

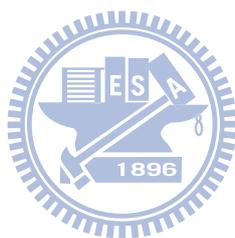
國立交通大學

土木工程學系

博士論文

一個整合立體動畫與立體虛擬實境之空間視覺化系統

A Spatial Visualization System Integrating Stereo
Animation and Stereo Virtual Reality



研究生 吳彥良
指導教授 劉育東

中華民國九十九年一月

國立交通大學
論文口試委員會審定書

本校 土木工程 學系博士班 吳彥良 君

所提論文：一個整合立體動畫與立體虛擬實境之空間視覺化系統

A Spatial Visualization System Integrating Stereo Animation and Stereo Virtual Reality

合於博士資格標準、業經本委員會評審認可。

口試委員：梁成德 教授

陳士農 教授

周建 教授

林威宏 教授

劉育東 教授

_____ 教授

指導教授：劉育東 教授

系主任：葉身泉 教授

中華民國 99 年 1 月 14 日

摘要

綜觀整個設計呈現媒材至今的發展，立體的「動畫」與立體的「虛擬實境」已是當今設計者與大眾溝通的重要呈現媒材，設計者能將他腦中想傳達的意念想法透過這些呈現系統做更真實的呈現，觀看者亦能經由時間序列與互動回饋所呈現的影像，更進一步了解設計者的想法。本研究主要目標為建立一個具立體、即時、互動的「空間視覺化系統」，能縮短原設計者與一般大眾在設計空間溝通上的「原始落差」，以及一般大眾中，有建築設計經驗的一般設計者與沒有建築設計經驗的一般觀看者的「二次落差」。

基於上述之目標，本研究之在研究方法與步驟上主要分為「空間實驗」與「空間視覺化系統」。第一步驟「空間實驗」分「立體動畫」與「立體虛擬實境」兩個部份，受測者分「設計者」與「觀看者」，以類似口語分析之放聲思考為此實驗方法，受測者們觀看與瀏覽這兩種呈現媒材時，他們怎麼了解設計空間之「空間造型」、「空間尺度」、「空間動線」與「空間組織」，最後再經由比較分析，設計者與觀看者在這兩種媒材上所產生的原始落差現象與細微落差現象。第二步驟則是整合第一步驟所得之部份現象，提出一個具有「水平視覺範圍擴展」、「自動空間測距」、「自動空間導引」、「平、立、剖面圖介面顯示」、「自動雙眼聚合視覺呈現」與「自動視點定位」等功能的「空間視覺化系統」，最後再透過一個初步的系統測試，檢視此系統之個別功能與整體系統能否解決第一步驟之現象與系統在操作介面上的使用性問題。

空間實驗之媒材現象主要結果為畫面比例與攝影機視覺範圍會影響菱形空間之造形的誤判現象；參考物為判斷空間尺度之主要依據，但對尺度大之空間亦相對產生較大的誤差；立體視覺之固定式視差易因呈現畫面變大而放大，如沒有相對遠離呈現畫面，易引起眼睛不適之現象；動畫的運鏡轉彎越多，會增加動線的誤判，但對於動線的主動敘述性，相較於虛擬實境的自行探索，易於了解彼此空間的連結動線；視覺畫面中有較整體的空間排列線索呈現，有助於空間組織的了解。最後，基於這些「原始落差」與「二次落差」異現象，建立能整合這些落差現象之「空間視覺化系統」，其在設計實務上或對公眾展示上，能提供設計者與一般大眾一個更完整的設計空間之溝通呈現媒材。另外，這些初步媒材現象亦能提供設計者在動畫、虛擬實境與立體視覺呈現設計上的參考準則。

關鍵字：電腦動畫、虛擬實境、立體視覺、空間呈現

Abstract

Media development in design representation, stereo animation and stereo virtual reality has come to an important role for designer to communicate the public. The new representational systems help the designers to express their ideas more realistically and precisely. Public laymen can further understand the designers' ideas through the images which illustrated spatial sequences and evoked interactive feedback. The objective of this study is to create a spatial visualization system (SVS) with stereoscopy, real time and interaction. SVS can solve some original communicative gaps between the original architect and general public viewers as well as the minor communicative gaps between designers with professional backgrounds and viewers without.

The methodologies and steps in this study are divided into two main parts. Step one compose the spatial experiments in two different formats: stereo animation and stereo virtual reality. The subjects are divided into designers and viewers. Subjects in the experimental method use the protocol analysis concept to narrate their cognition of how spatial form, scale, circulation and organization were understood while watching a stereo animation and browsing stereo virtual reality. Then results were then compared and analyzed in order to detect the preliminary phenomena of original communicative gaps and minor communicative gaps from designers and viewers. In step two a spatial visualization system were created based on the phenomena concluded from the pervious experiments. SVS integrates the functions of "Horizontal Visual Expanding", "Auto Distance Detection of Scale", "Auto Spatial Guiding", "Plane, Elevation and Section of GUI", "Auto Convergence of eyes", and "Auto Viewpoint Positioning". In the final step, SVS were tested to examine aspects which include individual function, entire performance and operative usability.

In conclusion, the study investigates the preliminary phenomena from subjects watching and browsing the design spaces in order to create SVS to integrate the phenomena from stereo animation and stereo virtual reality. SVS can be applied as tool to bridge the gaps and improve precision in communications between architectural designers and general public. The phenomena offer guidelines for the designers in representing animation, virtual reality and stereoscopy.

Keywords: computer animation, virtual reality, stereoscopy, spatial representation

謝誌

在此謹以本論文獻給我親愛的父母與家人。

目錄

1. 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究問題	3
1.3 研究目的	6
1.4 研究方法與步驟	6
<hr/>	
2. 文獻回顧	11
2.1 設計媒材	11
2.2 設計中的動畫	19
2.3 設計中的虛擬實境	22
2.4 設計中的立體視覺	27
<hr/>	
3. 空間實驗	32
3.1 實驗環境	32
3.2 「立體動畫」實驗	35
3.3 「立體虛擬實境」實驗	37
3.4 現象分析	38
<hr/>	
4. 空間視覺化系統	55
4.1 系統建製	55
4.2 系統測試	86
<hr/>	
5. 結論	95
<hr/>	
參考文獻	99
個人簡歷	106
附錄一 動畫影片片段	107
附錄二 「立體動畫」實驗之口語資料	112
附錄三 「立體虛擬實境」實驗之口語資料	121

1. 緒論

1.1 研究背景

設計是一個改善現有狀況的過程(Simon, 1969)，亦是對尚未出現的東西的一種描述，設計可能存在大腦裡、紙上或數位裝置裡(Mitchell and McCullough, 1994)。就建築而言，設計專注於空間、尺度和材質組合之間廣泛且複雜的關係上(Alexander, 1977; Krier, 1988)。然而設計者面對這麼複雜問題的同時，亦需考慮到設計過程中的參與者與設計最終的使用者。因此，設計者尚需面對的挑戰是如何將他們的想法容易地讓設計專業人士與非設計專業的使用者或一般大眾了解。就如同其它(醫學、法律、工程等)專業訓練，設計的過程與設計成果的評估是由專業來審視，在最後階段則是由使用者或一般大眾來認可(Maller, 1991)。在建築設計上，設計者利用不同形式的視覺呈現，模擬建築設計與真實環境的關係(Akin and Weinel, 1982)。所以 Schön(1983)指出建築師依靠「呈現」(representation)做設計、溝通和建築評論，使用「呈現」去連結與傳達建築的想法。

設計呈現媒材(representing media)的發展，在古羅馬時代，維楚維亞斯(Vitruvius)便已將平面媒材中的平面圖、立面圖和剖面圖的運用發揮到了極致，並以著作描述了當時建築物被建造完成時的所有細節、比例與向度(Millon, 1994; Liu, 1996)。然而，越來越複雜的二維圖集能更精確的描述建築物，卻也限制了非建築背景者對設計內容的了解與溝通(Mitchell and McCullough, 1994)。所以在文藝復興時期發展了更為擬真的透視圖及可分析與呈現設計的實體模型兩種新的呈現方式。透視圖的主要目的是在二維的媒材上呈現出人眼所看到的三維場景，它提供了一個較接近人類視覺經驗去探討空間視覺模擬的方法，再加上豐富色彩的使用與明暗陰暗的處理，讓一個尚未實際建造出來的建築設計，可以被預先更接近真實的展現出來，並且更容易被使用者與一般大眾了解(Perez-Gomez and Pelletier, 2000)。另一面，實體模型則提供設計者一個可即時變化空間視覺角度與光線陰影的媒材，幫助設計者了解複雜空間的視覺關係，減少二維平面媒材的模糊性，幫助設計思考，同時也更提供使用者與一般大眾等非專業設計人士另一個較容易且直接的溝通媒材(Wu, 2003; Smith, 2004)。

到了數位時代，電腦影響了傳統媒材，如文字、靜態影像、動態影像、聲音等形式，亦改變了溝通傳播中的接收、操作、儲存與分佈(Manovich, 2001)。而電腦運算科技不斷的精進，已能到將所有不同類型的媒材整合到電腦運算裡。因此，電腦設計工具中，以數位模型為基礎且能結合多種媒材類型的整合視覺呈現，成為當今設計的主要呈現方式，例如電腦動畫為靜態呈現媒材擴展出另一以時間為向度的整合媒材，使得空間與時間得以結合，空間也得以在時間的推移中被展現出來，而時間也由空間的變化被呈現(Danby, 1998; Schwarzer, 2004; Ching, 2007)。而時間推移的速度，有著不同目標的設計呈現，在景觀設計上，透過時間壓縮的方式，呈現需要長時間才能觀察到的變化，如一天中光線的變化與一年四季的植物變化；而建築則試圖以人的視點，用最自然的速度呈現人在空間中的移動；營建管理會透過壓縮時間呈現一棟建築的建造過程(Mitchell and McCullough, 1994)。因此，電腦動畫對設計者提供了一個較容易操作時間的媒材，但同時也出現空間動畫的運鏡操作的敘述問題，使得觀看者無法清楚了解動畫所呈現出的空間。而同樣以數位模型為基礎的虛擬實境，除了能具備時間特性的向度外，還增加了使用者即時互動的向度。使用者透過互動裝置的操作，任意的在虛擬空間中瀏覽，像人一樣的在地面上行走(walking)，或像飛鳥一樣在空間中飛行(flying)。虛擬實境對空間呈現的重要性在於瀏覽者與場景之關係，和其它設計領域(如產品設計、機械工程等)不同的是，其它設計領域瀏覽者通常大於被瀏覽物，而空間的瀏覽者則被包覆在被瀏覽物的裡面。虛擬實境相較於其它的呈現方式，提供了一個可以身在(being inside)建築空間中較好的模擬方法(Kalay, 2004)。另外，電腦動畫與虛擬實境在立體視覺(stereoscopic vision)科技的加入後，讓平面上的三維空間與三維物件得以像真實般的空間與物體，具有尺度感、量體感與視覺深度感等視覺特質(Wu, 2003)。因此，電腦動畫、虛擬實境與立體視覺等呈現媒材對於設計空間的呈現將扮演越來越重要的角色，本論文將探討這三種形式的媒材如何有效的整合在一個空間視覺化系統中。

1.2 研究問題

二十世紀中後，電腦的問世，促使不同媒材類型與運算科技的得以整合(Manvoich, 2001)；傳統的設計媒材延伸發展為數位媒材(digital media)。在設計上，Kalay(2004)將電腦新媒材分為三種層次，第一種著重在設計本身，將電腦做為設計的工具、溝通的工具與輔助設計與思考；第二種是電腦成為空間本身，空間成為有某種思考的智慧空間；第三種則為因電腦與網路而延伸了實體空間成為網際虛擬空間。然而第一種層次和設計想法的呈現與溝通最為有關，也是數位媒材在設計中最為明顯的角色。如「動畫」、「虛擬實境」與「立體視覺」等新的數位呈現方式，擴張了設計媒材的多樣性，也補充了傳統二維平面圖集與實體模型的不足(Mitchell and McCullough, 1994)，對於設計者與一般大眾更是一種較直接的溝通(Liu, 1996)。

