

擴增實境技術於音樂互動學習之應用

李嘉紘 李明洸 陳秀卿 賴湘婷 黃敬玠
國立高雄第一科技大學資訊管理系 jhlee@nkfust.edu.tw

1. 摘要

近幾年來多媒體互動技術-擴增實境 (Augmented Reality; AR) 逐漸融入人類生活，例如電影「阿凡達」的效果，以及結合行動定位服務的景點資訊提供系統，有可能會改變人們生活的方式，透過擴增實境應用與互動模式的方便性與娛樂性，可增強真實世界裡的資訊顯示與互動，有效增加系統使用者的參與感和興奮感。

本論文利用以視訊為基礎的擴增實境技術，開發出木琴演奏系統(AR xylophone system)，提供給初學者練習使用，利用圖卡操作為主軸，將木琴演奏具體化、實物化來增加新鮮感，系統具備以下特色：

- (一) 使用者本身不需攜帶實體木琴，即可進行演奏。
- (二) 系統提供許多簡易樂譜，並藉由互動介面提醒使用者下一個敲打鍵的位置。
- (三) 提供錄音與重播功能，供使用者聆聽，改進敲打技巧。

為了評量所設計系統的效能，本研究針對敲打 marker 的正確性進行評估，實驗結果顯示所設計的 AR 系統在設定覆蓋參數率 0.7 的條件下，可以達到平均 97% 的高正確率，說明本系統所具備的高度效能。

研究動機與研究問題

近年來，由於資訊科技應用的範疇愈來愈廣，利用多媒體資訊科技來增加彼此的互動，已經成為一種趨勢，現今的智慧型手機如 iphone、android 手機，除了提供觸控螢幕外，其 APP 有效的結合文字、圖形、聲音、動畫與視訊的創新互動介面，具有主題導向，以使用者為中心的操作特點，提供一個創新的多媒體互動平台。透過網路，人們可以穿越空間與遠方的人互動，但螢幕中的世界缺少真實感，使人機互動變得困難。為了使用這些電腦等週邊設備，使用者會一直坐在座位上，使用者的身體被長時間閒置，健康狀況深受影響，因此一些體感和觸控功能的資訊技術也因應而生，這些技術除了讓使用介面變得更直覺化，也是為了增加我們身體的活動量。

電影「阿凡達」將電影的視覺效果重新定義，成功地吸引群眾的興趣，主要就是利用擴增實境技術，擴增實境介於「真實世界」與「虛擬世界」之間，將擴增實境結合互動多媒體，運用擴增實境能將虛擬物件融入真實的生活場景裡之特性，逐步與人類真實生活結合；可以為現今的娛樂事業、商業廣告、創意簡報與數位學習等，注入創新的泉源。

本論文結合擴增實境技術之應用，設計一個互動音樂彈奏系統，適用於各種環境，使用者不需要攜帶實體樂器，只需要使用 AR 的標記圖案(圖卡)，利用所開發的系統進

行視訊的標記辨識，即可在螢幕上模擬真實樂器，然後利用所提供的互動介面，當使用者在標記上進行彈奏，系統即可辨識此行為，發出相關的音效。在本研究中，我們設計以木琴敲打方式，作為音樂學習的平台，未來將推展到以鍵盤音樂為主的系統，例如模擬鋼琴的彈奏。

2. 文獻回顧與探討

3.1 擴增實境

擴增實境可以視為一種新的資訊科技，跳脫出傳統影像顯示方式，逐步與人類真實生活徹底結合的新科技，它可以為現今之娛樂事業、商業廣告、創意簡報、與數位學習等，注入一股創新的泉源。擴增實境介於真實世界與虛擬世界之間，如圖1所示，Paul Milgram [8]認為比較靠近「真實」端者，即「真實」的成份高於「虛擬」者，則稱之「擴增實境」(Augmented Reality)，相對而言，如果是「虛擬」之比例較高時，則稱之為「擴增虛境」(Augmented Virtuality)，如圖1所示；王燕超教授[2]認為擴增實境系統，並不只是畫面重疊顯示(Superimposition)而已，其困難是在「真」、「假」融合當中，所有呈現的訊息知識之正確性與完整概念的清晰表達程度。在這之中，所謂真實、虛擬物件定義、關連、整合架構、知識鏈之呈現表示等，彼此之間深刻地相互影響著。

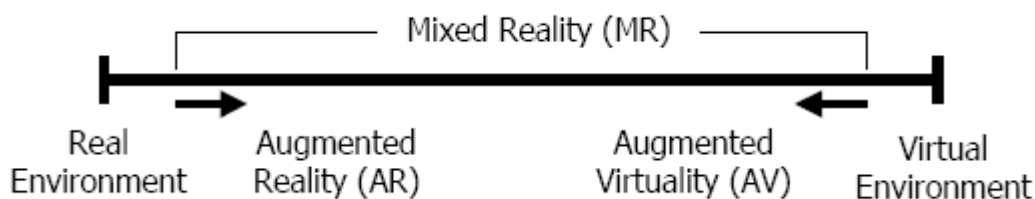


圖1 擴增實境的定義

下圖為2008年擴增實境技術年度最佳TOP 10 Demos[6]之一結合真實與虛擬世界的創意簡報展示，報告人手中所持有的板子(圖左)當作Marker，利用AR透過攝影機取樣進行Marker辨識與追蹤，然後可以在電腦螢幕上，呈現的3D效果產生圖2(中)的結果，圖2(右)是以衣服上的圖案為Marker，配合動畫，所呈現的創意簡報。



