

# 以手機體感繪畫技術之研發建構多媒體互動系統

杜佩芸

國立清華大學資訊工程學系  
tinacat12@gmail.com

陳奕瑄

國立清華大學資訊工程學系  
pe996@yahoo.com.tw

田茂堯

國立清華大學資訊工程學系  
joseph811223@gmail.com

林冠宇

國立清華大學資訊工程學系  
gary19930520@gmail.com

蕭任宸

國立清華大學資訊工程學系  
a91030711@yahoo.com.tw

李潤容

國立清華大學資訊工程學系  
rlee@cs.nthu.edu.tw

## 摘要

鑒於現行數位繪圖軟體對於作畫的侷限，本研究試圖開創另一種繪畫的可能性——以手機進行體感繪畫。系統架構分為前後兩端，將所有操作移植至前端的手機，視後端的電腦為一塊畫布，利用手機內建的感測器擷取體感資訊，以雷射筆的使用方式對螢幕進行遠端繪畫，使手機如同一支多媒體畫筆；同時運用無線網路傳輸的技術，不僅突破現存體感裝置在感測距離上的限制，更實踐多人同步創作的可行性。更進一步，以體感繪畫技術為基礎，建構出一套適用於幼兒教學、親子娛樂及簡報討論的多媒體互動系統「Painting in the Air」，讓使用者得以更生活化的方式享受新興技術帶來的便利與樂趣。

## 關鍵詞

體感、互動、多媒體

## 1. 簡介

市面所見之數位繪圖方式多以滑鼠、手指為畫筆在電腦、平板、手機或觸控繪圖板上進行繪製的動作，對於繪畫者與螢幕間的距離及共同創作上多有所設限，觸控繪圖板更不易於取得，而較為罕見之體感繪畫都建構於 Kinect[1]、Asus Wavi Xtion[2]、Leap Motion[3]等特定體感偵測器上，普及性低，對距離、人數亦有所限制，因此嘗試以手機為畫筆進行體感繪畫。

系統分為兩端，前端的手機負責體感資訊擷取與指令讀取，後端的電腦則為訊息之解讀與回應，其間以網路作為資訊傳輸媒介，使系統得以達到遠距操控、集體繪畫、易取得性三大目標。

「Painting in the Air」即是以手機體感繪畫技術為基礎所開發的系統（圖一）。啟動電腦程式後即可以手機為畫筆在電腦螢幕上繪畫，不僅支援多種筆刷、印章、調色功能，還可以將「聲音」畫入作品並移動、碰撞所繪物件。程式支援：自動搜索可用連線、多人同步創作、專案檔讀寫、簡報展示等功能，並內建語音教學、有聲故事書、小遊戲等創作範例，供初次使用者參考，期望使用者能藉「Painting in the Air」享受不同的創作樂趣，適用於幼兒教學、親子娛樂及講座討論。以下為四大特點：