數位媒材在設計空間呈現上的應用，從二維的平、立、剖圖與渲染(render)逼真的透視圖，發展至可呈現時間向度的動畫，人們以往只能透過靜態圖面在腦中組織成片段式空間，得以轉變為連續式空間。雖然早期有透過攝影機拍攝實體模型所製成的動畫，但在影像品質、製作的困難度與運鏡的靈活性皆不如電腦動畫(Bosselmann, 1998)。因此，電腦動畫給了設計者一個較容易操作時間向度的媒材，使得設計者常常任意操作，讓攝影機在數位場景中飛梭自如，如以很快的速度飛上飛下，穿越建築物，或飛到不知幾層樓的建築體中(Fear, 2001)，但是這樣的手法因為缺乏有著較長歷史的電影電視媒材特有的敘述方式，如螢幕語言(screen language)，往往使得運鏡手法顯示粗糙(Ahmad Rafi, 1998; Nagakura and Chatzitsakyris, 2006)，無法吸引大眾注意，更遑論讓大眾了解。不少設計者體認到大部份用電腦輔助設計系統所產生的動畫，是缺乏人的存在感與尺度感(Penz, 2003)。另外，動畫的空間敘述對觀看者而言，是處於一種被動的形式，影片內容的提供了什麼樣的內容，觀看者只能在這樣已安排下的流動視覺接受空間資訊，而空間資訊的完善與否，則取決於影片的設計者(Temkin, 2003)。

另外，「虛擬實境」系統能感知觀看者的動作，同時產生相對應的視覺回饋，進而和觀看者產生互動，提升觀看者對虛擬環境的感知意識(Belleman et al., 2001)，提供視覺、聽覺、觸覺等多感知的刺激，進而產生如身歷其境的感覺，而非只是一個影像的觀察(Bridges and Charitos, 1997; Burdea and Coiffet, 2003)。柯比意(Le Corbusier)認為體驗欣賞建築，最好的方式是用雙腳走到建築裡，藉由改變觀看的視點角度，去體察建築空間之連結關係，而非只是繞著理論走動的紙上建築(Penz, 2004)。Bertol和 Foell(1997)亦認為建築環境最好的感受與美學的評判，是透過一個可以改變視點

的連續性視覺瀏覽，只有透過完整的瀏覽才能提供一個較客觀的空間經驗。然而虛擬實境相對於動畫雖能有較完整的瀏覽資訊，但在視覺呈現品質上較無法如動畫精緻，其呈現的精緻度與流暢性會相互影響，往往需要在當時的硬體效能限制下，取得視覺精緻與視覺流暢的平衡點。

在設計的呈現上，除了實體模型外，大部份的呈現都集中在二維紙面或螢幕上，忽略「立體視覺」在空間設計呈現的重要性，像是提供觀看者一個較有尺度感、量體感與視覺深度感的虛擬空間，也較能拉進虛擬與實真之視覺呈現的距離(Wu, 2003)。另外，Yates(2004)認為空間經驗的感受，有視覺深度的感受要比距離更為重要。Ye 等人(2006)認為從設計的觀點來看，立體視覺可以使得平面螢幕所顯示的複雜物件更被了解，一個有立體視覺介面的設計系統，能減少在設計過程中的錯誤，同時支援設計評論者對視覺資訊的不足。且大部份的 CAD 系統為了能在二維的螢幕上顯示三維的數位模型，需要同時有其它不同視角與不同顯示模式(如線架構、陰暗處理等)，來輔助設計者對內外關係的詮釋，而這樣同時也提高大腦對不同顯示資訊的組構困難。因此，立體視覺的顯示，能增強設計者與數位模型之間的資訊交換(Ye et al., 2006)與協助解決前述的各項困難。

數位時代後，數位模型提供設計者另一個呈現設計的方法，其以幾何模型為基礎(geometric-based)的特性容易將「立體視覺」應用於「動畫」與「虛擬實境」上。立體視覺的呈現媒材，由單人頭戴式顯示器(Head Mounted Display, HMD) (Sutherland, 1968)或桌上型螢幕的觀賞擴展到能多人同時觀看的空間模擬媒材(Cave Automatic Virtual Environment, CAVE)。空間的感受不再只是透過一個方形的小框框，而是雙眼立體之全視覺領域的沈浸式融入(Kalay, 2004)。立體式空間模擬媒材的應用亦從實驗室走入博物館與美術館，成為設計者對一般大眾做設計想法溝通之呈現工具系統(Liu and Tang, 2003; 劉育東, 2006a)。綜觀上述設計媒材的發展，從最早一維的口語、文字表達，二維的平、立、剖面圖，到三維的實體模型與透視法的應用，再到數位時代多維度之建築動畫、虛擬實境等系統，設計者的設計想法能被一般大眾容易了解的層級也相對提高(Mitchell and McCullough, 1994; Liu and Bai, 2001; Fukuda et al., 2009)，但一般大眾透過呈現媒材了解設計者的設計想法仍然存在著落差，這樣的落差分為兩個層次(圖 1.1)：第一個落差稱為「原始落差」，是原設計者與一般大眾之間的落差；第二個落差較細微，是一般大眾中，有設計經驗的一般設計者與沒有設計經驗的一般觀看者之間的「二次落差」。這兩層次的落差在國際設計環境中尤其明顯，例如，知名建築師的作品在國際間展出時，會有原設計者與一般觀賞大眾的落差(原始落差)，然而，一般觀賞大眾中，經常包含大量慕名而來的設計者與觀看者，

他們透過呈現媒材來了解原設計者想法時，又會產生另一種細微落差（二次落差）。另外，又如國際建築合作案例中，原設計者與一般使用大眾之間，存在一種基本的設計落差（原始落差），但負責協助的在地建築師（即「一般設計者」），他們不是原設計者，所以與原設計者之間必然存在著「原始落差」，但基於已有的設計經驗，他們與一般使用者（即「一般觀看者」）在溝通時又會存在著細微的「二次落差」。

基於上述的分析，本論文將深入探討「原設計者」與「一般大眾」對空間的了解時會產生的「原始落差」現象，以及，「一般大眾」中又可區分為「一般設計者」與「一般觀看者」，兩者在了解原設計者想法時，又會有細微的「二次落差」，如圖 1.1 所示。

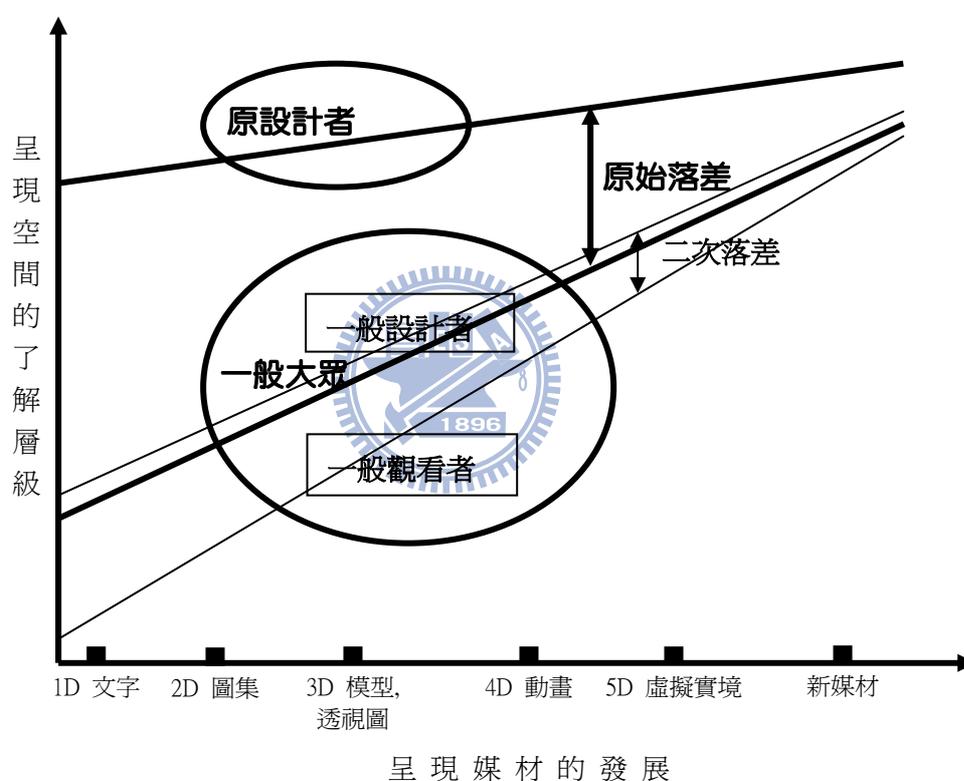


圖 1.1：各種設計媒材對於設計者與觀看者呈現空間了解層級之關係

如前所述，空間呈現模擬系統已是當今設計者與一般大眾溝通的重要媒材之一(Kalay, 2004)，它可分為「立體動畫」與「立體虛擬實境」兩種系統呈現方式(Liu and Tang, 2003; 劉育東, 2007a)。所以，原設計者能將他腦中想傳達的想法，透過這二種呈現系統做更真實的傳達，一般大眾亦能經由時間序列與互動回饋所呈現的影像，更進一步了解設計者的想法(Mitchell and McCullough, 1994)。在國際化設計環境愈來愈重要的今天，前述的「原始落差」與「二次落差」如何能被新的空間模擬系統所解決或至少減緩，是數位設計與電腦系統發展中的重要課題。因此，本論文希望在一個具有立

體、即時、互動機制的空間視覺化系統環境中，探討下列三個研究問題(圖 1.2)：

1. 縮短「原設計者」與「一般大眾」在設計溝通上的「原始落差」？
2. 縮短「一般設計者」與「一般觀看者」在設計溝通上的「二次落差」？
3. 如何有效整合「立體動畫」與「立體虛擬實境」？

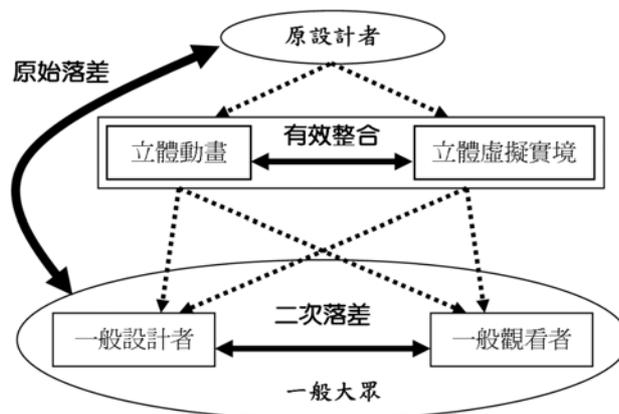


圖 1.2：空間視覺化系統探討的問題

1.3 研究目的

基於上述的研究問題，本論文的研究目標如下：

1. 透過受測者的空間實驗，獲得：
 - (a) 「原設計者」之設計空間透過「立體動畫」與「立體虛擬實境」呈現時，「一般大眾」了解設計空間所產生的「原始落差」現象，即一般設計者與一般觀看者了解設計空間的共同落差。
 - (b) 「一般設計者」與「一般觀看者」透過這二種呈現媒材了解原設計者之設計空間時的「二次落差」現象。
2. 建製一套在設計實務上能有效整合「立體動畫」與「立體虛擬實境」，並能縮短的「原始落差」與「二次落差」現象的「空間視覺化系統」(spatial visualization system)。

1.4 研究方法與步驟

根據上述研究問題與目的，本研究之研究方法與步驟主要分為「空間實驗」與「空間視覺化系統」二大步驟，「空間實驗」是希望能得到空間呈現媒材「立體動畫」與「立體虛擬實境」對「一般設計者」與「一般觀看者」(在本研究方法與步驟中簡稱為「設計者」與「觀看者」)呈現設計空間時所產生的「原始落差」與「二次落差」現象。「空間視覺化系統」則是希望基於空間實驗中所得的落差現象，能有效整合立

體動畫與立體虛擬實境，建立一個具立體、即時、互動之呈現系統。底下為二大步驟的進一步說明如下：

步驟一、空間實驗(圖 1.3)

1. 實驗環境—本空間實驗是以一個可呈現 120 吋立體背投影螢幕做為「立體動畫」與「立體虛擬實境」實驗之視覺呈現，呈現的設計內容為一座未來會對公眾開放的美術館，其空間複雜度亦相較於一般居住空間高，同時以 4 個在造型與尺度均不同的空間做為本實驗之受測空間。
2. 「立體動畫」實驗—受測者分有建築設計經驗的「設計者」與沒有建築設計經驗的「觀看者」，透過觀看螢幕中所呈現出來的立體動畫影像，以似放聲思考和手繪方式，將受測空間之空間造型、空間尺度、空間動線與空間組織及其相關判斷的因子表達出來。
3. 「立體虛擬實境」實驗—一個月後，相同受測者透過互動搖桿的操作瀏覽實驗空間，與立體空間實驗相同，以似放聲思考與手繪方式，同樣地將受測空間之空間造型、空間尺度、空間組織與空間動線及相關判斷的因子表達出來。
4. 現象分析—實驗所得的口語與手繪資料，透過空間造型、空間尺度、空間組織與空間動線四項空間因子之比較分析，提出「立體動畫」與「立體虛擬實境」對於「設計者」與「觀看者」了解設計空間之共同「原始落差」現象，以及兩者彼此之「二次落差」現象。

