顯示器為例，說明面板的顯示原理。顯示器乃是由一定數量的畫素（pixel）所組成，基本上每個畫素的架構是相同的。圖一為彩色液晶顯示器中單一畫素的結構示意圖，此畫素又由紅（R）、綠（G）、藍（B）三個子畫素（sub-pixel）組成。首先白光從圖上方的背光源產生並入射，緊接著經過第一片偏光板（polarizer），偏光板就如同光的柵欄光，因此通過偏光板後的光為偏振方向和第一片偏光板柵欄平行的線偏振光。此線偏振光在經過薄膜電晶體（thin film transistor, TFT）基板後隨即進入液晶分子層，此時液晶的排列方式將決定光在抵達彩色濾光片與第二片偏光板前的偏振方向。以最常見的扭曲向列型（Twisted Nematic）液晶為例，當偏振光經過螺旋排列的液晶分子後其偏振方向可被旋轉，由於第二片偏光板柵欄方向與第一片偏光板相互垂直，因此通過液晶分子造成的光偏振方向旋轉幅度將決定其通過第二片偏光板時的穿透程度。以圖一為例，光在通過紅色子畫素液晶後其線偏振方向旋轉了 90° ，所以能輕鬆通過第二片偏光板；但綠光子畫素則因光偏振方向旋轉幅度不足，因此有一小部分的光線被第二片偏光板阻擋，此即為灰階（grayscale）；至於在藍光子畫素中，因光線偏振方向並沒有旋轉，所以藍光被完全阻擋了。最後這個畫素所呈現的顏色即為紅光摻雜部分綠光所組成。



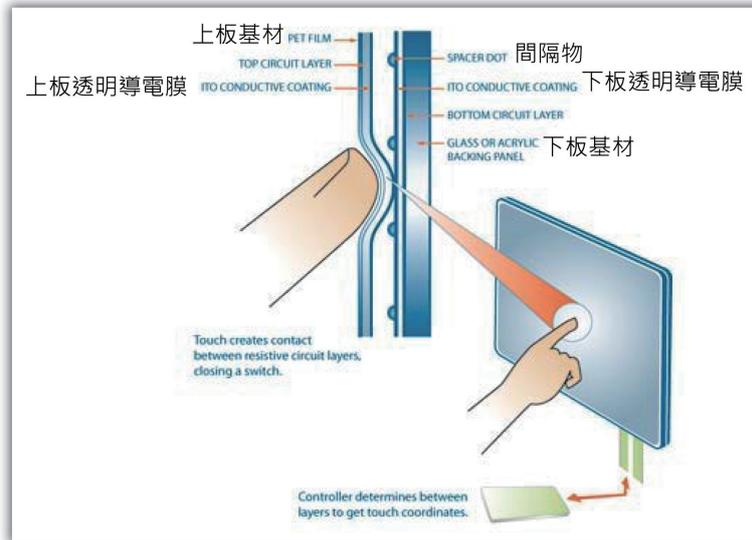
圖一 彩色液晶顯示畫素結構示意圖

來源 http://magazine.merckgroup.com/magazine.entdecker.corp/en/images/LCD_Infograf_ik_ENG_380_tcm1113_40124.jpg

至於液晶分子的排列又是如何決定與控制的呢？液晶分子主要是懸浮於兩個電極間，常用的電極材料為既透明又導電的氧化銦錫（indium tin oxide, ITO），在薄膜電晶體基板上的透明電極其電壓主要由電晶體控制，而靠近彩色濾光片（color filter）處的透明電極往往為接地端 - 亦即電壓為零。在未對電晶體基板上的透明電極施加任何電壓時，液晶分子的排列主要由電極上配向層（orientation film）的表面型態所決定。以圖一為例，由於上下配向方向相互垂直，因此在未對電晶體基板上的透明電極施加電壓的情況下，通過第一片偏光板的光經螺旋排列的液晶後偏振方向旋轉 90° ，而能輕鬆穿透過第二片偏光板，呈現「亮態」。但當我們對電晶體基板上的透明電極施加足夠大的電壓時，此時液晶分子受到外加電場的影響而產生感應電荷，進而順著電場沿上下方向排列，因此通過第一片偏光板後的光其偏振方向無法產生旋轉，而被第二片偏光板完全阻擋，呈現「暗態」。至於灰階則可藉由調控施加於電晶體基板上透明電極的電壓值大小來達成。值得一提的是，由於液晶本身的透光率並不高，因此要達到良好的視覺效果，液晶顯示器需使用亮度極高的背光源，且此背光源在接通電源的情況下，不論畫素呈現亮態或暗態都無時無刻在運作。

