

國立交通大學建築研究所

碩士論文

**VR CAVE 中具有存在感的空間介面**

**Spatial interface in VR CAVE : A sense of presence**



研 究 生      林慶倩  
指 導 教 授      劉育東

中華民國九十五年七月

VR CAVE 中具有存在感的空間介面  
Spatial interface in VR CAVE : A sense of presence

研 究 生	林慶倩	Student	Ching-Chien Lin
指導教授	劉育東	Advisor	Yu-Tung Liu

國立交通大學  
建築研究所  
碩士論文



A Thesis  
Submitted to Graduate Institute of Architecture  
College of Humanities and Social Sciences  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master  
in

Architecture

July 2006  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

## 中文摘要

本研究的主要目的是在 VR-CAVE 中，發展出一個具有存在感的空間介面雛形，進一步延伸讓使用者利用身體的直覺動作來瀏覽環境，透過此感知介面得到更多的存在感及回饋。目前 VR-CAVE 在建築空間的表現上多為設計的呈現，只能被動的接收視覺刺激缺少了互動的成份，使用者無法像在一般空間中一樣自由的走動及感受。因此，在 VR-CAVE 系統中缺少了一個可以互動的使用者介面，若能利用人的直覺動作來瀏覽虛擬環境，將會增加使用者的存在感。

因此，在研究中使用了人的直覺性動作來作為瀏覽空間的主要互動介面。本研究有二個步驟：第一步驟為空間介面的建置，在建置前先探討人體在實體空間中的一些直覺性動作，以人類步行的方式為基礎，實作一個感壓式踏墊。第二步驟為認知實驗與評估此空間介面及修正建置，以城市導覽為例，受測者使用三種不同的輸入裝置：3D 反光球、感壓式踏墊及數字方向鍵來做認知行為的比較，再以受測者主觀報告使用後的感受及填寫問卷和訪談來了解。

此研究發展出一個具有存在感的空間介面雛形，基於問卷的結果：使用身體的直覺性動作來與虛擬環境互動，確實能增加使用者的存在感。本研究的貢獻為藉由一個直覺式的空間互動介面來增加使用者的存在感，除了視覺之外更多了身體的感知來體驗，增進虛擬實境的功能。此城市導覽有別於傳統建築模型觀看的限制，更可以利用虛擬實境來了解建築物在使用後外觀及設備衰退的狀況，清楚的了解空間之間的關聯性及得到更多的回饋。

關鍵字：虛擬實境、存在感、互動

# Abstract

The purpose of this research is to develop a preliminary prototype of spatial interface which has more sense of presence in VR-CAVE. Make the user to using the bodily intuitive movements to navigate the virtual environment. With a percept interface, that can let the user experience more sense of presence in virtual environment. Currently, the performance of architectural space in VR-CAVE was almost created by designers. It only provide the passive receive vision stimulus can't provide sufficient interaction between users and VR-CAVE. The observers are not able to move freely or sense their body with intuition in that virtual space, just like what they can do in the physics space. Hence, there is a lack of user interface for interaction in the VR-CAVE system. We wonder if we utilize the intuitive motion of human beings to navigate the virtual environment, can we make the viewers experience stronger sense of presence.

In this research, the intuitive motion of human beings was applied as the major interface for the interaction with navigating space. This research will be divided into two steps. First, build up an spatial interface. Through this case study, it's reported that the intuitive movements of human beings in virtual environment must be like their experience in real world using the body movements to navigate the environment. Therefore, design an operation interface in CAVE environment with intuitive motions of human being. Based on the result of step one, we create a floor sensor in the four major direction. Second, evaluate the feedback of interactions between the intuitive motions and virtual environment with the result of user questionnaire. In this paper, we use a virtual city navigation as an example. Then the subjects used the three kinds of interactive interface to navigate the space. The subjects used an infrared 3D tracker, a floor sensor and a number keyboard to compare of the cognition actions. Then they filled the survey and were scored with rating scale model.

This research developed a preliminary prototype of spatial interface which has more sense of presence in VR-CAVE. Based on the result of questionnaires, the interactive interface improved by intuitive body movements exactly can enhance the sense of presence of users. The contribution of this research was tried to link the experience of human intuitive motions directly with virtual environment via an intuitive interface. This will evidently increases the users' sense of presence and creates a totally different navigating experience. We provide intuitive stimulation and feedback from perception of human body other than vision. Unlike the traditional model, which is limited by visibility, we present the digital model with three different scales so the users may clearly understand the structure of the space.

Key words: virtual reality, the sense of presence, interactivity

## 謝誌

本篇論文可以順利的完成，首先感謝指導教授劉育東老師，於兩年的研究生生涯中，給予個人及課業上的指導。感謝候君昊老師在課程上提供新的學習內容及給予的鼓勵。於論文審查與口試期間，承蒙候君昊老師、唐玄輝老師與吳匡時老師不吝撥冗閱讀，給予寶貴的建議與指導，使本論文得以修訂的更完整，於此致上衷心的感謝。

在研究的過程中，感謝曾給予幫助的學長姐和同學以及受測者的參與。最後感謝我的父母及家人給予的支持及鼓勵，在此致上最深摯的謝意。



# 目錄

<b>第一章 緒論</b>	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究問題與目的	1
1.3 研究方法與步驟	3
<b>第二章 媒材回顧</b>	5
2.1 虛擬環境與空間的關係	5
2.2 虛擬環境中的感官要素	6
2.3 虛擬環境中的存在感及其效度	7
2.4 存在感與互動的關聯	11
2.5 虛擬環境中的空間介面	13
<b>第三章 空間介面的建置</b>	16
3.1 人類行走動作的回顧	16
3.2 虛擬空間的建置	19
3.3 操控介面的設計	29
3.4 環境之基礎架構	33
<b>第四章 認知實驗與介面評估修正</b>	42
4.1 實驗計劃	42
4.2 實驗流程	43
4.3 實驗之訪談結果	45
4.4 實驗之問卷結果	47
4.5 實驗結果之分析討論	51
4.6 修正建置	56
4.7 修正後自我評估	58
<b>第五章 結論與後續研究</b>	59
5.1 結論	59
5.2 研究限制	60
5.3 研究貢獻	60
5.4 未來研究	61
<b>參考文獻</b>	62
<b>附錄：受測者問卷</b>	

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

虛擬環境是一種經由人的視覺所感知到的三度空間環境，影像的呈現由 2D 圖像轉化到 3D 的立體圖像，它提供了互動性、沉浸性與多重感官的呈現，利用其所具有的特點、構成的要素以及與使用者間的互動行為，提供觀賞者真實的沉浸感和擬真的感受。Steuer(1992)將虛擬實境定義為：涉及到人在一個環境中的感官，逼真度(vividness)及互動性(interactivity) 為產生遠距臨場感(telepresence)的重要因素，使用者產生臨場感的主要來源為身體和認知活動與虛擬環境的互動。Witmer(1998)指出，使用者在虛擬環境中的感受，常常是連結到其存在感，存在感為一個人在一個地方或環境中的主觀經驗。存在感為虛擬實境的一個主要元素，也可以看作是定義虛擬實境的一部份(Steuer, 1992)。

Schubert, Friedmann & Regenbrecht (1999)更具體的分析存在的三個主要構成要素為：空間的存在(spatial presence)、涉入(involvement)、判斷(judgement)，說明了空間中存在感大部份是由互動的行為模式形成：使用者與虛擬環境互動後所產生的存在感，在顯現的過程中會包含了空間尺寸的重新建構及在此空間中可能的行動。若使用者能直接的與虛擬環境互動則會得到較大沉浸感，且感覺到是在此環境中的一部份(Witmer and Singer, 1998)。藉此，使用者與環境互動引起更多的共識和經驗的互換，但在虛擬環境中操作是困難的，使用者在此空間中無法接觸到真實的物體，他們必須依賴真實世界中的經驗來適應和操作 (Mine, Brooks & Sequin, 1997)。因而，在虛擬環境中的互動行為、技術逐一的被討論和研究。

## 1.2 研究問題與目的

在虛擬環境中使用者透過感官的知覺產生了立體的視覺效果，在建構此環境的認知過程中，使用者若能感覺像是虛擬環境的一部份，應更能提升虛擬環境的效果。在虛擬環境中經由視覺及聽覺的感官刺激要素和過程中認知的運用，都能引起產生「在那裡」的感覺。若在經驗中有更

多的感官要素刺激和更多的認知發生，則會有更強烈存在的感受(Chan and Weng, 2005)。存在感提供了使用者不同程度的沉浸感與感官經驗(Schubert and Friedmann, 1998)。而虛擬環境的效果，也會回歸到使用者所感受到的存在感強不強烈(Witmer and Singer, 1998)。在虛擬環境的研究領域中，存在感最常為人所探討(McKinnon and North, 2004)。存在感為個人的主觀經驗感受，使用者能感受到身處於虛擬環境之中，且似乎是以直覺的方式傳達了存在的經驗，因此，存在感為虛擬實境中的一個重要概念，為了得到較好的虛擬實境效果，必須提高使用者的存在感(Schubert and Friedmann, 1998; Schuemie and Charles, 1999)。

在虛擬環境中視覺是最主要獲得資訊的方式，但仍有許多可能性來提高使用者的存在感，以達到更好的效果。在虛擬環境中設計一個容易操作的互動是最能預測存在感的產生(Stanney, et al, 1997)。且此互動是利用身體與認知過程的相互影響，便會產生存在感 (Schubert and Friedmann, 1998)。當使用者自然地與虛擬環境進行互動，便能有沉浸和涉入在此環境中的效果，感覺自身在一個模擬的環境中移動或是直接地與環境中的其它實體互動，將會增加使用者的存在感(Witmer and Singer, 1998)。



目前投影式的 VR CAVE 有下列三種：第一種 VR CAVE(CAVE Automatic Virtual Environment)，1992 年為芝加哥伊利諾州大學所開發的投影式的虛擬實境系統，主要是由前方、地下、左方、右方四片平面投影螢幕所構成，將影像交錯的投射到牆面上，使用者配戴的主動式液晶遮柵型立體眼鏡來接收影像。第二種為日本松下公司的 CyberDome 8500(Shibano et al, 2003)，改以單槍所組成的被動式 VRCAVE 系統，是一個以 19 台 PC 群所串成的一套系統，再由 18 台單槍投影將畫面投射到半球形的螢幕上，因其投射螢幕為圓弧形，需即時將影像變形調整。第三種為工研院(2002)所研發的被動式 VR CAVE，主要由三面平面的投影螢幕所構成，每面螢幕之間的夾角為 120 度，而每面螢幕的影像再由負責左右眼的投影機以背投影的方式來投射，再透過立體眼鏡來接收影像。

以上述三種 VR-CAVE 系統的應用來看，其在空間的表現上多為單一視覺的呈現，設計師利用固定路徑的動畫來導覽所設計的空間，雖然也能讓觀賞者感受到立體視覺的效果，但只是被動的接收視覺刺激卻缺少了互動的成份，觀賞者並無法像在一般空間中一樣可以自由的走動及感受，像是抬頭、低頭或有身體直覺的感受，甚至碰到物體時也會有碰撞和直覺退後的反應。目前有關虛擬環境的研究中，比較缺乏能讓觀賞者在空間中自由感受和走動的使用者介面。因此，

本研究主要目的是在 VR-CAVE 中發展出一個具有存在感的空間介面雛形，讓使用者利用身體的直覺動作來瀏覽環境，開發一個能與 VR CAVE 互動的介面，藉由此互動界面提供使用者直覺式的刺激與回饋，提升使用者在虛擬環境中的存在感。

## 1.3 研究方法與步驟

在虛擬環境中若使用者能與虛擬的身體聯想在一起，經由行走的方法與虛擬環境互動將能夠增加存在感(Slater, et al, 1995)。因此，在虛擬環境中增加了互動的空間介面，讓使用者能自然地與虛擬環境進行互動，更可藉由此輸入介面進而產生沉浸和涉入的效果 (Stanney, et al, 1997)。本研究分為二個步驟，第一步驟為空間介面的建置，第二步驟為認知實驗與介面評估修正，主要是透過一個實驗的操作經由分析及討論後藉以評估與修正建置。

### 1.3.1 空間介面的建置



在空間介面的建置中分為四個部份：A 人類行走動作的回顧，B 虛擬空間的建置，C 操控介面的設計，D 環境之基礎架構。

#### A. 人類行走動作的回顧

為了能更深入建置一個具有存在感的空間介面，在建置前必須先探討人體在虛擬空間中的一些直覺性動作，本研究以人類步行的方式為基礎分析行走時的動作，再以其所得的四個正面取向「左-右」、「前-後」及「位於中心」做為建置介面的基礎，首先對人類行走的動作進行回顧。

#### B. 虛擬空間的建置

本研究以城市導覽空間為例，在 3D 軟體中建置一個虛擬空間，藉以觀看建築物與周圍空間的關係。首先，先對數位模型製作時所需要注意的事項加以說明，再經由 3D 呈像流程中知道電腦的運算過程，進一步的分析建置數位模型的原則，包含了模型建置、貼圖、燈光及攝影機架設需注意的部份。

### C. 操控介面的設計

於操控介面的設計上先了解 3D 使用者介面的設計原則，以人類行走的動作為基礎實作一感壓式踏墊(floor sensor)，建置一個具有直覺性動作的空間介面，主要分為四個方向性—向前、向後、向左及向右，利用腳部的直覺動作來控制此環境。

### D. 環境之基礎架構

研究中所使用的硬體設備為工研院所研發的被動式 VR CAVE，在軟體上以 Director 8.5 及其網路伺服器軟體 Shockwave Multiuser Server (Multiuser) 做為主要開發工具，將此空間介面與 3D 的場景設置在 VR CAVE 中，經由 Multiuser 來連結六台 client 端電腦後，便可與使用者產生即時的互動。

## 1.3.2 認知實驗與介面評估修正



爲了要了解在 VR CAVE 中利用人的直覺性動作與虛擬環境互動是否會增加使用者的存在感，本研究步驟是以一個認知實驗來驗證當作修正的準則，透過一個實驗的操作經由分析及討論後藉以修正建置。在研究中透過 20 位受測者使用三種不同的輸入裝置來與虛擬環境互動，由不同的輸入裝置來瀏覽虛擬環境，藉以了解利用感壓式踏墊的操作是否能提升存在感，之後利用問卷和進行訪談來了解使用者所體驗的存在感和其主觀的經驗感受，其測量的方法採用評分等級法 (rating scale) (Stanney, et al, 1997)。基於實驗的結果得知感壓式踏墊對於受測者而言的確是較具有存在感的空間介面，另外，也以使用者的建議及實驗的評估為基礎來修正此建置。

## 第二章 媒材回顧

近年來數位媒材於呈現的發展上越來越著重於互動與沉浸的品質(Roussou, 2001)，而虛擬實境不同於其他媒材之處，便在於能夠讓人於觀賞與經歷上擁更多的主導能力，無論虛擬實境呈現之內容是如何被傳遞或接收，使用者扮演了一個重要的角色(Carroll et al., 2004)。而在虛擬環境中若要得到較好的效果就必須減少使用者與虛擬實境間的互動間隙(gap)。因此，在本章節中，主要回顧了虛擬環境與空間的關係及其感官要素、存在感及其效度、存在感與互動的關聯性和虛擬環境中的空間介面。

### 2.1 虛擬環境與空間的關係



對於「空間」一詞，在各領域均有不同的解釋。在去的研究中，許多合作式和溝通的環境利用空間和空間的組織概念來促進及建構出互動，因為許多方面的行為是經由環繞著實體空間中的空間元素所組織的，然後把這些行為模式轉入虛擬環境中來設計它，為了活動和互動提供相同的空間元素。對於一個場所的感受是來自於對文化或共同的了解，且經由適當的行為和互動模式來組織空間中的特點。在實體空間中，虛擬空間必須包含一些必要的特質來製造一個場所，所有對於空間的定義均是強調空間的心理屬性，其根基於人類的社會活動和文化概念，一個場所是一個經由社會互動的空間活動，以文化為基礎且對於適當行為的了解，其著重於空間和場所之間(Harrison and Dourish, 1996)。

由於虛擬技術的出現，為人類增加許多的想像空間，虛擬實境能提供立體的影像讓觀賞者感受到立體的空間，虛擬環境所呈現的空間需要具備能讓參與者進入想像空間且以互動為基礎的環境。而空間是虛擬環境中一個不可或缺的組成部份，在虛擬環境中的存在感和真實經驗並不只是一個經由空間設置而被環繞的結果，它應該還要能像處於另一個空間般，一個空間是個別的、獨特的、動態的和留在記憶中的，它與其他的空間、人們及事件有關(Champion and Dave, 2002)。因此，當人在看書或是電影時，若已能認同書中或電影中的角色時，個人便會傾向將自身放置在角色所處的地方，在此場景中經歷角色所經歷到的，夢境也是另一個例子(Witmer and Singer,

1998)。場所感的產生為供給、刺激後所製造某種狀態的過程，為個人對於場所感受的顯現。當具有適當的空間環境時，即能感覺到經由安排或接近實體後和此空間來製造一個環境的過程，且能夠支持參與者想要的活動，表達了參與者的社會和文化的概念。場所感的產生便是在空間、活動和概念三者交集之下所形成的某種知覺過程。適當的安排空間和實體環境能夠支持個人對於一個空間感受的產生，然而不適當的空間及實體環境卻會妨礙了它。除了在實體空間外，場所感在虛擬環境中也是影響存在感的一個重要特質(Kalay and Marx, 2003)。心理再現的結構需要由真實世界中的空間經驗來轉化的，藉此使用者與環境互動引起更多的共識和經驗的互換，但在虛擬環境中的操作是困難的，使用者在此空間中無法接觸到真實的物體，他們必須依賴真實世界中的經驗來適應和操作(Mine, Brooks and Sequin, 1997)。

## 2.2 虛擬環境中的感官要素

Witmer and Singer(1998)提出在虛擬環境中感知的要素：1.知覺的形式、2.環境因素、3.多形式的呈現、4.多形式資料的整合、5.活動感知的程度、6.活動的搜尋。我們大部份的資訊是來自於典型的視覺方式，視覺的資訊會增加存在感，因此，在環境中若傳遞了較大程度的感知資訊給使用者，其中包含了大量的資訊來模擬這場景與多形式的呈現，均會產生較大的存在感經驗。例如：增加一些正常的行動，像是動態的移動和本體感受的回饋，應該會增加存在感。若所傳遞的訊息與真實世界的描述相同，例如：在虛擬環境中使用者能感受到自身的移動，也能經由改變其視角來改變他所看到的，或是改變頭的位置來影響所聽到的，將會增加存在感(Witmer and Singer, 1998)。

在虛擬環境中經由視覺及聽覺的感官刺激要素和過程中認知機制的運用，都能引起產生"在那裡"的感覺。若在經驗中有更多的感官要素刺激和更多的認知發生，則會有更強烈的存在感受(Chan and Weng, 2005)。因此，存在感則提供了使用者不同程度的沉浸感與感官經驗(Schubert and Friedmann, 1998)。存在並不是一個簡單的狀況，它是一種多方面的概念，關於個人如何涉入在一個處境和環境之中，而這些涉入為不可或缺的組成要素，像是在虛擬環境中所產生的遠距臨場感(telepresence)便是其中之一。另外，一個強的感官刺激影響了沉浸的感受，而其它的要素也同樣的重要(Chan and Weng, 2005)。其要素包含了：在環境中使用了知覺刺激的組合、參與者能

與環境互動的方式、個人體驗環境的特性。因此，存在感是對環境的自然感知，而遠距臨場感為傳達在一個環境的存在經驗。使用者產生臨場感的主要來源為身體和認知活動與虛擬環境的互動。虛擬實境是一種特殊型態的空間經驗，其中包含了存在感，而存在感的浮現是當參與者在虛擬環境中能依照心裡所想的移動(Steuer, 1992)。

## 2.3 虛擬環境中的存在感及其效度

虛擬環境的效果常是以使用者經歷後所回報的存在感(sense of presence)多寡來看。關於虛擬環境中存在感的研究包含了：1 如何定義存在感，2 如何測量存在感，3 什麼是影響存在感的要素，4 存在感與展示內容之關係是什麼，5 虛擬實境是否應該被設計為具有強烈的存在感？因此，若要得到較好的虛擬環境效果，則必須提高使用者在虛擬環境裡的存在感(Stanney, et al, 1997)。下面就存在感的研究進一步說明：



### 2.3.1 虛擬環境中存在感的定義

Steuer(1992)將虛擬實境定義為：它是基於存在感和遠距臨場感(telepresence)的概念，存在感使人感覺是在一個環境裡，是由自然和間接的方法分別所產生的，但實際上卻身在另外一個環境中。存在感被認為是一個人是在實體環境中的經驗，並不是因為被他所存在的環境所圍繞，而是感受這個環境所傳達到個人心理的過程。例如：電動遊戲的玩家描述他在銀幕上駕駛一輛動態車子的經驗時，雖然他並沒有真正的駕駛，但存在的感覺卻會浮現出來，因此，存在感可以說是虛擬實境的一個主要元素，也可以看作是定義虛擬實境的一部份 (Steuer, 1992)。而虛擬環境像是訊息的結合，它發生在由電腦系統所綜合的一個空間中和在使用者的記憶中，且指出存在感是使用者所建構的一個心理模型使其自身更感覺到身處於虛擬環境之中(Regenbrecht and Schubert, 1997)。