### (1) 易取得性

拿起手機即可進行體感操作，不需添購額外設備。

### (2) 高便利度

支援遠端操作，不受限於實體連線或感測距離。

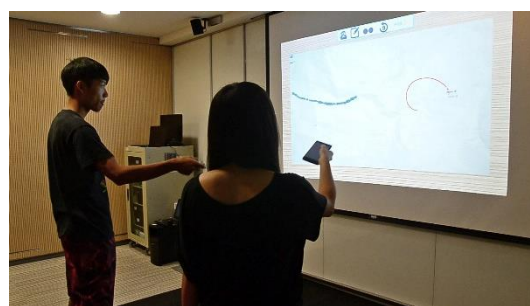
### (3) 多媒體創作

不僅止於繪圖，更放入互動元素。

### (4) 多人同步創作

可多支手機對一電腦端連線，並於同一畫面進行操作。

由「Painting in the Air」可見，手機體感繪畫技術應用層之廣泛，未來勢必能拓展出更為多元之應用領域。



圖一、「Painting in the Air」系統使用情形

## 2. 相關研究

本研究兼具技術開發與應用，因此分別由文獻與實務應用來探討。

### 2.1 文獻探討

以下由穿戴式裝置的運用與操作之設計來探討。

#### ● 穿戴式輸入裝置之遠距操作

LightRing[4]指環型穿戴式輸入裝置可藉由內部的陀螺儀、紅外線距離感測器等體感偵測器擷取移動方向、手指彎曲度，再以有線的方式傳輸至後端，讓使用者得以用手指在任意物體面上移動對遠端裝置進行二維操作。此設計最大的優勢在於操作的直覺性，且裝置輕便、所需活動空間極小，然而以現實層面考量，採用此另行添購的裝置不如採用現有的手機來得便利，且本研究所開發的技術對於操作的侷限較少，無需任何平面作為操作基礎，更無距離上的限制，賦予使用者更高的自由度，此外，論操作的多元性，本技術不限於體感操作，還可搭配螢幕觸控作更多樣的輸入。

#### ● 操作之設計

Spelmezan 等人[5]將其設計的輕便裝置（Power-up Button）附加於手機側邊感應使用者的大拇指動作來增加輸入的豐富度，讓使用者在不觸碰螢幕解鎖的情況下得以大拇指向前、向後揮動與按壓等簡易、直覺的動作來跳轉手機音樂的播放等，簡化拿起手機、滑動、解鎖一連串的动作。此研究體感指令是本技術參考的一環，

在不附加任何裝置的前提下，盡可能達到同等水準之直覺性與多元性。

由Ham 等人提出的Smart Wristband[6]整合觸控面板、慣性測量單元 (Inertial measurement unit, IMU) 與 3D頭戴顯示器三者，讓使用者得運用簡單的操控方式選擇、切換顯示器內容，同時兼具體感與觸控的操作模式與本設計之構想相似，因此作為操作設計的參考，其動作與對應的呈現如下。

- (1) 手指點擊觸控面板：移動指標和選擇物件
- (2) 旋轉手腕：上下拉動搖軸
- (3) 快速旋轉手腕：切換畫面
- (4) 手指點擊面板的同時旋轉手腕：局部放大及縮小
- (5) 手指點擊面板的同時快速旋轉手腕：復原和重做

Sensor Synaesthesia[7]與本研究採行之概念相似，都是結合手機陀螺儀、三軸加速器等感測器與觸控螢幕所偵測到的資料，來增加觸控式操作的多元性，解決輸入維度不足的問題。其提出的操作應用如下：

- (1) 畫面縮放：結合觸控與陀螺儀來進行單指畫面縮放，以觸控點為縮放中心，再依傾斜角度決定縮放程度。
- (2) 鎖定畫面之旋轉：重壓螢幕來鎖定畫面之旋轉，使操作者得以在特殊姿勢（如：躺臥）瀏覽畫面，不需要做額外的設定。
- (3) 旋轉畫面：輕壓螢幕決定畫面旋轉中心，再配合陀螺儀數據旋轉畫面。
- (4) 開啟選單：選取物件時，以搖晃手機來開啟選單。

相對此研究同時運用多種感測器之輸入完成一動作，本系統不同之感測器則是對應於不同之功能，陀螺儀多運用於游標位置之運算，螢幕則運用於功能之切換，對操作者的心智負荷較小，但未來如欲擴大功能，不排除以此方式豐富輸入之指令。

### ● 回饋性

Imaginary Interfaces[8]即是針對反饋與操作進行實驗，要求受測者利用無螢幕之穿戴式裝置對虛擬二維框架內進行繪圖等動作，進而測試使用者在缺乏視覺回饋的情況下，是否能完成指定之任務，共進行三項實驗，與本研究最為相關的為「簡單的圖形與繪畫」。測試發現，絕大部分的測試者都可畫出簡單的圖形（如：U、R、D 等英文字、三角形與四方形）且可辨識。實驗者認為測試者是藉由注視手的移動來維持視覺空間的記憶 (visuospatial memory)，然而隨著筆畫增加，測試者之間的差異愈來愈明顯。由此可見，系統的視覺回饋需具備高即時性，以避免使用者在高速揮動時對視覺空間記憶所造成的負荷。

## 2.2 相關實務應用

針對市場相關的系統，此處著重於不同指令輸入作法之間的比較，由 Kinect Paint[9]、Corel Painter Freestyle[10]及 Autodesk SketchBook Mobile[11]三款市占率較高的系統來討論本研究採用之手機與 Kinect、Leap Motion、平板三者在同一情境下的成效。

