

使用 Phantom 實現擴增實境環境下之虛擬觸控技術

黃勤鑑* 湯思涵

國立高雄第一科技大學系統資訊與控制研究所

e-mail*: chini@nkfust.edu.tw

摘要

本論文中，我們提出一套實務結合現實與虛擬觸覺感知的技術。對擴增實境(Augmented Reality, AR)而言，視覺與其互動性佔有相當的重要性，不過卻無任何觸覺感知可與之互動，而無法突破。其中最主要的原因在於場景與 3D 物件是產生在電腦螢幕中，使得擴增實境的真實性與吸引力大打折扣，無法讓使用者享受視覺的同時也有觸覺的感受。故在觸覺表現上，本研究將擴增實境所呈現 3D 物件合理有效的轉換傳遞給觸覺感知儀器，再利用其力回饋的特性，提供兩種不同介面的可能性，並產生結合互動感知。

關鍵詞：擴增實境、力回饋、觸覺裝置。

Abstract

In this study, a new technique that combines with augmented reality (AR) and haptic device technologies has been proposed. In terms of augmented reality technology, the vision and its interactions are quite importance, but the perceptions of haptic could not break through. The major reason is the scene and the 3D objects only display on a screen, such that reality and attention level down in augmented reality environment, so that the user can not engage with the sensors of vision and touch at the same time. Therefore, our research focus on the haptic behaviors of 3D objects display on augmented reality transfer to haptic device and user can receive the force feedback when touch the 3D objects. The both diverse interface possibilities and influencing our perception in this two different ways (vision and haptic).

Keywords: augmented reality, force feedback, haptic device.

1. 前言

擴增實境(Augmented Reality, AR)是一種在真實世界中融合虛擬物體的技術。近年來，擴增實境隨著電腦科技與影像技術的發展逐漸成熟，擴增實境突破虛擬實境 (Virtual Reality, VR)建構於純粹虛擬場景的限制，跨越真實與虛擬的界線，將虛擬物體融合至真實世界當中。相關的擴增實境應用也越來越多，不再只是將虛擬物件純表現於現實環境中，更多的即時互動(real-time interaction)技術，在視覺上讓使用者與之同步互動而提升其真實感，以增進使用者的趣味性，輔助各種工具的實用性。

以1994年Paul Milgram和Fumio Kishino所提出一個真實環境(real environment)至虛擬環境(virtual environment)的連續統合(Virtuality Continuum)[1]來看，如圖1所示，最左側為真實環境，而最右側為虛擬環境，介於真實環境與虛擬環境之間稱為混合實境(Mixed Reality)，靠近真實環境的稱之為擴增實境，反之，靠近虛擬環境則稱為擴增虛境 (Augmented Virtuality)。

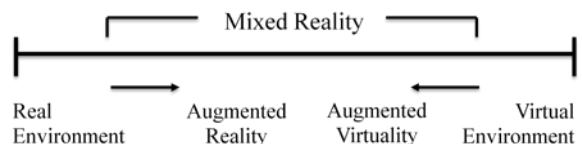


圖 1 Milgram 所提出的 virtuality continuum[1]

本文主旨是在擴增實境下透過觸覺感知儀器“Phantom”來表現，使用者在真實環境下，由攝影機(camera)拍攝後的影像與虛擬物體產生的互動感；“Phantom”觸覺感知儀器是透過類似可握式的筆，使用者握住筆後，利用裝置上的機械手臂能任意向三個軸向的自由度移動，透過內部馬達來實現回饋的虛擬觸覺力量，讓使用者有像真實碰觸的錯覺感受；操作儀器“Phantom” [2]如圖 2 所示。



圖 2 觸覺感知儀器“Phantom”

1.1 研究動機

當前擴增實境大多用於影像辨識、電子書或行動娛樂上，少部分的擴增實境使用於模擬手術開刀，但其模擬的相關研究都在於探討器官深度資訊、硬度資訊或偵測開刀器官位置等[3]。故在此研究中，將擴增實境結合了觸覺感知儀器，增加其真實感與即時的互動性，若能在擴增實境這塊領域發展觸覺，並將兩個結合起來，使得模擬出來的觸覺能配合真實環境展示出來，則必能使人類能更沉浸於建構出來的虛擬的真實世界，將來用在遊戲、醫療或教育等相關產業必有很好的效果。