觸控原理

在瞭解了平面顯示器的基本架構後，接下來將介紹觸控的原理。觸控根據感測原理的不同可分為好幾種，常見的有：電阻式觸控（resistive touch）、電容式觸控（capacitive touch）、表面聲波式觸控（surface acoustic wave touch）、紅外線觸控（infrared touch）等等。電阻式觸控主要由兩片單面鍍有氧化銦錫透明導電薄膜的基材所組成，上板與下板間則以間隔物（spacer dot）來分開，其結構如圖二所示。一般來說，下板基材為具有一定剛性的厚玻璃，而上板基材則可選擇能產生微小形變的薄玻璃或塑膠，在操作使用時，通常會在上下板的透明電極間提供一電壓。當上板受到觸控筆或手指的壓力時產生形變，使得上板的透明電極與下板的透明電極產生接觸而導通，產生電壓上的變化，透過此電壓變化可反推算出接觸點的位置。

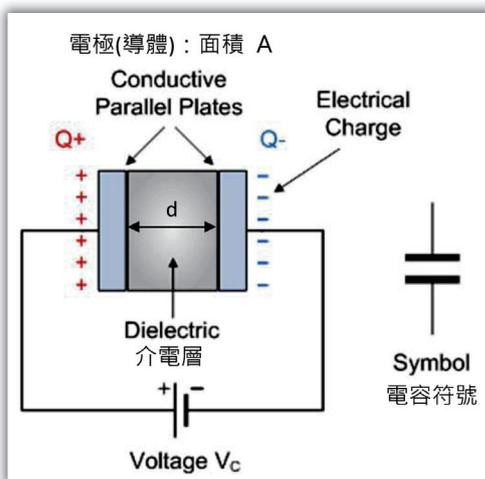


圖二 電阻式觸控示意圖

來源 <http://www.technobliz.com/touch-screen-technology-how-touch-screen-works-resistive-touch-screen-technology/>

相較於電阻式觸控，電容式觸控的耐刮性、防汙性較佳，且反應速度較快。電容是一種以電場形式儲存能量的電子元件，當兩個電極（導體）間夾著一介電層（絕緣體）即構成一個電容，電容值（C）的定義為兩電極間所儲存之電荷（Q）與兩端電位差（ V_c ）的比值，亦即 $Q = C V_c$ 。若以圖三之平行板電容為例，其電容值可表示為：

$$C = \epsilon_0 \epsilon_s A / d$$



圖三 平行板電容示意圖

來源 http://www.electronics-tutorials.ws/capacitor/cap_1.html

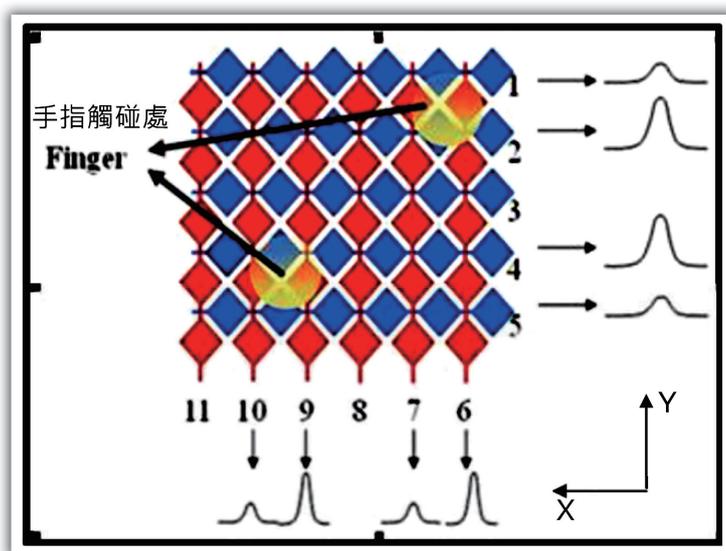
其中 ϵ_0 為真空的介電常數（ $= 8.8542 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ）， ϵ_s 為絕緣體的介電常數（例如玻璃的介電常數為 3.9），A 為電極的面積，d 則為兩電極間的距離，當兩電極間的距離愈遠，其電容值愈小。