### ● 前端指令讀取

Kinect Paint 為 Kinect 官方推行之應用程式，運用 Kinect 的攝影機與紅外線距離感測器擷取身體動作來進行繪畫，搭載兩種筆刷尺寸和七種顏色，可運用於 Windows 和 iPad 系統。

Corel Painter Freestyle 選用 Leap Motion 為感測裝置來進行體感繪畫，以鍵盤或不同手勢呼叫工具或選單，可持棒狀物，如筆、筷子等，輔助細微的動作，使其以最自然的姿勢作畫，支援多樣筆刷大小、筆觸與用色，且精準度高，得以完成複雜度相對高的風景畫。

以觸控為繪畫形式的 Autodesk SketchBook Mobile 手機、平板繪圖應用程式，支援筆刷大小調整、筆觸更換、選色器、圖層等功能，可應用於 iOS、Android 系統。

相對前兩者，本研究之技術的優勢在於不侷限於特定感測裝置，使用者在硬體的取得上更為容易，且安裝方便、快速，無需另行架設環境。此外，以手持裝置取代遠距偵測，不再受制於體感裝置的感測能力，得以突破距離與人數上的限制。

而與後者相較，本系統將畫布由手機、平板移至電腦螢幕，擴大繪畫操作區域，實踐多人繪畫的可行性，且開發更具互動性的功能，如音訊的錄製與播放、所繪物件的移動與反彈效果等，使應用得以擴及至有聲故事書的製作、語音教學、遊戲創作等。

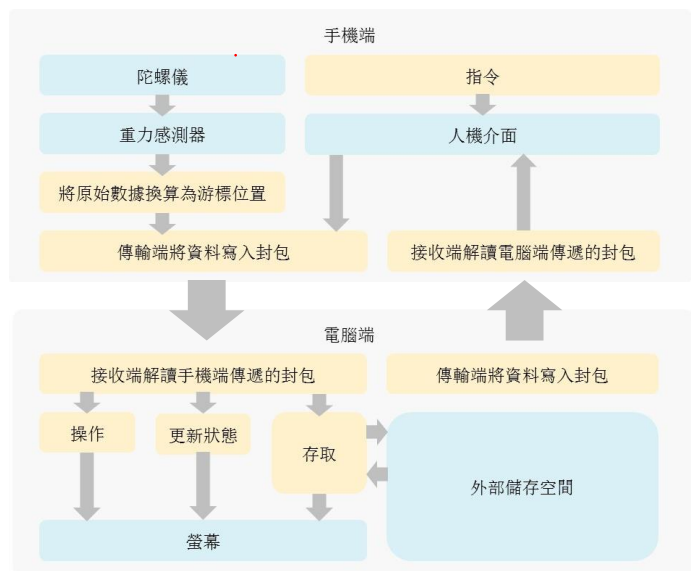
## 3. 技術架構

系統分為前端的手機與後端的電腦（圖二）。手機端以訊號之感測、解讀為主，構圖之運算和記憶體存取則交由電腦端執行，以減輕手機負荷量及電量之耗損。

電腦端：負責「訊號接受與解讀」、「構圖」及「資料運算與存取」。

手機端：負責「訊號傳送」、「感測器數據運算」及「接受使用者指令的人機介面」。

本系統的核心技術有二，一為手機與電腦端之間的網路傳輸，二為體感資訊擷取與應用。



圖二、系統架構示意圖

## 3.1 網路傳輸

主要有「建立連結」、「手機與電腦間的多媒體資料傳輸」、「手機傳送指令」、「電腦端指令解析與排程」等工作。其中手機以 UDP 封包的形式傳送指令給電腦，而電腦與手機間的多媒體資料傳輸，則是透過隨之建立的 TCP socket 來進行。

### ● UDP 網路協定與排程

為滿足操作的即時性，系統選用 UDP 網路協定，利用自訂的格式分項傳送，省去 TCP 協定繁複的確認行為，且自訂的封包格式使封包具「獨立性」，不受前後封包遺失的影響，減少對單一封包的依賴。同時將電腦端接收到的封包置入待處理的序列，藉此確保封包的解讀有一處理序，避免多人同步操作時可能發生的同時存取問題，降低封包的遺失率。