1.2 研究目的

利用攝影機偵測到範圍內的標記(marker)產生虛擬物體，如圖 3 所示，並在虛擬物體中加入了不同的軟硬度讓使用者觸碰，透過觸覺感知儀器的操作，可以直接感受到虛擬物體的存在性與真實感。另一方面研究亦可與目前最受矚目的擴增實境電子書來做結合，利用觸覺感知儀器，幼童的教科書不只可以用眼睛看，也可以觸摸到由虛擬技術所產生出的立體物件，感受物體的真實感。



圖 3 擴增實境下產生的 3D 物體

2. 研究方法

為了能讓使用者在擴增實境上也能有觸覺的享受，於是在本研究中擴增實境的 ARToolKit[4] 部分內加入了觸覺感知儀器的

OpenHaptics toolkit 以達到本研究目的，這兩個 toolkit 皆在 C/C++ 下與 OpenGL 一起編寫。

2.1 實驗儀器

本實驗的實驗器材為桌上型個人電腦、觸覺感知儀器“Phantom Omni Haptic Device”、發展擴增實境的 ARToolKit 及攝影機 Logitech Portable Webcam C905。桌上型電腦配備請參考表 1，“Phantom”儀器的規格請參考表 2。

表 1 桌上型電腦配備

配備	規格
主機板	Asus P5KPL-VM-TWPC
CPU	Dual Core Intel Pentium E2180 (2000 MHz)
記憶體	4GB
顯示卡	NVIDIA GeForce 8600 GT

表 2 Phantom Omni Haptic Device 規格

特性	規格
總重	約 1.47 kg
工作空間	約 160 w × 120 h × 70 d mm
最大輸出力	3.3 N
剛性	X axis > 1.26 N/in Y axis > 2.31 N/in Z axis > 1.02 N/in
慣性	約 45 g
自由度	3 個軸向的自由度 (x, y, z)
輸入頻率	50-60 Hz
輸入電壓	100-240 VAC
輸入電流	1 A
所需介面	IEEE-1394 FireWire® port

2.2 觸覺感知儀器

觸覺感知儀器“Phantom Omni Haptic Device”是由美國“SensAble”公司所研發。SensAble 的“OpenHaptics toolkit”是一個提供程式開發者很好的函式庫，本研究為第三版，OpenHaptics toolkit 的結構主要由 QuickHaptic micro API、Haptic Device API (HDAPI)、Haptic Library API (HLAPI) 和 Phantom Device Drivers (PDD) 這幾個所組成，如圖 4。其中 HDAPI 與 HLAPI 為 OpenHaptics 較先前的版本，使用的語法較 QuickHaptics 艱難；HDAPI 提供

較低階的方式設定、存取觸覺裝置，能讓程式設計者直接實現力的表現，並且提供了方便的實用功能和除錯工具；HLAPI提供較高階的方式來實現觸覺，它允許使用OpenGL程式碼，且大大地減化觸覺及圖形的同步問題。

HDAPI 和 HLAPI 建立在 Phantom device driver 的最上端。在此論文中是同時將 HDAPI 和 HLAPI 結合使用，可一起利用他們 SDK 的優點來做本研究。

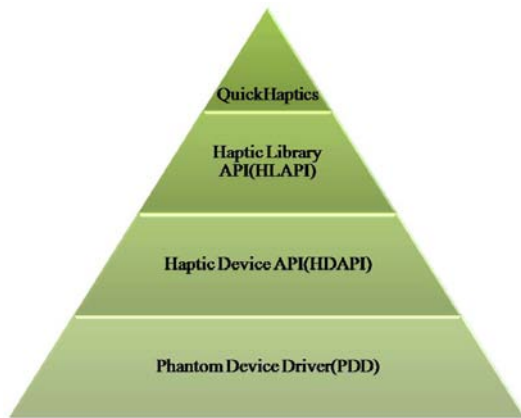


圖 4 OpenHaptics 主要構成金字塔[2]

2.3 ARToolKit

ARToolKit 是一個 C/C++ 語言編寫的函式庫，透過此函式庫可以讓程式開發人員輕鬆的編寫擴增實境應用程式。擴增實境是將電腦虛擬的影像覆蓋到真實世界畫面中，這個技術在工業、學術研究或藝術方面都存在著極大的前景。

ARToolKit 以電腦圖學計算攝影機和標記之間的相對位置(常見的幾個標記，如圖 5 所示)，使開發者能夠將他們的虛擬物件依據標記在真實環境上的相關資訊覆蓋到真實環境中，如圖 6 所示。ARToolKit 程式的流程大約如表 3。