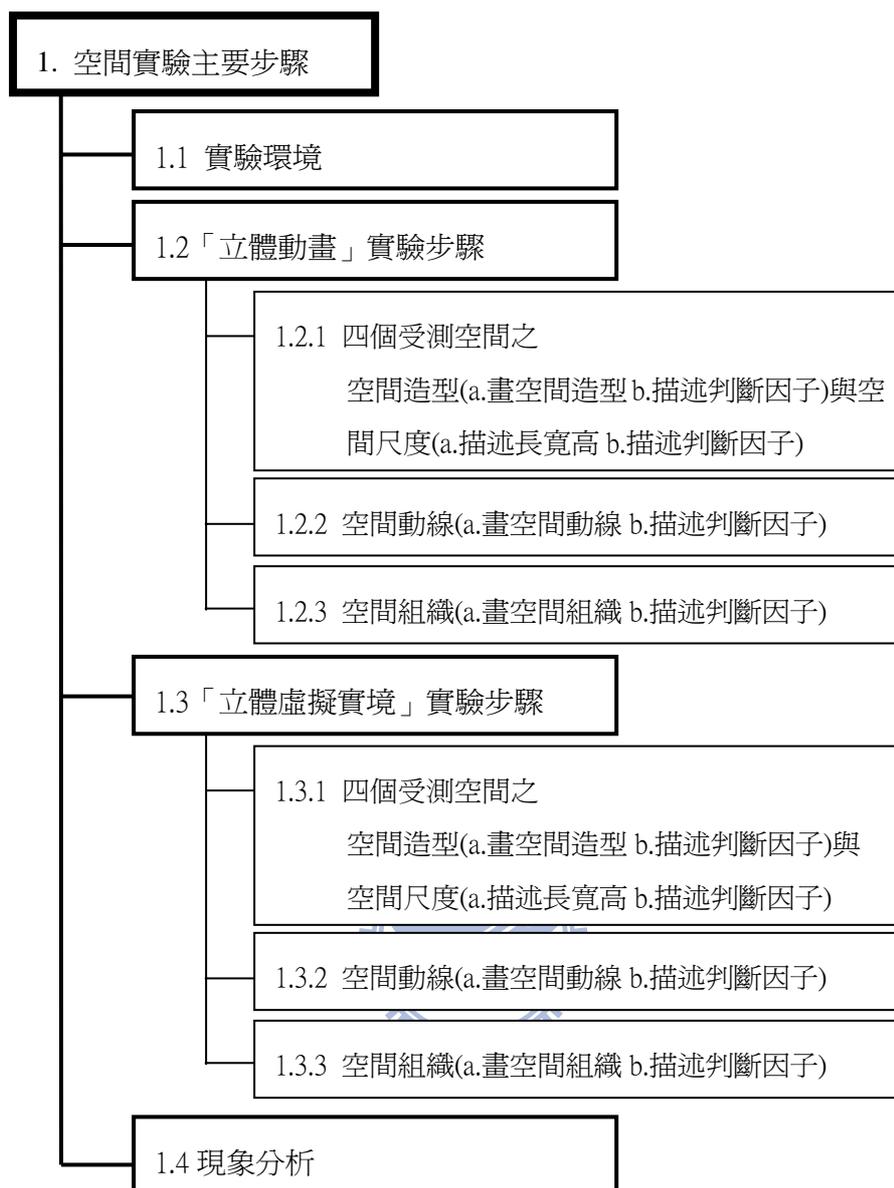


圖 1.3：空間實驗架構圖

步驟二、空間視覺化系統(圖 1.4)

1. 空間視覺化系統建製－此系統基於在上述空間實驗之可立即執行的現象，以軟體 Quest 3D 做為本系統的開發建工具，建製在硬體由三面螢幕組成的空間模擬器（詳細如第四章圖 4.3 與圖 4.4 所示）上，其所整合的主要功能如下：

- 「水平視覺範圍擴展」，此一功能根據空間實驗現象分析中「立體動畫」與「立體虛擬實境」之「空間造型」的相關現象而得。透過縮小攝影機可視範圍以減少因透視所產生的空間形變。同時，增加投影螢幕數量，以三投影螢幕並置方式擴展空間呈現媒材之水平視覺呈現的範圍。而這樣的呈現乃基於電腦主從(client/server)架構，以網路連接，三組立體投影之即時同步畫面更新。
- 「自動空間測距」，此一功能根據空間實驗現象分析中「立體動畫」與「立

體虛擬實境」之「空間尺度」的相關現象而得。解決透過參考物判斷空間尺度時所產生的誤差，由系統自動提供空間瀏覽者如雷射測距的功能，精確的掌握設計空間的尺度。而空間測距之方式是由觀看的攝影機位置與觀看方向，以攝影機畫面中心為基準，計算這個中心點到攝影機前面之物體表面的射線直線距離。

- 「自動空間導引」，此一功能根據空間實驗現象分析中「立體動畫」與「立體虛擬實境」之「空間動線」的相關現象而得。由虛擬引導員自動引領空間瀏覽者到他所欲前往的空間，而前往的過程是模擬實體空間之限制，行走空間中的實際動線，以強化參觀者對空間動線的了解。其技術是在所有空間及動線地面上設定導引的路徑結點，再計算最短的行進路徑引領參觀者的攝影機到目的空間。
 - 「平、立、剖面圖介面顯示」，此一功能根據空間實驗現象分析中「立體動畫」與「立體虛擬實境」之「空間組織」的相關現象而得。補足 3D 導覽中，空間視覺資訊對於空間組織的不足，以及單純的平面圖對樓層相間之呈現上的限制。其主要技術是將 3D 導覽畫面中再分割出小的 2D 視窗，而這 2D 視窗系由 3D 場景中另外三部攝影機負責呈現整體建築之平、立、剖面圖與目前所在位置的標示。
 - 「自動雙眼聚合視覺呈現」，此一功能根據空間實驗現象分析中「立體動畫」與「立體虛擬實境」之「空間尺度」的相關現象而得。模擬人兩眼球對於二公尺內的之立體視覺，以更貼進人雙眼的視覺變化，改進參觀者透過雙眼聚合感知空間距離的能力。其主要技術是觀看攝影機以射線方式及時偵測前方物體之距離，以此距離再計算立體呈現之雙眼聚合的角度。
 - 「自動視點定位」，此一功能同樣根據空間實驗現象分析中「立體動畫」與「立體虛擬實境」之「空間尺度」的相關現象而得。依導覽者位置，自動調整適合導覽者的視點位置，以符合人有不同視點高度與站立位置，同時，更能呈現出適合參觀者位置的視差影像。其主要技術是透過 WiiMote 之紅外線攝影機偵測參觀者戴上附有 IR LED 燈的立體眼鏡。
2. 系統測試—本系統測試主要分為二個部份，由系統設計者先對各別功能模組與整體系統做測試，其說明如下：
- 第一部分各別功能模組「水平視覺範圍擴展」、「自動空間測距」、「自動空間導引模式」、「平、立、剖面圖介面」、「自動雙眼聚合視覺呈現」、「自動視點定位」進行測試，逐一的與空間實驗中產生的現象做驗證比較測試。
 - 第二部份為整體系統測試，從系統之主從程式起動，伺服端與客戶端電腦連線、3D 座標定位之無線藍芽連線等前置系統的測試，再到個別功能模組綜

合使用之測試。

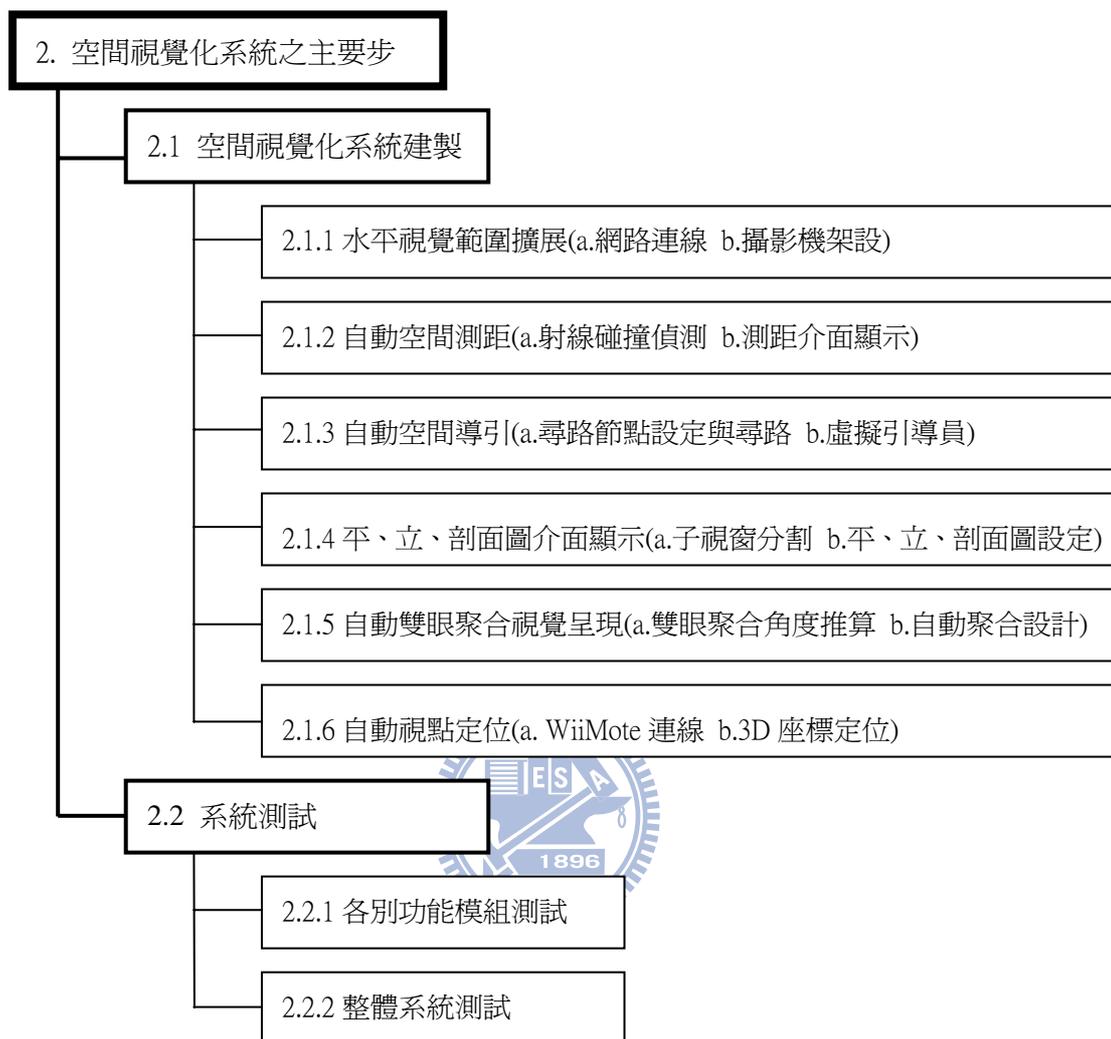


圖 1.4：空間視覺化系統架構圖

2. 文獻回顧

2.1 設計媒材

呈現媒材 (representating media)在設計中所扮演的角色是複雜與多面的，設計師利用呈現做設計、溝通、評論(Schön, 1983; Kalay, 2004)。設計者面對的挑戰是如何將他們的想法容易的讓設計專業人士與無設計專業的一般大眾了解，就如同其它專業訓練(醫學、法律、工程等)，設計的過程與設計專案的評判是由專業來審視，在設計的最後階段，則是由使用者和一般大眾來認可。但無論設計專案的評判是否該被轉換到專家，或者應該留給公眾認可(Maller, 1991)。

然而在產品或建築物的設計中，設計者和其它相關專業領域，已經發展了很多不同的呈現方法，但在一般的實務上，還是會有一些的限制。這些溝通呈現的方法所涵蓋的範圍，如語言上的說話寫字、符號代碼(arbitrary code)、草圖(sketch)，以及更具體的方式，如繪製圖(scale drawing)、三維的比例模型(scale model)，甚至是一比一等比例的模型(full scale model)，如廚房、預售屋等，這些不同的呈現方式，可分為「抽象程度」與「說明足夠性」(affordance)兩種屬性(Kalay, 2004)，如圖 2.1，有一些是高度抽象的，如文字、記號等，需要一些腦力解碼運算，才能知道這些符號代表著什麼意思。而抽象程度較低的，如插圖、照片、比例模型。而比例模型的呈現方式，在溝通的過程中，甚至可讓訊息的接收者扮演更積極的角色，他們可以自由的轉換不同的觀看角度。另外一個為說明足夠性，代表著一樣東西如何讓人知道它的呈現意圖(Preece et al., 2002)，如照片、草圖在設計中所呈現的說明資訊為低，比起比例圖、比例模型，呈現了設計的詳細尺寸、結構、外型、材質等資訊。