### ● 手機端與電腦端之連線

由於部分手機對 UDP 封包的接收有所限制，因此連線時是由手機端主動廣播，發出信號給區域網路內的電腦端。在電腦端開啟後，即建立一個 UDP server socket，用以不斷接收手機的註冊訊息。相對地，手機端在按下開始連線後，會發送一個含有註冊訊息的 UDP 封包，同時建立一個 TCP server。電腦在接到手機的註冊訊息後，建立該手機專屬的 TCP client socket 與手機端 TCP server 連線，回傳「電腦的 IP 位置」及「電腦分發給該手機獨有的識別序號」至手機。此後，電腦不再進行任何主動傳輸，僅單向接受傳進來的封包。

### ● 自訂獨立封包格式與多人連線

封包分為兩種格式，一為「以 0.05 秒為週期所傳輸的感測器運算結果」，一為「使用者觸發的指令」，而每個封包都附有手機的識別序號。因此在多人連線時，電腦端不需維護多 socket，僅需拆解封包再根據解讀內容做相對應的處置，不必佔用額外的資源去管理連線中的使用者，只需定期檢查各識別序號是否仍在使用中，大幅降低電腦系統的複雜度及對手機的依賴性、提升穩定性，使系統的執行獨立於使用者輸出入動作之外。

## 3.2 體感資訊擷取與應用

### ● 平移與旋轉偵測

在取決前端指令讀取裝置即發現，手機線性加速度感應器的準確度無法滿足程式需求，以致手機在偵測平移上有所困難；然而據使用性測試顯示，多數人在使用「雷射筆」時，都是以手肘為軸心來揮動，因此手機角度的變化幾乎可以精準地反映實際的揮動狀況。

### ● 絕對位置運算

由於手機內建之陀螺儀的偵測技術已普遍具有足夠的精確度，因此系統藉由陀螺儀所偵測的角速度換算為手機角度的相對變化，再取重力儀的數據和使用者進入系統的初始位置，得到手機的絕對角度，最後以三角函數求得游標在螢幕上的位置，並不斷地將運算結果傳至電腦端，使游標得以即時的移動到指定位置。

### ● 偏移校正

系統大量採集手機感測器在不同使用情境下的數據，分析出陀螺儀在高速揮動下的誤差值，導出近似的數學模型，對多數的手機進行偏移校正，以軟體修正硬體設備的缺失，使手機得以投影出正確的座標，以下為細節描述。

在系統開發測試時，發現到三個現象，第一，當橫向甩動的時候，線條會變成向上傾斜的弧線；第二，當縱向甩動的時候，線條會變成向右傾斜的弧線；第三，當來回快速橫向甩動的時候，橫線會從水平開始漸漸向右傾斜。推測可能為陀螺儀的物理干擾，導致一旋轉軸的移動影響其他旋轉軸之測量，因觀察陀螺儀數值變化發現，Z 旋轉軸的轉動會使得 X 旋轉軸產生向上的速度，且 Z 的轉動速度越快，效果越強；X 旋轉軸的轉動會使得 Z 旋轉軸產生向右的速度，X 的轉動速度越快，效果越強；Z 旋轉軸的轉動會使得 Y 旋轉軸產生向右轉的速度，Z 的轉動速度越快，效果越強。為了解決此問題，系統利用重力儀，適時更新 Y 旋轉軸的絕對位置，避免傾斜的現象產生。

### ● 振動反饋

為了模擬現實作畫的實體感，系統在使用者繪畫之時即藉由手機的振動來仿畫筆與畫布接觸時產生的摩擦力，同時彌補螢幕觸控鍵所欠缺的觸覺回饋，讓使用者得以更精確地掌握下筆與提筆之間的差異。

### ● 體感操作設計

除了基礎的移動偵測與體感反饋機制，亦有兩項功能運用到體感技術。第一，透過手機螢幕翻轉至背面再翻回的動作與陀螺儀之偵測，來切換體感與觸控繪畫模式，使切換動作更為流暢、快速。觀察發現，因功能與狀態資訊都顯示在手機螢幕上，使用者自然的操作過程中不會將手機翻至背面，因此幾乎不可能有誤觸的情況發生。第二，因應不同手機內建不同型號之陀螺儀及不同使用者的習慣，系統設計一「游標靈敏度調整」功能，讓使用者得以將游標移動調整至最適當之速度。