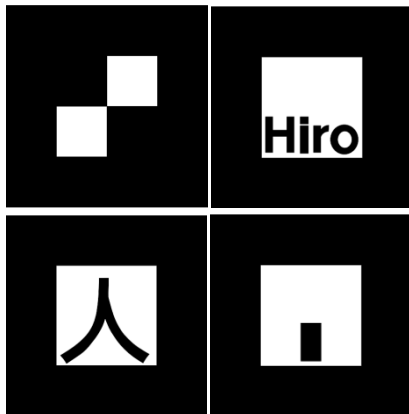


圖 5 常見的標記

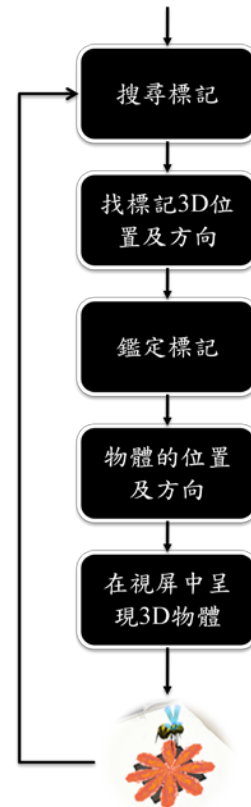


圖 6 ARToolKit 運行架構

表 3 ARToolKit function 結構

ARToolKit	Function
初始化	arVideoOpen, arParamLoad...
Callback function	Keyboard
執行 main loop	arMainLoop
偵測標記	arDetectMarker
轉移矩陣的計算	arTransMat
繪製虛擬物體	OpenGL rendering function
捕抓下一個視頻	arVideoCapNext

2.4 實驗步驟

在 ARToolKit 中實行 OpenHaptics toolkit 的方式如下：

在兩個不同的 toolkit 合併使用必須要先知道攝影機及觸覺感知儀器 Phantom 兩個的工作空間(workspace)並不相同。攝影機因為拍攝的範圍較大，所以在拍攝的過程中，其工作空間遠遠大於 Phantom 的工作空間，如圖 7；相對於攝影機，Phantom 的機械手臂能活動的範圍有限，故其工作空間範圍較小，如圖 8。如果要讓他們兩個能在同一個環境下一起執行，必

須要先將攝影機和 Phantom 的工作空間能夠互相配合，才能讓他們並行處理其座標。



圖 7 攝影機的工作空間

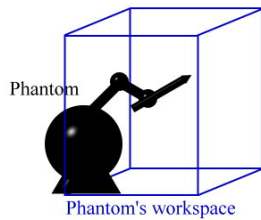


圖 8 Phantom 的工作空間

再來，則先看看攝影機、Phantom 和標記這三個各個系統座標的相對位置關係圖，如圖 9 所示。在擴增實境中，當標記旋轉或平移時，必須要使用轉移矩陣將標記的位置轉移到攝影機的相對位置[5]，使得攝影機能夠抓到標記的位置資訊，由攝影機再將拍攝到的標記和其相對位置轉換到螢幕上，將影像正確的顯示出來，3D 物體也能隨標記的移動或旋轉一起做變換。其齊次座標轉換矩陣(homogenous transformation)如(1)所示：

$$\begin{bmatrix} V_{camera} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{marker} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中， $V_{camera} = [X_{camera} \ Y_{camera} \ Z_{camera}]^T$ ， $V_{marker} = [X_{marker} \ Y_{marker} \ Z_{marker}]^T$ ， R 表示旋轉矩陣， T 則表示平移向量。在齊次座標轉換矩陣中，座標若分別對 xyz 軸旋轉，其矩陣 R 會有所不同，如(2)所示：

$$\begin{aligned} R_x &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi) & \sin(\varphi) \\ 0 & -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) \end{bmatrix} \\ R_y &= \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & 0 & -\sin(\alpha) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\alpha) & 0 & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \\ R_z &= \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

其中 R_x 、 R_y 、 R_z 分別表示為對 x 軸旋轉、對 y 軸旋轉與對 z 軸旋轉，而 φ 、 α 、 θ 為旋轉的角度。在圖 9 中 Phantom 的座標系統和攝影機的座標系統不同。在圖中很明顯的看到，Phantom 和攝影機的 x 軸與 y 軸是相反的，這會導致當我們在移動 Phantom 的握把時，螢幕上的相對位置會是不同，因此我們要對 Phantom 座標系的 z 軸旋轉 180 度，故其旋轉矩陣 R 如(3)所示：