電容式觸控的原理就是偵測觸控面板中感測電極（導體）與人體（導體）間的耦合電容。以最簡易的「表面電容式觸控（surface capacitive touch）」為例，其結構如圖四所示，主要由一片雙面鍍有透明導電薄膜的基材所構成，並在上電極上方覆蓋一層二氧化矽介電層；其中上電極為感測用電極，操作使用時需對其施加電壓，以形成一均勻電場，而下電極則提供遮蔽功能，以避免外界雜訊的干擾。當手指由上方碰觸面板時，上

透明電極與手指間產生足夠大的耦合電容，此時經由上電極四個角落所量測到的電容變化值，即可推知觸碰的位置，當觸碰位置愈近時，其電容變化值愈大。



圖四 表面電容式觸控結構示意圖

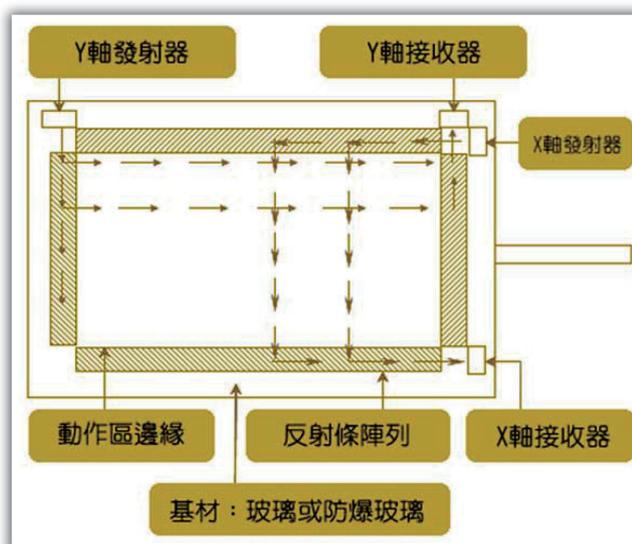


圖五 投射式電容觸控圖案化電極示意圖

來源 http://www.digitimes.com/NewsShow/20101129PR202_files/1_r.jpg

不過表面電容式觸控原則上是無法偵測多點觸控，目前較常見的電容式多點觸控技術為「投射式電容觸控（projected capacitive touch）」，主要是將表面電容式觸控中的上感測電極改為兩層並進行圖案化，如圖五所示，一層（紅色部分）負責 X 方向感測，一層（藍色部分）負責 Y 方向感測，而最常見的圖案化電極形狀為菱形，彼此交錯排列形成網格狀，藉由偵測產生電容變化的 X 電極與 Y 電極即可獲知觸碰點。

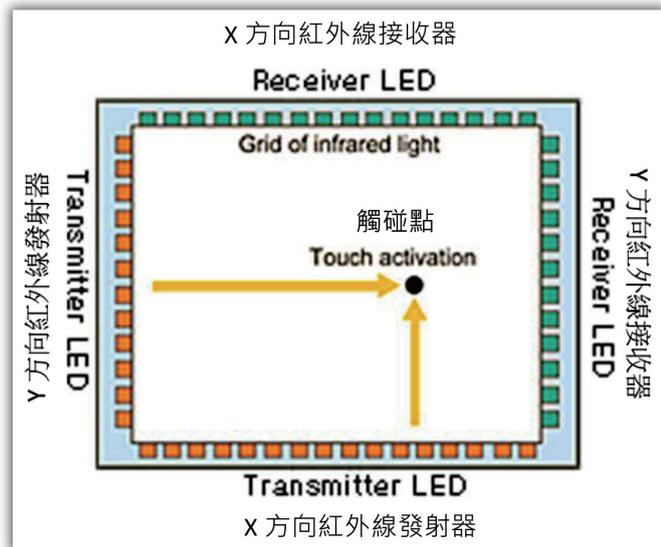
接下來我們將介紹適用於大尺寸的觸控技術：表面聲波式觸控與紅外線觸控。表面聲波式觸控又稱為音波式觸控，基本的架構是在玻璃基板的角落安裝垂直（Y）與水平（X）方向的超音波發射轉能器與超音波接收轉能器，並在基板的四周圍加上反射條。以圖六 Y 方向感測為例，當左上角的 Y 軸發射器向下發射超音波後，音波被基板左側的反射條反射轉而向右傳遞，當波抵達基板右側後，會再被右側反射條反射而向上傳遞，最後抵達右上角的 Y 軸接收器。由於在偏上方傳遞的波所行經的路徑比在偏下方傳遞的波短，所以較早抵達接收器，這些經過不同路徑回歸的波最後在接收器處疊加成一個較寬的波形訊號，此波形的時間軸即對應 Y 軸上不同的位置。當手指或軟性物質觸碰面板時，因其會吸收超音波，造成行經該路徑的訊號衰減，最後經由衰減後波形與參考波形的比對可計算出觸碰的位置。值得一提是，表面聲波觸控除了能感應 XY 座標位置外，還能由接收訊號的衰減量推知觸碰時壓力的大小。