## 3.3 介面設計

### ● 操作介面配置

系統之功能切換都由手機端來操控，電腦端僅為顯示介面，以此配置之因素有三。第一，運用使用者對手機端為一對一的形式，將操作移植至手機端，可顯示個人操作之狀態，如：筆刷、顏色等，確保使用者的獨立性，減少多人同步操作對彼此的干擾；第二，採用使用者最為熟悉的觸控操作，可提升功能選擇之流暢度；第三，保留電腦介面的簡潔，可讓使用者的視覺更為舒適，專注於操作結果的顯示。（圖三）

### ● 手機按鍵排版設計

觀察使用者單手使用手機的手勢，發現慣用右手者通常都是以右手大拇指來觸控螢幕，且為穩定握持手機、保持大拇指自然的伸直，大拇指多落於手機螢幕上半中央至右側的位置，因此將使用頻率較高的按鍵配置於上半部右側，如復原鍵、物件新增鍵等，並將需長時間按壓來繪畫的按鍵排於上半部中央，且配合不同之手機螢幕尺寸，特別放大此按壓區，避免對螢幕較寬的使



用者造成操作上的困難，上半部左側則放置一次性的游標靈敏度調整功能與操作狀態之顯示，如筆刷、互動模式等。下半部依按鍵之功能取向，分為調色區、編輯工具區與專案區，可透過左右滑動來切換，其內功能切換之操作較為細緻，傾向使用者以左手食指來輔助點選。（圖四）

#### ● 扁平化介面設計

已有研究顯示使用者對扁平化設計的理解力高於複雜設計，因此以最純粹的顏色對比、形狀、大小或文字輔助作為指引。



圖三、電腦端介面



圖四、手機端介面

## 4. 系統功能與應用

### 4.1 功能

系統功能主要分為四大功能，如下。

#### (1) 基礎繪畫

調色、選色、更換筆刷、擦拭、填色、更換畫布、蓋印章、製作文字或圖片印章、清空畫布、觸控繪畫

#### (2) 多媒體互動

錄音、試聽、播放音訊、移動所繪物件、反彈物件

#### (3) 系統輔助

教學操作、輔助直線繪畫、復原、校正游標、調整游標靈敏度、震動反饋

#### (4) 存取分享

截圖、存取專案、取用系統應用範例、匯入 PowerPoint 檔案、檔案管理程式

## 4.2 應用層面

體感繪畫技術搭載上述功能可應用於「互動繪畫」、「親子互動與教師教學」及「簡報與討論」三大面向。

#### ● 互動繪圖

系統導入「圖案物件化」的概念，讓畫布上不同的圖案彼此獨立存在，因此使用者得以移動所繪圖案，與其他圖案進行碰撞、互動。同時，亦可錄製聲音，將音訊調入顏料中，繪製所賦予的聲音，給予繪畫者不同於以往的創作體驗。

#### ● 親子互動與教師教學

藉由聲音與物件等互動元素，家長可繪製專屬的有聲故事、小遊戲與小孩同樂，而教師亦能利用此特性，製作語音教學等互動式教材，激發兒童學習興趣。

#### ● 簡報與討論

簡報者得將PowerPoint檔匯入系統附屬的檔案管理程式，轉換為系統支援的資料格式，即可用手機預覽、切換投影片、運用既有的繪圖功能，對於簡報者而言，系統提供了更為豐富、多元的演講形式；而就討論者來說，討論者亦可透過自身手機繪製於簡報上，輔助提問與討論的進行，提升雙向溝通的流暢度。

## 5. 使用性測試

針對系統現階段的應用面向，設定幼教老師、家長及學童為目標使用者，並邀請七位幼教老師、四位家長和三位四到十歲的學童參與使用性測試（圖五）。

#### ● 四到十歲學童

##### (1) 實測結果

反應熱烈，調色和範本的效果佳，且經旁人輔導得以學會操作，其中年齡越小，越容易被吸引，但控制力也越低；反之，年齡越大，越難被吸引，卻擁有較高的控制力。家長和幼教老師一致認同，幼稚園小朋友喜歡本系統的因素有二，一是 3C 產品對小孩普遍具有極大的吸引力，二是揮動即可作畫，可輕易抓住小孩的目光。