虛擬環境透過新媒材的呈現，在此空間中能夠產生存在的感覺為其主要的目的，依照 ISPR (International Sociality for Presence Research) 對存在的定義：存在是一種心理的狀態或主觀的感知能力(subjective perception)，經由個人目前部份或全部的經驗或透過電腦的技術所產生的情境

和經驗，而這種感知的幻覺是一種能使個人直覺所相信的，在過程中部份或完全忘記媒介的存在而誤以為真(<http://lombardresearch.temple.edu/ispr/>)。對於虛擬環境來說，存在感是指一個人體驗其自身處在電腦所產生出來的虛擬環境而勝過自己身體實際所處的場地，為使用者在一個地方或環境中的主觀經驗，即使當時其身另一個地方 (Stanney, et al, 1997)。Witmer and Singe(1998)也提到：存在感為個人在一個地方或環境中的主觀的經驗，甚至是實際上身處於另一處。存在是一種正常的察覺現象，需要直接的注意力且基於知覺刺激與環境因素之間的互動，幫助使用者涉入和沉浸其中。存在感為虛擬實境中的一個重要概念，為一種主觀的經驗感受，使用者能感受到身處於虛擬環境之中，且似乎是以直覺的方式傳達了存在的經驗(Schubert and Friedmann, 1998; Schuemie and Charles, 1999)。

存在感為建構一個環境的認知過程，透過這樣的建構使用者便能體驗到存在感，感覺像是虛擬環境中的一部份。若使用者在虛擬環境中感受到存在感，便能讓使用者與真實世界分離，引出使用者真實的情感 (Regenbrecht and Schubert, 1997)。存在感為一種複雜和多面的，依其所接近的特質可以分為二種：1.在兩個概念之間的區分：存在和沉浸(immersion)。2.在內部概念的區分：空間結構和注意到存在經驗的組成，而空間結構的組成為沉浸，注意到存在經驗的組成為「涉入」，內在經驗所指的為存在的現象和發現不同的型式或組成(Schubert, Friedmann and Regenbrecht, 1999)。存在感一方面是由沉浸感和虛擬環境中的內容而來的，另一方面為刺激的呈現和心理經驗之間的描述(Schubert and Friedmann, 1998)。透過這樣的建構使用者便能體驗到存在感，感覺像是虛擬環境中的一部份，使用者描述他是在「那裏」透過實際的刺激能在行為和情感上產生效果(Regenbrecht and Schubert, 1997)。

### 2.3.2 測量虛擬環境中使用者存在感的效度

存在的感覺是虛擬實境中一個重要的元素，因此，虛擬環境的有效程度可以利用存在感的問卷和沉浸感的問卷來測量個人在虛擬環境中的存在感(Witmer and Singer, 1998)。存在的現象在虛擬環境中是一種心理學研究，其主要的目的是為了幫助虛擬實境在硬體和軟體上的設計，進一步改善虛擬環境的應用，因此，需要了解存在是什麼、如何才能讓它形成、如何能測量它。而存在感是一種心理學的測量，測量什麼比較真實及什麼比較不真實(Schubert and Friedmann, 1998)。

存在感的測量在虛擬環境中是重要的，它能夠決定對使用者而言此系統是不是有效果，且多少比率的使用者會受到影響。存在感的測量應該要能被重複和容易察覺的連結到虛擬環境中其可被測量的特徵。需要了解存在感或許只是對於情況的了解或情感而已，且只能量測出有多少的程度或並未達到。一般在虛擬環境中的測量存在感的方法有二種：主觀的報告和客觀的測量。主觀的測量是由使用者事後主觀的報告，它是一種配對比較的方法，使用者在兩個虛擬環境中那一個對使用者有較強的存在感。另一個為客觀的測量依照使用者所回報的經驗，測量使用者其聽覺、視覺和自體感官系統生理上的適應程度，有系統的測量方法和利用技術或是適當的方法來測量虛擬環境的效果將會更容易的觀察到結果(Stanney, et al, 1997)。

Insko(2003)提出三種方法來評估存在感：主觀的測量、行為的測量和生理的測量。主觀的測量：主要依賴受測者敘述存在的感覺，之後再利用問卷的方式回答問題，依照受測者主觀認定的沉浸或投入的程度來選擇。行為的測量：為受測者在過程中對於虛擬實境內容的物體或事件所表現的反應，作為客觀的標準，例一個虛擬的物體丟向使用者的頭，他會閃躲、伸手等動作。生理的測量：藉由直接測量受測者的生理反應，如測量心跳、體溫、呼吸，以避免主觀的偏見。



### 2.3.3 影響存在感的要素

在虛擬環境中存在感為重要的，而在過去的研究中均有指出什麼樣的元素會影響存在感，為了進一步的了解存在感，對於影響存在感的要素做一綜合整理，可分為以下六點：

#### 1.個人主觀的經驗感受

使用者在虛擬環境中的有效程度常常是連結到在此環境中的存在感，存在感為一個人在一個地方或環境中的主觀經驗。存在感指的是在一個虛擬環境中的感覺，且在一個認知的架框中被分析(Witmer and Singer, 1998)。存在感的三個主要構成要素為：空間的存在(spatial presence)、涉入(invovement)、真實的判斷(judgement of realness)，經由分析顯示在空間中存在感大部份的是由固定的行為模式形成的：與虛擬環境的互動、對動態的了解、動態意思的感知(Schubert and Friedmann, 1998)。因此，存在感更可以說是個人在空間中主觀的經驗感受，若提供了更多的感覺輸入，則感受到更多的存在感(Chan and Weng, 2005)。

## 2. 涉入與沉浸

在虛擬環境中所有的應用都企圖去產生更大的存在感，因為存在的經驗能使結果或是模擬的應用更加的自然、沉浸、直接和更真實，不但更有效果而且是有樂趣的 (Nunez and Blake, 2001)。影響存在感的兩個重要因素為：涉入(involvement)及沉浸(immersion)，兩者對於存在的經驗都是必要的，但兩者中若有其中之一便能讓使用者感受到存在感。涉入指的是一種心理學的體驗狀態，當一個人的精神專注把注意力放在一連續的刺激上或有意義的活動與事件上，因此，當使用者把注意力集中在虛擬環境的刺激時，便能更加的涉入在虛擬環境的體驗增加存在感(Stanney, et al, 1997)。沉浸是一種心理狀態經由個人感知被圍繞、包含其中和與環境互動，其持續地提供了刺激和體驗。影響沉浸的因素包括了由實體空間的隔離、感知個人身處其中的虛擬環境、互動與控制，經由自然的方式和自身行動的感知(Witmer and Singer, 1998)。

## 3. 注意力

人類在實體空間中經歷了很多不同程度的存在感，虛擬實境便是一種典型的「注意力」分離，在實體世界和記憶的心理世界，當使用者集中更多的注意力在虛擬環境的刺激上，會變得更涉入在虛擬環境的經驗中，也會增加存在感。涉入的多少將取決於使用者受到多少的活動和事件的吸引且能持續的讓人注意(Witmer and Singer, 1998)。如何讓使用者把注意力集中在虛擬實境上，大部份還是藉由使用者能融入虛擬環境的程度和體驗到多少的存在感來看。而選擇性的注意力是一種天性，會把注意力集中在有意義及特別有趣的資訊上，體驗存在感需要把注意力集中在有意義且連續的刺激物上，連續性的刺激便能讓使用者很容易的將注意力集中(Stanney, et al, 1997)。在虛擬環境中的存在感是依靠注意力由實體環境改變到虛擬環境，但並不是完全的取代現實環境裡的注意力，若增加注意的分配將會有更高的存在感。另外，該如何明確的讓使用者把注意力集中在虛擬實境上，絕大部份還是藉由他們能涉入虛擬實境有多深，以及有多少主觀的存在感能被體驗與回報(Witmer and Singer, 1998)。

## 4. 身體動作

存在為一種具體化的認知，存在感的形成是由心理的呈現而來，當使用者的身體動作跟虛擬環境中的動作可能一樣時，則會感受到存在感(Schubert, Friedmann and Regenbrecht, 1999)。存在為一種被體現的認知，在虛擬環境中若身體的動作為可能時，存在感的形成在於身體動作時心理所呈現的感覺，在虛擬環境中移動身體或肢體時，存在的感覺將會被增大(Mine, Brooks and Sequin, 1997)。使用者與虛擬環境的互動時，利用身體互動且與認知過程的相互影響，便會產生

存在感。在使用者心中顯現的過程中包含了空間尺寸的重新建構及在此空間中可能的行動，若能利用身體或身體的一部份當作輸入裝置來與虛擬實境互動，則能得到更多的存在感(Schubert and Friedmann, 1998)。

### 5. 場景內容的呈現

研究存在感的概念需要三個部份：傳達的技術、內容及參加者的反應。在虛擬環境中若提供不同場景的呈現，則存在的感覺會受到場景內容的呈現、個人的特質及個人對於此場景了解和經驗的影響 (Chan and Weng, 2005)。戲劇性內容的呈現對於空間中的存在感是有高影響力的，因此，有意義空間的感知提供了存在感的經驗(Schubert and Friedmann, 1998)。而影響逼真度的為知覺的廣度及深度，逼真度與技術的能力有關聯，由此來產生一個知覺豐富的環境 (Steuer, 1992)。

### 6. 控制

在虛擬環境中影響存在感的控制因素包含了：容易操作的互動、使用者的控制、生動的呈現、使用時間的長度、社會因素、系統因素，且即時的互動最能引發存在感的產生(Stanney, et al, 1997)。另外，Witmer and Singer (1998)也提出了虛擬環境中控制的要素：控制的程度、立即的控制、預期的事物、控制的形式、物理環境的可變性(Physical environmental modifiability)，若使用者在虛擬實境中有越多的控制行為便會體驗到更多的存在感。

## 2.4 存在感與互動的關聯

### 2.4.1 逼真度與互動性

爲了要得到較好的虛擬實境效果，必須提高使用者的存在感(Schubert and Friedmann, 1998)。在虛擬環境中逼真度(vividness)及互動性(interactivity) 爲產生遠距臨場感(telepresence)的重要影響因素，此涉及到人在一個環境中所接收到的感官刺激(Steuer, 1992)。存在感是可以察覺到的，當使用者與虛擬環境互動時，像看到能抓取的虛擬物件或對虛擬的峭壁產生恐懼時，便會感覺到自己是真的處在虛擬的環境裡(Schubert and Friedmann, 1998)。互動性則與程度有關，使用者能

即時的影響此環境的形式或內容，影響互動的三個要素為：速度(speed)、範圍(range)、配對(mapping)。速度與使用者所輸入的訊息能被此環境所接受的比率有關，範圍與可能的活動數量有關，配對則以自然和可預測的方式來控制使用者在環境中的變與系統的能力有關 (Steuer, 1992)。

### 2.4.2 沉浸與互動性

很多的研究者也認為存在感和互動之間是有關聯的，認為在虛擬環境中存在是必要的要素。在一個互動系統中，使用者的操作能即時的透過媒材來呈現或經驗的形式或內容，互動媒材的五個要點為：媒介對於使用者輸入的接受和反應的程度、透過媒材的呈現或經驗的特質其能夠被使用者所改變的程度、每一個特質可被改變的程度、使用者的輸入類型與媒介反應的類型為相當的程度、媒介反應使用者輸入的程度(Schuemie and Charles, 1999)。如何在虛擬環境中操作得自然和它的互動方式有多接近所模擬的操作經驗，均會影響有多少存在感的反應。因此，涉入和沉浸為必要的存在經驗，且互動的程度決定了反應多少的存在感(Chan and Weng, 2005)。而沉浸為一種心理狀態，使用者感知到自己被環繞、包圍在環境之中，並與此提供刺激和經驗的環境發生互動(Stanney, et al, 1997)。當使用者自然地與虛擬環境進行互動，經由虛擬環境的刺激便能有沉浸和涉入的效果，會更加的沉浸在此環境中，感覺自身在一個模擬的環境中移動或是直接地與環境中其它的實體互動，將會增加一個人的存在感(Witmer and Singer, 1998)。

### 2.4.3 以身體為互動的要素

使用者經由互動後心理的重現及其結果決定了多少的虛擬環境被體驗。虛擬環境是經由心理行為模式的表現和有存在經驗的，當這些可能的行動被包含和感知時，便能在虛擬環境中去引導和移動參與者的身體(Schubert and Friedmann, 1998)。當使用者感知到從實體環境中區隔出來時便能增加沉浸感，包含了使用者能使用直覺自然的方式來進行互動行為與控制，且能察覺到自身移動的存在感(Stanney, et al, 1997)。因此，若能夠直接的與虛擬環境互動則會得到較大沉浸感，且感覺到是此環境中的一部份(Witmer and Singer, 1998)。在虛擬環境中互動要素的探究和可預測性的虛擬環境動力對空間中的存在感最有影響，這控制或互動行為是以身體或身體的一部份來與虛擬環境互動時，則能提高使用者的存在感 (Schubert and Friedmann, 1998)。當使用者在

虛擬環境中有更多的控制行爲，則可以感受到更多的存在感。了解虛擬實境和存在感之間的關係後，若要得到較好的虛擬實境效果則必須增加使用者與虛擬實境間的互動行爲(Stanney, et al, 1997)。

## 2.5 虛擬環境中的空間介面

### 2.5.1 一般的輸入裝置

輸入設備所提供的向度(DOF)是重要的特性之一，利用此單一的方法讓身體能在空間中移動，一個追蹤的裝置一般擷取到三個方向和三個定位的值共六個向度。另一個輸入設備的特性爲輸入的型式和它所產生資料的頻率。基於使用者的動作所產生的資料，其組成是單一的值或是連續的資料數值，單一的資料數值通常是改變應用的方法，像是改變一個 3D 模型程式在桌面上畫的方式，或是指出使用者想要做的一個動作像是導覽的技術，而連續的資料數值在於回應使用者的動作，並不太注意使用者想要做的是什麼 (Bowman et al, 2004)。一般而言，以互動爲主的輸入設備包含了電腦上的 2D 介面與鍵盤、滑鼠，以及在 VR CAVE 中的 3D 介面，如 3D 定位器(tracker)、數據手套(data glove)、力回饋肢臂(force feedback arm)等，以下分別介紹這些輸入設備：

#### 1. 鍵盤

鍵盤是傳統的桌上輸入裝置中典型的例子，它是由一組分離式的按鈕所組成的。一般多使用在桌上型 3D 應用從立體模型到電腦遊戲。例如：在第一人稱的射擊遊戲中方向鍵常是作爲簡單漫遊(travel)技術的輸入裝置。但是當使用在更沉浸的 3D 環境中並不實用，當使用者穿戴一個頭戴式顯示器(HMDs)或是在環繞式的環境中，因爲一般的使用者都是以站立的方式，並不適合再用手持一個輸入裝置來互動。

#### 2. 滑鼠及搖桿

在傳統的 2D 輸入作業中，滑鼠是最常被使用的裝置且有很多種的變化。搖桿則是和滑鼠或壓力板(pen-based tablets)相似，它是由一個可連續設定 2D 位置和一組按鈕或開關所組成。搖桿和滑鼠最大的不同在於只要滑鼠一停止螢幕上的游標就停止，而搖桿則是持續地往它所指的方向移動，若要停止則必須轉回空檔的位置，很多電視遊樂機使用不同的搖桿設計來控制他們的遊戲。

### 3. 3D 定位器

在很多的 3D 應用中，3D 定位器對使用者介面是很重要的，在三度空間中它提供有關使用者或實際物體位置的資訊。例如：應用時需要使用者頭的位置和定位，而位移視差(full motion parallax)和立體深度(stereoscopic depth)的訊息能包含其中。在大部份的應用中使用者不用再傳遞信號，資訊能夠自動地傳送到 3D 應用系統中。

### 4. 數據手套(data glove)

在虛擬環境中，使用者能夠透過使用手套來操作動作，數據手套上裝配著感應器，用光纖連接著電腦，戴上它後可用真實的手去控制虛擬的手的動作，它能夠測知手指頭的彎曲程度或是二指之間的觸碰關係，且提供使用者所輸入的資料。另外，當使用者介面需要使用者手指彎曲的資訊時，虛擬的手會相對應到實體的手且能夠被使用。

### 5. 力回饋肢臂

利用一支如機械手臂的裝置，透過手臂的彎曲、旋轉計算出位置，其精確度也最高。其具有地心引力、碰觸、抓取等功能，有如人在真實世界中抓取物體一樣，有重量、厚度等感覺，但因為它是固定在實體的空間中，所以會有限制。另外像是力回饋手套和力回饋方向盤也常使用在電腦遊戲和飛行模擬中。



## 2.5.2 以身體為互動的輸入裝置

在電腦或遊戲的輸入裝置上，從鍵盤滑鼠的操控到利用雙手來進行互動外，更有利用身體或身體的一部份來操控的互動裝置，利用這樣的方式當作輸入裝置的控制稱為身體輸入裝置 (bodily input device)，除了利用視覺來感受虛擬世界外，更多了其他的感官來加強在虛擬世界中的知覺，進而增進使用者在虛擬環境裡的存在感。Mokka(2003)利用身體為操作介面的健身電腦遊戲 (Fitness Computer Game with a Bodily User Interface) 研究案及 Strömberg(2002)在互動虛擬空間裡遊玩的群體遊戲 (A Group Game Played in Interactive Virtual Space)，都是利用身體使用者介面 (bodily user interface) 當作輸入裝置。利用身體為操作介面的健身電腦遊戲 (Mokka, et al, 2003) 主要是將運動及電腦遊戲結合在一起以創造出更沉浸及更刺激的訓練環境，為了是要改善以往單調的健身運動所帶給使用者無聊及無趣感。整個系統包括了：訓練用的腳踏車、電腦、喇叭

以及用來投影的大型螢幕。研究中使用者的存在感是非常重要的，因為他們想要讓使用者玩這個遊戲的同時能感到愉快且能融入顯示螢幕所顯示的風景，並且感覺到是在參觀當地的風景。但存在感在虛擬環境裡通常是需要直覺的操控裝置才能被突顯；而利用身體的自然移動來控制遊戲這樣似乎能增加遊戲者的存在感。



圖 2-1：Fitness Computer Game with a Bodily User Interface (Mokka, 2003)

在互動虛擬空間裡遊玩的群體遊戲(Strömberg, Väättänen, Rätty, 2002)主要是利用一種新的使用者介面來操控電腦遊戲。因為在研究中發現以往的電腦遊戲都是一個人獨自遊玩或是上網加入其他人的遊戲，且遊戲介面通常都只包含電腦、鍵盤、滑鼠及搖桿等，更進一步的有力回饋方向盤或搖桿，但人類的知覺感官與身體自然移動都只被少量的運用在這些使用者介面上。更進一步的虛擬實境遊戲嘗試著要將使用者介面透明化或消失，通常還是必須帶著特別的裝置。而使用身體或是空間的使用者介面主要目的，是希望能比以往更多樣化的利用人類的知覺感知與移動。因此，此研究的目的是減少真實環境與互動虛擬環境之間的界限，爲了是要增加使用者存在的感覺。他們創造了一種新的體驗與玩電腦遊戲的方式，利用玩家自然的身體移動來操控遊戲，並與其他玩家產生互動。研究最後的結果說明了利用這樣的方式讓玩家們更能沉浸在虛擬環境當中，並且在遊戲中與其他玩家一起互動的過程讓他們更沉浸在遊戲裡。



圖 2-2：A group game played in interactive virtual space (Strömberg, 2002)

## 第三章 空間介面的建置

由之前的回顧中指出存在感在虛擬實境中是一個重要的特點，爲了要得到較好的虛擬實境效果，必須提高使用者的存在感(Schubert and Friedmann, 1998)。且在虛擬環境中若使用者能夠與虛擬的身體聯想在一起，經由行走的方法與虛擬環境互動將能夠增加存在感(Slater, et al, 1995)。因此，在虛擬環境中增加了互動的空間介面，讓使用者自然地與虛擬環境進行互動，更可藉由此輸入裝置進而產生沉浸和涉入的效果 (Stanney, et al, 1997)。本研究的目的主要是爲了開發一個能與 VR CAVE 互動的介面，以提升使用者在虛擬環境中的存在感。研究共分爲二個步驟，第一步驟爲空間介面的建置，爲了能更深入建置一個具有存在感的空間介面，有必要在建置前先探討人體在虛擬空間中的一些直覺性動作，以人類步行的方式爲基礎分析行走時的動作，再以其所得的四個正面取向「左-右」、「前-後」以及「位於中心」，對人類行走的動作進行回顧。之後在 3D 軟體中建置一個虛擬空間及實作一個感壓式踏墊(floor sensor)，將此空間介面與 3D 的場景設置在 VR CAVE 中，經由 Multiuser 來連結六台 client 端電腦後，便可與使用者產生即時的互動。第二步驟爲認知實驗與介面評估修正。

Mine, Brooks & Sequin(1997)指出使用者與環境互動能引起更多的共識和經驗的互換，由於使用者在虛擬環境中無法接觸到真實的物體，他們必須依賴真實世界中的經驗來適應和操作。Schubert & Friedmann(1998)也說明了在虛擬世界中使用者利用身體或身體的一部份來進行瀏覽爲可能的行爲時，存在感便會產生。Mokka(2003)更進一步的說明，此互動的行爲需要直覺式的操控更能夠突顯。Chan and Weng(2005)指出在虛擬環境中涉入和沉浸爲必要的存在經驗，且互動的程度決定了反應多少的存在感。上述四篇文章中均提出直覺性動作能夠增加存在感，但並無指出直覺性動作的細節，而無法了解爲何種動作。因此，探討人體在虛擬環境中的一些直覺性動作時，本研究以人類步行的方式爲基礎分析行走時的動作，以作爲空間介面設計時的依據。