圖2 利用AR技術，結合真實與虛擬世界的創意簡報[6]。

擴增實境的使用隨著網際網路的普遍以及行動寬頻的時代來臨以及多媒體視聽設備的進步，將在未來在世界各地掀起風潮，圖3展示四個應用AR的系統展示。

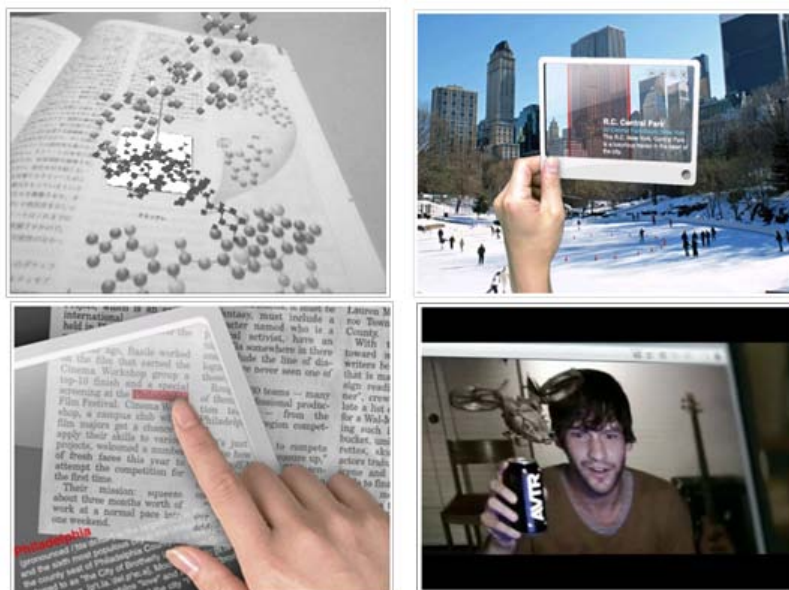


圖3 左上為化學分子的顯示，右上為戶外大樓的註解，
左下為互動式電子辭典，右下為電影阿凡達的AR Demo[10]

3.2 擴增實境的技術原理

擴充實境的追蹤技術可分成三大類：(1)基於傳感器的追蹤技術、(2)基於視覺追蹤技術和(3)混合追蹤技術。

3.2.1 基於感應器的追蹤技術

以感應器為主的追蹤技術，主要又分為磁學、聲學、慣性、光學和機械式感應器等多種偵測方法。以圖 4 為例，採用了光學感應器，將多種攝影機放置在同一個目標上(如：頭部)，使其組織可以按照身體的原則運作，運作的原則採用了以下六種，時間位移、空間掃瞄、慣性感應、機械聯繫、方位差感應與直接場影感應來進行感應及追蹤，示意圖如下。

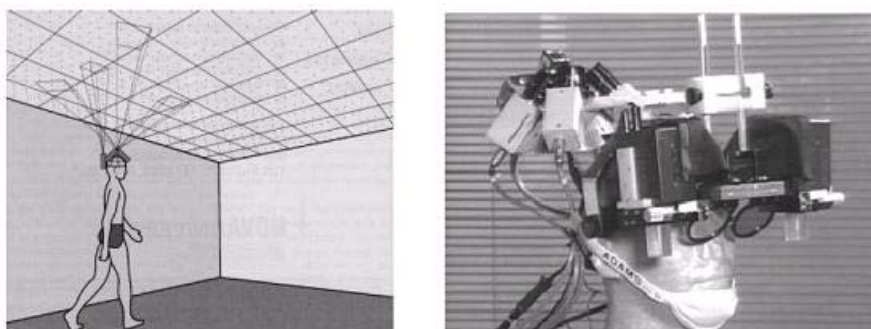


圖 4 基於感應器的擴增實境設備示意圖

不過，近年來，由於電腦與網際網路的進步與網路設備的普及化，使得以視覺為主的追蹤技術漸漸受到了重視，因為此視覺為主的技術的成本也大幅的降低。

3.2.2 基於視覺追蹤技術

視覺跟蹤技術是使用圖像處理的方法來計算，藉由透過相機或攝影機擷取目前的影像進行處理。而目前視覺追蹤技術主要以基於特徵點追蹤和基於模型追蹤為主[7]。在 AR 追蹤上，主要以特徵點追蹤為主，特徵點追蹤又分為有標記追蹤和無標記追蹤。