##### (2) 疑慮

相對聲光效果強烈的電子遊戲，未必能勝出，特別是對繪畫較不感興趣者，而控制力較弱的小朋友可能因無法繪製理想圖形感到挫折，甚至放棄，且部分認為進階操作如：聲音、移動等對小朋友難度高，可能僅會使用純繪畫的部分；多數人認為需一段時間教導，小朋友才得以上手，也有受訪者持樂觀態度，肯定小朋友的學習能力，對於電子產品的運用勝於成人，可自行摸索出來。此外，部分幼教老師的教育理念為「以實體接觸取代虛擬空間」，認為過早讓小朋友接觸 3C 產品將影響視力、創造力，且小孩手太小，可能無法穩定握持手機。

#### ● 幼教老師及家長

##### (1) 實測結果

認為具新鮮感，以正面評價居多，且在介面操作上沒有困難，值得嘗試。少數欲任由小朋友自由操作，認為可打發時間且不浪費紙；多數則期望應用在教學或家長座談會上。

## (2) 疑慮

學校未必有設備支援，且部分幼教老師認為在幼兒階段應避免使用多媒體教學。



圖五、使用性測試畫面

## 6. 系統限制及未來延伸改進

### 6.1 系統限制

系統設計無針對特定硬體設備，因此效能上可能受硬體設備、環境與使用情況影響。

#### ● 跨平台之適用性

本體感繪畫技術建構之系統不限於特定之 Android 手機型號及電腦作業系統，但開發階段未有充分之資源進行全面性的測試，因此未能確保所有系統皆可達到預期成效。系統開發以 HTC One 為主要實驗機型，同步測試同為 Android 4.0 系統的 PadPhone2、Sony Xperia ZL、HTC Butterfly LTE 三款型號，電腦之作業系統則以 Windows7、Windows8、Mac 10.10 Yosemite 三者為基準，且以開啟 GPU 為佳。

#### ● 手機內建之陀螺儀、重力儀精準度及穩定性

系統之前端指令讀取裝置感測器為手機內建之陀螺儀、重力儀，對於其精準度、穩定性有一定程度的要求，視使用者標準而定。系統開發採用之陀螺儀、重力儀皆可達到理想之準確度，惟穩定性有些微差異，與硬體設計、硬體使用年齡相關，待陀螺儀、重力儀優化得更為精準、穩定，系統勢必能表現得更為完善。

#### ● 使用人數對於運行流暢度之影響

系統對於接收到的封包採取時序處理，封包數與處理時間呈正相關，因此使用人數越多，發送封包數越多，反應時間亦可能隨之增長。理論上得同時負載至少十位繪畫者，但受限於開發資源，現階段僅對三人同步繪畫進行試驗，證實系統運作仍可達到與一人繪畫相同之水準，意即不影響使用者之主觀感受。

#### ● 網路傳輸對於距離之影響

手機體感繪畫技術的操作距離取決於無線網路之傳輸速度與強度，因此不適用於訊號不佳之區域。

#### ● 過度使用對硬體的負荷

長期頻繁開關手機內建之陀螺儀、重力儀或不當甩動手機皆可能加速硬體之耗損，此亦仰賴硬體技術之發展。

### 6.2 系統應用延伸

未來將提升現行應用不足的部分，強化體感資訊的運用，如速度、深度等，逐步往三維度發展。

#### ● 系統 PowerPoint 讀取功能之強化

現階段 PowerPoint 僅以單一圖層轉為系統背景布幕圖片，應用情境較為侷限，未來欲將 PowerPoint 的物件套用進系統之物件化概念，意即直接將 PowerPoint 內的各物件解析為系統所定義的物件，使 PowerPoint 檔得以全然地應用系統互動的功能。

#### ● 引導遊戲

為提升使用者的學習速度與動力，遊戲設計以使用教學為目的，同時展現各項技術，期望使用者在遊戲娛樂中學會操作大部分的功能，如調色、更換筆刷等，並給予移動繪畫與碰撞的概念，已有初步構想。