### 3.1 人類行走動作的回顧

在人的認知中實體空間是源於身體，並以身體作爲空間中的符號系統，來判斷四周的邊界以及

上下左右的方位感，空間的存在於人體、想像力與環境的互動之中(Bloomer & Moore, 1977)。在實體空間中，人類對於自我在於空間中的感受來自於對實體環境的認知(Montes, 1992)，其中包括了二個要素 1 實體環境、2 人類本身透過感官知覺的感知來意識到自己存在於空間之中。以身體的認知來說，人類透過五種基本感覺來探索空間中的資訊，這些感覺是一系列的知覺系統，其分類的方式來自人對環境進行互動時搜尋資訊的類型，包括視覺系統、聽覺系統、味嗅覺系統、觸覺系統以及基本取向系統，這五種系統藉著不同的方式搜尋到不同的資訊，在實體空間身體理論探討中，最受討論的是觸覺系統及基本取向系統，因為它們直接涉及三度空間的概念，其中「基本取向系統」所指的為人體對於空間相對位置的感覺，使我們以身體的正面方向衝擊其他知覺的刺激，並涉及身體的平衡(Bloomer & Moore, 1977)。

人類對於在實體空間中的感知可以用人體意象理論加以解釋，其基本原則在於人類無意識的把自己的身體置於一個三度空間的邊界之內，且將自己置於空間的中心。在這個理論中，三度空間的邊界是不穩定的，而且被視為人體的延伸，延伸的範圍則依照人類的心理效應以及對空間的知覺程度，而隨著一些人體的向外接觸動作，這個邊界也會隨之往外擴大。對於空間方位(soatial orientation)的認知是建立空間概念最重要的因素，方位即是個人所在的方向及位置，它是一種維持前進方向的能力，在前進過程中依其相對關係，進而分辨出目前所在的位置，因此，人能將現在的位置與欲前往的方向做一粗略的連結，所以在瀏覽空間時，空間概念上的方位認知與建構過程極為重要(Arthur & Passini, 1992)。

人在行走時也以正面取向為主以正面來面對刺激來源，觀察人類走路的姿勢特性，當人類站立不動時重心是位於中央的，而抬起其中一隻腳時，神經將會反射性的命令肌肉將本身的重心移動到站著的另一隻腳上，接下來抬起的腳落地重心回到人身中央，然後繼續重複之前的動作，這種行走的方式稱為靜態步行(Statically Stable Walking)，在行走時重心保持於單腳支撐或二腳掌間，以維持身體平衡。而人類之所以可以平穩地直立行走，是因為體內靈敏的平衡器官可以精確地判斷出身體重心的改變量，透過小腦的即時反應，然後利用腿部的肌肉即時出力來平衡傾倒的態勢。所以當人類的身體前傾時，這種不自主的反應會促使人類伸出其中的一隻腳往前踩來平衡身體，所以透過這種前傾、往前踏腳、前傾、往前踏腳的動作循環，即構成了「步行」這種動作(kamen, 2001)。另外，分析人體走路時的特性，有以下幾點：可以適應崎嶇不平的路面、步伐的不一致性、腳步的計劃，其中便說明了人類的行走過程是有計劃的，我們往往在走這一步的同時，也決定了下兩到三步的腳步位置，所以不常有走錯的情形發生。觀察一般步行

時，我們可分為支撐腳及跨步腳，當一腳跨步離地時，重心則維持在支撐腳之上負責保持平衡，而能跨步向前(圖 3-1)。

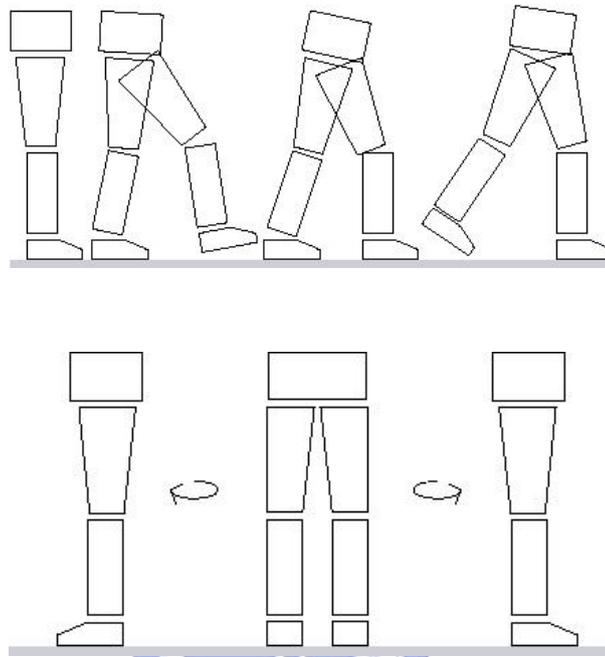


圖 3-1：人類行走及向左、右轉的動作

過去的研究指出儘管有許多虛擬環境與真實環境間的差異，但無論環境是真實或虛擬其實對我們而言導引的方式都是一樣的，因此可推論虛擬環境的設計原則主要是以真實世界的導引研究為基礎(Darken & Sibert, 1996)。除了身體的內、外知覺外，由人體基本的正面取向感，即當我們感受到視覺、聽覺、觸覺和嗅覺的刺激時，便會轉身以我們的正面來面對刺激來源，可以發展出一系列「上-下」、「左-右」、「前-後」以及「位於中心」的感覺(圖 3-2)，首先辨識出身體在空間內的中心性，由此產生出用以辨識空間的能力，而面部、頭部的表情則作為重要的信息，隱喻著身體感受到的空間形式。人類身體的運動行為與空間發生對話，所有人類的動作都追溯著複雜的空間形狀，但仍受到人造環境所限制 (Bloomer & Moore, 1977)。

人體走路時，主要是以人體的中心朝向 Z 軸的正向移動，是一個順向性往前的直線運動方式，因此，可以發展出直向及橫向的二個方向。另外，以許多運動來看，像是網球就有其基本的腳步像是直行、後退、側併步，都與行走時的方向有關。透過此觀察說明了，在虛擬環境中人的直覺性動作必須與實體空間中的經驗一樣且利用人的身體動作來瀏覽環境，人在瀏覽一個空間

時，人的肢體語言的直覺動作包括了頭部的上、下、左、右及腳部的向前、向後、向左、向右。因此，人在空間中瀏覽時，其動作不止是在原地的觀看還會有肢體實際的向前進、後退及向左、向右。因此，得知人在行走時的直覺性動作為向前、向後、向左、向右。

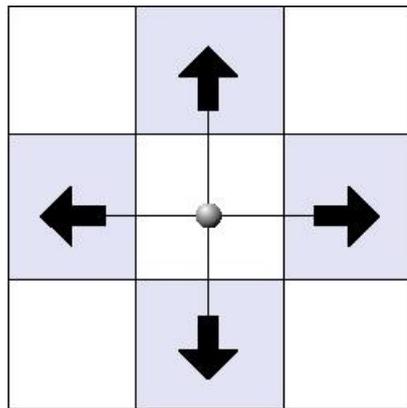


圖 3-2：人行走時的方向

### 3.2 虛擬空間的建置



一般在觀看建築的實體模型時，觀者大多是由俯視的方式來觀看實體模型的外觀與基地之間的關係，卻無法利用人與建築的正常尺度來觀看。而人實際在空間中瀏覽時，是可以由室外走進室內來觀看，但卻無法以俯視的方式來觀看此建築與整個基地之間的關係。因此，本研究以城市空間為例來建置數位模型，藉以觀看建築物與周圍空間的關係。

在 VR CAVE 中有二種呈現立體虛擬影像的方式，一是經由影片拍攝或電腦動畫的製作，以傳統的方式事先將檔案算好，再以播動畫的方式呈現（例：虛擬長安），形成一段有立體感的影片；而另一種以即時運算的方式來呈現虛擬環境，將 3D 模型檔輸入至 VR CAVE 的平台中，依使用者所操作的視角來即時產生的場景，讓使用者可以在虛擬環境中任意的走動或改變其觀看的角度，而這樣即時的顯示環境基於電腦硬體顯示卡及記憶體資源與效能，需要以較低面數的場景模型來製作，以降低即時顯示時視覺上的流暢及停頓問題。比較二種動畫最大的不同為場景中的面數(polygonal)和材質貼圖檔案的大小，在製作預播動畫時，對於場景及模型的要求均是以精細度與逼真度為主，但在即時的虛擬實境中考慮的則是場景中的模型面數與材質的檔案大小，

若模型的面數少、材質檔案小，視覺流暢性會相對比較好，但影像品質就會有所犧牲，因此，在即時的虛擬實境場景製作中，必須就視覺的流暢性與影像品質達到一個平衡，以低面數的模型呈現具精細模型的影像品質(圖 3-3)。

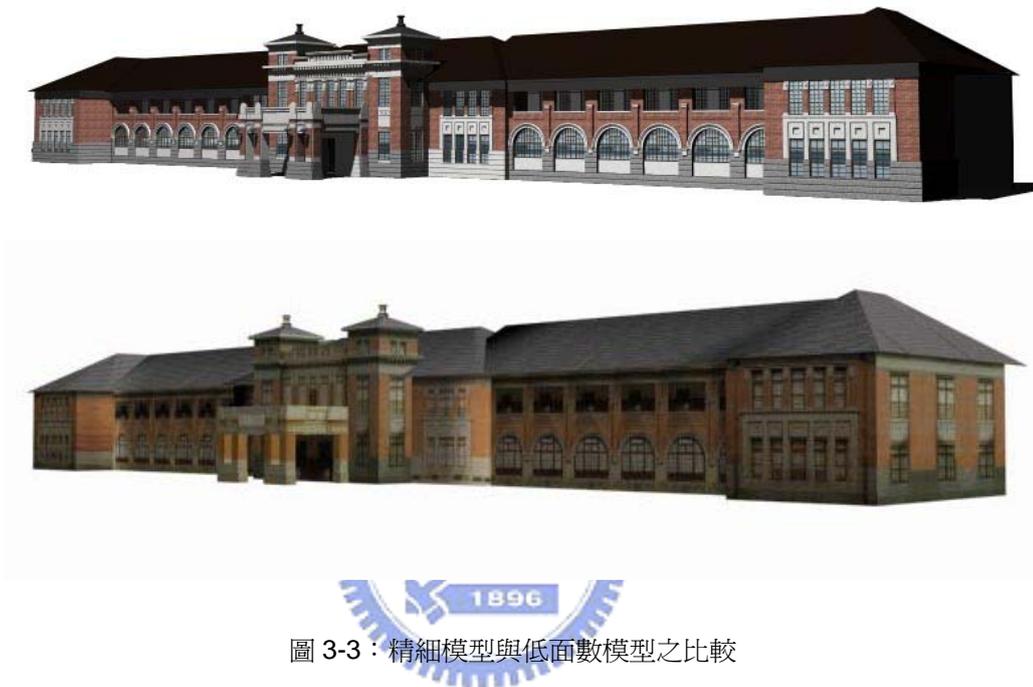


圖 3-3：精細模型與低面數模型之比較

目前，個人電腦的 3D 顯示效能對於即時運算仍有些限制，而即時互動(real-time interaction)的原則是在操控螢幕中的場景時沒有任何的停滯時間，另外畫面呈現的視角也能依使用者的決定即時的轉換，在 3D 軟體中建置數位模型時，在模型、貼圖及燈光上若能遵循一些原則，將能提升即時運算的效能。因此，必須先了解 3D 呈像的流程以製作最適當的 3D 模型，在建置場景時先將數位城市中的建築物減面成低面數的數位模型，另外，所使用的材質貼圖檔案也需縮小成較小的貼圖檔，對於燈光數量也會影響效能，而攝影機的架設則是模擬人眼的雙眼視差，之後再將其輸出到 VR CAVE 的平台中，且電腦的處理器及 3D 加速卡也有較高的運算效能，如此才能以較順暢的品質呈現，以下為虛擬空間建置流程之說明。

### 3.2.1. 3D 呈像流程

從開啓 3D 檔案到畫面顯示在螢幕上，電腦與 3D 加速卡之間的運作，在 3D 呈像流程中大致可分為：A.幾何運算階段(Geometry Stage)與 B.著色貼圖處理階段(Rendering Pipeline) (圖 3-4)。

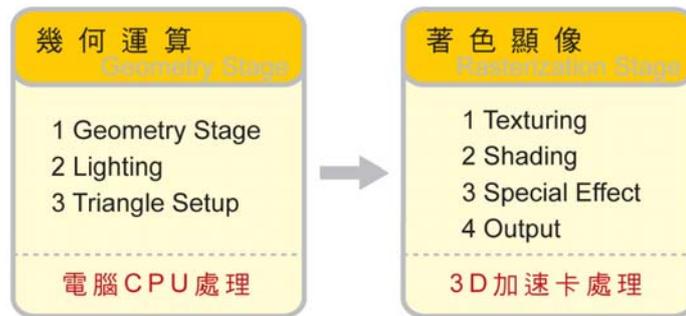


圖 3-4：3D 呈像流程

#### A. 幾何運算階段 (Geometry Stage)

目前 3D 運算的方式在幾何運算階段(Geometry Stage) 主要是由 CPU 處理器來進行，其負責 3D 物件的平移、放大縮小、旋轉等，因為電腦並無法直接解讀 3D 物件，透過 API 應用程式介面 (Application Programming Interface)將 3D 中的實體物件以多邊形的方式來轉換，依多邊形三個點 (Vertex)的 X、Y、Z 軸的座標來標示每一端點的所在位置，X 軸代表長，Y 軸代表高，Z 軸代表深度，因為 3D 模型由三角面來組成，當模型在平移、旋轉時每一個點的座標都會不停的轉換，所以，幾何運算將物件三角面及燈光的屬性經過計算後迅速轉換為 3D 的幾何運算資料，所產生出來的座標資料與光源明亮運算結果傳送到 3D 加速卡，然後再轉為螢幕可接收輸出的訊號顯示在螢幕上。

#### B. 著色貼圖處理階段(Rendering Pipeline)

幾何運算處理後會將 3D 物件變化的座標數值顯示出來，輸出 CPU 運算完的模型資料到 3D 加速卡進行著色、貼圖(Texturing)、明暗(Shading)與特效(Special Effect)。3D 加速卡經過一連串複雜的運算，將多邊形上的顏色資料經過定義、分辨、尋找材質、將平面材質轉換為立體影像(圖 3-5)。為了讓此立體空間能更具有真實感，場景中也需要運用光影效果，而光源的參數在幾何運算的中已計算完成，3D 加速卡依光源及其強度來運算，便可將光源的效果運用出來。



圖 3-5：3D 模型貼圖

### 3.2.2. 3D 軟體中建置數位模型的原則

在 3D 軟體中建置數位模型時，對於模型建置、貼圖及燈光若能遵循一些原則，將能提升即時運算的效能，以下分別說明：

- A. 模型建置：利用 3D 軟體來建置數位模型，將精緻模型減面以多邊形的模式建置。
- B. 模型貼圖：在模型上利用共面貼圖的方式來做貼圖的處理。
- C. 燈光：將光影效果重新彩繪變成貼圖的材質檔。
- D. 攝影機架設方式：模擬人類的視覺來架設所需的攝影機。

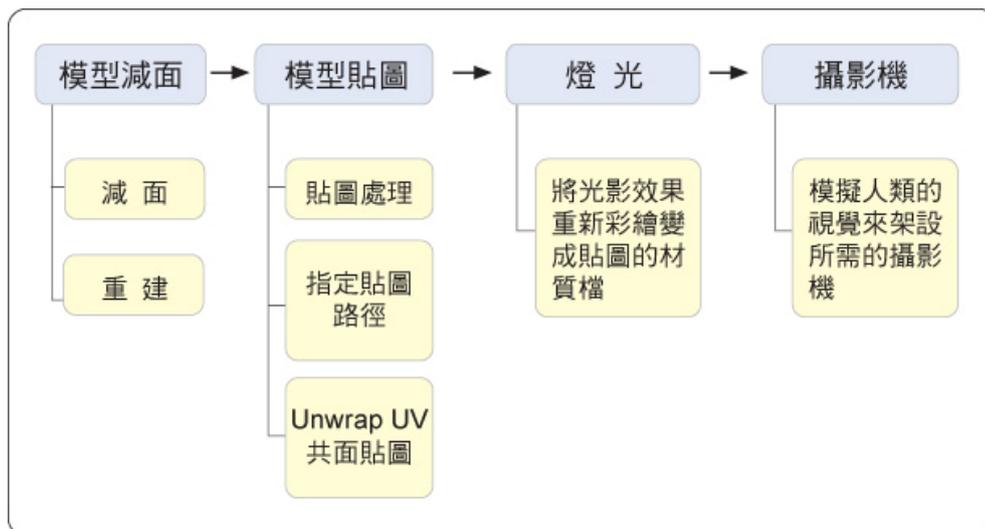


圖 3-6：在 3D 軟體中建置數位模型

### A. 模型建置

在建置數位模型時以多邊形的模式(polygon)來建模，多邊形的數量愈多其模型也愈精細，多邊形是以點(point)來構成線(line)再由線來構成面(plane)，多邊形的面主要以三角面(triangles)及四角面 (quadrilateral)來構成，每一個三角形都與其他的相連且在空間中都具不同的角度。以目前的硬體設備而言仍是以三角面的運算方式來處理 3D 模型，無論是 NURB 或是次分割曲面(subdivision)在運算時都會先轉換成多邊型的模型以三角面(triangulate)的方式來進行轉換及模擬，透過電腦的運算將三度空間的模型描述或定義，而多邊形的數量將會影響到電腦處理這個模型的速度，因此，在一個場景中的三角面數目若能控制在最佳化的數目，即盡可能保持模型的原狀而減少多邊形的總面數，將會有效提升顯示的效能。

在本研究中比較了二種模型的面數，精細模型的原本的面數為 109576 面，但經過減面後為 804 面(圖 3-7)，在 3D 軟體中降低精細模型的面數(polygons)，以利在即時的虛擬環境中呈現，經過減面後的模型將可大大的提升即時模擬運算的效率。另外在製作減面時，若先考慮到貼圖的重複性，便可以先進行一些線段的分割，觀察模型是否具有對稱性，如果有則只需建立一半另一半利用複製就可以，不僅可以降低模型面數也可減少貼圖的檔案，達到即時運算的最佳狀況。

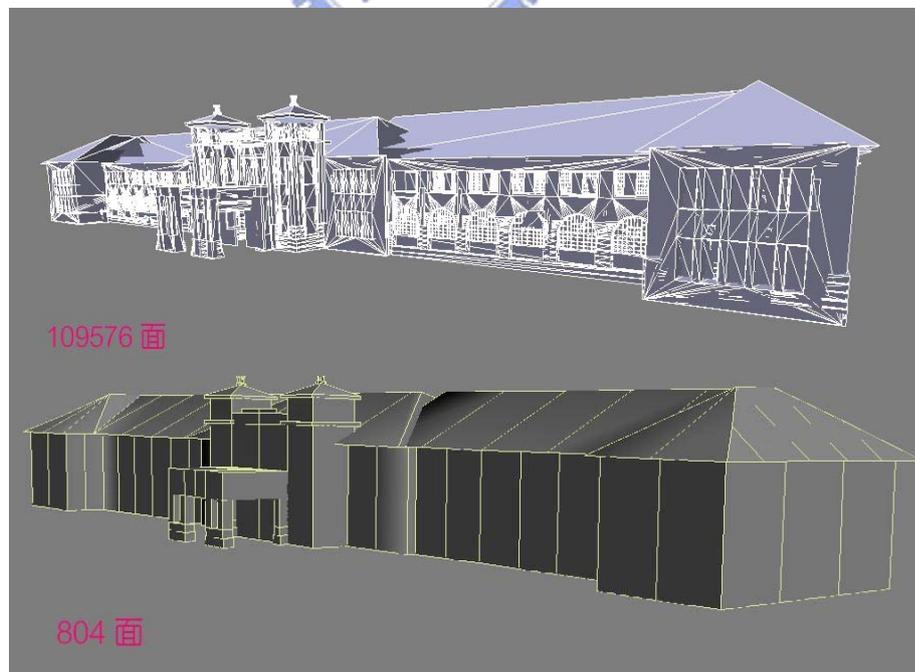


圖 3-7：模型的面數由原本的 109576 面減為 804 面

## B. 模型貼圖

本研究中所使用的材質是經由直接拍攝實體建築物而來，拍照時最好要讓每個畫面盡可能與建築立面垂直，再將數張現場實景拍攝的相片，透過影像軟體 photoshop 將原先的透視圖加此處理，經過影像的修正後取得每棟建築物之正立面。觀察建築立面的對稱性與其分佈，進而針對每一張照片加以裁切，將這些正立面適當地安排在 512x512 pixels 的單一圖面上(圖 3-8)。