有標記符號(Marker)的追蹤，被廣泛的運用到擴增實境的應用上，因為擴增實境系統仰賴標誌的偵測性與高速的追蹤以及方向的評估性，而使用者只要在自己感興趣的目標或物體表面上加入一些具有代表性意義的標記符號，即可拿來做為 Augmented Reality 的識別與追蹤之用途。目前有少數幾個學者對標記符號進行比較與研究，也有人把有標記符號追蹤技術應用在遊戲、數位學習及手機應用上。在 Xiang[11]中，Xiang 比較了幾種常被用到的 Augmented Reality Marker 來進行比較，其中有 ArToolKit Marker System、HOM marker System、IGD marker system、SCR marker system 四種，如下圖所示。

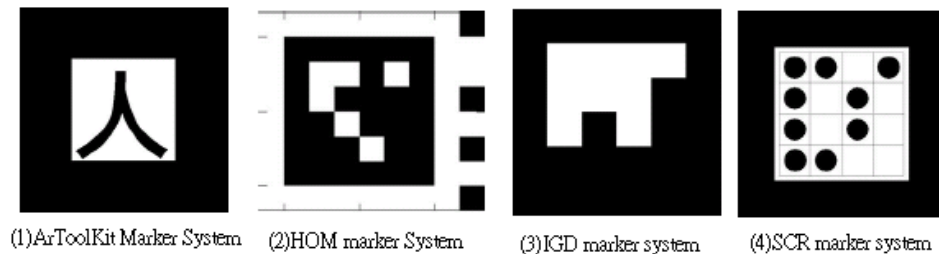


圖5 常用的擴增實境標記符號[9]

ARToolkit Marker System 主要被用在 ARToolkit 上面，而 ARToolkit 是一套用來建構擴充實境系統的開放源代碼程式庫。HOM marker System 則被用在工業文件和維護應用上面，HOM marker 曾被 Navab 等人[9]拿來做 3D 影像的重建。IGD marker system 在德國政府支持的研究項目中，用來制定擴增實境相關應用產業上(ARVIKA[4])。SCR marker system 被德國西門子公司拿來做追蹤與定位的研究上面。其中發現這四種 Marker 在可用性、效率、準確性和可信度上各有其優劣性。在王國雄[1]的研究中，把 Augmented Reality 應用在互動的遊戲系統上面，其最主要研究目的是在於讓參訪寺廟的民眾增加與古蹟即時互動及參訪時的愉悅感並傳遞文化知識，此研究擺脫以往的固有的參訪模式，參訪者可透過生動有趣的互動遊戲方式了解寺廟的古蹟文化、建築藝術之美，並加深對此寺廟的印象，在其系統架構上，以研究中的手持標記(AR Marker)為說明，參訪者使用平板電腦進入系統後，手持 Marker 用網路攝影機拍攝與虛擬角色配對的 AR Marker，藉由 ARToolKit 的影像辨識技術來進行定位，待系統辨明 Marker 後，會搜尋出虛擬角色以進行遊戲任務，並從中解說此寺廟的建築及神明典故。



圖 6 將 Augmented Reality 應用到遊戲互動[1]

歐洲索尼電腦娛樂（SCEE）倫敦工作室[5]，於 2010 年 10 月推出了一款應用於擴增實境技術的虛擬寵物遊戲（EyePet），主要是透過互動遊戲增進人們生活樂趣、紓解壓力，以及實現自我滿足需求，家長更可用遊戲解說的方式，讓兒童從遊戲中感知生物的生活方式，並促進親子關係。此遊戲是透過 PSP 專用攝像頭將遊戲附屬的 AR Marker 拍攝至 PSP 主機螢幕中，讓虛擬的寵物小猴融入現實生活，且不受場所限制，讓玩家隨心所欲的與其進行互動，遊戲展示圖如下所示。



圖 7 左為主機與遊戲畫面，右為遊戲所使用的 AR Marker[5]

喬治亞科技擴增環境實驗室與莎凡那藝術與設計學院[3]將擴增實境應用在即時互動遊戲上，開發了一套即時對戰軟體，透過手機相機將 AR Marker 攝入手機螢幕中，覆蓋於 AR Marker 上面，並產生模擬城市競賽場景，只要帶著 Marker 及手機就可以隨時隨地進行遊戲，透過遊戲可以培養遊戲者的邏輯思考和危機處理能力，也能滿足遊戲者獲勝的欲望，使遊戲產生自我滿足，其即時競賽遊戲圖展示如圖 8 所示。



圖 8 利用 Augmented Reality 應用在遊戲即時對戰上面[3]。

3. 研究方法及步驟

4.1 系統架構

本計畫所提出 AR 系統架構如圖 9 所示，我們將此系統應用在兩種木琴演奏學習的方式：第一個應用是針對個人娛樂為主，可以不用攜帶厚重的樂器，就可以享受等同樂器般的聲音而進行彈奏美妙的音樂，彷彿樂器就在身邊一樣；第二個應用是藉由電腦從資料庫中挑選或使用使用者自選音樂，讓使用者隨時音樂的旋律而伴奏，最後給予計分，促進使用者挑戰的慾望，進而培養使用者對音樂的敏銳度與興趣。系統架構圖如下所示：