圖六 表面聲波式觸控示意圖

來源 http://www.a-touch.com.tw/c_product-saw.htm

紅外線觸控的原理乃是利用訊號遮斷來進行偵測，其架構十分簡單，如圖七所示，在玻璃面板垂直與水平的一側佈上紅外線發射器陣列，在對應的另一側佈上紅外線接收器陣列，形成一紅外線網格，當觸控發生時，紅外線訊號遭受遮斷，由偵測不到訊號的接收器位置即能得知觸碰點位置。



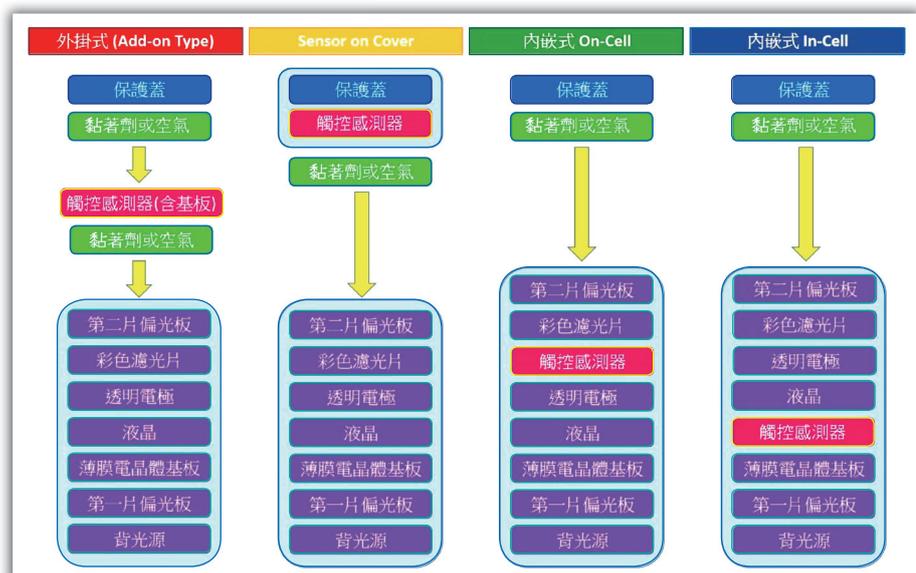
圖七 紅外線觸控示意圖

來源 http://www.gtouch.com.tw/products_panels_ir.html

顯示與觸控的整合

在瞭解了平面顯示器基本架構以及觸控基本原理後，下一步就是將兩者整合為觸控螢幕，依據整合的方式主要可區分為「外掛式 (add-on)」與「內嵌式 (embedded)」，圖八為其基本結構的比較。外掛式顧名思義就是在不具觸控功能的平面顯示器外部直接疊加上觸控面板，這方面的技術成熟，加上架構簡單，所以良率高。不過由於是雙層結構（顯示器面板 + 觸控面板），整合後的觸控螢幕較為厚重，且整體透光度較差。內嵌式觸控螢幕主要是將觸控感測器直接整合入平面顯示器的生產製程中，因此比外掛式觸控螢幕輕薄且透光率高，常用於行動裝置上。內嵌式觸控螢幕根據觸控感測器所在的位置則又可再細分為「on-cell」及「in-cell」兩種。在 on-cell 架構中，一般是將觸控感測器加在彩色濾光片與第二片偏光板之間；而 in-cell 架構則是將觸控感測器置入液晶單元中，優點是感測器電路可直接整合在顯示器的薄膜電晶體基板上，但也由於感測器位於顯示器面板內部結構中，因此較易受到訊號干擾。此外還有一種架構「sensor on cover」是將觸控感測器直接做在保護蓋 (cover lens) 的內側，相較於外掛式也能縮減整體的厚度。

透過此概略介紹，希望當你下次在施展「一指（手指）神功」時，不會再有看似熟悉卻又陌生的感覺。



圖八 觸控螢幕結構示意