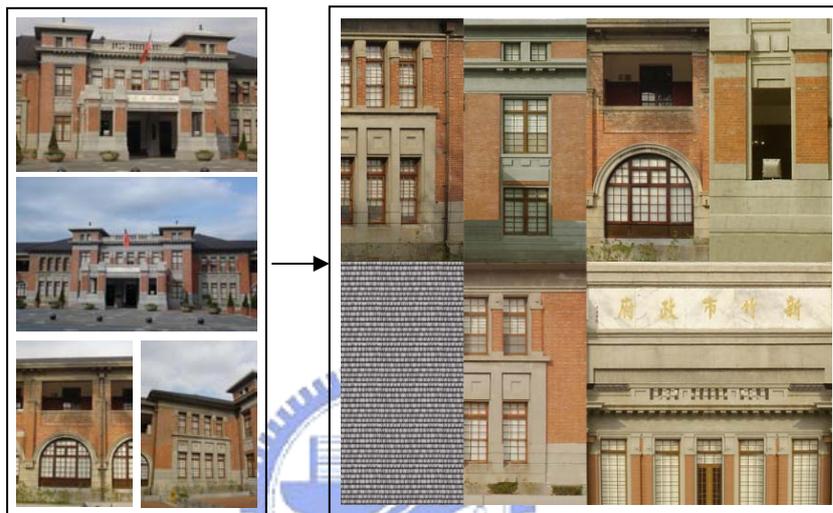


圖 3-8：將正立面適當地安排至 512x512 pixels 的圖上

3D 模型利用表面材質貼圖的方式將 2D 的圖像應用在模型的表面，一張 2D 的圖像是以 X、Y 來定義像素的位置，而模型表面上也需要分成和材質影像裡一樣的矩形區域，這參數定義為 U、V。接著指定模型上 U、V 的位置，選取場景中的多邊形模型後，利用 Unwrap UVW 共面貼圖的方式，以拆 UV(unwrap) 的方式將材質貼至低面數的模型上，以 2D 材質影像 XY 的位置對應在 3D 模型上 UV 表面空間的矩形區域，在模型上選取所欲貼圖的面，將所指定的貼圖以四方連續的方式在視窗內展開(圖 3-9)，將所欲貼圖的面的四個點移至相對應的材質位置上，再以同樣的方式將模型其他的面依序貼至相對應的材質上，同樣的材質處可重複使用，如此便可降低材質檔案的大小，達到最好的即時呈像效果。另外，基於電腦硬體顯示卡記憶體資源與效能，材質貼圖的影像其邊長以 2 的 n 次方為設定基礎，如 32\*32、256\*256 等，如果一張材質檔過大將無法順暢的由記憶體載入到 3D 加速卡中必須要分次處理，如此便會影響 3D 的效能。

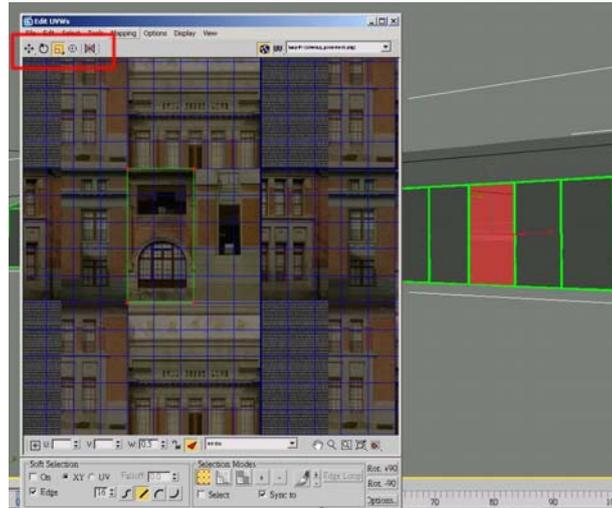


圖 3-9：將模型上的 UV 線移至相對應的材質位置上

在模型算圖後比較精細模型與減面後的模型貼圖，場景中面數(polygonal)的降低和材質貼圖檔案的縮小，將大大的提升即時顯示效果及視覺的流暢性，達到以低面數的模型呈現精細模型的影像品質。一般而言，整個場景的 polygon 面數最好是維持在 10000~15000 面之間，貼圖檔案以不超過 10mb 為最佳。而在模型減面後其細部的結構主要是以貼圖來呈現，如窗戶，屋瓦等。

### C. 燈光

在一個 3D 的場景中光和影子能產生豐富的情緒效果，所投射的陰影也能提供相當程度的真實性，但燈光的模擬需要大量的資料運算，包含其位置、強度、光的顏色及類型等參數，另外還包含了明暗(shading)和投射陰影(cast shadows)，明暗為燈光在物體表面從亮到暗的效果以及是否被遮蔽，而投射陰影的運算相當費時，在燈光的參數設定上會有光束追蹤(ray-tracing)及影子深度貼圖(shadow depth map)二種計算方式，光束追蹤考慮到物體之間的反射及折射來產生非常精確的影子但會減緩算圖的速度，而影子深度貼圖則表示了模型在其他模型前面的資訊，儲存成一張內部的影像為深度貼圖(z-map)，以記錄模型間的遮蔽資訊，若這張貼圖的解析度越高則算圖就越慢。因此，若要得到場景中較佳的燈光效果，電腦的運算也會相對的增加對於即時呈像上的限制也會愈大。

一般在 3D 軟體的光源都可以自動幫場景製造十分自然的影子，但在硬體的限制下為了要有較好的系統效能，同一個場景中最好將光源限制在四個之內，不過這些燈光也無法輸入到 director 中，因此，在即時運算的顯示上必須要有較好的方式來處理陰影的部份。本研究是將光影效果

重新彩繪變成貼圖的材質檔，而模型上就能自然呈現陰影的效果，利用陰影貼圖的方式使用光跡追蹤(ray-tracing)或是全局照明的演算法預先計算場景中的燈光所打出的陰影，然後存成光影材質檔再貼到模型上製造出自然的光影效果(圖 3-10)，如此不僅可以減少電腦運算的時間更可在場景中模擬光影的效果，便可在即時運算上得到最好的效果。



圖 3-10：燈光對於場景模型的效果

#### D. 攝影機架設方式

在 VR CAVE 中虛擬立體視覺的運作原理主要是模擬人眼來設計的，在 3D 軟體中我們用攝影機來代替雙眼，依照人類的視覺來架設所需的攝影機。人類眼睛兩眼相距約 6.5 公分左右，經由兩眼不同位置得到的成像差異可以感知和判斷被觀察物體的深度。以人眼看金字塔的呈像而言(圖 3-11)，當人眼的視網膜接收到眼睛的畫面時經過大腦很快計算後，左右兩眼得到兩眼視差的成像，左右兩眼所得到的影像外形為實線部分，而虛線部分為合成立體三度空間的金字塔型外觀，大腦接受了左右眼所傳遞的訊號，自動的將這兩個位移偏差的影像整合在一起，產生一個具有立體深度的影像(圖 3-11)。

人眼在觀看一個物件時會判斷其形狀和深度，決定物件的形狀是來自於雙眼的像差，任一眼的影像都沒有形狀的訊息，而在判斷空間深度的線索時會有來自雙眼像差的立體視覺，由於左右二眼的影像有差異，所以必須找出左右二影像有位移的部份，為深度上不連續的表面來形成立體視覺影像，雙眼的像差成了深度的依據，二眼像差愈小為愈遠的訊息。在立體視覺中二眼所拍的二張影像就像是從中間拍的，可在人腦中立即的轉換，大腦結合左右二眼的影像後先解決左眼的影像之後在腦中進行左右物件的配對，愈不配的代表距離近而愈配的代表距離愈遠，立體知覺是在物件辨視之後由左邊影像去找右邊影像的對應物將二張影像對應起來，成為雙眼所見的立體視覺。

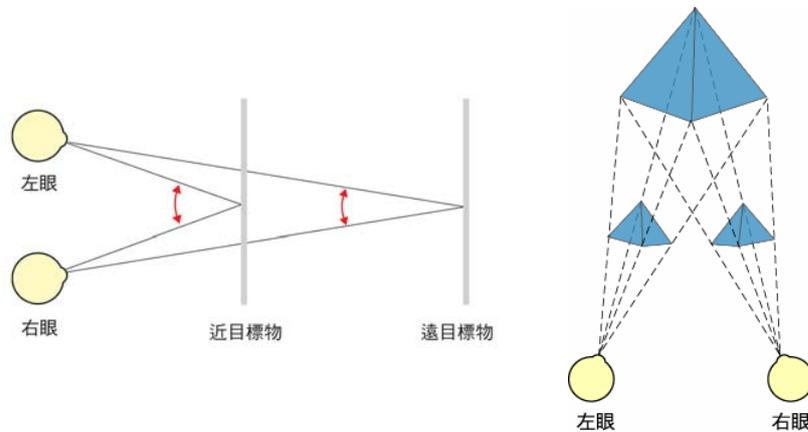


圖 3-11：人眼立體像差

在 VR CAVE 中的呈像原理主要是模擬人眼的雙眼像差所產生的立體感，所以將攝影機視為人的雙眼，在 3D 軟體中架設兩部攝影機以代替人的雙眼。研究中所使用的設備為三面背投影的螢幕，每一個投射螢幕有二台攝影機，攝影機之間的距離是依照人兩眼間的距離約 6.5cm 來架設，且有同一個焦點，而二台攝影機的標的點也相同。因此，以中間的 camera 為參考，向左右距離 3.25cm 各複製一台 camera (ML 與 MR)，而三面投影螢幕的夾角為  $120^\circ$ ，所以各組 (LL 與 LR、RL 與 RR) 各向左及右轉  $60^\circ$ ，在場景中分別架設了六台攝影機 (LL、LR、ML、MR、RL、RR) 以及供伺服器 (server) 電腦的攝影機共七台，向內角度為 0.2 或 0.3 度，最後將攝影機的設定調成自由攝影機 (free)，基本上鏡頭為 35mm 完成攝影機的設置 (圖 3-12)，但會因為場景的尺度不同鏡頭的大小及位移位置也不同 (圖 3-13)。

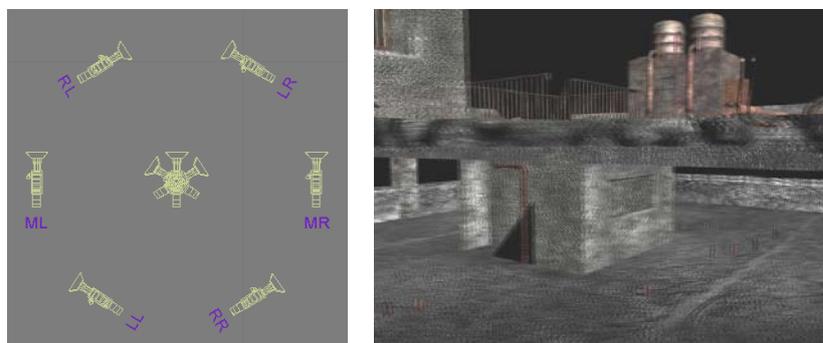


圖 3-12-1：攝影機的設定

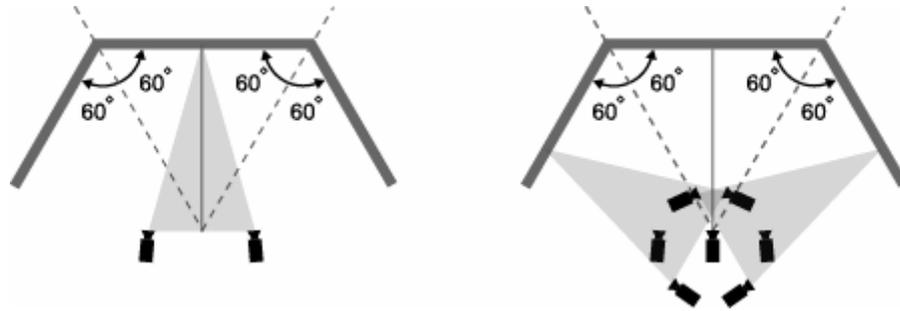


圖 3-12-2：三螢幕與攝影機的設定



鏡頭：28mm



鏡頭：31.5mm



鏡頭：35mm



鏡頭：50mm

圖 3-13：攝影機不同視角測試結果

### 3.3 操控介面的設計

#### 3.3.1. 3D 使用者介面

在虛擬環境中要完成一項互動的任務得透過介面去達成，而這介面包含了硬體與軟體上的介面，因此 3D 互動介面的設計對於使用者與虛擬環境的互動相形重要(Parusha & Berman, 2004)。操作介面的主要功能是提供使用者來控制機器的，作為人與電腦間的溝通媒介(圖 3-14)，而一個好的介面設計會利用隱喻的設計方式，讓使用者可以非常清楚的知道該功能的內容及使用的方式。以電腦或遊戲的輸入裝置來看，從一般的鍵盤、滑鼠、雙手以及身體的動作，目前，在 VR CAVE 中新的互動方式是以刺激人類的感官和電腦作互動，使用的設備像是數位板、觸控螢幕、數據手套等等，在虛擬環境中的互動原則為虛擬世界的導覽(navigation)、對於物件的操作及利用真實或虛擬的角色來傳達。而本研究中所使用的 VR-CAVE 以 Director 8.5 為開發工具就目前的輸入裝置而言，僅有鍵盤、滑鼠、搖桿與 RS-232 等，未來還可以結合紅外線、攝影機等設備，但就研究的軟、硬體考量、訊號傳輸與 VR-CAVE 同步顯示效能等問題，如果處理不當就會發生攝影機移動時畫面不連續的狀態，因此，研究中使用了一個外接式的鍵盤與一個踏墊作為開發的基礎，讓使用者可以縮短學習的時間以直覺及簡易的方式來操作。

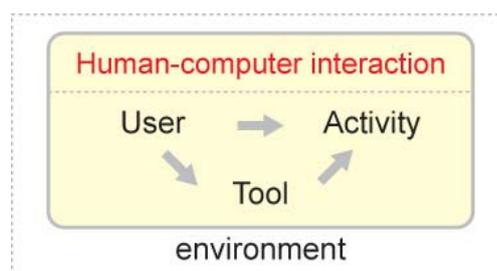


圖 3-14 : 人機互動關係

在VR CAVE應用中3D使用者介面設計是一個不可或缺的組成要素，什麼樣的使用者介面才算是好的設計呢？一個輸入設備和硬體設備及程式的作業流程如何能自然的、有效的和適當的結合？以及如何讓使用者感到順暢與舒適都將是要繼續探討的。在研究中先以3D互動導覽介面的案例研究，提出3D導覽介面設計之初步準則，作為先期實作之參考，人在虛擬環境中可以利用真實空間的經驗來作為互動的依循。在虛擬環境的互動行為(interaction task)項目中主要可區分為

三種，分別為導覽(navigation)、選取/操作(selection/manipulation)與系統控制(system control)。因此，對於互動的設計在人類工程學、設備使用的優點及限制上都必須有一個完全的了解，才可以在互動的技術和硬體中找到自然和直覺的方式(Bowman et al, 2001)。

Darken & Sibert(1996)自許多認知心理學的文獻與都市建築的設計方法中，整理出真實環境中導覽之設計原則主要為二：1.能夠引導來了解環境的組織架構、2.能夠引導來了解地圖的使用與呈現方法。進而證實了人們於真實世界中的導引方式的確可以應用至虛擬世界中，也就是說虛擬環境的導引設計，若依循此兩類設計原則，可讓使用者有較佳的互動與表現。由於電腦上的限制，虛擬環境中所呈現之事物其視覺細節上自然比不上真實環境，因而比真實環境還少了一些線索的提供像是空間或移動上。也就是說虛擬環境會較為缺乏地標(landmark)與景深線索(depth cues)，例如被遮蔽物體(occlusion)、物體質地密度(texture gradients)的呈現，而無法有助於使用者在空間中對於距離的評估(Vinson, 1999)。一般而言在輸出的部份都是以視覺來呈現的，因此若以城市導覽而言，導覽的行為是使用者在大尺度的 3D 虛擬環境中最普遍的一種互動行為，而它的挑戰是在一個空間中如何增加使用者對空間的體認，且在一個大的場所中提供更有效率和更舒適的移動，讓導覽是較為簡單容易的如此使用者便能專心在更多重要的工作上(Darken & Sibert, 1996；Bowman et al, 2001)。

Bowman(2001)也提到構成導覽的因素主要可分為運動(motor)的漫遊(travel)、與認知(cognitive)的路探(wayfinding)。而導覽一般可分為三個任務：一是探索(exploration)，在導覽過程中沒有任何明確目標只是隨意的瀏覽環境；二是搜尋(search)，在環境中尋找特定的目標；三是策略(manuevering) 為了執行一個特殊的作業以一個較短、較精確的方式運動，主要使用在於放置視點到一個更有利的位置。其中，虛擬環境中漫遊是一個概念簡單的作業，將視點由一個地方移動到另一個地方，為了能夠達成在虛擬空間中的互動漫遊有五種穩喻性的互動技術：實體運動(physical movement)、手動式觀景窗操作(manual viewpoint manipulation)、掌舵(steering)、目標基礎的漫遊(target-based travel)、與路徑規劃(route planning)等五種隱喻性的互動方式。而實體運動(Physical movement)是使用者利用身體的移動來漫遊(travel)於環境之中，大區域的移動和追蹤、在一個場景中行走，或是移動設備，像是跑步機或是不動的腳踏車，這樣的技術是適當的，它能夠增加使用者的存在感或當使用者需要這樣的應用來體驗實際上的使用狀況(Bowman et al, 2001)。

再者，許多形式的虛擬環境由於大多缺乏周遭的視覺感知，必須額外提供導引的訊息。以上這些因素，雖然皆暗示了在虛擬環境中導覽之困難，卻也證實了良好導覽設計之必要。使用者在沉浸式虛擬環境中或透過使用者介面與此環境互動，能否有效的引導使用者並告知其所在是十分重要的(Darken & Sibert, 1996；Haik et al, 2002)。

### 3.3.2. 空間介面的設計

要設計一個具有存在感的空間介面，必須讓使用者感受到互動的行為是直覺及簡單的，利用人的身體動作為操控裝置，且讓使用者與實際的走路經驗連結一起，則更能增加使用者的存在感(Yang, 2005)。以步驟一的結果為基礎，利用此四個主要的方向來實作一個感壓式踏墊(floor sensor)。使用者運用腳步的動作配合著踏墊來控制方向，建置一個具有直覺性動作的介面，利用其腳部的動作：向左、向右、向前及向後四個方向性來控制此環境。此裝置主要是利用數字鍵盤(numeric keypad)及跳舞機的踏墊來改裝，將踏墊利用電線連接到數字鍵盤上面的方向鍵，把踏墊及數字鍵盤設置成一個感壓式的輸入裝置，再利用 USB 線將訊號傳送到 server 端。當使用者利用此感壓踏墊來操控虛擬環境時，訊號傳送到 server 後再連結到其它六個 client 端，如此便可以讓使用者直接的虛擬環境互動。以下便是裝置的介紹：

#### A. 遊戲機的踏墊

由 Konami 所推出的跳舞機 Dance Dance Revolution (DDR)，是一種節奏與音樂的遊戲，主要是利用人的腳步動作配合著音樂來跳舞的遊戲(圖 3-15)，讓使用者透過身體的動作與遊戲結合，遊戲中通常是以流行的舞曲及快節奏的方式，讓使用者感覺像是在跳舞一般，舞曲開始後遊戲的銀幕中就會依照音樂節奏出現一個個的節奏點，遊戲者要依照畫面的節奏，利用腳部的動作來進行互動，再配合一塊踏墊來進行遊戲，遊戲的操作方式是隨著一首首的音樂節奏，在畫面上有相對應的指令↑、↓、←、→，使用者隨著音樂跟著銀幕的節拍來踩舞步，一邊遊戲還可以邊運動。整個遊戲的互動方式是利用四個主要的方向來控制，就很像真的在跳舞一般，使用者利用腳部的動作對墊踏進行踩踏的動作來與遊戲中的虛擬世界互動，之後 Konami 更推出了加入手部動作的互動遊戲，讓遊戲更趨於真實。



圖 3-15：跳舞機的踏墊及遊戲畫面

### B. 介面實作

研究中是以城市導覽之虛擬空間為例，此互動介面會將真實空間中使用者所輸入的前進方向轉換成虛擬空間中以第一人稱代理人在 CAVE 中的移動。研究中所使用的介面主要是利用數字鍵盤(number keypad)和 Konami 跳舞機的踏墊來改裝(圖 3-16)，將數字鍵盤上的方向鍵利用電線連接到跳舞機的踏墊，利用踏墊中的上下二組感應片來觸發互動的行為，依序將數字鍵盤上的↑、↓、←、→鍵連接到地墊上相對應的按鍵，組合成一個輸入裝置，在使用時若有過多的電線連結會造成使用者的不便，因此將電線收藏在地墊的底部，只留下一條 USB 線來與伺服器的電腦相連，為了確保訊息能傳送到伺服器，在串連的 USB 線中加了一個 HUB。



圖 3-16：感壓式踏墊

研究中選擇了直覺的姿勢辨識方式，使用者利用腳部的移動來表示希望往那一個方向移動。因此，當使用者以此直覺性的空間介面與虛擬環境互動時，藉由踩下踏墊上的方向便可以自由的在虛擬環境中行走瀏覽，利用感壓式踏墊的四個指示方向：向左、向右、向前及向後來進行操