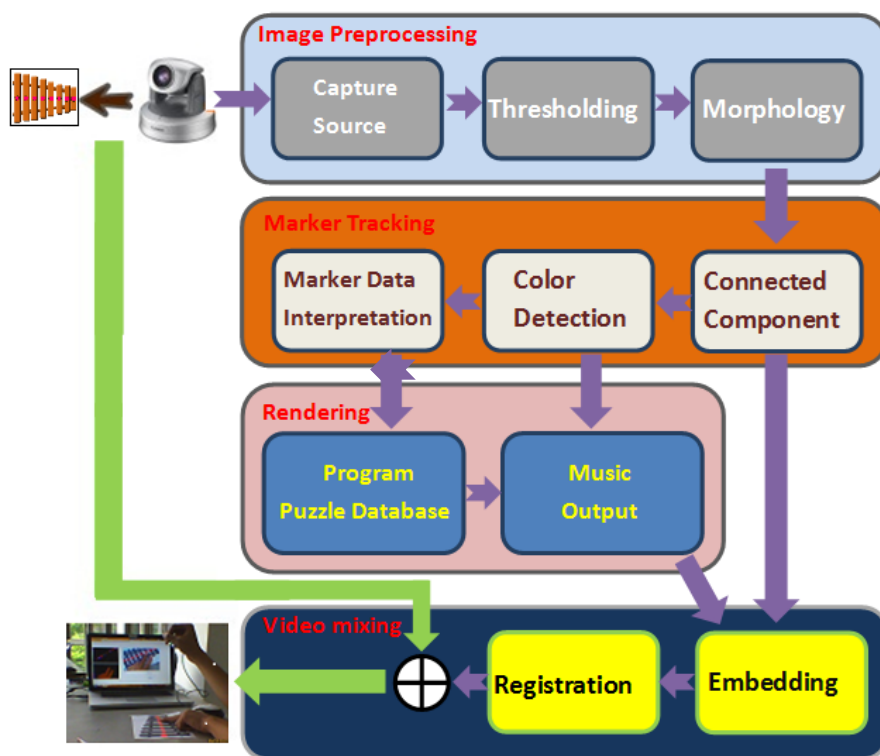


圖 9 系統架構圖。

此系統主要可以區分為影像前處理流程、標記辨識追蹤流程、以及最後在螢幕上不同圖層顯現與結合的動作。相關流程之敘述如下所示。

4.2 影像處理流程

在系統的技術架構上，由網路攝影機取得影像之後，進行影像的前處理，程序如下：

1. 壓縮影像，降低解析度，增加 webcam 讀取與處理速率(如圖 10 所示)。
2. 透過 HSV 色彩模式取門檻值(Thresholding)將影像二值化(圖 11 左圖)。
3. 影像經二值化處理及壓縮的關係，影像會容易出現雜訊，因此必須先使用侵蝕 (Erosion)、膨脹 (Dilation)、中值法 (Median Method) 進行雜訊的校正，使影像能接近原始狀態(圖 11 右圖)。
4. 利用連通成分(Connected Component)演算法為影像進行顏色標記，作為相對應音符 (Do Re Me ...)判斷的基準(圖 12)。

