

# 電容式感測設計趨勢吹向手機應用市場

Mark Lee

## 介紹

電容式感測使用者介面在最近幾年已逐漸發展成為一種實用且創新的技術升級方案，以取代可攜式多媒體播放器的機械式按鍵。這個趨勢也開始蔓延到手機應用領域。電容式感測器可視為取代機械式按鈕的方案，但這項技術的表現絕對不只有圓弧式開關的功能。可運用在手機的觸控感測器，也為手機研發業者帶來另一種嶄新的外觀觸控選擇。

手機的按鍵設計若採用電容式感測器，不須要可拆式零組件，可呈現出線條流暢平滑的觸控表面。此外，設計人員可選擇在機械開關上裝設電容式感測器，力道輕的觸碰會觸發電容感測器，力道較重則會啟動機械開關。搭載這類技術的手機能同時偵測到手指的位置與按壓按鍵的力道。力道輕的觸碰會叫出電話簿選單進行瀏覽頁面切換；而力道重的觸碰則會撥出選取的電話號碼。近幾年來，手機設計最令人感興趣的趨勢，就是結合電容式感測器和透明導體。透明按鍵為手機研發業者帶來許多相當創新的選項。

本文介紹如何將電容式感測功能整合到手機中，以及成功的設計必須克服的各項重要問題包括：電容式感測的訊噪比(SNR)要求、低功耗的需求、手機的機械式考量、及可編程控制器在系統開發階段帶來的眾多優勢，以及採用電容所開發的透明觸控螢幕。

## 電容式感測器的訊噪比

高訊噪比(SNR)為業者在開發強固型電容式感測手機的主要關鍵。在電子通訊與其他工程領域，訊噪比通常以分貝dB為單位。在手指觸碰感測應用方面，因為在計算中涉及許多不確定性，所以不建議用dB作為訊噪比的量測單位。以功率計算的dB公式為 $10 \cdot \log(P2/P1)$ ，以電壓計算的公式則為 $20 \cdot \log(V2/V1)$ 。對於觸控應用而言，目前尚不清楚哪個公式比較適用。

而且對於「觸控dB值」的解釋定義並不明確。為避免這些問題，Cypress採用一個簡單的比值，作為電容式感測訊噪比的標準。Cypress的操作指南中指出訊號至少應比雜訊高出5倍[註1]。以工程術語來表示，訊噪比至少應為5:1

## 如何量測SNR

圖1的波型顯示出一個如何在觸控感測應用中量測SNR的例子。手指未置於感測器時，會產生8次波峰間雜訊。將手指置於感測器時，會產生118次的訊號。訊噪比為118:8，約分後等於15:1。

SNR應量測手指觸碰情形的最佳狀況與最糟狀況。最佳狀況的手指觸碰是手指大面積的觸碰感測器中央。最糟狀況則是手指觸碰的範圍較小，且偏離感測器的中央。在開發手機系統的初期，直接使用手指觸碰是可接受的測試方法。金屬片或桿皆可取代實際的手指觸碰，以排除操作人員的誤差，並維持測試的重複性。

按鍵覆蓋層的厚度對訊號強度會有削減的效果，其中一種保守的解決方法是使用厚度稍為高出基準面的按鍵覆蓋層來開發系統。為避免高階韌體的遮罩效應，可使用未經處理的感測器計數數據來量測SNR。關閉任何自我補償或自動調校的功能，強迫感測器在沒有偵測到手指觸碰時，輸出值呈現零。未經處理的計數數據，類似如圖1所示的波型。