作。當使用者踩下踏墊後訊息會直接的傳到伺服器端，當伺服器端偵測到此輸入訊息經過運算後，會以適當的程式來回應，便能傳送到其它六個 client 端，client 端會根據使用者的操控來改變攝影機的位置，最後在螢幕上便會顯示經由使用者互動後的同步畫面。因此，當使用者利用此踏墊輸入訊息後，螢幕上將會即時呈現使用者操控後的影像，提供使用者直接的視覺回饋達成互動的效果（圖 3-17）。

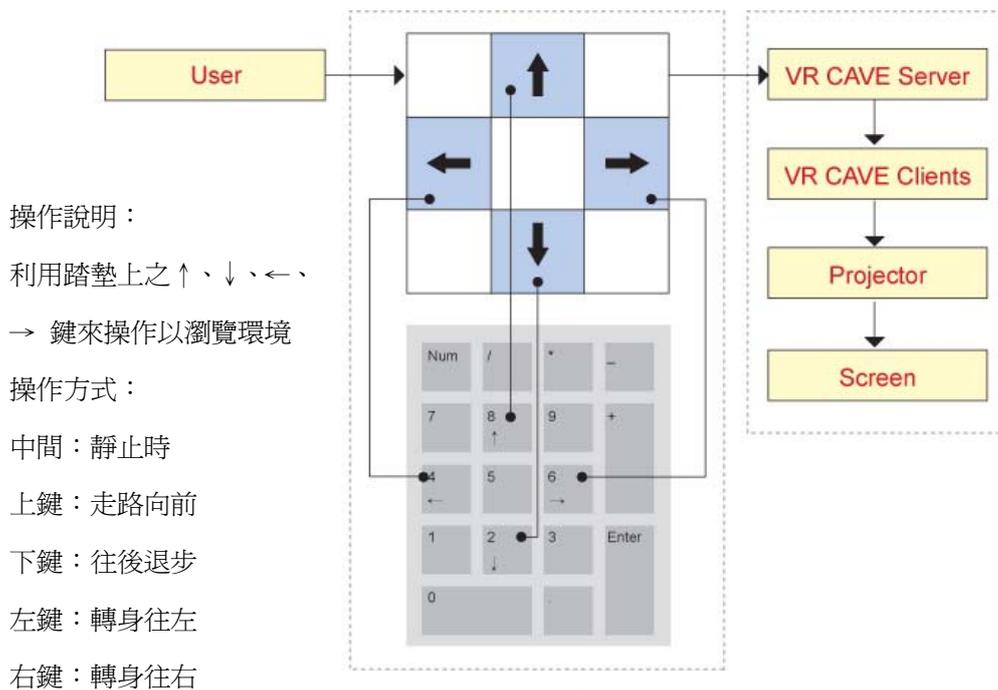


圖 3-17：空間介面的設計

### 3.4 環境之基礎架構

#### 3.4.1. 硬體裝置－虛擬實境空間模擬器 (VR CAVE)

本環境之硬體架構由工研院 The Industrial Technology Research Institute in Taiwan 所開發的被動式(passive) VR CAVE，主要是以背投影的方式投射(圖 3-18)。運算架構是由六部客戶端電腦(display client)及一部控制伺服器(control server)所組成的電腦群(PC Clusters)，加上六部投影機及三面平面的投影螢幕(screen) 夾角的角度為 120 度所構成，主要是以伺服器來主控六台電腦的畫面，使六部投影機的影像能即時的同步更新)。

本環境的硬體設備中以伺服器電腦為中心，伺服器主要負責協調六部客戶端電腦能夠同步的運作，六部客戶端電腦透過網路 TCP/IP 的通訊方式連接到此伺服器端，做為整個 VR CAVE 電腦群的中樞來主控六台電腦的畫面，負責接收輸入訊號經過其處理後，並以固定的間隔時間(10 毫秒)將資料傳送給六部客戶端電腦(圖 3-19)。客戶端則負責各畫面的運算，再將影像輸出至投影螢幕，經由二部電腦運算左右眼的畫面並透過偏光濾鏡(polarized filter) 將影像內容投射到同一面的投影螢幕上，同時影像內容也隨之更新，當使用者戴上偏光眼鏡後，左右眼各自接受具有視差的影像便可在腦中形成立體的視覺。每台投影機由一部 PC 所控制，各投影螢幕之間的角度為 120 度，每面螢幕的影像再由負責其左右眼的投影機以背投影方式投射，而這六部投影機之影像來源分別為六部客戶端電腦所傳送。因此，只需將訊號傳入伺服器端，便能經由伺服器控制其他六部客戶端電腦與 VR-CAVE 產生互動。

在播放的內容上，目前的 CAVE 系統僅支援立體動畫的方式呈現(例：虛擬長安)，以播動畫的方式播放一段有立體感的影片，使用者無法直接的與虛擬環境互動，也缺少了可互動的輸入介面，因此，必須透過一個適當的軟體(例：Director、Virtools)將硬體及立體場景整合起來，同時也必須考慮到資料的傳輸及系統同步的問題。

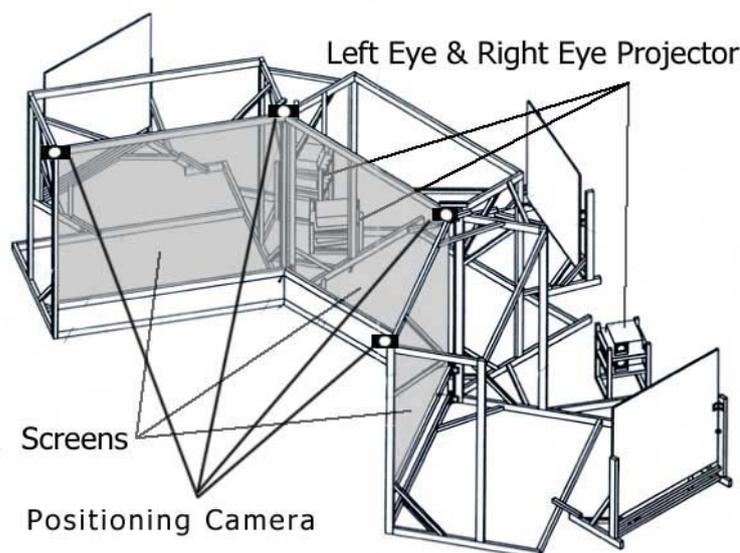


圖 3-18：VR-CAVE 的設備

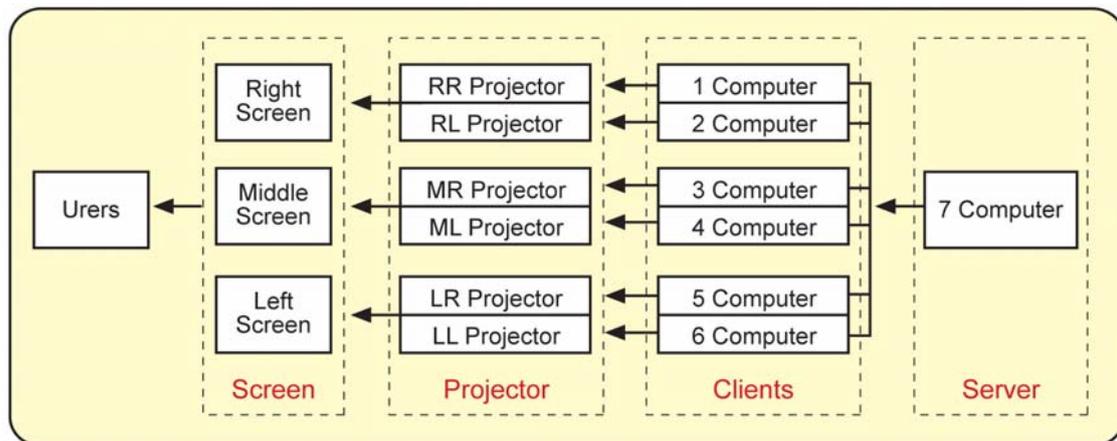


圖 3-19：VR-CAVE 的系統架構

### 3.4.2 軟體整合

由於在虛擬環境中要開發即時互動的 3DVR 門檻太高，傳統的開發工具都是具有程式設計背景的工程師或是有程式能力的工作團隊才能開發出一套完整的系統。因此，本研究是以 Director 8.5 及其網路伺服軟體 Shockwave Multiuser Server (Multiuser) 為主要的開發工具，研究者只需專注於內容的設計，利用 Director 中 Lingo 的函式庫及網路連線的功能作為簡易的開發工具。Director 主要是用來整合各種型態的媒體格式包含了：文字、圖形、聲音、視訊、動畫等單一媒體，它能有效的控制系統資源適合用來整合檔案容量大且較豐富的內容，可以製作出複雜及順暢的動畫，透過內建的 Lingo 語言來編輯互動控制功能，另外也可利用「Xtra 外掛程式」、以及「Behavior 行為庫」來達成許多所需的互動效果。本研究中利用 Director 來整合 3D 軟體的檔案(圖 3-20)，以向量的方式來記錄物體的造型，並使用點陣圖形來表現物體表面的材質。首先在 3D 軟體中製作所需的場景，之後將檔案輸出成 Shockwave 3D(.w3d)的檔案，再將其輸入至 Director 中，利用 Lingo 程式來處理網路連線、同步顯示與互動的部份，再將訊息傳給伺服器產生即時的互動反應。因此，開發者不需要再撰寫程式便能製造出 3D 場景，但目前在 Director 中並沒有提供直接編排 3D 動畫的功能，要改變 3D 物件的貼圖或是移動攝影機都必須靠 Lingo 語言來控制，只是其內建的互動操作函數(library)並不完整，且在 VR-CAVE 的環境開發尚須撰寫 Multiuser 網路傳訊技術，所以需要撰寫相關的程式。

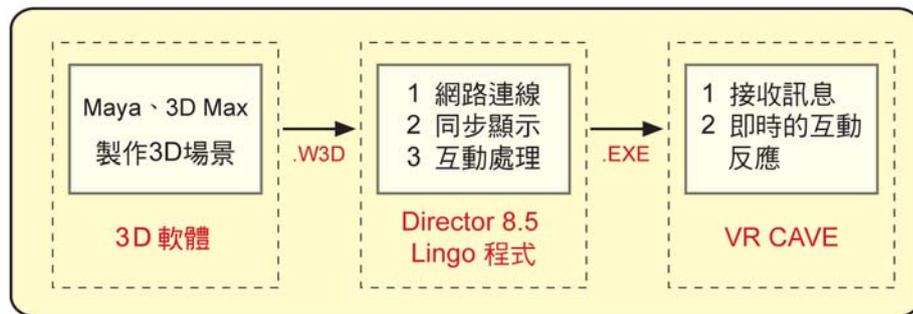


圖 3-20：VR-CAVE 軟體整合方式

#### A. 場景模型轉檔

利用 3D 軟體 Maya 或 3D Max 製作場景，再經過轉檔存成 Shockwave3D(.w3d)的檔案格式，透過 Shockwave 3D 技術來呈現 3D 模型，在 Director 中可以完整地保留原本檔案中模型的材質、動畫、攝影機等內容，也可透過預覽的視窗中利用滑鼠來拖動旋轉模型，提供了預視的效果但並不會改變場景(圖 3-21)。而 Lingo 語言是 Director 中特有的編程語言，可以對特定的事件做出適當的回應，也可使用 Lingo 來控制 3D 模型做出所需的互動功能。另外，在 Director 中的一些行為可以透過指定某個模型的名稱來直接控制模型，所以在製作模型時對於每個模型的命名、模型的群組、燈光及材質及座標原點，都是需要設定名稱的。

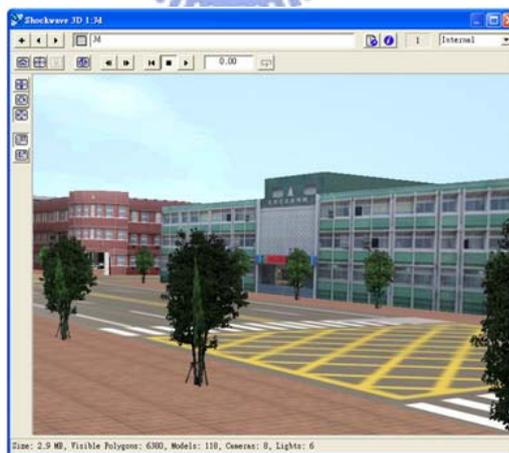


圖 3-21：3D 場景輸入 Director 中

另外，在 Director 中並沒有讓使用者直接編排 3D 動畫的功能，也沒有管理介面及編輯視窗，幾乎所有的設定都必須透過 Lingo 指令來操作，目前可以經由下載外掛程式 3DPI 來支援 ([www.3dpi-director.com](http://www.3dpi-director.com))，再將這個外掛程式安裝在 Xtras 目錄中，3DPI 是一個可以用來操作 3D

場景的 Xtra 工具(圖 3-22)，它可以調整光源、碰撞與攝影機的設定並可以快速的觀察到不同的設定對場景的影響，但是所做的設定是無法被存下來，所以在設定之後可以利用 trace 的功能將相關設定的 lingo 程式複製下來使用，在 Message 視窗中可看到相對應的資料，將複製下來的程式碼放置在適當的 script 中。

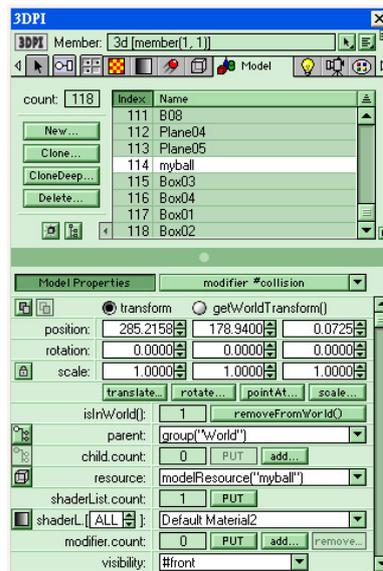


圖 3-22：Director 中 3DPI 的操作

#### B. 硬體與軟體配合後的操作流程

本研究中的設備為六台投影機分別各由一台 client 端的電腦控制，再透過網路連線由伺服端的電腦來下達指令，如此形成一個迴圈，當使用者透過輸入裝置對伺服端下達指令後，伺服端對六個 client 端發送運算指令，接著 client 端傳送同步的畫面到投影螢幕上(圖 3-23)，以下為 VR CAVE 與 Director 配合時操作流程的主要順序：

- (A) 網路連線及畫面同步顯示：伺服端透過 Multiuser 經由 TCP/IP 連結 client 端。
- (B) 使用者對虛擬環境的互動控制：使用者操控此空間介面後，對伺服端傳送訊息。
- (C) 虛擬環境對使用者的互動回應：伺服端對六個 client 端發送訊息同步移動攝影機，再投影到螢幕上。
- (D) 物件碰撞及重力：模擬真實空間所產生的碰撞效果。

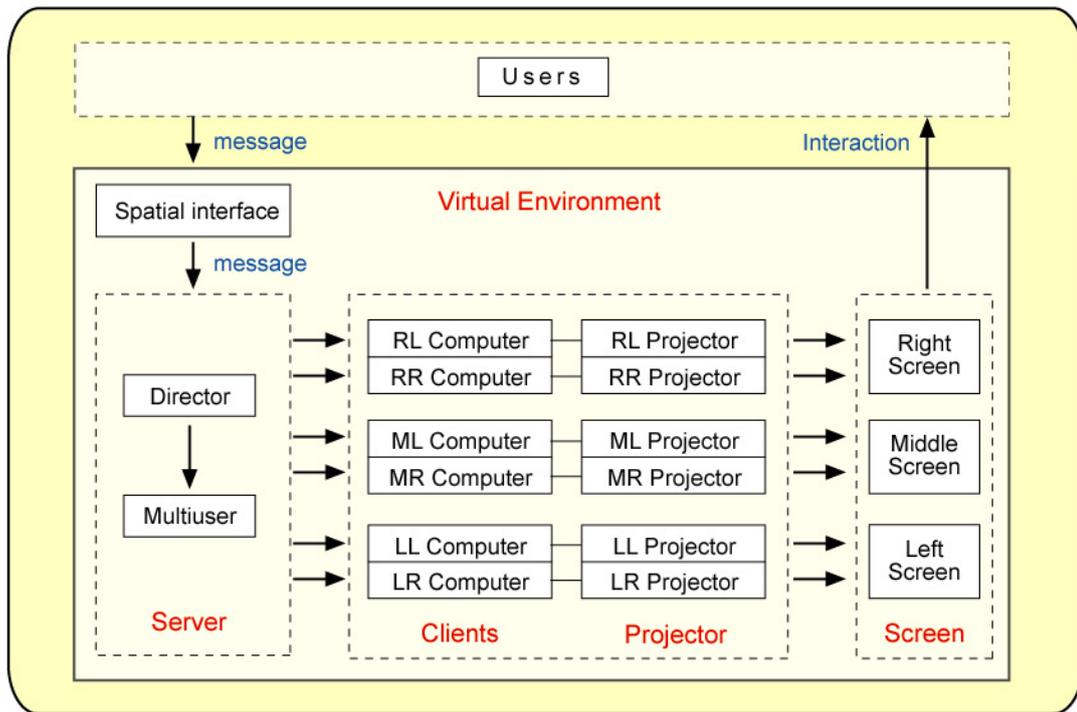


圖 3-23：VR-CAVE 軟體系統架構

## (A) 網路連線及畫面同步顯示

Director 的網路連線為 Server/Client 架構，是以標準的 TCP/IP 或 Peer-to-Peer 通訊協定來傳輸資料，這些都是透過附加的 Shockwave Multiuser Server 來處理，雖然利用 Director 可以簡化開發流程，但卻缺少可以多畫面同步顯示的現成函式，必須利用 Lingo 來建立連結。啟動連線時必須先開啓伺服器上的 Multiuser，再將六台的 client 端電腦連上伺服器(圖 3-24)，以接收伺服器所發出的指令，當六個影像畫面要同時呈現時會有畫面的同步問題，利用 Director 內部的 Lingo 語言來建立多畫面同步顯示的功能，因此，伺服器裡的程式透過 Multiuser 經由網路 TCP/IP 調控 client 端每個畫面的同步顯示，之後再將每台 client 端的視角切換至各自攝影機的畫面。另外，原本的 TCP 傳輸方式不夠快，改為 UDP 的方式傳輸資料，提供了一種快速但不保證資料一定送到傳輸協定，適合用來更新物件移動的資料再傳給六部 client 端電腦。

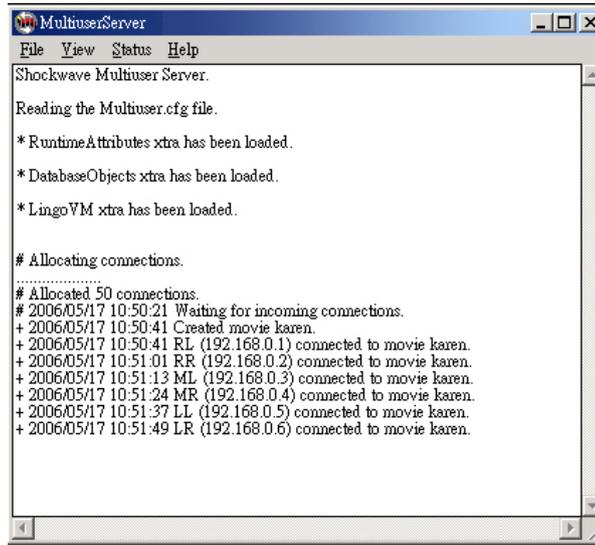


圖 3-24：透過 Multiuser 將六台 Client 端電腦連上 Server

Director 8.5 中內建的 Lingo 函式	
函式名稱	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 使用 Tcp 通訊協定傳送資料 connecttonetserver(登入者名稱, 登入密碼, 伺服器 ip, port 號碼, 影片名稱)</li> <li>· 使用 UDP 通訊協定傳送資料 connecttonetserver([#remoteAddress:"192.168.0.7",#logonInfo:[#userID:"LL",#password:"2006",#movieID:"karen"],#localUDPPort:1627])</li> </ul>
主要功能	透過這個函式跟 Shockwave Multiuser Server 的主機連接, 註冊一個 Client 代號, 每一台連上網路的電腦都會有一個 IP 名稱, 利用相同的 Port 來找到所對應的程式, 在 Lingo 中必須先指定伺服器的 IP 及 Port 號碼。

(B) 使用者對虛擬環境的互動控制

當某事件被啟動時會產生一個描述此事件的訊息(Message)傳遞出去, 再產生相對應的訊息來接收, 當處理函式接收到這些訊息後會有適當的程式來回應使用者執行的動作。在場景中是以 Server 端中的攝影機作為主要控制, 將 Server 端的攝影機與場景中的虛擬控制物件做連結, 而六台 client 端的攝影機也連結到此虛擬控制物件, 因此, 當我們在操控時便可單純的只控制此虛擬控制物件。當 Server 端連上六台電腦之後, 此時 Server 端正在等待使用者下達指令, 當使用者對此空間介面進行操控後, 經由互動行為的引發與訊息的傳遞來達成互動的效果, 當伺服器端偵測到所發生的訊息後, 經由與其相連結的處理函式接收訊息後, 會以適當的程式來回應,

之後傳遞訊息到伺服器端，當伺服器端程式接收到訊息經由處理之後，便能傳送到其它六個 client 端，再根據使用者的操作來改變觀看的視點，最後在螢幕上顯示使用者操作後的同步畫面（圖 3-25）。