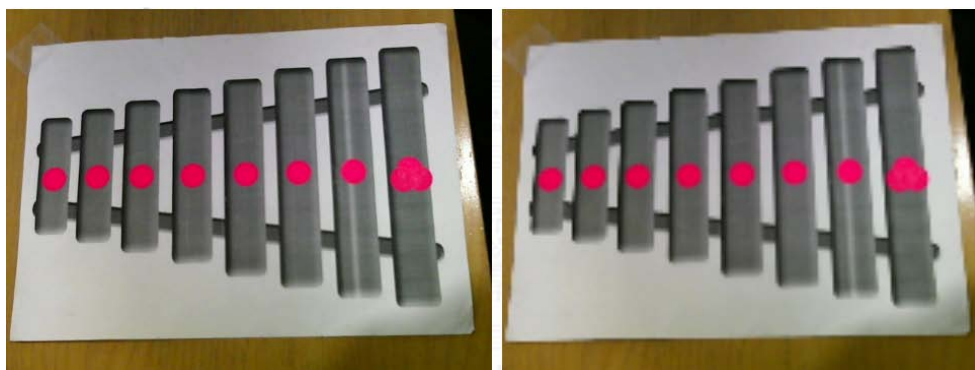


圖 10 左為壓縮前，右為壓縮後，可看出右邊的圖較為模糊，且邊緣有鋸齒狀。

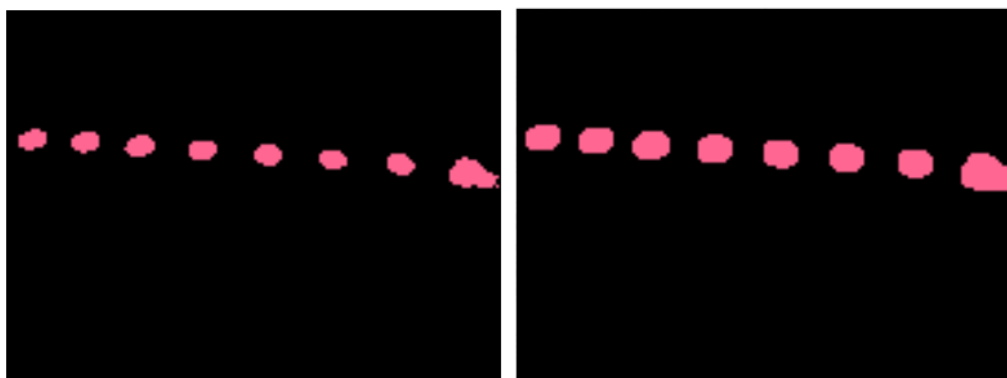


圖 11 左圖為二值化後的圖，右為去雜訊後。



圖 12 加入顏色標記於影像中。

4.3 辨識流程

當影像完成前置作業後，即可對處理過後的影像進行解讀，辨識每個標記所對應的琴鍵音，辨識的過程如下：

1. 偵測敲擊棒顏色(目前利用黃色氣球棒如圖 13 左圖)。
2. 如同處理標記卡影像，先進行二值化、去雜訊。
3. 分別對二值化後的標記卡影像與敲擊棒影像進行掃描，當標記上出現敲擊棒的顏色，即播放該位置所對應的音符(如圖 13 右圖)。

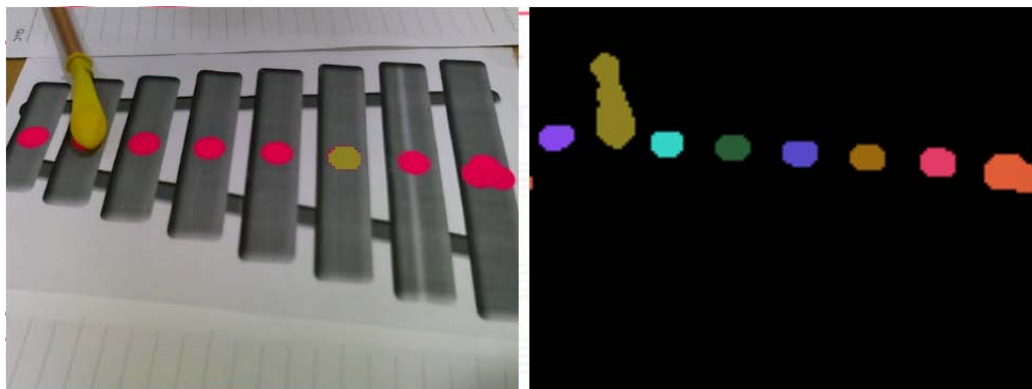


圖 13 左為影像處理前的示意圖，
右為敲擊棒偵測影像與標記卡影像之影像處理後合成圖。

最後經由視訊混合程序，將網路攝影機所擷取的影像與標記及聲音做結合，將聲音疊加到目前的電腦影像上，完成擴增實境的目的。

4.4 擴增實境所使用的影像處理功能說明

4.4.1 門檻值的決定—HSV 色彩模式

門檻值的取得是先將 RGB 色彩空間轉換為 HSV 色彩模式，其分別表示 Hue（色相）、Saturation（飽和度）、Value（色調），再從此三個屬性取門檻值。HSV 色彩模式是以色環來表示，如下圖色環上的位置，以 0-360°的數值取出色相值（H），即平常所說的顏色名稱，如紅色、黃色等。以 0-100%的數值取明度（V）及飽和度（S）即指色彩的純度，越高色彩越純，低則逐漸變灰。

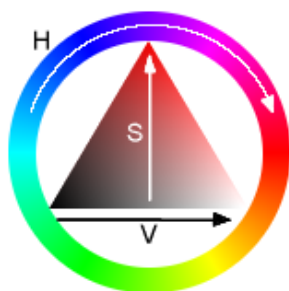


圖 14 色環示意圖。

其計算方式如下：

$$H = \begin{cases} \left(6 + \frac{G-B}{MAX-MIN}\right) \times 60^\circ, & \text{if } R = MAX \\ \left(2 + \frac{B-R}{MAX-MIN}\right) \times 60^\circ, & \text{if } G = MAX \\ \left(4 + \frac{R-G}{MAX-MIN}\right) \times 60^\circ, & \text{if } B = MAX \end{cases}$$

$$S = \frac{MAX - MIN}{MAX}$$

$$V = MAX$$
(1)

4.4.2 雜訊去除—侵蝕、膨脹、中值法

雜訊去除是利用形態學運算中的侵蝕(Erosion)與膨脹(Dilation)將背景及一些不必要的像素點濾除，如圖 15 所示。

侵蝕是消除物體影像邊界點的一種過程，使物體影像邊界往內部收縮一個像素，消除影像中相對較小的雜訊區域，而從數學上以 A 與 B 來舉例，使用 B 來侵蝕 A，記為 $A \ominus B$ 。定義如下：

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \cap \neq \emptyset\} \quad (2)$$

對於整體構成的集合 A 和 B 而言，A 被 B 侵蝕，也就是說 B 侵蝕的 A 是 B 平移 Z 之後包含在 A 中的所有點 Z 的集合。A 被 B 侵蝕是一個所有結構元素原點位置的集合，其中平移的 B 部會和 A 的背景重疊。