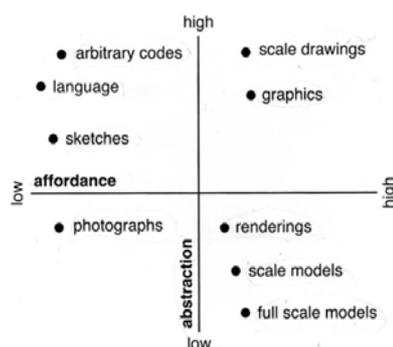


圖 2.1：呈現媒材的分類(Kalay, 2004)

另外，數位時代的來臨，透過如電腦動畫、三維即時的虛擬實境等新的數位呈現方式，擴張了設計媒材的多樣性，數位呈現補充了傳統的平面圖與實體模型的不足(圖 2.2)(Mitchell and McCullough, 1994)，如建築統設計的過程中，建築師腦中的抽象概念，須藉由搭配各種圖集、實體模型、數位模型的模擬呈現與分析，來呈現複雜多變的三維空間(圖 2.3)(Liu, 1996)。Szalzpaj(2005)認為在數位時代，應將傳統的草圖與實體模型能轉換到數位環境中，讓設計師無時無刻的可以用這些數位化媒材做分析與呈現，同時更易於對一個設計事務所內部成員，營造或生產廠商，開發商，公眾或消費者做呈現與溝通。數位媒材不只是一個抽象或設計最後成果的代表，更增加了人的感知與視覺探索範圍(Migayrou and Brayer, 2001)。

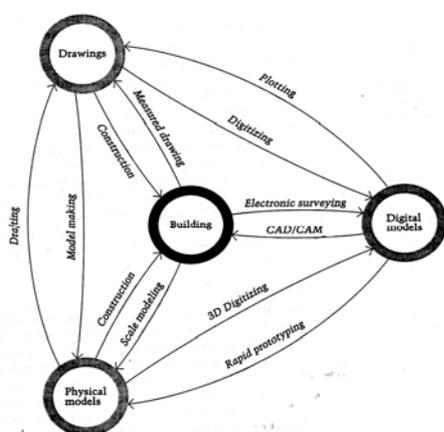


圖 2.2: 傳統媒材與數位媒材的整合(Mitchell and McCullough, 1994)

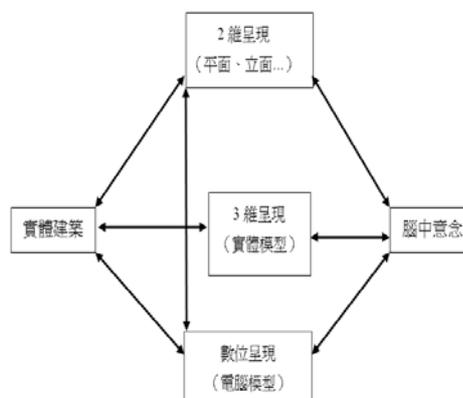


圖 2.3: 數位時代的建築思考模式(Liu, 1996)

2.1.1 傳統設計媒材

回顧設計媒材在整個歷史發展中，可從傳播史的角度開始，人類最初用喊叫做溝通、再到語言的使用、以及懂得在洞內畫上獸類的壁畫、之後用類似的方式產生象形文字，最後紀元初透過印刷傳遞訊息(Carpo, 2001)。以設計的角度來看，可從史前時代的建築或是較風土性的原始建築開始，建築物在建造的過程中是沒有透過任何的圖面資料，僅就週遭材料，以直接了當的方法與作法完成自宅建築(Liu, 1996; Smith, 2004)。然而，當要建造的是一巨大的金字塔時，就必須要有一詳細的施作的方法與設計媒材的輔助，如在古埃及時代，許多的大型建築，便在建造前，透過平面圖、立面圖，將設計者所期望的建築畫出來(Millon, 1994; Liu, 1996)。而到了古羅馬時代，從維楚維亞斯(Vitruvius)的「建築十書」中得知，平面媒材的平面圖、立面圖和剖面圖的運用，已發揮到了極致，在羅馬城的規劃，更可看到近 1/300 的區域比例平面圖(Liu, 1996)。

到了文藝復興時期，爲了要能完整的控制建造過程，建築師在建造之前，利用計畫性的呈現方式，與建築工人先做溝通。最初的呈現方法則是利用比例圖，它描述了當建築物被建造完成時的所有細節、比例與向度，建築師的角色也從在工地的技術人員變成可利用繪圖傳達專業技術的設計師，繪圖與理論的學習訓練比實際的建造經驗更爲重要(Kalay, 2004)。因此，文藝復興時期成爲建築理論發展的重要階段，如知名建築師亞伯提(Alberti)、米開朗基羅(Michelangelo)與帕拉底歐(Palladio)等，都以論文著作方式來探討建築美學與設計方法，以及設計想法的呈現方式在設計過程中的角色與重要性(Liu, 1996)，然而，比例圖的技術演進，增加了對建築物的精確描述，但同時也增加平面圖的複雜性，也限制了設計內容的被其它非建築背景人的了解與溝通，所以發展了更爲擬真的「透視圖」與可分析與呈現設計的「實體模型」。底下爲這兩種呈現方式的更進一步說明：

透視圖

透視圖的主要目的是在二維的媒材上呈現出人眼所看到的三維場景。它是基於相同大小的物體在不同的距離下，對觀看者而言，呈現在眼裡的物體爲大小不同(Shepard, 1990)。一個透視的建構是需要定定理規則下，有系統的以圖學方式建構，在這之中，包含了視覺、實體世界與它的呈現，三個部份。透視發展的理論與實踐以這三個部份爲發展的中心，真實三維世界可以透過歐幾里德(Euclidean)幾何學來描述，但幾何學尚不夠來解釋透視法則(Angrill and Parramon, 1997)，在真實視世界中，兩條平行線不可能會交會成一個點，但在我們的視知覺中，他卻交會成一個點，如鐵軌，在真實中，是兩條平行的軌道，但在我們眼裡看到的確是交會的。

人怎麼感知三維世界的問題，早在西元前 5 世紀，希臘哲學家恩培多克勒(Empedocles)提出超任務理論(extramission theory)，一個物體的距離是由目光(ray)的長度來感知的，如同眼前的一個物體，能夠透過手臂的伸出，來知道這個物體的距離。歐幾里德(Euclid)在他的光學(optics)一書中提出視覺空間之幾何分析的基礎，描述了基礎的透視因子，同時也注意到雙眼之視覺影像的不同(Howard and Wade, 1996)。到了 1305 年前後，喬托(Giotto)在帕都亞(Padova)阿列納教堂(Cappella dell' Arena)所作「聖母領報」的壁畫，企圖在二維的畫作中呈現出三維的建築場景(Wertheim, 1999)。爾後，到 15 世紀初，布魯內勒斯基(Filippo Brunelleschi) 反對文藝復興之前的宗教觀，改以自然的空間觀，以科學的方法，發展出線性透視法，他從觀察鏡子中的影像了解到在一個平面的鏡子上呈現出的平面邊線，最終都會集中於一單一的消失點(vanishing point) (Perez-Gomez and Pelletier, 2000)。另外亞伯提於 1435 年發表其著作「繪畫」(Della Pittura)，探討透視繪畫的規則與建構方法，他認爲透視法繪畫就像透過一層介於眼睛和物體之間的面紗看東西，因此，物體的每一點都向觀看者的眼睛投射一束穿過

面紗的光線，如果能將穿過的光線與面紗的交叉點繪製出來，就能呈現出如窗戶外的場景一樣(Bertol, and Foell, 1997; Wertheim, 1999)。杜勒(Albrecht Durer)更利用面紗這樣的觀念，在玻璃窗上打上格子(圖 2.4)，同時加上一個可以固定眼睛的基準裝置，讓眼睛每次觀看面紗時的透視角度可以相同，透過這樣的裝置，將呈現在面紗框架裡的影像，描繪在有相同格子的紙上(Perez-Gomez and Pelletier, 2000)。



圖 2.4：Durer 的玻璃格子窗與固定眼睛的基準裝置(Perez-Gomez and Pelletier, 2000)

文藝復興時期的建築空間在視覺呈現上已達到繁花綻放，在繪畫上如瑪薩其歐(Masaccio)、佛蘭契斯卡(Piero della Francesca)、達文西(Leonardo da Vinci)，他們認為透視法是將理想空間和建築構圖轉換到一個可感知的作品之必要方法(Bertol, 1997)。這些藝術家除了對透視法的精練外，繪畫中光線處理的開拓者佛蘭契斯卡，在這時期之前，尤其是中世紀藝術幾乎不會考慮光線陰影問題，佛蘭契斯卡擅長在畫中處理陰暗面，空間與人物更易形塑，更可創造視覺深度，同時也提升了透視效果(Gombrich, 1995)。另外，達文西也意識到距離使形狀變模糊，空間中所要呈現的不只是透視，尚空氣的影響，因此透過其空氣透視法表現出空間裡會有的氛圍氣氛(Angrill and Parramon, 1997)。

透視法從 15 世紀開始發展後，很快地被應用在不同領域的圖像上，從藝術到建築，從幾何到科學，這些所探索的是如何在二維的平面上呈現真實。透視法呈現提供了一個較接近人類視覺經驗的探討空間視覺模擬的方法，讓建築設計的呈現，不同於平面圖、立面圖、剖面圖，透過豐富色彩的使用與明暗陰影的處理，讓一個尚未被實際建造出來的建築設計，預先被展現出來，同時，這樣的呈現方法更易被業主與大眾了解，直到現今，一般的建築行銷戶外廣告，在電腦繪圖尚未被普遍使用於設計界之前，以傳統手繪透視法呈現建築設計仍是最主要且直接的方法。

實體模型

如果說一張圖片勝過千言語，而一個模型更可勝過千張圖，在設計過程中，集各種材料與各種比例做成的實體模型，提供設計師一個與設計想法較為接近真實設計的媒材，且直接呈現了視覺化的三維空間，和可即時的變化陰影與量體形式，幫助設計師了解複雜的視覺關係，減少二維平面媒材的模糊性，幫助設計思考，同時也能夠提供客戶或公眾等無設計專業人士另一個較容易且直接的溝通媒材(Wu, 2003; Smith, 2004)。不同設計階段，有不同需要解決的設計問題，因此，模型的使用大致可分為底下幾種形態：初期之概念模型(conceptual model)、設計發展模型(design development model)、呈現模型(presentation model)(Porter and Neale, 2000; Heufler, 2004)，其應用的時間大致分佈在設計的早、中、後期等三個時期。概念模型是設計初期用來呈現抽象概念的工具，設計發展模型則是為嘗試各種可能性的設計所發展出來的可行性模型，而最後呈現模型是在設計完成後，包括細部設計，是用來做為與業主溝通的主要工具之一。

模型的發展，最早始於古希臘時代塞浦絡斯與邁錫尼神廟的小型陶土模型(圖 2.6)，而這些非常抽象的模型，不是用來做建築設計表現的，而僅是用來做祭祀用，且一直被延續到文藝復興初期。模型真正用於設計中，要到文藝復興時期，布魯勒斯基(Filippo Brunelleschi)為了解決各類圖集無法描述清楚的形式，及無法明確計算的構造問題，利用自己手製之立體模型做更精確的說明和驗證(Millon 1994; Liu, 1996)。到米開朗基羅時，實體模型的使用更為大量，在每個設計過程中使用不同的模型來解決不同的設計問題，如光影的考慮、比例關係、材料的使用及裝飾等，因而業主與建築工匠有機會更精確的了解到建築師內心的建築意念(圖 2.7)。模型在文藝復興時期被大量的應用在建築設計上，也使得文藝復興時期的建築形式與過去的建築形式更為豐富且具變化。



圖 2.6：祭祀用陶土模型(Liu, 1996)