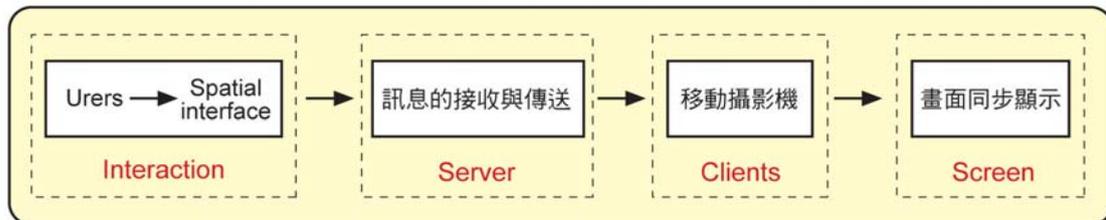


圖 3-25：VR-CAVE 中訊息的傳遞模式

Director 8.5 中內建的 Lingo 函式	
函式名稱	Setnetmessagehandler(#指令名稱，指令所在的程式 member 名稱，等候的訊息主題，等候的收件人，收件方式設定)
主要功能	建立等候訊息的指令為 callback，設定網路訊息處理者，是一個初使化的動作，做完了這個動作就可以進行訊息傳遞
函式名稱	Setnetmessage(收件對象，訊息主題，訊息內容)
主要功能	主要用來傳送訊息

(C) 虛擬環境對使用者的互動回應

當伺服器端對六個 client 端發送訊息後，每台 client 端便會即時對所屬的攝影機做相對的運算，之後再同步的將攝影機移動後的畫面顯示在螢幕上，如此形成一個迴圈。就城市導覽的目的而言，為了能在虛擬空間中即時的行走，以第一人稱的攝影機來移動與旋轉，移動時需要六部攝影機同時移動，而攝影機之間的相對位置也不能更動，因此，建立一個方塊做為此六部攝影機的父物件，所以當移動此方塊時，便可以同時移動此六台攝影機。透過所寫的程式可以由踩下踏墊上的某個按鍵來啟動這個指令，利用此感壓式踏墊來控制攝影機的移動，對於攝影機的控制給予水平軸或垂直軸一個移動或旋轉的數值，攝影機便能即時的向前、向後的移動或是向左、向右的轉動。

Director 8.5 中內建的 Lingo 函式	
函式名稱	"123": member("3d").model("A").rotate(0,0,1) "124":member("3d").model("A").rotate(0,0,-1) "125":member("3d").model("A").translate(0,-1,0) "126":member("3d").model("A").translate(0,1,0)
主要功能	方向鍵的指令，偵測到使用者按鍵後，讓模型向前、後、左、右的移動

(D) 物件碰撞及重力

在虛擬實境中若能允許使用者去觸摸和感覺將會有很大的效果，特別是有關物體的操控和碰撞的感覺 (Bowman et al, 2001)。場景中的碰撞設定是爲了模擬真實空間的效果，試想在一個真實的空間中是無法穿越一道牆或是一部車子的，在虛擬世界中行走時需要有碰撞的模擬以偵測到障礙物的存在，一般使用的均是「碰撞後滑動」的原理，讓使用者在碰撞到牆面後沿著牆壁移動(圖 3-26)，碰撞的偵測方式可分爲：box、mesh、sphere，mesh 能偵測到有無碰撞建築物模型，偵測較爲精確卻需要較大的運算。

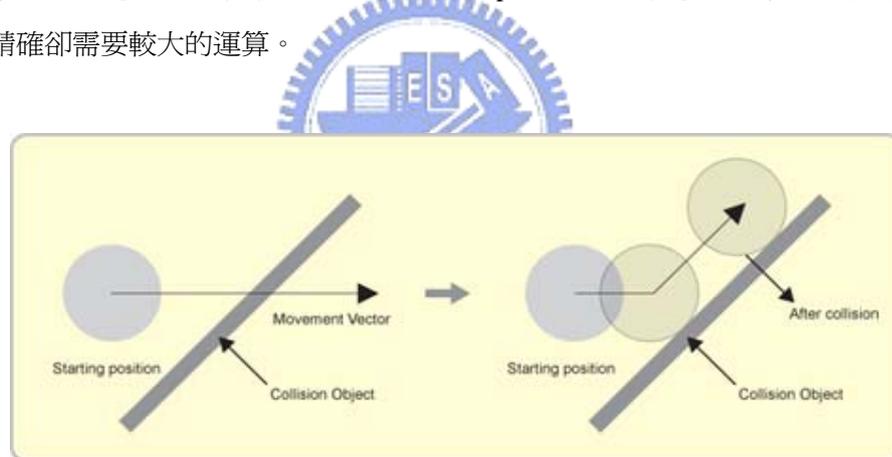


圖 3-26：模擬物件碰撞的效果

Director 8.5 中內建的 Lingo 函式	
函式名稱	member("a01").model("s01").addModifier(#collision) member("a01").model("s01").collision.mode = #mesh member("a01").model("s01").collision.enabled=true member("a01").model("s01").collision.resolve=true
主要功能	打開模型的碰撞屬性，碰撞偵測功能，但有時會不準確，常常會發生模型粘在障礙物上動彈不得的情況。

## 第四章 認知實驗與介面評估修正

本節主要是爲了評估此空間介面，了解在 VR CAVE 中利用人的直覺性動作與虛擬環境互動是否會增加使用者的存在感，以一個認知實驗來驗證當作修正的準則，透過實驗的操作經由分析及討論之後藉以修正建置。首先，透過 20 位受測者，使用三種不同的輸入裝置來與虛擬環境互動，藉由此空間介面來瀏覽此虛擬環境，之後利用問卷來了解使用者所體驗的存在感，填寫完問卷之後再進行一個訪談以了解使用者的主觀感受，其測量的方法採用評分等級法(rating scale) (Stanney, et al, 1997)，提出對此虛擬環境及空間介面的修正。以下爲實驗的計劃、流程、初步結果、問卷統計、分析討論及修正。

### 4.1 實驗計劃

在虛擬實境中存在感是一個主要的因素，它是一種主觀的經驗感受，當使用者在此環境中能直覺的相信自己身處於其中且有身歷其境的感覺，就像是真的在螢幕中的場景裏走動一般，且以直覺的方式在心理傳達了存在的經驗。因此，爲了驗證此空間介面能讓使用者有更強烈的存在感而進行的實驗。

#### 1. 實驗目的：

本實驗主要爲了要測試此空間介面是否比其他的輸入裝置更能增加使用者在 VR CAVE 中的存在感，藉以提升虛擬實境的效果。

#### 2. 受測者：

本研究中邀請了 20 位受測者參與，並分爲二種分類：設計類與非設計類，其中 10 位爲具有建築背景和 10 位非建築背景，如此分類的優點是可以收集不同專業領域受測者之空間經驗，讓受測者於此 CAVE 環境中實際進行操作，再針對此三種輸入裝置加以評估，並利用訪談的方式直接的了解受測者體驗後的心理感受。另外，探討具有建築背景的受測者是否對於空間感受的程度也較高。

#### 3. 實驗方法：

本實驗是利用同一個虛擬場景讓受測者透過三種不同的輸入裝置來與此環境互動，此三種輸入裝置分別爲 3D 反光球、感壓式踏墊及數字鍵，當受測者分別操作完之後，利用問卷的方式來量

測使用者的存在感。目前對於存在感的量測方法主要有二種，為主觀的報告和客觀的測量 (Stanney, et al, 1997)，在此實驗中利用主觀的報告為依據，使用者在操作過三種輸入裝置後主觀的報告使用後的感受，它是一種配對比較的方式，使用者在同一個虛擬環境中比較那一種輸入裝置有較強烈的存在感。之後再填寫一份問卷，問卷中的評分等級是依照受測者主觀認定的沉浸或投入的程度來選擇，評比分為五個強度不同的等級，由 1~5 代表強度的不同，何者帶給受測者的直覺感受較為強烈則給予較高的分數。

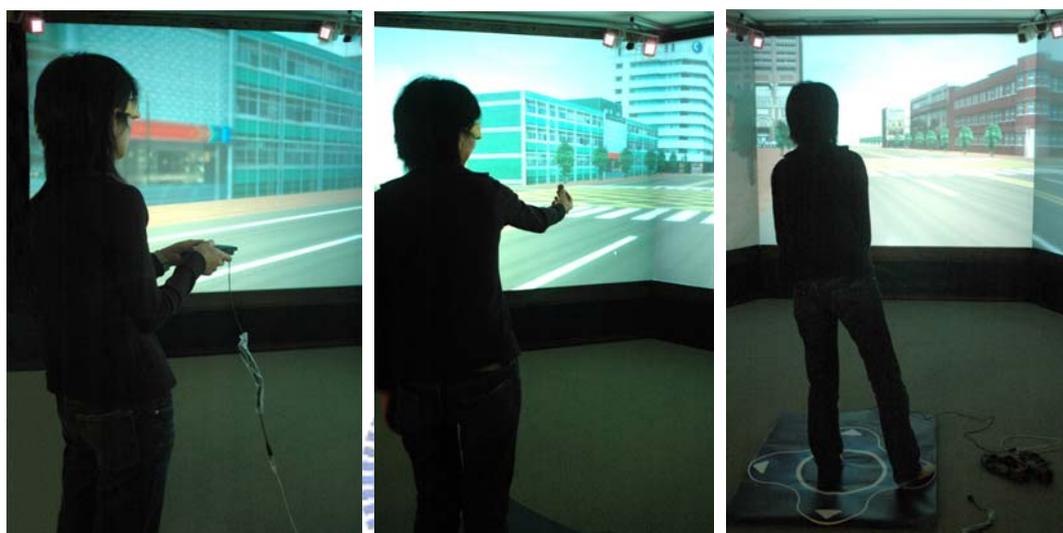


圖 4-1：三種輸入裝置：數字方向鍵、3D 反光球、感壓式踏墊

## 4.2 實驗流程

本實驗主要有二個部份，一為暖身實驗、二是正式實驗及實驗後的問卷及訪談。目前有關於虛擬實境中存在感的研究一直缺乏實驗基礎為驗證，因此本研究先進行一暖身實驗，來發現實驗流程及受測者對於實驗內容的任何問題，以做為正式實驗的準備及修正的基礎，接著再開始進行正式的實驗。

### 4.2.1 暖身實驗

研究中以 5 位受測者來為暖身實驗進行測試，對於整個實驗的流程、問卷內容及訪談的過程進行實際的操作，驗證所設計的實驗方式是否適合及有無需要修正之處，設計一個適合的實驗。

在實驗之前，會先對受測者作實驗環境、輸入裝置的操控方式及整個流程的解說與介紹後，才進入暖身實驗階段。在暖身實驗中有 5 位受測者，針對三種輸入裝置以不同的操作順序來進行，以確定正式實驗中能降低各裝置之間互相影響的程度。對於三種輸入裝置的操作順序經由暖身實驗中得知，對於受測者而言使用 3D 反光球及感壓式踏墊均需要一段時間來學習及了解操作方式，而數字鍵對一般的受測者已是很熟悉的介面，因此，實驗時以數字鍵為第一項操作介面，往往會讓使用者對於反光球及踏墊的操作感到挫折及不易學習，心理也會對於操作感到不便，對於評分時的程度也會有所偏差，因此，最後決定操作的順序為：3D 反光球、感壓式踏墊、數字鍵。另外，對於問卷也進行初步的修正，讓受測者能夠更容易的理解及快速判斷，問卷中相似性的問題也做進一步的調整，評分等級也給予一致性的量測方式。

#### 4.2.2 正式實驗

在正式實驗之前，會先對受測者作實驗環境、輸入裝置的操控方式及整個流程的解說與介紹後，才進入實驗階段。在實驗中分為二個部份：第一部份實驗，讓受測者使用三種不同的輸入裝置與虛擬場景互動及看一段動畫；第二部份實驗為填寫問卷（附錄）及進行訪談。以下為實驗的操作流程：

A. 讓受測者使用三種不同的輸入裝置來進行互動及看一段動畫：

1. 操作 3D 反光球，操作時間約 5 分鐘。
2. 操作感壓式踏墊，操作時間約 5 分鐘。
3. 操作數字鍵，操作時間約 5 分鐘。
4. 讓受測者看虛擬長安，體驗互動式及預播動畫二種不同的呈現方式。

本研究中找了 20 位受測者來操作，利用同一個虛擬場景讓受測者以城市導覽的方式為主，使用此三種輸入裝置來進行互動。當受測者對於此環境及操作方式了解之後，會先讓受測者在無條件限制下自行瀏覽環境，藉此熟悉此介面的操控，之後實驗者會指派任務，即要求受測者在遵循規則下移動至特定地點直到任務達成。接下來讓受測者觀看一段動畫，讓受測者進一步的體驗在 VR CAVE 中互動及預播動畫二種不同的呈現方式。由於採用問卷及訪談的方式來收集資料，因此在操作的過程中會要求受測者能主動的敘述其心理感受及操作時遭遇到的問題，將操作時的經驗以口語的方式表達出來，以瞭解受測者在操作過程中之認知行為與實際透過介面互動上的差異；若有必要，實驗者會在受測者身旁適時給予問題指示。

B. 填寫問卷（附錄）及進行訪談，以下為訪談的問題：

1. 使用三種不同的輸入裝置操作後的感覺？與你以往的經驗有什麼相同？
2. 是否有過其他 VR CAVE 的經驗？這樣的瀏覽經驗與其它呈現媒材（書本、電影、電視）有什麼不同？吸引你的地方為何？
3. 請比較互動的 VR 與預播動畫的 VR 的不同，比較喜歡那一種
4. 就操作方式、介面及場景內容是否有其它的建議？

實驗以開放性訪談的方式，藉以了解使用者的背景、過去的經驗及敘述使用時的感受，進一步詢問受測者對於此三種介面上的想法與建議，接下來請受測者依主觀的經驗來填寫一份問卷，評比分為五個強度不同的等級，由 1~5 代表強度的不同，何者帶給受測者的直覺感受較為強烈則給予較高的分數。問卷題目的設定及設計是基於第二章媒材回顧中影響存在感的要素：個人主觀的經驗感受、涉入和沉浸、注意力、身體動作、場景內容的呈現、控制等六個要素，再加上介面的因素來設計的。整個實驗過程大約為三十分鐘左右。



### 4.3 實驗之訪談結果

在實驗進行過程及事後的訪談中，對於受測者操作後的感受進行說明，受測者均表示：反光球需要較多的學習和適應的時間，使用時像是在指引方向一樣。踏墊的操作則像在走路一般，具有直覺性的身體動作，且會有置身其中的感覺。數字鍵為一般最熟悉的操作介面，利用手持的方式來操作很像在打電動，比較像在瀏覽一個畫面，只是進去看沒有走進去的感覺。另外，受測者於操作時主動的敘述其心理感受以及操作時所遭遇的問題，對於三種輸入裝置受測者分別有以下的感受。

#### 4.3.1 3D 反光球

3D 反光球的操作是以手持的方式在三度空間中前後移動，以紅外線來感測反光球在空間中的相對位置，藉以判斷使用者控制的方向，利用其移動的相對距離來與虛擬環境互動，對於反光球的控制受測者在熟悉此操作方式後有以下不同程度的感覺：

- A. 大部份的受測者均表示，使用反光球需要一段時間學習後才能掌握到操控的位置，由於感應裝置的限制，於空間中的感應位置界線不明確，在操作時不容易找到準確的感應位置且移動的距離與角度比較不好控制，影響了操作介面判讀的靈敏度，受測者無法隨心所欲，而會將注意力轉移到如何利用反光球來操作所看到的場景，使受測者在操作時會有不連續及站在原地而沒有走進去的感覺，由於回饋有落差而影響了存在感。另外，向後移動時手的操作位置也是位於身體前面，在判讀空間中的位置時比較難認知。
- B. 而少數的受測者表示，在虛擬環境中利用手移動的方式來代替腳的移動，用手及眼來探索城市中的街景，這種模擬的感受很特別，很像是替人「指引路的方向」，但視覺上的誤差有時會影響往非指定的方向前進。另外，手持反光球的操作姿勢不易持久，手在三度空間中移動而螢幕中為平面的移動，受測者表示不容易知道是否會超出感應範圍，或是手與身體移動的範圍要多大才會有反應。

#### 4.3.2 感壓式踏墊



在虛擬實境中要模擬真實世界的感受，受測者以身體的直覺性動作與虛擬環境互動，藉此與真實世界中的經驗結合，受測者在使用此感壓式踏墊後有以下不同程度的感覺：

- A. 大部份的受測者均表示，在熟悉介面後可以依自己想要的方向來瀏覽，此操作介面結合腳的移動，利用身體的肢體動作與虛擬環境互動時，會有實際在走路的感覺而不只是站在原地，且踩踏的感覺很接近行走，使用者要往那個方向就用那隻腳來前進能很順利的操作，操作時透過直覺性的身體動作以全身的移動讓整個人都可以投入，符合人體平日的肢體動作，向前走、後退時身體擺動的幅度大，因此，感受的程度比較高且操控也比較容易，操作時因為貼近人的使用習慣能符合真實也很直覺，使用者表示很好玩且操作時的流暢度很好，感覺很舒服也可以隨心所欲的操作，是一種很有趣的體驗，所以當使用者在透過此介面操作並得到合理回饋時，便會給予人很強烈的存在感且有置身其中的感覺，也能在虛擬環境中得到真實感。
- B. 而少數的受測者表示，操作時因為換腳的動作必須踩二個方向來修正角度，利用單腳站時需要由身體來平衡，適應一段時間後便可靈活的操作。由腳來控制時，會直覺的向右就想向右踏，很符合走路時的習慣，利用身體的操作與螢幕中即時回應連接起來，操作起來很順暢，增添了互動上的趣味。因此，在虛擬城市中瀏覽會有走路的感覺，且畫面大可以感受到身處的地方，也知道往那個方向去及身邊有那些建築，在心裏已有此空間的概念。

### 4.3.3 數字鍵

受測者以手持數字鍵的方式與虛擬環境互動來操控移動的方向，受測者在使用後有以下不同程度的感覺：

- A. 大部份的受測者均表示，操作起來很容易也很好控制，是一個熟悉的操作方式及使用者介面，更可以控制移動的速度，對受測者而言比較習慣手的操作，因為使用電腦的習慣受測者已經相當熟悉以手指的操控來思考，且按鍵的距離比較接近，用手按的動作比較小，所以在修正距離時速度會更快，可以即時的更正及自由的移動，讓數字鍵的操作與畫面的反應一致，裝置的感應及回饋比較直接且反應很靈敏，因此，操作時的感覺很流暢，可以較快的融入虛擬環境之中。
- B. 而少數的受測者表示，利用手持的感覺來操作很像在打電動，會覺得像是電玩中的人物一樣，感覺像在開車瀏覽一般，操作方式很順也很好控制。另外，也有受測者認為由於鍵盤按鍵太多易受干擾，對於小角度的部份比較難調整，每按一次都是大的步伐與旋轉角度，因此，要修正很多次才能轉到要控制的方向。



## 4.4 實驗之問卷結果

當受測者操作三種不同的輸入裝置後填寫一份問卷，問卷中的評分等級是依照受測者主觀認定的沉浸或投入的程度來選擇，評比分為五個強度不同的等級，由 1~5 代表不同的強度，何者帶給受測者的直覺感受較為強烈則給予較高的分數。問卷的設計是基於第二章媒材回顧中影響存在感的六個要素：個人主觀的經驗感受、涉入和沉浸、注意力、身體動作、場景內容的呈現、控制，再加上介面因素共七項要素來設計，另外，也進一步的探究在虛擬實境中受測者受到視覺感官影響的程度，以了解受測者是否能藉由視覺來主動搜尋環境中的資訊？其所呈現的影像品質是否會影響執行操控和活動的進行？受測者透過不同的視角來環視虛擬環境時，能對此虛擬環境了解到什麼程度？以及受測者在實驗開始或結束時，是否會感到困惑或迷失方向，對其程度作進一步的了解。以下為問卷結果的說明：

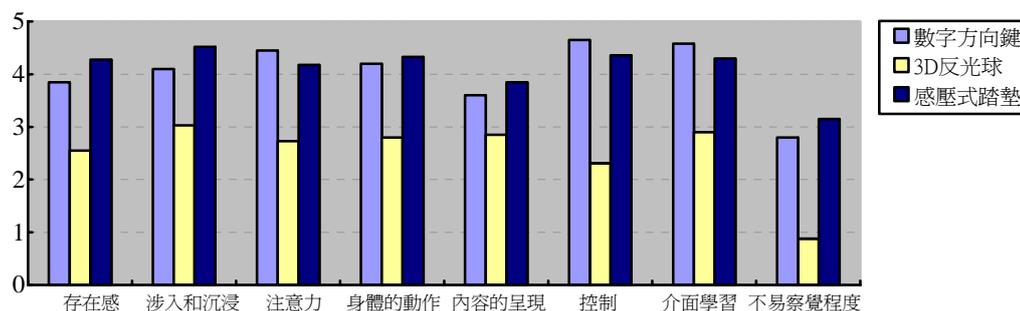


圖 4-2：存在感要素所得之問卷結果

### 1. 存在感

在虛擬實境中受測者操作三種不同的輸入裝置後，透過問卷來了解受測者的互動經驗及動態的感知，主要是依其主觀的經驗感受，在虛擬實境中對此三種不同的輸入裝置所感受到的存在感，受測者的平均分數為：數字方向鍵 3.85 分、3D 反光球 2.55 分、感壓式踏墊 4.28 分。不論是否為建築設計相關背景者，對於使用感壓式踏墊來瀏覽虛擬環境均能得到較高的存在感。