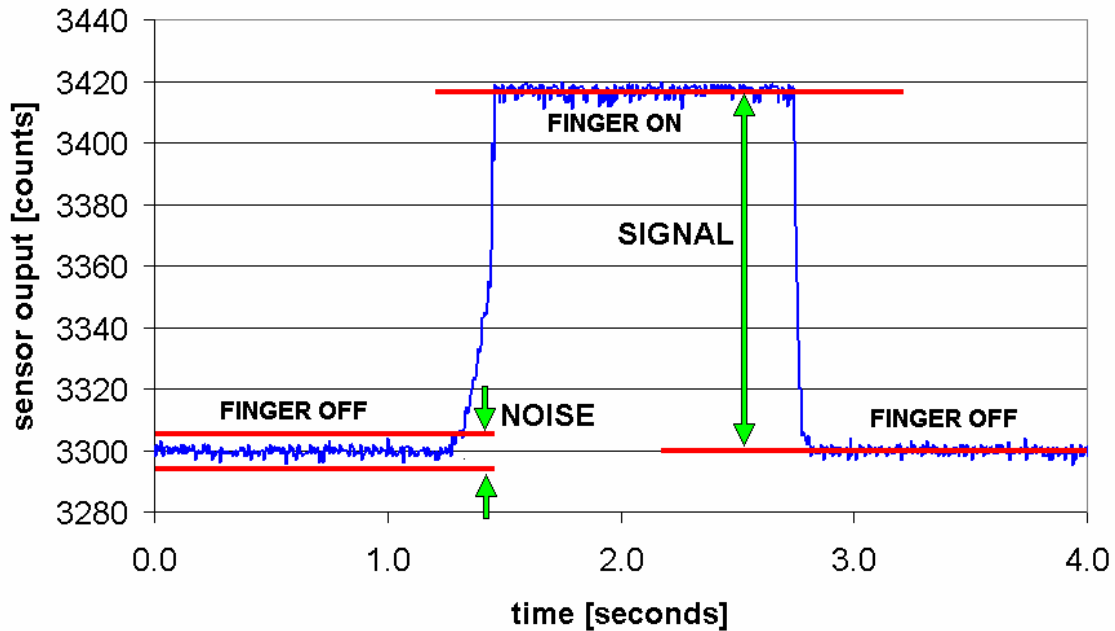


圖1.

電容式感測器波型的訊號和雜訊元素。在這個例子中，當手指置於感測器時，感測器的計數會上揚。波峰間雜訊測試為8個計數，訊號的計數為118，因此訊噪比為15:1。

### 訂立雜訊預算額度

訂立雜訊預算額度是管理電容式感測器效能的一種方法，過程中必須列出雜訊來源清單，以降低系統的SNR。對手機而言，這些雜訊來源包括內部IC雜訊、RF雜訊、以及AC線路雜訊。估計感測器計數對每個雜訊來源產生的效應。這些計數的總和加上設計預留的額外計數空間，所產生的SNR應高於5:1。

手機本身就會產生一個有高RF能量的環境，這比起系統少數幾個雜訊來源，會對系統產生更大的影響。在RF傳送器旁運作的電容感測器會讓感測器電路產生天線的效果。再加上大量的RF能量流入控制器IC，會對感測系統造成意想不到的結果，讓觸控感測的功能失去作用。這個潛在問題有個簡單的解決方案，就是使用許多電阻，來降低共振。以串聯模式置入數百歐姆的電阻，並緊鄰在控制IC的針腳旁，就足以防止這個問題產生。

### 行動代表低功耗

手機專用的電容式感測解決方案需要具備低功耗的特性。對於使用電池的行動裝置來說，低功耗意謂著控制器應以所需時間還要慢的速度連結主機端、在週期時間內掃描感測器、並在沒有其他事件等待時，切換至休眠模式。

延長電池續航力的關鍵在於將感測器掃描與處理資料時的平均電流降至最低。平均電流的計算，是求出運作電流與休眠模式電流的時間加權平均值，因此在兩次掃描之間，控制器休眠的時間愈長，電池續航力也就愈長。休眠時間面臨一個實際上的限制——就是系統的延遲，指的是觸碰事件與系統對觸碰進行反應之間的延遲時間。沒有技術背景的使用者，則會把高度延遲描述成按鈕反應遲緩。在最嚴重的狀況下，極長的休眠間隔會產生漏失使用者互動的情形。手機設計的挑戰，是在快速感測反應與低功耗之間取得理想平衡點。對於手機設計而言，理想的延遲時間目標應是30至50毫秒。為進一步降低功耗，若在一段時間後沒有偵測到使用者的輸入動作，感測器通常都會切換至較長延遲的模式。這種稱為待機模式的較慢掃描模式，其延遲時間為100毫秒以上。當使用者資料輸入時，系統則切換至主動掃描模式，也就是對按鈕的反應速度加快。