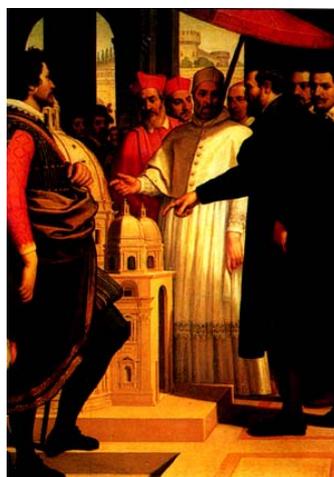


圖 2.7：米開朗基羅以實體模型向教宗說明他的設計 (Millon, 1994)

2.1.2 數位設計媒材

十四世紀的印刷出版與十九世紀的攝影術對現代社會和文化產生革命性的影響，但現今電腦的出現比前兩次革命是另一個更全面性的革命，影響範圍從生產、分佈到傳播。印刷出版影響了文化傳播的媒材分佈，攝影術影響了文化傳播的靜態影像，而電腦影響的是溝通傳播中的接收、操作、儲存與分佈，以及所有的媒材類型，如文字、靜態影像、動態影像、聲音等(Manovich, 2001)。所以什麼是新媒材？Manovich(2001)指出新媒材的產生，來自媒材科技與運算的整合，媒材科技從攝影、電影、電視等一連串的發展，以及電腦科技之運算不斷的精進，到足以整合照片、動態影像、聲音、文字到電腦運算裡，成為新的媒材，亦是現今的數位媒材。同時也提出數位新媒材的五大原則：

- 數位化呈現(numerical representation)－所有新媒材物件無論在電腦裡產生或類比轉成數位的，都是由位元(digital code)所構成，如聲音、圖片都是由相同位元組成。
- 模組化(modularity)－也稱為新媒材的不規則碎形結構(fractal structure)，而這些碎形有相同結構，但尺度不同，它們可以相互組合成一個更大的物件，且繼續保有它們各自的獨立性，如多媒體整合軟體，可整合聲音、圖片、動畫等媒材。
- 自動化(automation)－基於數位化呈現與模組化，透過指令運算，自動地處理如新增、修改等操作，如影像處理軟體之自動顏色或反差校正等。
- 可易變性(variability)－是另一個數位化與模組化的結果，新媒材物件不是永遠固定的，它可以用不同方式出現，且有無限的可能，如根據影像之明度高低，轉變成三維立體影像。
- 轉碼(transcoding)－媒材被轉變成電腦資料後，而電腦又將之轉化成可以讓人了解的組織結構，如三維虛擬空間由笛卡爾座標系統(Cartesian coordinate system)所定義，對人與電腦有兩層不同的轉碼過程，人感受的是一虛擬空間，電腦透過運算，在螢幕上打上點。

電腦的發展從 1940 年代開始，從第一台二進位電子電腦 ENIAC，開啓了數位化時代；而第一台商業化電腦 UNIVAC，開啓了電腦普遍化的開始(Campbell-Kelly and Aspray, 1996)。隨著時間的演進，電腦處理的速度不斷以所謂的摩爾定律之倍數成長，電腦能解決的問題也不斷的在擴增，影響性慢慢地從數學運算擴及到各個領域。如電腦繪圖(computer graphics)的發展，在 1960 年代後，已能以線架構(wire frame)方式，呈現三維幾何的數位模型，其同時影響了設計在視覺呈現方面的表現。如 1963 年蘇瑟蘭(Ivan Sutherland)發表可以用光筆在螢幕上畫上線條的草圖板(sketch pad)系統(圖

2.8)(Sutherland, 1963)。1964 年，尼可羅龐(Negroponte)發表了一個電腦輔助都市規劃系統 URBAN-5，此系統利用電腦繪圖平台，結合了鍵盤與光筆(圖 2.9)，讓設計者可以直接在畫面的選單上點選產生設計(Mitchell, 1977; Kalay, 2004)。1968 年貝茲(Pierre Bézier)爲了能在雷諾(Renault)汽車設計中有更自由的曲面設計，提出了 UNISURF 系統，即是現今三維電腦軟體中常用的貝茲曲線和曲面，其影響航太、造船、汽車與機械等工業之設計與生產 (Watt, 2000)。



圖 2.8：可在螢幕上畫上線條的草圖板系統
(Sutherland, 1964)



圖 2.9：電腦輔助都市規劃系統 URBAN-5
(Mitchell, 1977)

到了 1970 年代，電腦系統開始出現於建築實務上，Compurelate 是一個早期的電腦輔助設計(Computer-Aided Design, CAD)系統，幫助設計樓地板平面圖。在這個時期，電腦輔助設計發展分成兩種路線(Kalay, 2004)，一個是在支援機械設計與航太工業上的幾何製模(geometric modeling)上，如汽車設計上，幫助繪製複雜的曲面，以布林(Boolean)方式，建構複雜的機械結構；另一個爲建築特性(building-specific)路線，主要爲學術單位所主導，其主要爲支援建築描述與空間規畫的套裝資料庫系統，如卡內基美倫大學(CMU)發展的互動式設計繪圖語言(GLIDE)，密西根大學的電腦輔助工程與建築設計系統(CAEADS)。

1980 年代後，個人電腦問世，開始快速普及，電腦人機介面也走向更易操作的圖型化介面(Graphical User Interface, GUI)，如 Apple II。以往在大型電腦上發展的電腦輔助設計系統，也開始轉移到個人電腦上，因此，電腦輔助設計系統得以開始走入一般實務界的設計事務所。如 AutoCAD 製圖軟體、建築專用的 ArchiCAD 軟體(Martens and Peter, 2004)等，在此時問世，主要用於二維平面圖的繪製與三維數位模型的建製。爾後，電腦繪圖的著色(rendering)技術從最早平面著色(flat shading)、經 Gouraud、Phong 到更爲真實的光跡追蹤(ray tracing)與熱幅射(radiosity)(Watt, 2000)，電腦輔助設計的軟體開始能產生逼真的影像與動畫，如 3D studio Max、Maya、與建築用的 FormZ 等。

另外，由發展出電腦輔助設計所延伸出的電腦輔助製造(Computer Aided Manufacture, CAM)的技術。透過這樣的新媒材，模型的產生，打破以往手工模式，且造形的呈現上更趨於非幾何的自由形體，只要在電腦 CAD 軟體裡設計好的數位模型，即可藉由快速成型機(Rapid Prototyping, RP)或電腦數值控制車床(Computer Numerical Control, CNC)將之輸出成實體的模型，如蓋瑞(Frank Gehry)可以將天馬行空的實體模型利用數位化(digitizer)工具，轉成數位模型，並進行電腦的空間分析、結構分析、光線與細部模擬等，最後再將數位模型轉成各類可施工的圖集與呈現用之實體模型(林楚卿, 2007)。

電腦在設計中的角色，Kalay(2004)認為，可分為三種層次，第一種比較著重在設計本身，如電腦做為(1-a)設計工具、(1-b)溝通工具與(1-c)輔助設計與思考；第二種是電腦成為空間本身，空間有某種思考的(2)智慧空間；第三種則為因電腦與網路而延伸了實體空間之(3)網際虛擬空間。更進一步的說如下：

(1-a)設計工具—為設計中最為明顯的角色，幫助設計師在做一些特定的工作時，能更為有效率與精確，或更容易使用，如繪製平立剖面圖和建製數位模型等工作。而數位模型可經由三維編輯軟體之打光著色(rendering)，產生所謂電腦產生式影像(computer-generated image)之電腦繪圖(computer graphics)，其逼近真實的視覺化可以呈現出尚未被建造出來的建築物，且細部表現上更可超越二維圖面與實體模型等媒材。這些靜態影像，如再運算成一張張的連續影像，便可成為一有時間向度的動畫。或者基於數位模型，透過虛擬實境軟體，編輯成有時間與互動向度的三維即時虛擬實境。動畫與虛擬實境尚可透過立體視覺技術在二維螢幕中呈現出具視覺深度的影像，呈現更接近真實空間的空間經驗，在 2.2、2.3 與 2.4 節，我們將針對動畫、虛擬實境與立體視覺，做更詳細的說明。除了以電腦產生式影像外，尚可透過數位相機所拍攝的照片，經由影像處理(image processing)，以獲得傳統手繪透視圖所無法忠實描繪出了的材質與色彩，減少設計所呈現的影像與現實影像間的差距，尤其是在環境景觀上，對設計的溝通上，與非設計專業人員更是一較直接的說明(Liu, 1996)。

(1-b)溝通工具—幫助在設計過程中，人與人之間的溝通，如透過網路，不同領域的設計成員，可以克服距離上的限制，快速有效的分享設計資訊與溝通設計想法，如建築設計中的合作式設計(collaborative design)，所需涵蓋成員有非建築領域的專家群(如設計醫院，需有不同科門的醫生)、建築領域則又分建築設計、結構設計與建造等不同專業人員，透過如視訊會議、網路式資料庫平台交換、分享不同專業之資訊與想法(Mitchell and McCullough, 1994; Kalay, 2004)。

(1-c)輔助設計與思考—在設計過程中，幫助設計師找出問題與解決問題，如在一些小細節上，設計師容易忽略的，可以提醒設計師那裡有問題等，或建議設計師可以怎麼做等訊息。另外，再從電腦科學領域引入到設計中，試圖在某種程度上，電腦自己可以解決一些設計問題或幫助師計思考，如有人工智慧之專家系統可以基於基地之條件設定，產生所有可能的空間配置之空間組織圖 (Liu, 1991)。

(2)智慧空間—1970 年代開始，MIT 的建築機械研究室已致力於電腦與實體環境的應用，時至今日，電腦已普遍的充斥在我們的生活環境中，成能一種普遍式運算 (ubiquitous computing) 的環境 (Weiser, 1995)，電腦消失於無形，人與空間資訊的介面，取而代之的是一較為自然的環境空間，而非傳統的鍵盤滑鼠與圖形化介面，石井裕 (Hiroshi Ishii) 提出可觸式位元 (tangible bits)，讓運算的位元資訊可以直接透過實體的操作方式被感受 (Moggiridge, 2007)。另外，還有如安全門禁管控、空間之燈光與溫度自動調節。

(3)網際虛擬空間—吉柏森 (William Gibson) 在 1984 年透過其科幻小說，提出網際空間 (cyberspace) 的概念 (Gibson, 1984)，到 1990 年代後，電腦網際網路開始普級，網際空間得以如吉柏森在其小說中的所描述的一樣，真正被實現出來。這個空間超越了實體空間的物理限制，雖不是一個真實的物質空間，但確可讓人知道有個地方在那裡 (there is a there there) (Kalay, 2004)，它不僅只是個溝通的工具，更進一步的伸了實體空間，那可以是一個每天有經濟行為發生的地方、教育、文化與其它活動發生的地方，如古根漢虛擬美術館 (Guggenheim Virtual Museum)，第二人生 (second life) 虛擬社群等。

2.2 設計中的動畫

基於 2.1.2 節所述，本節針對動畫在設計中的發展與應用，提出更進一步的說明。動畫 (animation) 或稱動態影片 (motion pictures)，是由二維影像序列所組成，經由每秒呈現 24 張不等的方式，因人眼視覺暫留的因素而產生連續的影像感，而這些影像序列的製作方式可分別由手繪、攝影機拍攝真實場景或電腦製作等方式產生 (Mitchell and McCullough, 1994)。它是一種說故事或傳達特殊情感、想法之風格與方法多樣性的媒材，藉由一序列線性時間之敘述結構，串起一故事的內容 (Well, 1998)。動畫為靜態呈現媒材擴展出另一以時間為主的向度，使得空間與時間得以結合的媒材，空間也得以由時間的推移，被展現出來，而時間也由空間的變化被呈現 (Danby, 1998; Schwarzer, 2004; Ching, 2007)，因此，也是一種空間與時間的藝術。另外，在設計上，多樣化處理的動畫提供設計在思考上一個新的可能，且動畫對想法的發展與呈現至少提供兩種機會 (Burry, 2001)，第一，透過活化真實設計，處理設計的思考與呈現，

第二，動畫的使用成爲概念設計上，在重覆式設計或程序評估的一個裝置。然而，對一般大眾而言，動態影片相對於靜態影像更容易讓觀看者了解空間中距離與比例之間的關係(Bosselmann, 1998)。