### 2. 涉入和沉浸

當受測者與虛擬環境互動時，其自身與實體空間隔離及感知到個人身處其中，能把專注力放在一連串的刺激和互動的事件上便能融入其中(Stanney, et al, 1997)。受測者依照個人的心理感覺，感受到融入此虛擬環境中的程度，其平均分數為：數字方向鍵 4.1 分、3D 反光球 3.03 分、感壓式踏墊 4.52 分，不論是否為建築設計相關背景者，對於使用感壓式踏墊來瀏覽虛擬環境均能有較高涉入和沉浸的效果。

### 3. 注意力

當受測者與虛擬環境互動時，若能集中更多的注意力在虛擬環境的刺激上，則更能讓其涉入其中(Witmer and Singer, 1998)，但互動時由於操作介面的使用往往會使受測者的注意力分散，對於三種輸入裝置的使用上，是否能讓受測者專心於所指定的任務或操控的活動上，其平均分數為：數字方向鍵 4.45 分、3D 反光球 2.73 分、感壓式踏墊 4.18 分，不論是否為建築設計相關背景者，均認為數字鍵最能讓受測者將注意力專注於虛擬場景之中，而降低注意力分散的程度。

### 4. 身體的動作

當受測者與虛擬環境互動時，若經由肢體的動作來操作而與實體空間中經驗的相互結合，則會

得到更多的存在感(Schubert and Friedmann, 1998)。三種不同的輸入裝置均是以人體的動作為操作的方式，分別為手指、手臂及腳的動作，受測者透過此輸入裝置與虛擬環境互動感到直覺性的程度，其中 10 位具建築背景者平均分數為：數字方向鍵 4.45 分、3D 反光球 2.6 分、感壓式踏墊 4 分，其他 10 位非設計相關背景者的平均分數為：數字方向鍵 4.05 分、3D 反光球 3 分、感壓式踏墊 4.6 分。具建築背景者，認為數字鍵的感覺較為直覺，但非設計相關背景者認為感壓式踏墊的感覺較為直覺。因此，若以平均值來看，數字方向鍵 4.2 分、感壓式踏墊 4.3 分，整體而言仍是感壓式踏墊較具有直覺的身體動作。

### 5. 場景內容的呈現

在實驗中三種輸入裝置均以新竹市東門城中正路之虛擬場景作為導覽內容。在存在感的要素中，對於場景內容的呈現包含了：傳達的技術、內容及參與者的反應(Chan and Weng, 2005)。因此，在此實驗中，藉由互動的方式來呈現即時的虛擬場景，受測者透過輸入裝置來操控虛擬環境時，在視覺呈現上被吸引的程度其平均分數為：數字方向鍵 3.75 分、3D 反光球 2.85 分、感壓式踏墊 3.85 分，不論是否為建築設計相關背景者，均認為感壓式踏墊能讓受測者更容易藉由視覺所觀看到的來主動搜尋虛擬環境中的資訊。

### 6. 控制

當受測者與虛擬環境互動時，影響控制的因素包含了：控制的程度、預期的結果、立即的回應。控制的程度即為受測者是否有受到限制的感覺、此互動行為與受測者的預期結果是否相符，以及此虛擬環境對受測者所執行的行動有多少的回應(Witmer and Singer, 1998)。受測者利用不同的輸入裝置對此虛擬環境控制的程度，其平均分數為：數字方向鍵 4.65 分、3D 反光球 2.31 分、感壓式踏墊 4.36 分，不論是否為建築設計相關背景者，均認為數字鍵能讓受測者更容易控制。

### 7. 介面因素

在虛擬環境中當受測者透過輸入裝置來進行操控時，輸入介面是否容易學習、受測者在操作時是否會意識到此裝置以及實驗結束時感覺熟練的程度，均是影響此操控介面的因素，在介面的學習上，20 位受測者的平均分數為：數字方向鍵 4.58 分、3D 反光球 2.9 分、感壓式踏墊 4.3 分，因此，在介面學習上二組受測者均認為數字鍵易於學習。在介面不易察覺的程度上，受測者的平均分數為：數字方向鍵 2.8 分、3D 反光球 0.88 分、感壓式踏墊 3.15 分，在介面不易察覺的程度上二組受測者均認為感壓式踏墊在操作時不容易察覺到此輸入介面。

## 8. 場景內容所呈現的影像品質及不同視角的呈現

以問卷的結果來看認為視覺品質的影響受測者觀看的程度，其平均分數為 4.18 分，因此，二組受測者均認為虛擬環境中，所呈現的影像品質將會影響執行操控和活動的進行。當受測者自由的操控時，會以不同的視角來環視虛擬環境，藉此能對虛擬環境了解的程度，其平均分數為 4.16 分。另外，對於受測者於實驗開始或結束操作介面時，不會感到困惑或迷失方向的程度為，其平均分數為 2.93 分，受測者表示透過建築物的特徵、招牌和記憶中的方位，並不會感到困惑或迷失方向。

三種輸入裝置		數字方向鍵		3D 反光球		感壓式踏墊	
二種不同背景的受測者		設計	非設計	設計	非設計	設計	非設計
1 個人主觀的經驗感受		3.8	3.8	2.15	2.95	4.05	4.5
		3.85		2.55		<b>4.28</b>	
2 涉入及沉浸		4.2	4	2.45	3.6	4.4	4.65
		4.1		3.03		<b>4.52</b>	
3 注意力的集中		4.5	4.4	2.15	3.3	4.05	4.3
		<b>4.45</b>		2.73		4.18	
4 身體的動作		4.45	4.05	2.6	3	4.05	4.6
		4.25		2.8		<b>4.33</b>	
5 場景內容的呈現		3.6	3.9	1.95	3.75	3.7	4
		3.75		2.85		<b>3.85</b>	
6 控制		4.65	4.65	2.15	2.47	4.31	4.41
		<b>4.65</b>		2.31		4.36	
7 介面因素	介面學習	4.6	4.55	2.5	3.3	4.2	4.4
		<b>4.58</b>		2.9		4.3	
	不易察覺的 程度	3	2.6	0.65	1.1	3.05	3.25
		2.8		0.88		<b>3.15</b>	
總平均		4.05		2.5		<b>4.12</b>	

圖 4-3：存在感要素問卷結果

## 4.5 實驗結果之分析討論

基於影響存在感的七項因子來分析，以問卷的結果來看不論是單一項目或是總平均，感壓式踏墊均得到較高的分數，問卷中反映感壓式踏墊對受測者而言，的確是較具有存在感的空間介面。使用者表示用走的方式來瀏覽虛擬城市時，感覺比較自然也較接近真實世界的經驗，且會與走路時的動作聯想，很像真的在瀏覽街景，也可以隨心所欲的操控前進的方向，且在虛擬空間中的尺度與移動時的視角與人在真實世界中相似，如果要向前進時腳也是向前踏出去，透過身體感知的動作所以身體力行的感覺會更明顯，且更能融入虛擬環境之中。但為何在單一項目中，數字鍵仍有較高的分數？以及為何反光球的分數均為最低？由結果得知三種輸入裝置以數字方向鍵及感壓式踏墊評比的分數較高，但數字鍵有三項分數較高為：注意力、控制和介面因素中的介面學習。感壓式踏墊則有五項分數較高為：個人主觀的經驗感受、涉入及沉浸、身體的動作、場景內容的呈現、介面因素中不易察覺的程度。綜合訪談及問卷結果所得的資料，本研究進一步的整理歸納，針對以下五點：數字鍵的優勢、操作介面的學習、受測者任務執行的方式、VR CAVE 的呈現方式及介面修正的建議，做進一步的分析說明。

數字方向鍵	感壓式踏墊
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 注意力的集中</li> <li>• 控制</li> <li>• 介面因素中介面學習</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 個人主觀的經驗感受</li> <li>• 涉入及沉浸</li> <li>• 身體的動作</li> <li>• 場景內容的呈現</li> <li>• 介面因素中不易察覺的程度</li> </ul>

圖 4-4：輸入裝置得到較高存在感的要素

### 4.5.1 數字鍵的優勢

對於受測者來說數字鍵是最熟悉的操作介面及方式，因此，在「控制」上可以快速的反應與操作，了解操作方式後不用再經過學習，主要是因為受測者均是經常使用電腦，且已習慣手的操作模式，在操作時甚至可以不用看也能順利的使用，便可將「注意力」集中在虛擬場景之中。

以人因工程的角度來看，數字鍵的距離很近所以在操作上很容易，以控制而言手的反應也比較快。在費茲定律（Fitts'-Law）中說明「動作時間」與「動作難度指數」之間是呈直線的關係，以肢體移動的評估法，因為按鍵的位置很接近，手指的動作較敏感，所以可以很快的微調也很好操作（MacKenzie, 1992）。因此，在問卷的評比中，數字鍵因為介面的優勢，所以在「注意力、控制和介面學習」此三項評分中能有較佳的分數。但數字鍵在瀏覽時比較像是進去看，沒有肢體的動作也不會有實體空間中經驗的聯想，所以，儘管此三項評比數字鍵的分數比較高，但整體而言數字鍵為 4.05 分、感壓式踏墊為 4.12 分，所以感壓式踏墊仍是最具有存在感的空間介面。

#### 4.5.2 操作介面的學習

就使用者互動介面而言，最好的操作方式是可以類似的方​​式來控制，讓使用者利用平常的經驗，而不需要再學習新的操作方式。在虛擬實境中，輸入裝置是用來輔助使用者像是真的在場景中一般，且能以直覺的方式來體驗，在使用者的身上不要有任何的穿戴設備，讓使用者感受不到介面而能隨心所欲的移動。因此，操作介面的熟悉度及敏感度，是影響使用者體驗存在感的最大因素，以下就三種裝置分別說明：

##### A. 數字鍵

數字鍵為一般所熟悉的介面，受測者平常習慣用手來操作電腦，且不用經過學習便能很快的對此介面熟悉，由於手的動作比較靈敏且鍵盤比較小容易操控，拿在手上的感覺很像在玩遊戲，所使用的操作方式也像是在瀏覽地圖，另外，在操作時手不需要有一個立足點或是支撐點去控制，雙手同時並用可以很方便的微調，因此，數字鍵在問卷中介面的學習上得到較高的分數。

##### B. 3D 反光球：

3D 反光球是以感測空間中相對位置的關係來反應，當使用時會將注意力轉移到「尋找感應位置」，因此，需要較多的時間在學習操作上，由於靈敏度的關係在操作時不容易被感應到，也不容易使人融入其中，當受測者操作不好時會感到挫折感，所以導致受測者評比的結果分數均偏低。因此，若能克服技術上感應的問題，畫面能跟著指令來即時互動，將會是很好的空間輸入裝置，且它是直接在空間中移動手的位置，用手的方式來導引你在環境中前後左右，是最立體的輸入裝置。

### C. 感壓式踏墊：

使用者一開始操作在換腳的部份不太熟悉，由於換方向時腳必須要有個立足點再伸出另一隻腳，且身體的平衡會改變，但熟悉此介面後透過前後左右四個方向鍵，使用者大約可以知道踩的位置，身體可以知道腳的距離與範圍，便可預期踩下去會發生什麼事情，因此，很容易適應及熟悉此介面，學習操作的時間很短且操作的方式很直覺，在瀏覽時經由跨步的動作來操作，使用者的身體與腳同時往前，操作方式很像是走在街道上瀏覽，很接近人的行走且會與走路的感覺連結，能產生更真實的感受。



圖 4-5：以感壓式踏墊與虛擬環境互動

### 4.5.3 任務執行方式

受測者在實驗之初會先自由的瀏覽以熟悉所使用的介面、場景和可控制的方向，再給予一項任務讓受測者能夠利用此輸入裝置來與虛擬環境互動，受測者會依照個人經驗及記憶的方式開始搜索環境來進行認識。而個人經驗包含了受測者的個性及背景，且設計實驗的方式也會有影響，其中具有空間經驗的受測者執行任務時會有以下的方式：

1. 首先，會站在馬路的中央往四周環顧一圈，看看整個場景的大略的輪廓，看馬路、人行道、建築物及招牌之間的關係，接著才會看場景中的細節，會先確定自己在場景中的位置。
2. 場景內容呈現的若是受測者在真實世界中到過的地方，使用者會靠著人行道上走而直接到達，若是未去過的，則會走到大馬路中往後退，找到一個可以看到全景的角度來觀看，以及找到建築物上明顯的標的物及招牌，再到達目的地。
3. 受測者可以直接以感知來記憶空間，除了方向之外還有建築物的特色、具有標的性的指標，所以會以印象中較深刻的招牌來辨識，因此，標的性建築在場景中很重要。
4. 受測者在找路或是確定方向時，立體感所產生的方向指示會比平面來得明確，讓受測者有更深刻的體驗，且容易辨視方位而不致感到困惑或迷失方向。

5. 若是實驗操作先以數字鍵來瀏覽，則受測者對於 3D 反光球及感壓式踏墊在執行任務時，會因為對此場景已經熟悉了，而減少了探索及操作的時間，且操作時若移動困難會影響受測者存在感的程度，因此，實驗中操作的順序也會影響受測者的感受。

#### 4.5.4 VR CAVE 的呈現方式

以虛擬空間的目的而言，內容的呈現為最重要的元素，不同的應用及需求在內容的呈現上也會不同，在 VR CAVE 中有二種不同的呈現方式：預播動畫與即時互動。對使用者而言，此二種呈現方式在感官上的感受有何不同，以下為進一步的說明：

##### A. 預播動畫：

就視覺經驗而言為被動性的觀賞，由事先規劃好的路線帶領著觀者的視覺不停前進，藉由畫面來調整視線、焦距以及觀者與物體間的距離，呈現出不同的視角和更多的細節，畫面流暢且有較佳的立體效果，視覺上也不會感到不舒服。透過影片的方式主動傳達訊息，在內容上需要有故事性來串連及豐富的立體訊息，影像的精緻度高且情節也比較豐富，若場景中具有空間感，觀者會很容易的進入虛擬環境之中得到最佳的效果。在內容的呈現上以虛擬長安為例，以預播動畫的方式完整的呈現唐朝的歷史文物和事件，透過敘事性的方式來傳達更深的內容。另外，預播動畫所提供的感覺也有互動的成份，此互動不是由使用者主動且其反應也不會對內容造成影響。透過鏡頭可以呈現出一般無法實際體驗的視線及特別的視覺效果，例如：鳥從後面飛來或很貼近物體。當有東西丟向你或動物跑向你時，會有向後的反射動作或直覺的想要避開，視覺上有融入其中的感覺，若以不同的視角及人稱切換來體驗時，場景也會呈現不同的尺度，觀者有真實的臨場感甚至覺得自己在場景之中而有身歷其境的效果。

##### B. 即時互動

即時互動的方式讓使用者主動的去經歷及探索，使用者可以完全的掌控而不是被動的接收訊息，在場景中移動的速度可以自由控制，更可以自由選擇要看的部份，引發人的好奇而進一步的想到處看及碰觸物體，探索一些細節及有興趣的部份，會讓有種未知的感覺而感到有趣，且與現實生活中的經驗比較相似，也比較有真實感，藉此增加虛擬實境的趣味，更可增加其存在感。在內容的呈現上以城市導覽為例，使用者想要了解這個城市或空間的訊息時，若有立即

的回應便能加深使用者的印象，透過 VR CAVE 城市導覽的方式來了解古蹟，除了互動之外還提供更多的訊息。另外，使用者與虛擬環境互動時會影響到注意力，當使用者開始搜尋時會影響對環境的察覺度，若輸入介面的設計讓使用者不易察覺，則會降低對外界的察覺程度，將能更投入此環境中達到更好的效果。

#### 4.5.5 介面修正的建議

受測者操作過三種輸入裝置後，在訪談中對於目前的操作方式、互動介面及場景內容，提出修正及建議，以下分別說明：

##### A. 操作方式

實驗中的 VR CAVE 為三面式投影，所以當使用者要轉彎時，必須先將所要轉的標的方向轉到中間的螢幕再前進，而這樣的限制會讓使用者產生疑惑，在操作介面時不能疑惑太久，要能很快速的調整，不然使用者的注意力會轉移，且存在的感覺也會隨之消失，如果是在整個封閉式的 VR CAVE 中使用，則可以避免這樣的問題發生。目前操作時的角度調整需要二個方向的配合才能移動位置，不能直接左右移動，且只有四個方向的移動，可以增加操作的方向像是 45 度角的前進。且一般在行走時會仰頭來瀏覽環境，可再加上抬頭、轉頭的動作，往上或往下觀看更多元的角度。另外，可以再結合其它的 sensor 來互動，例如：身體上的裝置是用來感應向左及向右轉，腳部的動作分為前後及左右，前後的方向是前進及後退，而左右的方向是向左平移及向右平移，會更符合人體的動作。

##### B. 互動介面

人在瀏覽環境時步調比較慢，動作的操作上會比較細微，若有更精密的控制儀器，可以更精準的控制轉的角度及移動的距離，也會與人的尺度較像。例如：使用陀螺儀來操作。目前在操作時的速度無法控制，若再加入不同的速度快慢，使用者可切換不同的運動速度來體驗，像是跑步、模擬鳥的飛行、從空中觀看。或是有不同的互動機制，像是可以拿東西、破壞東西或公車會因為你而停下來，將會更吸引人。另外，真實環境中有其他的感官刺激，VR 必須配合其它的感官效果，像是風、觸覺、聲音，單純只有畫面還是不夠，或是利用人體的肢體動作直接的反應到螢幕上，可以有立體控制的效果。

### C. 場景內容

在虛擬實境中透過一個介面及身體的一部份來互動時，所體驗到的感覺很特別，就像清晨的街景可以安靜的觀察這個場景。但因為場景中沒有其它動的元素，與現實中的街景有差距，可再加入聲音、車子與人，而不只有建築物，使用者比較能想像真實的街道狀況。若碰觸到建築物時會有相關的資訊說明，或是有路標的指示，就像走在街上一樣有地圖的指示，增加使用者對於此建築物的了解，在搜尋的過程會更有趣。另外，場景的尺度再大一點使城市導覽的部份更完整，使用者可以進入建築物內看到室內的空間結構，更能增加使用者的存在感。以真實世界而言，一般到一個新環境中會先以地圖或簡介先對此環境有整體的認識，實驗中使用者主動瀏覽空間時，會產生以下的疑問：使用者並不確定場景有多大、要探索及瀏覽什麼、可以走多遠、需不需要轉彎等，所以若在有限的範圍內讓使用者主動瀏覽則會更好。例如：在城市導覽時，先有一段動畫帶領使用者大致瀏覽整個空間的狀況，或以故事性的方式呈現提供更多的訊息，接下來有幾個特定範圍的場景，讓使用者透過互動介面與此虛擬環境互動，使用者會清楚的知道所處的位置、可移動的方向及可互動的程度。



## 4.6 修正建置

在虛擬環境中的互動經驗不只是畫面中的呈現，還有使用者對此環境操作後所感受的空間感和存在感，使用者可經由自身的探索來尋找場景中的建築物，也會由記憶或感知來知道它的位置。因此，基於受測者的問卷及訪談的結果作為驗證此建置及互動介面修正的準則，試圖解決原導覽介面的問題，在執行上可分為現階段的修正及未來可行的方向。

### 4.6.1 現階段的修正

以現階段而言，由於軟、硬體的限制，僅就目前可以改進的部份加以修正，以縮短使用者與虛擬環境互動間的距離，增加其存在感。在虛擬環境中加入真實街景的聲音，提供聽覺的感官效果，讓使用者能更專心於瀏覽虛擬城市提升其存在感。更進一步的模擬真實世界，在畫面中加上地圖及路標的指引，使用者可以找到要去的地方，明確的知道身處的位置而不致迷失方向，若真的到實際場景時就會因為好像去過而感覺更熟悉。另外，如何讓使用者能得到更多的資訊，

在主動與被動的程度及效果之間找到平衡點，將播動畫和互動這二種方式融合在一起，在使用者操作此空間介面時，會先播一段動畫帶領觀者進入此空間，當使用者對於整個空間輪廓大致了解後，再讓使用者透過互動介面實際的在此虛擬環境中自由瀏覽，能真的走進空間中。



圖 4-6：以預播動畫的方式呈現虛擬城市



圖 4-7：修正後的建置畫面

#### 4.6.2 未來可行的方向

未來的修正方向，除了軟、硬體設備的配合之外，若可加入不同的操作機制或感官效果，以直覺的方式來進行互動，更能提升虛擬實境的效果。由表 4-3 中，可以清楚的知道數字鍵及踏墊對於影響存在感的要素而言，均有其優勢，因此，未來的操作介面可以結合這二項的優勢，將這二項裝置融合成一個更具有存在感的介面。在操作上可加入不同速度的控制，讓使用者依照