以例子介紹如何在一個內含12個感測器的手機設計中，讓待機模式平均電流達到33uA的目標。平均電流 $I_{AVE}$ 的計算公式如公式1所示。掃描時間設定為每個感測器0.5毫秒( $t_1 = 12 \times 0.5 = 6$  毫秒)。待機模式的回報速度為100毫秒；休眠模式的間隔設定為94毫秒( $t_2 = 100 - 6 = 94$  毫秒)。休眠模式電流與運作模式電流可從控制IC的資料表讀出( $I_{SLEEP} = 3\mu A$ ,  $I_{ACTIVE} = 1500\mu A$ )。從公式1可算出這些參數產生平均電流為93uA。若只有部份的感測器在待機模式中被掃描，則可進一步降低平均電流。將12個感測器安排在3個群組，可縮短掃描時間( $t_1 = 12/3 \times 0.5 = 2$  毫秒)。這個例子的平均電流可降低至33微安培。

$$I_{AVE} = \frac{t_1 I_{ACTIVE} + t_2 I_{SLEEP}}{t_1 + t_2} \quad (1)$$

### 手機的機械考量因素

手機的封裝趨勢是愈來愈薄，因此機械的層疊配置(如圖2所示)，是系統設計的一項重要考量因素。事實上，感測器電路配置設計不良，以及過高的金屬厚度，都會造成手機SNR偏低。

手機中電容感測器橫切面圖

1. 覆蓋層
2. 非導電性黏層
3. 感測器端之電路板
4. 內層電路板
5. 元件端電路板
6. 手機內部機械元件層

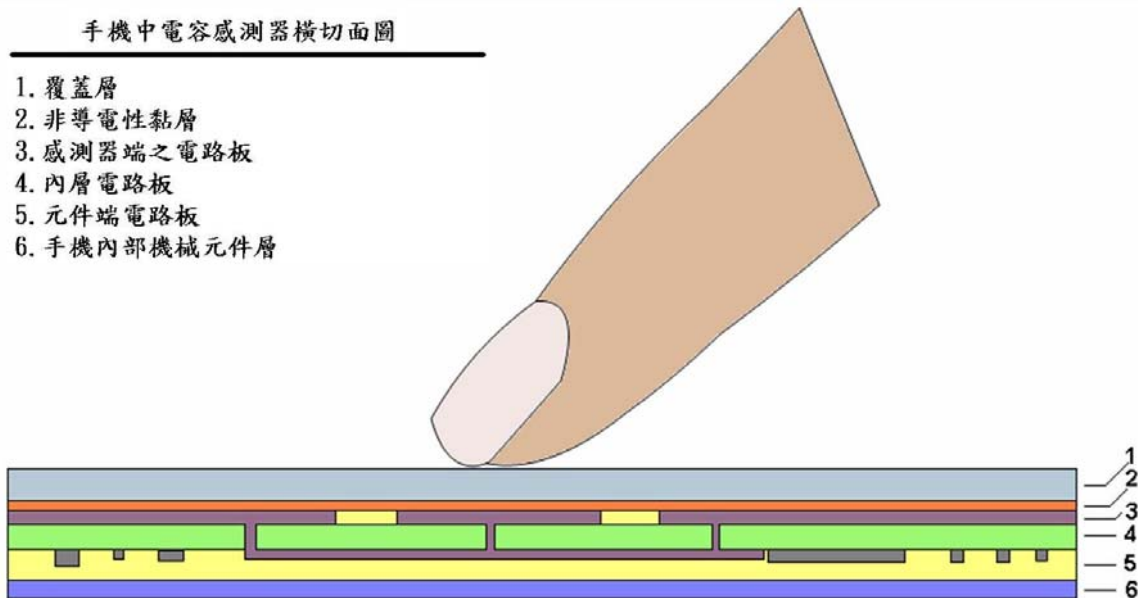


圖2. 手機的封裝

手機電路板通常使用軟板，有時使用薄型硬板。電路板使用一層細薄的非導體膠膜固定在覆蓋層上，這個膠膜能改善感測器與覆蓋層之間的電場耦合效應。膠膜層亦能創造出一個穩定的機械系統，對光和重力的手指按壓會產生一致的反應。覆蓋層厚度的目標為1至3公釐，為手機封裝提供足夠的機械強度，且不會讓電容式感測訊號產生過度的衰減。