2.2.1 動畫的技術發展

動畫的發展，最早可以從十七世紀珂雪(Athanasius Kircher)發明魔術幻燈(magic lantern)開始，這樣的裝置類似現今投影機(projector)，他在一個鐵箱裡放入一盞燈，並在鐵箱中開一個小洞，再接上一個透鏡，繪製有圖案的玻璃則放在透鏡的後方，最後，光線經由圖案玻璃和透鏡，投影在牆上。十七世紀末，約那斯·桑(Johannes Zahn)改進放圖案玻璃的方式，改以活動式的旋轉盤，投影出有動態效果的影像(黃玉珊 & 余爲政, 1997)。1826 年後，照相術的發明，相對文藝復興以來，透過手繪方式記錄真實影像，引發另一種紀錄真實的新方式與新的方向。1870 年代，由於照相術的成像由銀版照相法(daguerreotype)演變成膠片(celluloid)的使用，需數小時曝光才可完成一張影像的截取演變爲只需幾十分之一秒，因此，藝術家開始企圖透過這樣的方式去截取一空間或一動作的瞬間影像，馬奔馳的動作是否有四腳同時張開，也在此時透過快速連拍，得到證明(Penz, 2003)。另外，動態影片的呈現裝置，從活動旋轉盤演變成現今捲片式電影投影機(movie projector)。從此動態影片的發展分成了兩條路線，一種是利用影片(film)所拍的寫實風格，另一種爲手繪的卡通風格。然而，這樣的分野，到了數位時代，電腦介入之後，動態影片出現了另一種以電腦產生影像動畫的新方式(Manovich, 2001)，除了如皮克斯(Pixar)與夢工廠(Dreamworks)等主要以電腦動畫爲主要的公司，既能強調場景的真實性，又有手繪卡通之誇張手法的新式動畫風格。另一個是藉由數位後製的動態影像合成(matte painting)的動態影片，其更綜合了實景拍攝、手繪與電腦繪圖於一體的多元表現手法，讓動態影像表現的擬真程度更爲真實，運鏡手法與場面調度(mise en scene)更爲豐富與彈性，如最早使用於電影的星際大戰(star wars)。

2.2.2 動畫在設計中的應用

在設計上，影片的使用是在電影被發明不久後的 1920 年代，柯比意認爲體驗欣賞建築，最好的方式是靠腳，即是雙腳走到建築裡，藉由改變觀看的角度，去體察建築空間之連結關係，而非只是繞著理論在走動的紙上建築。1930 年在其所參與的電影 *Architectural d'aujourd'hui* 中，第一次讓影片成爲敘述建築空間的媒材(Neumann 1999; Penz, 2004)。當時的一位建築史論家基提恩(Sigfried Giedion)也指出靜態照片無法清楚的傳達出空間，只有在眼睛伴隨著移動的情況下才有辦法，而動態影片是一

個讓建築可以被看得更清楚的好方法。另外，片名為「未來城市」(Die Stadt von Morgen)則可能是第一次透過影片來解決城市規劃問題的宣傳影片(圖 2.10)，其以空拍與實地兩種方式拍攝一城市的模型影響至今日建築電腦動畫的表現(Penz, 2003)。在 1969 年，美國通過環境政策行動的法案，政府應致力於環境評估方法的提升，其中視覺部份包括要如何讓公眾了解一個城市在新建築加入後對視覺上的衝擊等。隨後 1974 年，在柏克萊大學成立了環境模擬實驗室(the Environmental Simulation Laboratory)，結合影片特效專家與光學工程師，在一城市的比例模型裡，以行人或開車者的視角，拍攝未來城市景觀變化的視覺預測(圖 2.11)，讓公眾了解，未來他們如走在路上，城市的面貌會是如何(Bosselmann, 1998)。

到了數位時代，電腦動畫首次應用於 1967 年美國太空總署(NASA)太空船飛行作業的模擬上，那時的顯示能力只能限制在 240 個三角形(polygon edge)的模型，而且不包含平滑陰暗面(smooth shading)的處理。1968 年，加州洛杉磯大學(UCLA)Peter Kamnitzer 製作了一部名為 Cityscape 的電影(圖 2.12)，這是第一個利用電腦動畫於建築環境的移動模擬(Mitchell, 1977; Bosselmann, 1998)。爾後，電腦普及與其運算效能不斷的提升，電腦動畫之於設計也相對於廣泛的被使用。1986 年，日本大阪大學笹田(Sasada)利用電腦動畫模擬(圖 2.13)中國上海因高樓不斷興建，對都市景觀之影響，並透過這樣的呈現方式，與上海市政府及市民做意見的溝通與交換(Sasada, 1999)。



圖 2.10：透過影片來解決城市規劃問題的宣傳影片(www.youtube.com, 2007)

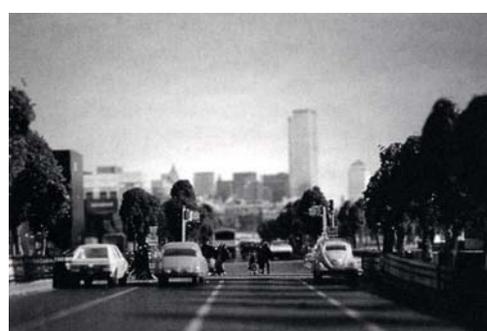


圖 2.11：比例模型之影片動畫片段(Bosselmann, 1998)

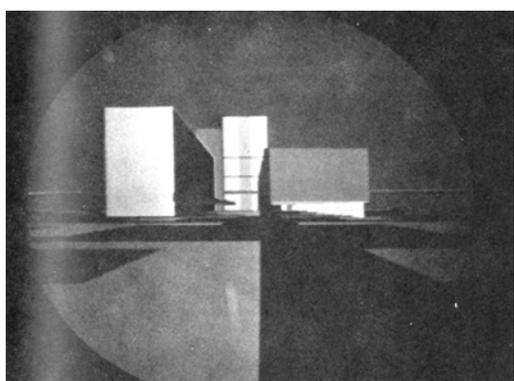


圖 2.12：第一部建築模擬影片(Mitchell, 1977)

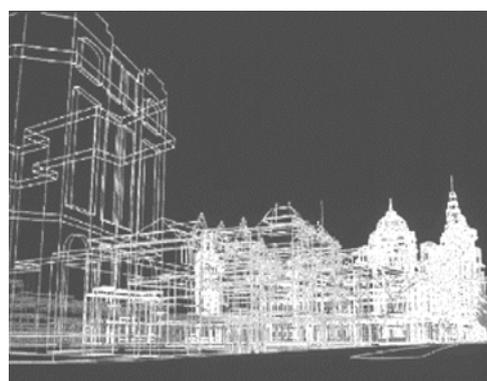


圖 2.13：上海都市景觀模擬(Sasada, 1999)

另外，2000 年交通大學建築所透過腳本企畫，模擬新竹市未來幾年內新的城市發展規劃，除了新的設計空間透過動畫呈現外，尚結合了城市市民的生活概況，如騎腳踏車與滑板車遨遊城市中的情形(Huang et al., 2001)。專案名稱爲「2050 創意台灣」，透過想像未來 50 年後不同特性的都市空間之未來性，與 50 年後文化藝術生活的預測，再經由虛擬攝影棚、實景影片、數位模型等不同媒材的整合，呈現出未來 50 年後之台灣藝術與文化生活的遠景(圖 2.14)(Wu et al., 2005)。除了透過動畫呈現未來的空間外，亦可基於二維的歷史建築圖面、壁畫、繪畫與文字敘述資料之考證與推論，建構出一個已消失的歷史城市之數位模型，再結合人物之歷史性故事，重現一千多年前的中國唐代之長安城與宮殿生活景象(圖 2.15)，讓觀看者產生有別於靜態圖面與文字間的想像，有了更清晰易懂的視覺經驗(Liu and Tang, 2003)，其研究目的在於爲已消失之歷史城市與生活文化提出一可行的數位復建程序。然而，除了對具像視覺的模擬外，尚可呈現一些真實世界中裸眼無法感知的資訊，透過動畫呈現出來，如大樓群之間的風洞測試，透過視覺化，呈現風穿過大樓群時的路徑變化(Kalay, 2004)。或將龐大的統計數字透過電腦繪圖的資訊視覺化(information visualization)(Ware, 2004)，讓不易被讀取與分析的數字，變成動態圖形動畫，如一座城市在不同時間所建立的人口普查資料，透過一地理時空系統(spatial-temporal systems)做三維動畫之視覺化，分析人口的分布與流動的狀況(Darling, 1992)。



圖 2.14：2050 年之台北街景想像



圖 2.15：唐代長安城的明德門

2.3 設計中的虛擬實境

基於 2.1.2 節所述，本節基於虛擬實境在設計中發展與應用，提出更進一步的說明。虛擬實境是由幾何式的電腦繪圖，以即時方式呈現三維的視覺環境。其除了有動畫在時間上的四維向度外，尚增加了使用者即時互動的向度，虛擬實境系統能感知使用者的動作，同時產生相對應的視覺回饋，進而和使用者產生互動，提升使用者對虛擬環境的感知意識(Belleman et al., 2001)。它提供使用者在視覺、聽覺、觸覺等感知的刺激，進而產生有如身歷其境的感覺，而非只是一個影像的觀察(Bridges and

Charitos, 1997; Burdea and Coiffet, 2003)。參觀者相對於動畫形式的空間感受，在虛擬環境中所感受到的空間經驗是一種具啟發式之自我探索的過程。

人無論在實體環境或虛擬環境中，都會用相同的感知去處理他們所接受的外在訊息，但一個最大的不同是虛擬環境的自然性(nature)問題，而這問題可歸因於現有虛擬實境的技術限制，如虛擬環境中難以模擬觸覺與味覺(Ryan, 2001)。而虛擬環境和真實環境最大的不同在於虛擬環境中沒有物理上(如重力與穿牆)與尺度上的限制、可超連結(hyperlink)的非連續空間與時間等(Bridges and Charitos, 1997)。建築環境最好的感受與美學評判最好的方式是透過一個可以改變視點之連續的視覺瀏覽，也只有透過完整的瀏覽才能提供一個較客觀的空間經驗，就如行走(walk through)在一個空間中，可以隨心所欲的觀賞，相對於靜態二維圖面，虛擬實境提供更多的資訊，做為一個尚未被實際建造前，可以感知、評估與享樂的設計空間，同時也減少了設計開發之時間和成本的浪費(Hill et al., 1999)。其主要角色為「呈現工具」與「設計輔助」(Vassil, 1997)，如以行走方式於設計的虛擬空間中，成為設計者與觀看者間一個有效的溝通工具，也只有透過行走方式，才能感受到一個房間或一條街上的空間感(Bertol and Foell, 1997)。



2.3.1 虛擬實境的技術發展

回顧虛擬實境的發展，最早可以追溯到1962年的 Sensorama，具備了模擬視、聽、觸、味等知覺的虛擬實境機台(圖 2.16)；爾後，虛擬實境的發展，尤其是在視覺模擬上，從 1966 年 Ivan Sutherland 利用映像管 (Cathode Ray Tubes, CRT) 發展了第一個單人頭戴式顯示器 (Head-Mounted Display, HMD) (圖 2.17)。之後虛擬實境在視覺呈現的發展形式，有 CRT 螢幕搭配上遮蔽式立體眼鏡(shutter glasses)與液晶螢幕搭配偏光式眼鏡(polarized glasses)等之桌上型虛擬實境系統、多螢幕組合之廣域視覺顯示的虛擬實境系統，另外，較特別的呈現方式是在 1993 年，芝加哥伊利諾大學(University of Illinois at Chicago)電子視覺化實驗室(Electronic Visualization Laboratory) Cruz-Neira 等人開發出可多人同時觀看的全尺度虛擬實境空間模擬器(CAVE Automatic Visual Environment)，它主要是由前方、地下、左方、右方等四片平面投影螢幕所組成(圖 2.18)，透過四台三槍投影機將電腦裡所運算出的畫面投射到四片平面投影螢幕上(Cruz-Neira et al., 1993)。愛荷華州立大學(Iowa State University)更基於這樣的基礎，發展出全包覆式之六面顯示投影的 C6 CAVE 系統。然而三槍投影機體相較於單槍投影機其體積龐大且重，亮度不夠等因素，因而也有發展以單槍所組成的被動式 VR CAVE 系統(圖 2.19)，如日本松下公司的 CyberDome 8500，是一個以 19 台 PC 群所串成的一套系統，再由 18 台單槍投影機將畫面投射到半球形上的螢幕，因其投射螢幕