膨脹運算是將與影像接觸的所有背景點合併到該物體中的過程。透過此過程的所產生的結果是使影像的面積增大了相應數量的點，膨脹可以填補影像中的空洞。而在數學上的定義，是以集合運算的方式來定義，以 A 與 B 來舉例，使用 B 來膨脹 A，記為 $A \oplus B$ 。定義如下：

$$A \oplus B = \{z | (\widetilde{B})_z \cap \neq \emptyset\} \quad (3)$$

其中 $\emptyset$ 為空集合而 B 為結構元素， $\widetilde{B}$ 為 B 的映像或反射，也就是說將 B 對它的原點進行反射。A 被 B 的膨脹是所有可以使 B 的反射在平移 Z 後與 A 仍有非空交集之 x 的集合。換句話說，A 藉由 B 的膨脹是由所有結構元素的原點位置所構成的集合，其中反射和平移的 B 至少與 A 的一部份重疊，而膨脹是有交換性的，即 $A \oplus B = B \oplus A$ 。

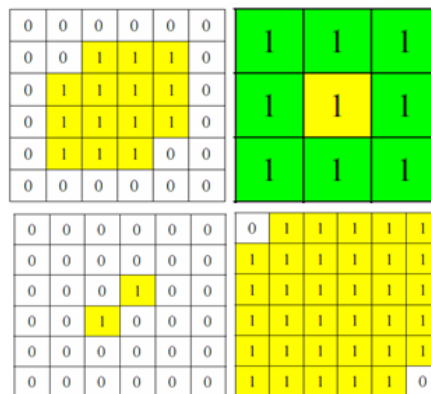


圖 15 左上為原始影像資訊，右上為遮罩範圍，
左下為影像侵蝕後資訊，右下為影像膨脹後資訊。

做完膨脹與侵蝕的二值化影像，裡面還是會有一些雜訊的情況發生，通常這些像素的數量不大且都是分散開來的點雜訊所以我們也使用中值法來去除雜訊，所使用的中值法的遮罩是 3x3 的大小。

首先把遮罩內所含蓋的像素灰階值由小到大排列，中值是指排序在中間的那一個值，此值即為中值法處理過後的輸出。其原理是在決定每一點的值之前，要對區塊內的每個亮度值排序一番，其計算量稍大於簡單的加權運算。然而以原有值取代，便不會產生影像中不曾出現過的新值，且雜訊也不會有什麼影響力。如圖 16 所示，一個 3x3 遮罩中的數字由小排到大可以得知的第五個數字是 2，所以就用 2 去取代原本遮罩中間的值，這是在用於灰階影像時的狀況。在二值化影像中，只有黑與白也就是 0 和 255，中值法的效果就是比較 3x3 遮罩中白點還是黑點多，假如白點多就用白點取代原本遮罩中間的值。

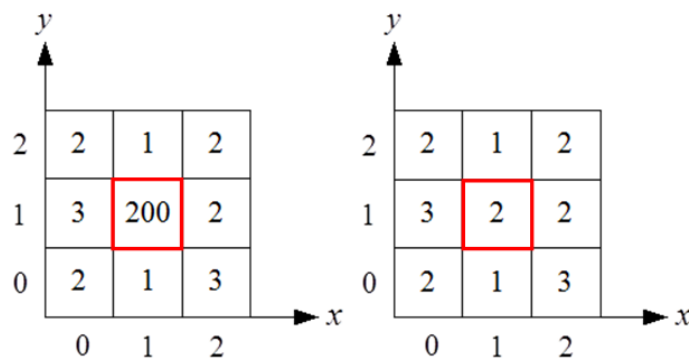


圖 16 左為原本的遮罩，右為取代後的遮罩。

4.4.3 標記圖像—連通成分

連通成分運算 (Connected Component Labeling) 是指在影像二值化後存的内容只有 0 與 1 兩種像素值，分別代表背景及不同元件之集合。利用這些資訊來判別每個像素是否屬於同一個元件，把影像中屬於同一個元件之相連像素找出。其作法為由左而右，由上而下檢查每個像素，若像素值為 1，則給予標記，此標記具有唯一性。全部標定好了之後，開始檢查標記周圍附近的像素是否也有被標定，將這些像素替換成相同標記。判斷的方式有兩種，以某像素為中心，一種是以四個連結方向判別的四連通元件(4-Connected Component)，另一種是八個連結方向判別的八連通元件(8-Connected Component)，如圖 17 所示

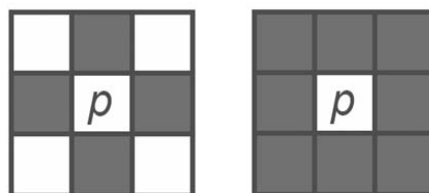


圖 17 左為四連通示意圖，右為八連通示意圖。

4.5 基於擴增實境技術之音樂學習系統設計

在設計系統的時候針對兩種方式，為了製作不同的音樂學習方式，以達到吸引使用者以及提高使用者的興趣；其中關鍵參數包括了使用標記顏色，圓圈標記周長的大小等，決定初始設定的值，便可藉由攝影機拍攝之圖片，然後進行空間座標位置的轉換，以達到在指定的空間座標呈現聲音形態。我們設計的音樂學習標記圖卡，將同時考慮方便與實用，將此應用於使用者對生活娛樂的享受、音樂的學習。對於使用者來說，若能透過紙本琴鍵來進行學習，想必能提升彈奏的真實度、樂趣與學習品質，輕鬆暢遊於擴增實境世界中。