#### ● 網頁版本

現行系統需另行下載應用程式至電腦端，未來如將電腦端移植至網頁，可提升便利性，同時加速技術之推廣。

#### ● 擬真筆觸

就現行由手機陀螺儀數據換算所得之位置，計算間距時間內使用者的揮動速度，再配合後端演算法運算，理論上可模擬其揮動之力道、筆觸，達到如潑墨般的成效。

#### ● 三維繪畫

在空中作畫提供了平面繪畫所欠缺的深度資訊，如將第三維資訊導入系統，即可實踐三維繪畫，更加突顯手機體感繪畫技術之優勢。

### 6.3 未來改進方向

未來欲改善現行之系統限制，並減輕後端運算負擔。

#### ● 跨平台之適用性

目前都以系統開發為首要目標，未全面實驗、統計不同硬體設備之可行性與其間在準確度、穩定性等效能上的差距，未來將擴大試驗，盡可能測試可取用之硬體設備，並針對其衍生之問題進行校正。

#### ● 優化電腦端之運算

系統之電腦端所佔用電腦資源的比例略高，未來將改良部分演算法，減輕電腦端運算的負荷。

## 7. 結論

本體感繪畫技術開創了一種嶄新的數位繪圖形式——「以手機為畫筆進行體感繪畫」。相對傳統以滑鼠、手指為畫筆在電腦、平板、手機或觸控繪圖板上來繪製，手機體感

繪畫技術不僅突破繪畫者與屏幕間的距離限制，亦提供共同創作的可能性，且未來導入第三維度資訊，勢必可建構出最直覺的三維繪畫系統；相對採用 Kinect、Asus Wavi Xtion、Leap Motion 等特定偵測器的體感繪畫系統，本體感繪畫技術所採用的手機取得性更高，無空間、人數及辨識率的問題，還可搭配觸控螢幕增加指令的多元性，更具優勢。

以手機體感繪畫技術為基礎所建構的多媒體互動系統「Painting in the Air」，涵蓋「基礎繪畫」、「多媒體互動」、「系統輔助」、「存取分享」四大功能，可應用於「互動繪畫」、「親子互動與教師教學」及「簡報與討論」三大面向，對於四到十歲的學童極具吸引力，家長與教師更是以正面評價居多，「Painting in the Air」不僅止於手機體感繪畫技術的推廣平台，讓更多不同的族群接觸、享受嶄新操作模式所帶來的樂趣與便利性，更展現了技術應用的廣度與彈性。

## 8. 參考文獻

- [1] Kinect, <https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- [2] Asus Wavi Xtion, <http://event.asus.com.tw/wavi/product/xtion.aspx>
- [3] Leap Motion, <https://www.leapmotion.com/>
- [4] Wolf Kienzle, Ken Hinckley, "LightRing: Always-Available 2D Input on Any Surface," UIST 2014, pp.157-160, Oct. 2014
- [5] Daniel Spelmezan, Caroline Appert, Olivier Chapuis, Emmanuel Pietriga, "Controlling Widgets with One Power-up Button," UIST 2013, pp.71-74, Oct. 2013
- [6] Jooyeun Ham, Jonggi Hong, Youngkyoon Jang, Seung Hwan Ko, Woontack Woo, "Smart Wristband: Touch-and-motion-tracking Wearable 3D Input Device for Smart Glasses," HCI 2014, pp.109-118, Jun. 2014
- [7] Ken Hinckley, Hyunyoung, "Sensor Synaesthesia: Touch in Motion, and Motion in Touch," CHI 2011, pp.801-810, May. 2011
- [8] Sean Gustafson, Daniel Bierwirth, Patrick Baudisch, "Imaginary Interfaces: Spatial Interaction with Empty Hands and without Visual Feedback," UIST 2010, pp.3-12, Oct. 2011
- [9] Kinect Paint, <https://paint.codeplex.com/>
- [10] Corel Painter Freestyle, <http://www.painterartist.com/us/pages/painter-freestyle/?pgid=14600166>
- [11] Autodesk SketchBook Mobile, <https://www.sketchbook.com/mobile>