為圓弧形，會有變形問題，畫面在投射出去前，需要再將影像做即時形變調整(Shibano et al., 2003)。

虛擬實境在視覺呈現上，從技術的觀點上，可分為下列三種(Burdea and Coiffet, 2003)：

- 桌上型顯示器(desk-supported)－依所使用的螢幕大小而定，早期所使用的為 CRT 螢幕，尺寸介於 14 吋至 19 吋之間。而現在 LCD 液晶商業用螢幕至少已到 30 吋，其雙眼立體視覺顯示可分兩種，一為偏光式螢幕，觀看者需配戴偏光式立體眼鏡(iZ3D, 2007)；另一為微位相差式螢幕，觀看者不需配戴任何的立體眼鏡(工研院電光所, 2007)。
- 眼戴式顯示器(eye-mounted)－在雙眼前置上一或兩小螢幕的顯示裝置，就像透過望遠鏡的方式觀看影像。早期如各式各樣的 HMD(圖 2.17)與現今體積重量較小的 LCD 顯示器(Olympus, 2001)。
- 投影式顯示器(projector-based)－投影機將影像透過前投影或背投影的方式投射在銀幕上，其組成的投影機數目從一至數台不等，分雙眼立體投影和一般投影，銀幕的構成有很多種形式，如二面組成的長條形寬銀幕，三面組成的 U 形 CAVE 銀幕，四面(圖 2.18)至六面組成的方盒式 CAVE 銀幕，球形或半球形的投影銀幕(圖 2.19)，其沈浸的效果根據觀看者被包覆的程度而定。

在虛擬實境硬體互動介面的發展，常見的為鍵盤、2D/3D 滑鼠、搖桿、方向盤等、數據手套，然而在三維虛擬環境中，為了增加互動的直覺與自然性，在介面的設計上，需考慮觀看者的控制指令如何輸入到虛擬環境裡，以及虛擬環境如何提供知覺回饋給觀看者，如實體環境中，人的任何動作都有其三維座標與方向性。因此，目前以機械式(mechanical)、超音波式(ultrasonic)、磁場式(magnetic)、光學式(optical)等三維定位技術(tracker)技術可以將觀看者的動作轉換成可與虛擬空間互動的三維向量座標資料(Burdea and Coiffet, 2003)。目前盛行的遊戲機 Wii(2007)，其以較直覺之肢體互動裝置，即是以光學式的定位方式取得使用者的動作資料。



圖 2.16: Sensorama 虛擬實境機台
(Burdea and Coiffet, 2003)

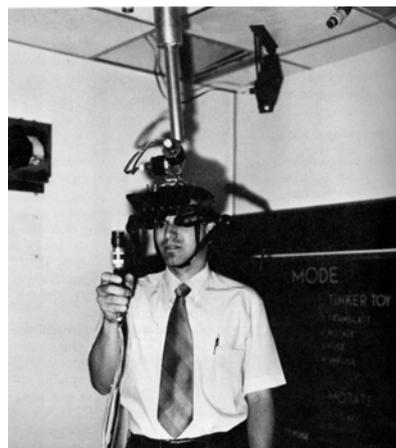


圖 2.17: 頭戴式立體視覺顯示器
(Sutherland, 1968)



圖 2.18: 主動式多人沈浸式虛擬空間(工研
院, 2002)

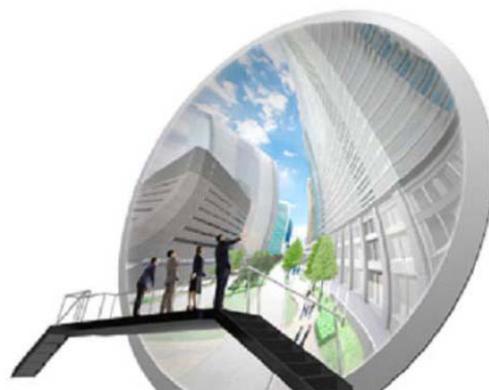


圖 2.19: CyberDome 8500(Shibano et al., 2003)

早期虛擬實境的軟體發展，大多是各別系統自行以較低階的程式語言(如 C 語言)去讀取數位模型之場景資料，再用自行撰寫的程式，將場景以每秒至少 15 張畫面(frame)畫在螢幕上，以及要自行開發一些互動介面的方式，整個虛擬實境的軟體發展，沒有一個較整體的標準，到了 1992 年，制定了一套二維與三維繪圖應用程式介面(Application Programming Interface, API)稱為 OpenGL，它讓程式人員可以有更多的程式介面可以直接套用(OpenGL, 2007)，而不用爲了有更好的視覺效能再去寫更低階的程式語言(如組合語言)控制顯示卡。爾後，1995 年微軟(Microsoft)也制定另一套應用程式介面 DirectX，它除了有三維程式介面的 Direct3D，尚涵蓋了其它多媒體的程式介面，如聲音、影片播放等(DirectX, 2007)。OpenGL 與 DirectX 至今爲電腦繪圖發展的兩個重要程式介面，在虛擬實境的發展上，產生了兩個較爲不同的發展，一個是較偏重三維遊戲發展的 3D 引擎，如較知名的 RenderWare 以及各遊戲公司所開發的 3D 引擎，其製作方式較爲程式導向，需要熟悉程式的人才有辦法製作互動式的虛擬環境。另一個同樣是基於 OpenGL 與 DirectX 兩個 API，其主要是開發虛擬實境套裝

軟體為主，如較早可在網路上瀏覽的 VRML 檔案的 Cosmo 等播放器，可以在編輯軟體裡設計三維介面與互動方式的 EON、Virtools、Director、Quest3D 等多種虛擬實境套裝軟體。

2.3.2 虛擬實境在設計中的應用

虛擬實境至今已廣泛的被應用在各種領域中，從軍事模擬到藝術、教育與娛樂，從醫學到生產，所有的這些應用，都需要具備靈活性與真實性，以及成員的參與性 (Burdea and Coiffet, 2003)。如利用虛擬實境科技育教於樂，10 分鐘遊覽全世界，或參觀 16 世紀的義大利 Siena 主教堂，不碰水即可親臨水底世界，或不費力即可登上喜馬拉亞山(Frohlich and Kruse, 2005)。

在設計的應用上，以虛擬實境為基礎的設計系統大致可分為兩種方向(Dani and Gadh, 1997)，一個是強調三維視覺模擬與分析的系統，也是現在虛擬實境最廣泛應用的主因，如系統名稱為ISAAC (Immersive Simulation Animation And Construction)，使用者在虛擬環境中可以直接或間接操作一些虛擬物件的位置、方向與大小，利用一些較自然的操作形式來克服在虛擬環境中作業的一些限制 (Mine, 1997)。另外，透過設計師對實體模型之操作行為的了解，如上下左右旋轉與拿近拿遠之行爲，將之賦予一個以沈浸式VR CAVE為基礎之即時互動的三維虛擬環境中，使用者手持一感應裝置，即可如手持一實體模型，自由的觀看(Wu, 2003)。然而，除了虛擬的導覽與虛擬物件的操作外，在專案名稱為蒲添生3D數位雕塑博物館的案子中，將雕塑家之重要作品，經由3D數位化，透過VR CAVE以近似真實比例呈現在虛擬博物館中，參觀者除了可以旋轉雕塑品外，尚可及時的調整虛擬展場中的燈光位置與顏色(Wu, et al., 2004)；另外，在美術館對一般大眾展出的明日建築展(劉育東, 2007a)上，虛擬實境呈現出歷史空間與尚未真實建造出來的未來空間，結合即時動畫的切換，讓觀看者能夠以自動導覽和親自導覽之兩種方式，超越時空的限制，體驗過去與未來的空間。其它關於虛擬實境的應用，尚有以網路為呈現平台的，較早比較普遍的如VRML格式的網路虛擬實境，之後有專屬虛擬實境社群，如現在比較有名的Second Life(2007)；使用者可以在虛擬環境上加上自己房子之數位模型與圖片文字相關資訊的GoogleEarth等，即是以三維視覺呈現為主的相關虛擬實境應用。

另一個方向是以 CAD 為基礎，可以做創造、修改與操作的系統，其大部份應用是在設計的創作上，如系統名稱為 CUP(Conceptual Understanding and Prototyping)，是一個利用知識工程與 3D 編排做輔助性概念設計的機械設計系統，使用者在這虛擬環境中，設計機械結構與動態運動之間的關係(Anthony et al., 2001)；LUCID(Loughborough

University Conceptual Interactive Design)系統則提供視覺、聲音、觸感等多感知的操作介面，讓使用者在做概念式設計時，可以更為有效與直覺(Ye et al., 2006)；其它尚有VDVAS(Wan et al., 1999)、HKU VR-CAD(Zheng et al., 1999)等。

2.4 設計中的立體視覺

基於 2.1.2 節所述，本節基於立體視覺在設計中發展與應用，提出更進一步的說明。立體視覺(stereoscopic vision)提供觀賞者對於一個虛擬空間較有「尺度感」、「量體感」與「視覺深度感」，拉進了虛擬與實真之視覺呈現的距離(Wu, 2003)。另外，Yates(2004)認為空間經驗的感受，有視覺深度的感受要比距離更為重要。然而雙眼立體視覺的出現已經超過兩百年了，除了這麼長的歷史之外，在設計的領域中卻很少看到它相關的應用與研究。Ye 等(2006)人認為從設計的觀點來看，立體視覺可以強化對平面螢幕顯示複雜物件的了解，一個有立體視覺介面的設計系統，能減少在設計過程中的錯誤，同時支援設計評論人對視覺資訊的不足。且大部份的 CAD 系統在二維的螢幕上顯示三維的數位模型，為了能了解模型，需要同時有其它不同視角與不同顯示模式(如線架構、陰暗處理等)的模型顯示視窗，來輔助設計者對內外關係的詮釋，這樣同時也提高大腦對不同顯示資訊在組構上的困難，也增加了設計過程中的複雜度與困惑程度，而立體視覺的顯示，能增強設計者與數位模型之間的資訊交換(Ye et al., 2006)。

2.4.1 立體視覺原理

人從眼睛感知視覺空間的方式可分為單眼視覺(monocular)和雙眼視覺(binocular)。人之視覺空間感知可從投射到單眼視覺中的一些深度(depth)與距離(distance)線索(cue)得到感知，如燈光與陰影、相對大小、疊合關係、材質疏密、空氣遠近、相對平移、透視(Schiffman, 2000)等。然而在視覺空間中，還有一些資訊需要透過雙眼視覺(即立體視覺)，如圖 2.20 所示，不同動物種類之單眼視覺與雙眼視覺疊合(binocular overlap)範圍的不同，被捕性(pre)動物如兔子，單眼視覺範圍超過 180 度，但是雙眼視覺疊合範圍前後相加則不到 20 度，而捕食者(predator)之單眼視覺範圍較小，雙眼視覺疊合範圍則有 120 度之多，靈長類(primates)動物如人類則更高 124 度，上下垂直的視覺角度則為 120 度，其強調的是對雙眼視覺範圍內所呈現的物體影像有較強的深度與距離的感知，能較精確的掌握空間中每個物體的位置，也才能較精準的抓取眼前物體(Schiffman, 2000)。

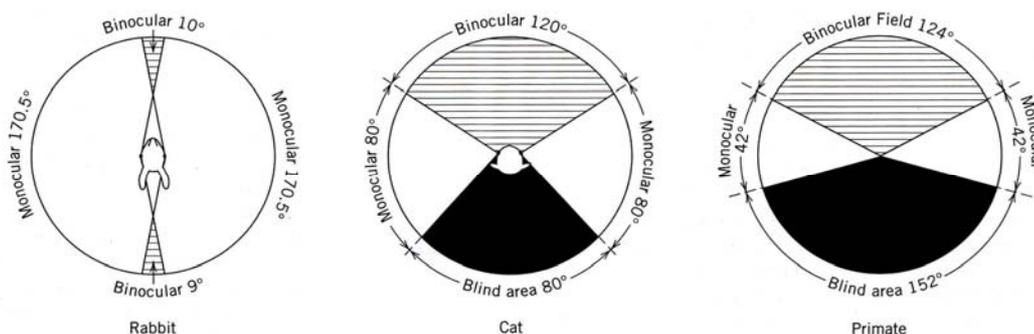


圖 2.20：不同動物種類之單眼視覺與雙眼視覺疊合範圍(Schiffman, 2000)

除了投射在視網膜的影像有視覺線索可供判斷深度距離外，在人眼的部份，尚有三個較重要的部份可供判斷深度距離的因素(Kaufman, 1974; Schiffman, 2000)：

- 雙眼視差(disparity)－當一個物體在雙眼前，左右眼的視覺影像可以明顯的感受到些微的不同，主要是雙眼觀看眼前的物體角度不同，造成所謂的雙眼視差。而人類大腦的視覺處理系統能根據雙眼視差偵測視覺的深度。
- 水晶體調節(accommodation)－人類眼睛構造中水晶體相當於相機的對焦透鏡，能夠鼓起來將影像投影在視網膜表面，依照水晶體鼓起程度的調整也可以感覺出對象物的深度遠近。然而當觀看的物體之距離超過二公尺以上的時候，要藉此來感知物體的實際深度將會較為困難(Schiffman, 2000)。
- 雙眼聚合(convergence)－當雙眼觀看一靠近中的物體，雙眼的眼球會向內轉動，調整成相對的角度。愈接近雙眼的物體，其雙眼與注視物體間的角度會愈大。在沒有任何的視覺線索的情況下，透過雙眼聚合的角度大小，判斷其物體的遠近。同樣，雙眼聚合判斷物體距離的遠近，較有效的距離是在二公尺左右(Howard, 2002)。