### 可編程解決方案讓開發更有彈性

系統控制器有許多選擇方案。在固定功能元件的特別應用方面，唯一的功能就是掃瞄感測器以及輸出資料；而在偏向高整合度與彈性應用的可編程感測元件方面，讓業者能在最後一分鐘仍能進行設計變更，支援非電容式的感測功能。Cypress PSoC系列元件代表可編程系統單晶片，提供一個適合手機的可編程解決方案。CapSense支援的電容式感測功能包括：按鈕、滑桿、觸控板、以及近距感測器。透過CapSensePLUS的加值觀念，PSoC晶片能執行電容式感測以及以往都是由一個或多個其他元件來執行的許多其他功能，例如：一隻手機可能需要按鍵的電容感測、透過光電二極體來偵測環境光線、透過加速儀來偵測傾斜、以及當手機切換至震動模式時會派上用場的小型馬達。單一個PSoC晶片以C語言開發軟體的彈性，能支援上述所有功能的整合。

以下的情況是另一個可編程解決方案帶來附加價值的例子。由於所有感測與控制功能都由軟體來控制，因此可在低功耗待機模式下，設定電容式感測器來執行近距偵測，並在正常運作模式時將同一個感測器設定成觸控感測器。在待機模式中，近距感測器會在電容式感測器上方一或兩公分的區域內掃瞄是否有手指靠近。當感測到有手指靠近時，PSoC會透過軟體進行重新設定，讓觸控感測功能取代近距感測功能。手機會持續維持運作模式，直到使用者停止和電容式感測器進行互動，在這個情況下，手機會切換至待機模式，感測器則切換成近距感測器。

### 電容式透明觸控螢幕

手機觸控感測的最新趨勢是運用置於玻璃或塑膠薄膜上的ITO。ITO代表氧化銻錫。它是一種導電材料，在當成膠膜使用時，會呈現透明狀。它已被應用在電阻式觸控螢幕數年之久。最近微控制器的技術演進，讓業者能開發出電容式觸控螢幕。由於電阻



式觸控螢幕必須依賴觸控表面的機械彎曲，因此終有一天會因磨損而須更換。電容式ITO觸控螢幕則不須依賴機械彎曲。免於此種機械故障是電容式ITO觸控螢幕勝過標準型電阻式觸控螢幕的一項優勢。

## 結論

本文介紹如何將電容式感測功能整合到手機中。在未來數年，我們將看到這項技術帶動許多酷炫的功能。

## References

- [1] Application Note AN2394, " CapSense Best Practices", Cypress Semiconductor
- [2] Application Note AN2292, " Layout Guidelines for PSoC CapSense", Cypress Semiconductor



Cypress Semiconductor  
198 Champion Court  
San Jose, CA 95134-1709  
Phone: 408-943-2600  
Fax: 408-943-4730  
<http://www.cypress.com>

© Cypress Semiconductor Corporation, 2007. The information contained herein is subject to change without notice. Cypress Semiconductor Corporation assumes no responsibility for the use of any circuitry other than circuitry embodied in a Cypress product. Nor does it convey or imply any license under patent or other rights. Cypress products are not warranted nor intended to be used for medical, life support, life saving, critical control or safety applications, unless pursuant to an express written agreement with Cypress. Furthermore, Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress products in life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

PSoC Designer™, Programmable System-on-Chip™, and PSoC Express™ are trademarks and PSoC® is a registered trademark of Cypress Semiconductor Corp. All other trademarks or registered trademarks referenced herein are property of the respective corporations.

This Source Code (software and/or firmware) is owned by Cypress Semiconductor Corporation (Cypress) and is protected by and subject to worldwide patent protection (United States and foreign), United States copyright laws and international treaty provisions. Cypress hereby grants to licensee a personal, non-exclusive, non-transferable license to copy, use, modify, create derivative works of, and compile the Cypress Source Code and derivative works for the sole purpose of creating custom software and or firmware in support of licensee product to be used only in conjunction with a Cypress integrated circuit as specified in the applicable agreement. Any reproduction, modification, translation, compilation, or representation of this Source Code except as specified above is prohibited without the express written permission of Cypress.

Disclaimer: CYPRESS MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARD TO THIS MATERIAL, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Cypress reserves the right to make changes without further notice to the materials described herein. Cypress does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit described herein. Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress' product in a life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

Use may be limited by and subject to the applicable Cypress software license agreement.