$$R = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

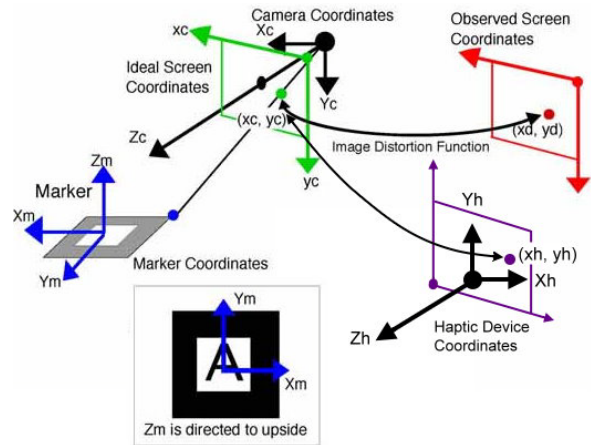


圖 9 各個座標系統的相對關係

3. 實驗結果

在擴增實境下，利用 Phantom 提供的力回饋，我們能在擴增實境中顯示的 3D 物體加入物體的剛性、摩擦力、磁力、彈性係數或阻尼係數等，使得我們設計的 3D 物體在 Phantom 的觸碰下能夠因不同 3D 物件材質而相對應表現其材質所應表現之軟硬觸感，如圖 10。

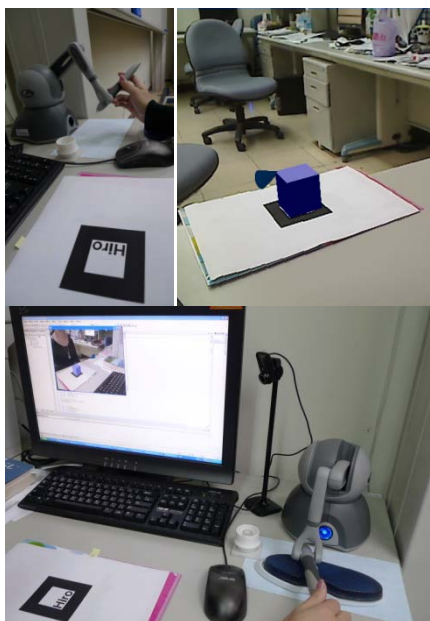


圖 10 在擴增實境中用 Phantom 碰觸的畫面

4. 結論與未來展望

由我們所設定的剛度資訊等給擴增實境的 3D 物體，使得物體在 Phantom 的觸碰下有不同的感覺。因此，在擴增實境中已不單單只有視覺的享受了，而是加入了觸覺的感受後之擴增實境，使我們使用者已經能在其中體驗更高一層的感知互動效果。

未來若能透過此研究來結合擴增實境與觸覺感知模擬出真實人體各器官部位的軟硬度，則在醫護人員訓練的模擬裝置上也能有效的幫助，在訓練時可以透過此系統來進行外科手術的訓練，方便初學者很快的上手，也能有效減少醫療資源的浪費。在遊戲產業方面，若能結合擴增實境使真實環境中出現遊戲人物與相關的 3D 物體[6]，且能透過觸覺感知儀器與遊戲做互動，即能讓玩家在玩遊戲時更能身

歷其境，而不再是透過傳統的手把震動來製造臨場感，便能使玩家更真實地感受遊戲的震撼感。在幼童的學習上，在學習中增加觸覺的感知，便更能讓幼童在真實場景中利用擴增實境呈現的 3D 物體體驗其軟硬度，學習更多的東西。

參考文獻

- [1] Milgram, P. and Kishino, F., "A taxonomy of mixed reality visual displays," *IEICE (Institute of Electronics, Information and Communication Engineers) Transactions on Information and Systems*, Special issue on Networked Reality, Dec. 1994
- [2] SensAble Technologies, <http://www.sensable.com/>, 2009.
- [3] Tsuchimoto, T. and Nikishkov, G.P., "Augmented-Reality Visualization of Tissue Stiffness Data," *Information Visualisation – BioMedical Visualisation, IEEE*, pp. 59 – 64, 2006
- [4] ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/ar/toolkit/>, 2003.
- [5] Kato, H. and Billinghurst, M., "Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system," *Proc. of 2nd Int. Workshop on Augmented Reality*, pp. 85-94, 1999.
- [6] Avery, B., Piekarski, W., Warren, J., and Thomas, B. H., "Evaluation of user satisfaction and learnability for outdoor augmented reality gaming," in *Proc. 7th Australasian User interface conference*, Hobart, Australia, vol.50, pp. 17-24, 2006.