系統操作流程設計如下：

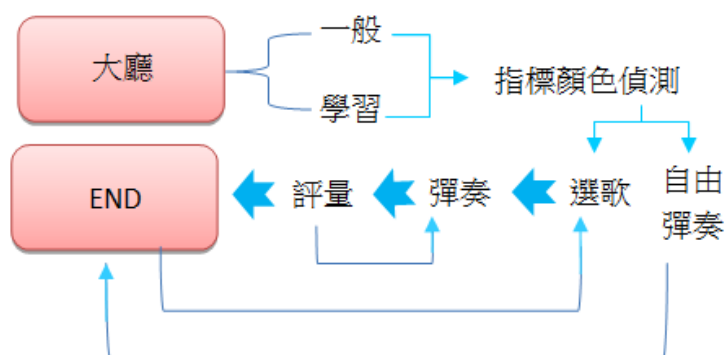


圖 18 系統操作流程。

此系統適合各個年齡層的學習內容，並配合實用與便利的樂器標記圖卡所呈現的樣子，將 AR marker 放置於平面的空間上，音樂學習平台就可以透過連接在電腦上的網路攝影機辨識到 Marker，與系統進行互動顯示於螢幕上。另一應用將強調以學習為目標的休閒娛樂活動，目前智慧型手機與平板電腦普及，推動行動裝置是目前的趨勢，使用者可不受場地的限制，不論是在何處，只要拿出樂器標記圖卡即可進行木琴彈奏學習的休閒娛樂活動。本系統將幫助大眾實際落實滿足社會變動，提供一個具有休閒娛樂與教育並重的環境，可以直接實現人本主義，滿足心理學家馬斯洛需求理論中所提出的自我實現需求，若應用於親子之間可增加親子互動關係，補足忙碌的上班族與其子女間的距離，此遊戲也能傳遞音樂的音階概念並滿足使用者學習的欲望，實現自我滿足需求。

4.6 使用裝置

本研究之軟硬體需求如下：

硬體設備：網路攝影機、標記圖卡、PC

軟體環境：Microsoft Windows7

開發工具：Silverlight5、PhotoImpact X3

5. 實驗結果

5.1 系統介面

所設計的系統是 web 基礎的設計，網站的畫面如下圖左所示，當進入系統後可以點選歌曲進行演奏。



圖 19 系統網站畫面與操作時的畫面顯示。

圖 20 為本系統實際操作的情形，只要我們用手或是棍棒將 marker 上標記的紅點遮住，系統會立即發出所遮住的對應音符的木琴聲音出來，幾乎沒有 delay 的情形，十分適合初學者或兒童來使用。

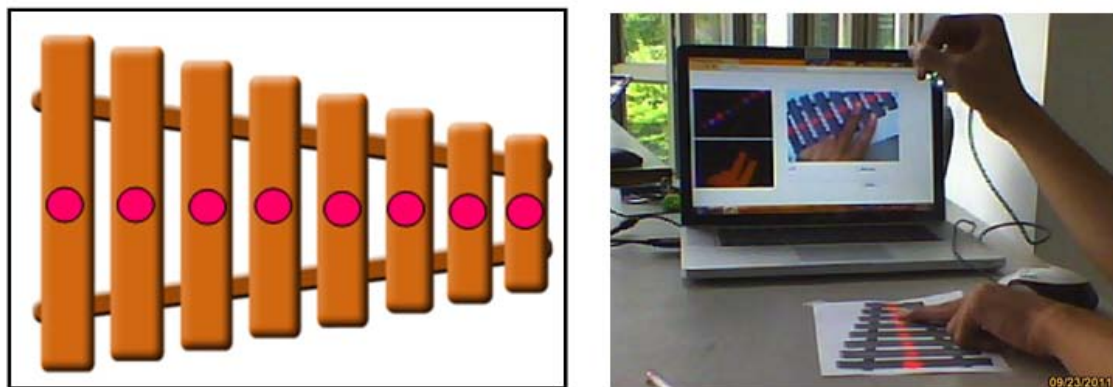


圖 20 左圖為本計畫輸出給使用者的木琴標記，右圖為系統測試實作情形。

5.2 系統準確度分析

為了說明所開發的系統的效能，我們進行光線與聲音觸發點對於 Marker 辨識正確率的測試。由於系統是以 HSV 色彩模式作為門檻值，Marker 的顏色偵測容易影響系統準確度，在此我們以明亮度作為測試依據；另外，我們也針對聲音觸發點作測試，亦即敲擊棒位於敲擊點上的覆蓋率。