自己的速度來瀏覽。再加入其它向度的操控方向，以頭部及身體的動作來配合，則更能附合真實世界中行走的狀態，也能觀看到更多元的角度。若透過不同的鏡頭呈現，使用者更可以自由的切換所要觀看的視角。另外，加入其它的感官效果，像是觸覺、聲音或其它的互動方式，能更真實的與此環境互動，例如：可以與虛擬場景中的人進行交談，或是結合其它的感應方式來瀏覽，以更直覺的方式利用人的肢體分別在頭、身體、手、腳等處有不同的感應觸發，將互動裝置放在帽子上或像手錶配戴，使用者將不會察覺到裝置的存在，達到更好的互動效果。

#### 4.7 修正後自我評估

此介面經由修正後，由研究者再進一步的進行評估，讓使用者於虛擬空間中進行任務時，儘可能以貼近真實經驗為目標，透過介面互動後卻仍不失簡單且符合自然配對的原則。因此，以此介面與虛擬空間互動時，先要了解使用者於真實環境中的空間瀏覽經驗，藉以結合所採用之輸入裝置的特性。研究者在修正的建置中加入了現場聲音的效果後，將比較趨近於真實經驗的感受，不會感覺只是處在一個靜止的虛擬城市中。在導覽時的畫面中加入了地圖的導引，讓使用者可以清楚的知道現在所處的位置及方向，也解決在操作時迷失方向的問題，以縮短使用者與虛擬環境互動之間的距離。另外，為了讓使用者對此虛擬空間的輪廓有大致的了解，在操作此介面之前會先播一段預設路徑的動畫帶領使用者進入此空間，之後再讓使用者透過此互動介面於虛擬環境中自由瀏覽，如此確實能增加使用者在導覽時不致迷失方向或感到困惑，也能藉由動畫中體驗到不同的視覺效果，結合了預播動畫與即時互動二者的優點，藉以觀察在虛擬空間中建築物不同尺度的呈現。

## 第五章 結論與後續研究

### 5.1 結論

本研究在 VR-CAVE 中發展出一個具有存在感的空間介面雛形，讓使用者利用身體的直覺動作來瀏覽環境，藉由此互動界面提供參與者直覺式的刺激與回饋，提供使用者在虛擬環境中更多的存在感。透過影響存在感的六項要素來進行分析：個人主觀的經驗感受、涉入和沉浸、注意力、身體動作、場景內容的呈現、控制以及介面因素等，基於實驗問卷及訪談的結果，使用身體直覺動作的互動介面確實能增加使用者的存在感，且更進一步有身處於此空間瀏覽的感受。在研究中場景的視角與人眼的感覺一致，受測者表示就好像真的走在街道上，會想像成一個人走在路上逛街的樣子，以行人的角度用行走的方式來體驗此虛擬城市，表示為很新奇的感覺及很有趣、很特別的互動經驗，經由跨步的動作來瀏覽操作時，身體與腳會同時往前移動，而踩的動作會與走路的感觉連結，因為有走路時的肢體動作會更有身歷其境的感覺，在瀏覽時能與真實世界中走路的經驗連結在一起，並能讓使用者體驗到更多的存在感，尤其對於非設計背景者而言，受測者對於使用身體的動作來與虛擬環境互動的感受比建築背景者來得大，且整體來看對於感壓式踏墊的使用感受也比建築背景者來得強烈，使用此直覺性的互動介面，能讓受測者更沉浸於其中。

在觀看 VR CAVE 時會希望觀者能完全的沉浸在此環境中，但互動的方式會將人又由虛擬環境中抽離，裝置與互動間的結合最好是不讓使用者察覺，與外界的隔離愈多使用者對外界的察覺低便會將注意力集中於場景之中。研究中所使用的感壓式踏墊，在使用者熟悉操作方式後均表示此裝置讓使用者意識到的程度很低，不會因為加入了互動而分散了注意力，可降低在 VR 中感受到外界的程度。另外，操作的方式容易不需要再經學習很快的就能適應，在使用時可以直覺的知道腳的距離跟範圍，此控制模式讓使用者可以立即的控制且能預期所發生的事。對於城市導覽的應用上利用此互動介面來認知這個環境，使用者可以主動的去探索未知的環境且完全的掌控，可控制你想要去的地方或是去嘗試看看會發生什麼樣的事情，跟你身處於此環境中一樣。

## 5.2 研究限制

要開發一個即時互動 3D VR 的門檻太高，大多需要具有程式背景的工程團隊來開發一套系統，也需要軟、硬體設備上的配合；因此，本研究中使用的開發套件為 Director8.5，利用工具中所提供的函式庫及完整的網路連線功能，如此便能專注於內容的設計，而不是克服技術上的困難。在此前題之下仍遇到一些問題留待後續研究做改進與解決。

1. 研究中利用 Director8.5 與 Multiuser 來開發 VR-CAVE 互動裝置，雖然開發程式的難度降低，但 Multiuser 對於訊息的管理機制不夠完整及不支援串流，缺少了可以多畫面同步顯示的現成函式且其設計是以文字模型的傳輸方式為主，並沒有對 3D 內容的傳輸提出解決方案。因此，在畫面的解析度、互動行為的效率和場景模型的精緻程度都有其限制。
2. 由於是以即時互動的方式來呈現，在 Director 中使用 Shockwave 來呈現 3D 的場景，影像的品質受限於即時運算的效率，在場景面數及貼圖的解析度上都有限制，研究中發現影像品質會影響受測者的感覺，不論是畫面延遲或是影像品質不佳，使用者的感覺會馬上由立體轉為平面，融入及存在的感覺會受到影響。
3. 由於網路傳輸的效能限制，在研究中以城市導覽為例，在場景內容上只能讓使用者以靜態的方式在虛擬場景中行走，在虛擬空間中缺少了其它動態的元素，像是行人、車子、路燈等等，若能提升網路效能勢必能將更多的元素加入虛擬場景中，讓虛擬世界更豐富
4. 在此評估使用者的存在感為主觀經驗的測量，主要是由使用者主觀的回報其心理的感受，所以並無法具體的指出「存在感」增加了多少，由於受測者的背景及個人經驗和喜好的因素，均會影響量測的結果較無法得到一個客觀的評比。

## 5.3 研究貢獻

本研究的貢獻主要是在虛擬環境中利用不同於一般的瀏覽經驗，藉由一個直覺式的互動介面，將人在實體空間中直覺的動作經驗直接地連結到虛擬環境中，藉以增加使用者的存在感及提供直覺式的刺激與回饋，除了視覺之外更多了身體的知覺感知來體驗，增進虛擬實境的功能。藉由人的直覺性動作將實體空間的經驗感受與虛擬環境結合，使用者在介面的使用上不需要經過

學習便能很容易的控制，將注意力集中於虛擬環境的瀏覽上，由於更沉浸及涉入其中便能讓使用者體驗到更多的存在感。且有別於傳統建築模型的觀看限制，由二種不同的方式來呈現數位模型，先以預播動畫的方式來對此空間有初步的認識，再利用感壓式踏墊與虛擬環境互動，更可以清楚的了解空間之間的關聯性及得到更多的回饋。

## 5.4 未來研究

未來除了解決 VR-CAVE 軟、硬體方面的整合之外，也可針對更自然且直覺的互動行為模式去探討，進一步的探究人的肢體與虛擬環境其它互動的可能性。

1. 此互動裝置主要是爲了將人在實體空間中的經驗與虛擬環境結合，使用者在操作後的感覺均是與真實經驗中走路的感覺一致，但同樣的往前走在真實經驗中往前走不止是往前看，而是可以看很多地方或是可以立刻的轉換視線。在互動裝置上缺少了像是鏡頭、視角、角度的切換，或是像焦距、視線和視覺仰角的調整則更能符合直覺的動作，這些都留待後續研究中作更進一進的發展，讓互動的機制在操作時不再只是單一的能更具有彈性。
2. 由實驗的結果來看，數字鍵及踏墊對於影響存在感的要素而言，均有其優勢，因此，未來的操作介面可以結合這二項優勢，再融合成一個更具有存在感的輸入介面。
3. 虛擬實境提供使用者資訊時，除了有豐富的視覺效果之外，還包含了聲音及其它的感知效果，藉以傳達給使用者豐富的資訊。一般而言，在場景中加入互動的元素，將會讓使用者更有存在感，但需要相對的操作介面來配合，否則反而會是一種阻礙。因此，若能在預播動畫和互動間有個平衡點，當觀者看完了影片後若想要更進一步的認識這個場景，或是想更深入的體驗在此空間中的感受，透過互動的方式來體驗空間讓使用者可以進入此空間中主動的搜索資訊，在尋找的過程中有一些有趣的視覺經驗，將會更增加虛擬實境的效果。
4. 除了可再藉由探討其他裝置組合與使用者互動之間的認知行為，讓 3D 導引之設計準則更趨完善之外；亦可以再針對 3D 介面中之選取/操作、系統控制項目提出更爲完整的使用者之互動行為與設計準則。
5. 利用虛擬實境來了解建築物在使用後其外觀及建物設備階段性衰退的狀況，清楚了解空間之間的關聯性及有關建物防災、建物長期修繕等使用者不易體會的重要議題。

## References

- Arthur, P. and Passini, R., 1992, *Wayfinding: People, Signs and Architecture*, McGraw-Hill Ryerson, Toronto.
- Bloomer, K. C. and Moore, C. W., 1977, *Body, Memory, and Architecture*, Yale University Press.
- Bowman, D. et al., 2004, *3D user interfaces :theory and practice*, Addison-Wesley
- Bowman, D. et al., 2001, *An introduction to 3-D User. Interface Design. Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 10, no. 1, 2001, pp. 96-108.
- Carroll, F., Smyth, M., Dryden, L., 2004. *Visual-Narrative and Virtual Reality*, The International Association Of Visual Literacy. IVLA 2004, Jahoannesburg, South Africa.
- Chan, C. S. and Weng, C. H., 2005, *How real is the sense of presence in a virtual environment? : Applying protocol analysis foe data collection. CAADRIA. India. Volume1 pp.188-197.*
- Champion, E. and Dave, B., 2002, *Where is this place?, Thresholds – Design, Research, Education and Practice, in the Space Between the Physical and the Virtual, Proceedings of the 2002 Annual Conference of the Association for Computer Aided Design In Architecture, Pomona (California) 24-27 October 2002*, pp. 85-95.
- Darken R. P.and Sibert J. L., 1996, *Navigating Large Virtual Spaces. International Journal of Human-Computer Interaction*,8,1, pp. 49-71.
- Fan, Y. C., 2002, *A modular development of virtual reality CAVE software. National Chiao Tung University in partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master In Architecture.*
- Haik E., Barker T., Sapsford J.and Trainis S., 2002, *Investigation into effective navigation in desktop virtual interfaces, 3D Web Technology, Proceeding of the 7th International Conference, Tempe, Arizona, USA*, pp. 59-66.
- Harrison, S. and Dourish, P., 1996, *Re-placing space: The roles of place and space in collaborative systems*, in: *Proceedings of the Computer Supported Cooperative Work'96*, Cambridge, MA (ACM, New York).
- Insko, B. E., 2003, *Measuring Presence: Subjective, Behavioral and Physiological Methods*, in G. Riva, F. Davide, W.A IJsselsteijn(eds), *Being There: Concepts, effects and measurement of user presence in synthetic environments*, Ios Press, Amesterdam, pp. 109-119.
- ISPR (International Society for Presence Research): 2005, *The Concept of Presence: Explication Statement*, <http://www.temple.edu/ispr/conference/>
- Kalay, Y. and Marx, J., 2003, *Changing the Metaphor: Cyberspace as a Place, Digital Design-Research and Practice, Proceedings of the 10th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, Tainan (Taiwan) 13-15 October 2003*, pp. 19-28.
- Kamen, D., 2001, *Segway*. <http://www.segway.com>

- MacKenzie, I. S., Fitts' law as a research and design tool in human computer interaction, *Human Computer Interaction*, 1992.7: pp.91-139.
- McKinnon, L. D. and North, M. M., 2004, A Comparative Study of Presence in Virtual Reality vs. Presence in the Real World. Proceedings of the 42nd annual Southeast regional conference.
- Mine, M., Brooks, F., and Sequin, C., 1997, Moving Objects in Space: Exploiting Proprioception in Virtual Environment Interaction. Proceedings of ACM SIGGRAPH.
- Mokka, S., Vaatanen, A. and Heinila, J., 2003, Fitness Computer Game with a Bodily User Interface. ACM International Conference Proceeding Series, Proceedings of the second international conference on Entertainment computing, pp. 1-3.
- Montes, G. L., 1992, Is interaction the message : the effect of democratizing and non democratizing interaction in video-conferencing small groups on social presence and quality of outcome, *Brelin : Technology-mediated communication*, pp. 187-223.
- Nunez, D. and Blake, E., 2001, Cognitive presence as a unified concept of virtual reality effectiveness. Proceedings of the 1st international conference on computer graphics, virtual reality and visualization. ACM press, New York, pp. 115-118.
- Regenbrecht H. and Schubert, T., 1997, Measuring presence in virtual environments, conference paper for hci international '97, August 1997, San Francisco/CA, USA <http://www.uni-weimar.de/architektur/InfAR/forschung/acrophobia/hci97.doc>
- Roussou, M., 2001, The interplay between form, story and history: The use of narrative in cultural and educational VR. In: Balet, O., Subsol, G., Torguet, P. (Eds.): *Virtual Storytelling: Using Virtual Reality Technologies for Storytelling*. Springer-Verlag, Berlin, 2001, pp. 181-190.
- Schubert, T. and Friedmann, F., 1998, Embodied presence in virtual environments. In Ray Paton & Irene Neilson (Eds.), *Visual representations and interpretations*. London: Springer-Verlag, pp. 268-278.
- Schubert, T., Friedmann, F. and Regenbrecht, H., 1999, Decomposing the Sense of Presence: Factor Analytic Insights. URL: <http://www.personal.uni-jena.de/~sth/vr/insights.html>
- Schuemie, M. J. and Charles van der Mast., 1999, Presence: Interacting in VR? Presented at the Twentieth Workshop on Language Technology.
- Shibano, N., Hareesh, P. V., Hoshino, H., Kawamura, R., Yamamoto, A., Kahiwagi, M., Sawada, K., 2003, CyberDome: PC Clustered Hemi Spherical Immersive Projection Display, *International Conference on Artificial Reality and Telexistence*
- Slater, M., Usoh, M., and Steed, A., 1995. Taking steps: The influence of a walking technique on presence in virtual reality. *ACM Trans. Comput. Hum. Interact.* 2, 3 (Sept.), pp. 201–219.
- Stanney, K. and Salvendy, G., 1997, Aftereffects and Sense of Presence in Virtual Environments: Formulation of a Research and Development Agenda1.

- Steuer, J., 1992, Defining Virtual Reality : Dimensions Determining Telepresence, In F. Biocca & M. R. Levy (Eds.), Communication in the age of virtual reality. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 33-56
- Strömberg, H., Väättänen, A., and Rätty, V.P., 2002, A group game played in interactive virtual space, Proceedings of the conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques.
- Vinson N.G., 1999, Design Guidelines for Landmarks to Support Navigation in Virtual Environments. Proceeding of CHI'99, Pittsburgh,PA.
- Witmer, B.G. and Singer, M.J., 1998, Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 7, pp. 225-240.
- Wu, Y. L., 2004, The Interaction of 3D Mark in the VR CAVE, National Chiao Tung University in partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master In Architecture.
- Yang, K. M., 2005, A bodily user interface for VR-CAVE, National Chiao Tung University in partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master In Architecture.



## 附錄：受測者問卷

您好！首先謝謝您協助填寫問卷。這份問卷主要的目的是為了要量測在虛擬實境中使用何種輸入裝置會帶給使用者較強烈的**存在感**，藉以提升虛擬實境的效果。**虛擬實境中的存在感**：存在感是一種主觀的經驗感受，當你在這環境中能直覺的相信自己身處於其中且有身歷其境的感覺，就像你真的在螢幕中的場景裏走動一般，且以直覺的方式在你的心理傳達了存在的經驗。

### 個人資料：

您的性別： Male  Female

您的年齡：\_\_\_\_\_ 歲

您是否為建築相關背景： Yes  No

您是否觀看過虛擬實境或其它類似系統： Yes  No

您是否有去過真實世界中的新竹市政府（本場景為模擬新竹市政府前）： Yes  No

在您進行過三種不同的輸入裝置來操控虛擬實境後，請依照您主觀的經驗填寫以下的問卷，評比分為五個強度不同的等級，由 1~5 代表強度的不同，何者帶給您的直覺感受較為強烈則給予較高的分數。



### 一、在 VR CAVE 的視覺呈現：

1 在 VR CAVE 中有二種不同的呈現方式，一是以播動畫的方式（如：虛擬長安），另一種是具有即時的互動（如：研究中讓使用者任意的操控虛擬環境），此二種呈現方式對你而言**存在感**的程度為？（有強烈的存在感為 5 分，0 分為不具有存在感）

A.預播動畫（如：虛擬長安）\_\_\_\_\_ 分，B. 即時互動 \_\_\_\_\_ 分

聲音是否也會影響你在虛擬實境中存在的感覺呢？  Yes  No

以下為針對即時互動的虛擬實境部份回答：

2 在虛擬環境中**視覺呈現的品質**會影響你執行操控和進行活動的程度為？（視覺品質影響大為 5 分）\_\_\_\_\_ 分

3 當你透過不同的**視角**來環視虛擬環境時，你能對此虛擬環境了解到什麼程度？（完全了解為 5 分）\_\_\_\_\_ 分

4 你在虛擬環境中的經驗與在真實世界中的**經驗有多少一致**呢？（完全一致 5 分）\_\_\_\_\_ 分

5 在實驗開始或結束時，你感到**困惑或迷失方向**的程度為？



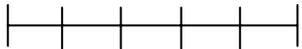
困惑的程度： 5 4 3 2 1 0

6 透過身體的直覺性動作與虛擬環境互動你覺得會增加存在感嗎？  Yes  No

## 二、在虛擬環境中依三種不同的輸入裝置提供給你的經驗感受：

- 1 依你的經驗感受，透過此三種不同的輸入裝置帶給你**存在感**的強度為：（非常強烈為 5 分）  
A. 數字方向鍵 \_\_\_\_\_ 分，B. 3D 反光球 \_\_\_\_\_ 分，C. 感壓式踏墊 \_\_\_\_\_ 分
- 2 與虛擬環境互動後依照你心理的感覺，你**融入**此虛擬環境中的程度？（完全融入為 5 分）  
A. 數字方向鍵 \_\_\_\_\_ 分，B. 3D 反光球 \_\_\_\_\_ 分，C. 感壓式踏墊 \_\_\_\_\_ 分
- 3 在裝置的使用上，是否能讓你**專心**於所指定的任務或操控的活動上呢？（能專心為 5 分）  
A. 數字方向鍵 \_\_\_\_\_ 分，B. 3D 反光球 \_\_\_\_\_ 分，C. 感壓式踏墊 \_\_\_\_\_ 分
- 4 透過此輸入裝置與此虛擬環境之間的互動，你感到**直覺性**的程度有多少？（非常直覺為 5 分）  
A. 數字方向鍵 \_\_\_\_\_ 分，B. 3D 反光球 \_\_\_\_\_ 分，C. 感壓式踏墊 \_\_\_\_\_ 分
- 5 透過輸入裝置來操控虛擬環境時，你的**視覺部份**被吸引的程度有多少？（完全被吸引為 5 分）  
A. 數字方向鍵 \_\_\_\_\_ 分，B. 3D 反光球 \_\_\_\_\_ 分，C. 感壓式踏墊 \_\_\_\_\_ 分
- 6 在此虛擬環境中，利用不同的輸入裝置你能對此環境**控制**的程度有多少？（完全控制為 5 分）  
A. 數字方向鍵 \_\_\_\_\_ 分，B. 3D 反光球 \_\_\_\_\_ 分，C. 感壓式踏墊 \_\_\_\_\_ 分
- 7 當你對虛擬環境進行操控時，你的行為與你的**預期結果**之間的程度？（符合預期結果為 5 分）  
A. 數字方向鍵 \_\_\_\_\_ 分，B. 3D 反光球 \_\_\_\_\_ 分，C. 感壓式踏墊 \_\_\_\_\_ 分
- 8 利用不同的輸入裝置，此虛擬環境對你所執行的行動有多少的**回應**？（完全回應為 5 分）  
A. 數字方向鍵 \_\_\_\_\_ 分，B. 3D 反光球 \_\_\_\_\_ 分，C. 感壓式踏墊 \_\_\_\_\_ 分
- 9 在虛擬環境中，輸入裝置的使用是否容易**學習**？（容易學習為 5 分）  
A. 數字方向鍵 \_\_\_\_\_ 分，B. 3D 反光球 \_\_\_\_\_ 分，C. 感壓式踏墊 \_\_\_\_\_ 分
- 10 於此虛擬環境的互動和操控中，到實驗結束時你感覺**熟練的程度**？（非常熟練為 5 分）  
A. 數字方向鍵 \_\_\_\_\_ 分，B. 3D 反光球 \_\_\_\_\_ 分，C. 感壓式踏墊 \_\_\_\_\_ 分
- 11 當你透過輸入裝置來進行操控時，你是否感受到你正在使用的裝置，**感受到裝置**的程度為何？

A. 數字方向鍵   
感受到的程度： 5 4 3 2 1 0

B. 3D 反光球   
感受到的程度： 5 4 3 2 1 0

C. 感壓式踏墊   
感受到的程度： 5 4 3 2 1 0

謝謝您參與本實驗