由於 Marker 的預設值是在較明亮處作設定，因此在戶外或明亮的室內環境也會較

良好的讀取率，但若是在較陰暗的室內環境，由於陰影的緣故，會造成預設值受到影響，導致讀取率下降，所以建議使用者在使用此軟體前先為標記圖卡上的敲擊點和敲擊棒顏色進行重新偵測；而覆蓋率以覆蓋 30%（系統預設值）及 70% 作測試，在室內及室外的影響均不大，主要影響還是顏色的偵測，在室內光線的情況下，若覆蓋率不變，以手動偵測顏色，可以得到較佳的準確度，相反的，如果均以系統預設值進行測試，準確度會降低許多，因此建議使用系統時對 marker 進行手動偵測顏色；而在室外的情況下，以覆蓋 70% 並手動偵測 marker 顏色可以得到較好的準確度，但四種情況的準確度相距較室內而言，差距不大。分別對室內及室外光進行的系統測試結果如表一、表二。

表一：在室內燈光下：

覆蓋率：系統預設值、敲擊棒顏色：系統預設值、敲擊點顏色：系統預設值									
音階	Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si	Do+	平均值
錯誤率	5%	6%	9%	10%	10%	10%	10%	9%	8.6%
覆蓋率：系統預設值、敲擊棒顏色：系統預設值、敲擊點顏色：手動偵測									
音階	Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si	Do+	平均值
錯誤率	1%	0%	1%	0%	1%	0%	0%	2%	0.6%
覆蓋率：0.7、敲擊棒顏色：系統預設值、敲擊點顏色：系統預設值									
音階	Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si	Do+	平均值
錯誤率	4%	2%	1%	4%	3%	6%	0%	0%	3%
覆蓋率：0.7、敲擊棒顏色：系統預設值、敲擊點顏色：手動偵測									
音階	Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si	Do+	平均值
錯誤率	1%	0%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	1%

表二：在室外燈光下

覆蓋率：系統預設值、敲擊棒顏色：系統預設值、敲擊點顏色：系統預設值									
音階	Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si	Do+	平均值
錯誤率	2%	4%	0%	2%	4%	0%	2%	0%	1.75%
覆蓋率：系統預設值、敲擊棒顏色：系統預設值、敲擊點顏色：手動調整									
音階	Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si	Do+	平均值
錯誤率	2%	0%	2%	0%	0%	2%	0%	2%	1%
覆蓋率：0.7、敲擊棒顏色：系統預設值、敲擊點顏色：系統預設值									
音階	Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si	Do+	平均值
錯誤率	2%	2%	0%	0%	2%	2%	0%	4%	1.5%
覆蓋率：0.7、敲擊棒顏色：系統預設值、敲擊點顏色：手動偵測									
音階	Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si	Do+	平均值
錯誤率	2%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	2%	0.75%

5.3 系統成果與結論

本專題發展音樂學習軟體系統，可以提供使用者更為生動，有趣的遊戲內容。並能獲得下列成果：

- (1) 透過互動介面，使用者可在不需真實樂器的情況下學習樂器彈奏，老少咸宜。
- (2) 透過 Web Cam 等拍攝工具，可以讓我們了解到使用者對於實體介面設計和觸發程序的反應，有利於日後遊戲更新作業。
- (3) 建立易於使用的人機介面，可讓使用者容易操作和進行遊戲內容。
- (4) 完成擴增實境於互動學習遊戲的系統
- (5) 完成所提方法的學術論文並發表研究心得
- (6) 將所實作的 AR 應用平台系統提供給相關產業進行推廣

誌謝

本論文部分經費由國科會專題計畫 NSC 100-2218-E-327-003 以及 NSC 100-2815-C-327-024-H 所贊助，在此致謝。

參考文獻

- [1] 王國雄，民 99，輔助古蹟寺廟行動學習之多標記擴增實境遊戲的互動模式研究，大同大學工業設計學系(所)碩士論文。
- [2] 王燕超，2003「從擴增實境觀點論數位學習之創新」，空中教育學會學員論文集，第二十集。
- [3] ARhrrrr. AUGMENTED ENVIRONMENTS LAB
<http://www.augmentedenvironments.org/lab/research/handheld-ar/arhrrrr/>
- [4] ARVIKA. <http://www.arvika.de/www/index.htm>.
- [5] EyePet. http://www.eyepet.com/home.cfm?lang=en_GB
- [6] Feng Z., Henry B., Mark B. "Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR", IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008, pp.193-202.
- [7] J. P. Rolland, L. Davis and Y. Baillot., A survey of tracking technology for virtual environments, In Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, 1st ed, W. Barfield and T. Caudell, Eds. Mahwah, NJ: CRC 2001, pp. 67-112.
- [8] Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. "Augmented reality: A class of display on the reality-virtuality continuum." 1994.
- [9] N. Navab, E. Cubillo, B. Basile, J. Lockau, K. D. Kamsties, and M. Neuberger. "CyliCon: a software platform for the creation and update of virtual factories." In Proc. of the 7th IEEE Int'l. Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Barcelona, Spain 1999, pp. 459-463.
- [10] Total immersion: <http://www.t-immersion.com/>
- [11] Xiang Zhang; Fronz, S.; Navab, N. "Visual marker detection and decoding in AR systems: a comparative study." In ISMAR 2002, pp. 97 - 106.