2.4.2 立體視覺技術的發展

西元前 3 世紀，歐幾里德(Euclid)在他的光學(optics)一書中提出視覺空間之幾何分析的基礎，描述了基礎的透視因子與注意到雙眼之視覺影像的不同。托勒密(Claudius Ptolemy)基於歐基里德的幾何分析，發表了第一個雙眼視覺之幾何分析(Howard and Wade, 1996)。西元 10 世紀左右，在開羅工作的一個阿拉伯學者，在同樣為書名光學(book of optics)中，更進一步的闡述了托勒密的雙眼視覺分析，與直到 19 世紀再重新發現的視覺現象(Howard, 1996)。在文藝復興時期，除了透視法則的發現，達文西在繪圖時也發現了左右雙眼在看一個物體時，左右的影像有視角上的差異(Wade, 2001)。

而要能真正感受到平面中的立體視覺，是直到 1838 年惠斯登(Wheatstone)發明了立體成像裝置(圖 2.21)，此裝置中間的部份置放了兩面鏡子，左右再放了兩個影像，觀看者在兩面鏡子的中間，雙眼各自看著不同的鏡子，兩旁的影像經由鏡子的折射，投射到觀看者的雙眼裡。但這樣的裝置因雙眼要以很近的距離觀看，因此容易產生雙眼轉動之聚合(convergence)與對準影像之調焦(accommodation)的困擾。

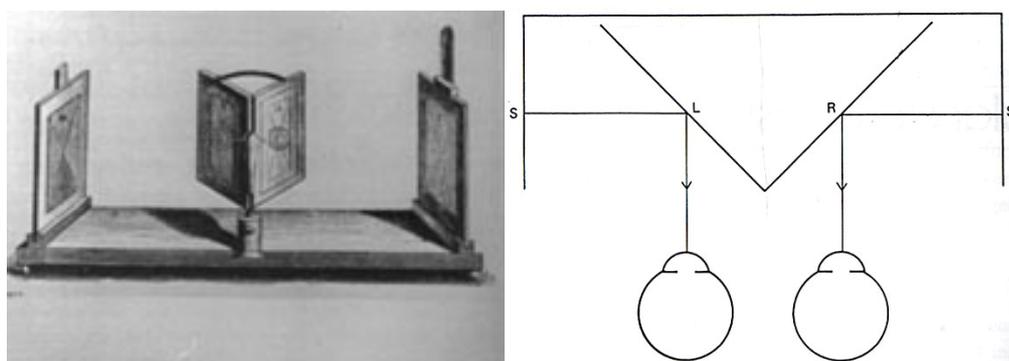


圖 2.21：左/ Wheatstone 立體鏡之裝置；右/ 雙眼與立體鏡之關係(Kaufman, 1974)

到了 1851 年同為英國人的 Brewster，將兩個雙凸透鏡分別置於兩眼前，兩透鏡間約人雙眼之距離 6.5 公分，且兩張有視差之影像再置於兩透鏡之前，因此眼球、雙凸透鏡與影像形成一直線可對焦之關係，並與另一眼之雙凸透鏡、影像成平行關係(圖 2.22)，以這樣一直線與平行關係，製作成一觀看立體視覺之立體鏡箱(圖 2.23)(Kaufman, 1974)。往後，大部份觀看靜態立體影像的裝置都依這樣的方式製作，因此這樣的立體鏡都稱為 Brewster 型立體鏡。

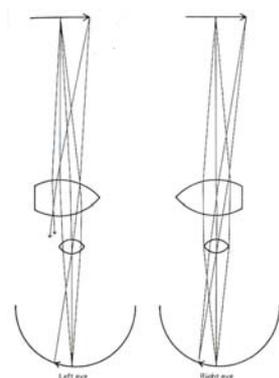


圖 2.22：雙眼、雙凸透鏡與影像成平行關係(Kaufman, 1974)



圖 2.23：Brewster 型立體鏡
(<http://www.mcc.murdoch.edu.au/ReadingRoom>)

無論透過以前的 Brewster 立體眼鏡或現代的立體眼鏡，所看到的影像均是有單眼線索或有輪廓外形的影像所構成，而這樣的影像同時也暗示了影像裡物件之前後的立體關係，然而，1964 年 Julesz 提出的隨機點立體圖(Random-dot stereograms, RDS)(圖

2.24)，排除了立體視覺的單眼線索，認為視差是產生視覺深度的充分條件，同時深度的感知是發生在對形狀的感知之前。Julesz 透過電腦程式在一個矩陣方組裡，隨機的出現 0 與 1，即為白點和黑點，形成兩張結構相同的點陣圖，但在圖中的部份區域，點陣圖還做了部份的向內或向外之水平移動。如只從單張的點陣圖，看不出有任何的視覺深度，但是當兩張影像各自投射到左右眼的視網膜上時，即能感受到點陣圖的視覺深度(Kaufman, 1974; Schiffman, 2000)。

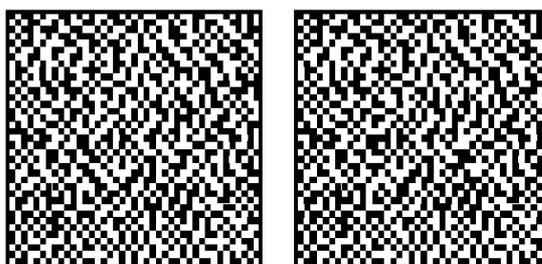


圖 2.24：隨機點立體圖(RDS) (Kaufman, 1974)

同時，在電腦數位時代的開啓後，雙眼立體影像的獲取，除了1890年代開始透過並排的攝影機外(Braun, 1995)，另一個方式則透過電腦繪圖產生左右視差的影像，呈現另一種新形態的立體視覺。Sutherland(1968)發表了一個可應用於建築視覺模擬的頭戴式顯示器，它是由兩個可對雙眼投射影像的陰極射像管(CRT)螢幕所組成(圖2.17)，同時這個頭戴式立體視覺顯示器連結了一個定位器，電腦可以感應到人的位置與觀看的方向，並即時的改變投射到雙眼裡的影像內容。後來，個人電腦時代，透過CRT螢幕之交錯式頻率，觀看者所配戴的遮蔽式(shelver)眼鏡與顯示螢幕作快速同步的左右畫面切換，達成左右眼看到不同影像的投射(Mazuryk and Gervautz, 1996)。直到最近10年內，影像投影開始盛行，投影的光線可做垂直與水平的極化(polarizing)偏光處理，觀看者配帶有垂直和水平偏光的眼鏡，即可看到左右不同的立體視覺，在一般電影院或博物館所播放的三維立體電影，大部份是用偏光式的立體呈現方式。然而還有比較簡便的方式，如分色過濾法(anaglyphic)，呈現之影像分左右紅藍兩種顏色，再經由有左右兩邊分別為紅色及藍色的鏡片將相同顏色濾掉，即兩種不同影像投射到眼睛中。

2.4.3 立體視覺的在設計中的應用

現今立體視覺的應用，可分為三個部份，靜態立體影像、動態立體影片與即時互動的立體虛擬實境，底下分別對這三項的應用做說明：

靜態立體影像部份，一般常以雙鏡頭的立體照相機，透過可洗成幻燈片的底片取得影像，再將幻燈片置於一如望遠鏡的裝置內，如坊間一些攝影協會，大部份都用這

樣的方式觀看立體視覺影像。另一種方式也可以透過三維動畫軟體直接運算(render)出兩張有視差的影像，如 Ager 與 Sinclair(1995)應用這樣的方式於空間設計上，並提出立體視覺呈現能有效的幫助客戶更了解設計。然而也有透過全像(holographic)技術，將不同視差之影像置入一光學鏡面，以裸眼方式便可看到立體影像，其製作成本較高，這類應用也大多用於影像藝術的創作上。

另一個動態立體影片的部份，則可透過攝影機或電腦繪圖產生不同視差的影像。在傳統上，數位化拍攝與製作尚未成為主流之前，立體影片透過雙鏡頭雙膠卷的方式拍攝，但在運鏡與製作上，相對較為複雜與困難，而在數位化時代後，透過電腦動畫與數位影像合成技術，立體電影在製作成本上相對減少，同時場面調度也更為多樣靈活，且更易突顯立體影片別於傳統平面影片之三維立體視覺效果。另外，立體電影則更趨於普及，如台灣近幾年立體電影應用於博物館、美術館等展示上越來越多，從 2001 年台北故宮的虛擬展場展出的虛擬長安(Liu and Tang, 2003) 開始，其它博物館都有不同呈現主題的立體影片，如台中自然科學博物館(2004)、高雄工藝博物館(2004)、新竹 3D 虛擬動物園(2004)、台北天文館(2005)等。在電影方面，2004 年，全球最大數位電影公 IMAX 推出第一部純三維立體動畫北極特快車(polar express)，開啓了立體數位電影的新紀元。

最後，在即時互動的立體虛擬實境方面，大都用於有較高互動性的議題上，如 2007 年的台北市立美術館展出的明日空間(劉育東, 2007)，另外，在 2005 年的日本愛知博覽會，亦是透過如望遠鏡方式之立體視覺，結合擴增實境(augmented reality)技術，展現出未來的互動虛擬樂園(nature contact)(Hitachi, 2005)。飛機、汽車駕駛模擬上，也透過立體視覺來增強真實性，且立體視覺之視覺深度，更能幫助駕駛員做更精確的距離判斷(Kalawsky, 1993; Burdea and Coiffet, 2003)。虛擬手術的開刀，其單眼視覺中可判斷深度與距離的線索，相對於直線方形的幾何視覺，更是少之又少，因此立體視覺的應用，就有其重要性了(Kalawsky, 1993; Ware, 2004)。在設計上。Wu(2003)也透過立體視覺的特性，來加強數位模型別於實體模型在尺度感、量體感與視覺深度感的不足。

3. 空間實驗

本章「空間實驗」想要找出「設計者」與「觀看者」藉由觀看「立體動畫」與瀏覽由「立體虛擬實境」所呈現的設計內容時，對於設計空間的了解，分別會有什麼樣共同的「原始落差」現象，以及兩者彼此間的「二次落差」現象。本章分為「實驗環境」、「立體動畫實驗」、「立體虛擬實境實驗」與「現象分析」四個部份，詳細的說明如下。

3.1 實驗環境

實驗環境主要為一個可呈現立體視覺的背投影螢幕(圖 3.1)，螢幕呈現的大小為 120 吋，畫面比例為 4:3，用以呈現實驗用之「立體動畫」與「立體虛擬實境」。另外，在立體虛擬實境的實驗上，再加上一支可讓受測者瀏覽空間用之操作搖桿(圖 3.2)。在攝影機的視野範圍(FOV, Field Of View)的設定上，為了能有較寬的視覺範圍，焦距(focal length)設定為 18mm，呈現 90 度的水平視覺範圍與 73.74 度的垂直視覺範圍(Galán-Díaz et al., 2006)。在立體視覺的設定上，左右眼攝影機距離為 6.5 公分(Kaufman, 1974)，雙眼聚合(convergence)角度為 0 度。



圖 3.1：立體背投影螢幕



圖 3.2：操作搖桿與其操作功能

3.1.1 實驗內容建製

受測的設計內容將以一個已設計完成，但尚未被建造的交通大學人文藝術館為例(圖

3.3), 因其建築主體分為美術館與建築院館兩部份, 在空間的複雜度高於一般住宅建築。且因為人文藝術館屬於一個公共空間, 將來的使用者會是屬於一般大眾與學生, 較會引起一般大眾對於這樣空間的關注。另外, 設計者為普利茲克建築獎(Pritzker Prize)得主安藤忠雄, 一般大眾對他有較多熟悉度, 相對亦會較引起公眾的興趣與好奇。

而現有設計資料為底下平面圖、立面圖、剖面圖、透視圖與實體模型, 透過這些資料建立起可即時三維呈現的低面數之數位模型, 其中尚包括材質貼圖與陰影貼圖的運算(render to texture)。並基於這個數位模型建立本實驗用之「立體動畫」與「立體虛擬實境」, 其建製的工具軟體為 3D Max 與 Quest 3D。



圖 3.3：交通大學人文藝術館 左/室外 右/室內 (安藤忠雄事務所, 2003)



圖 3.4：四個受測空間之立體造型與相對關係

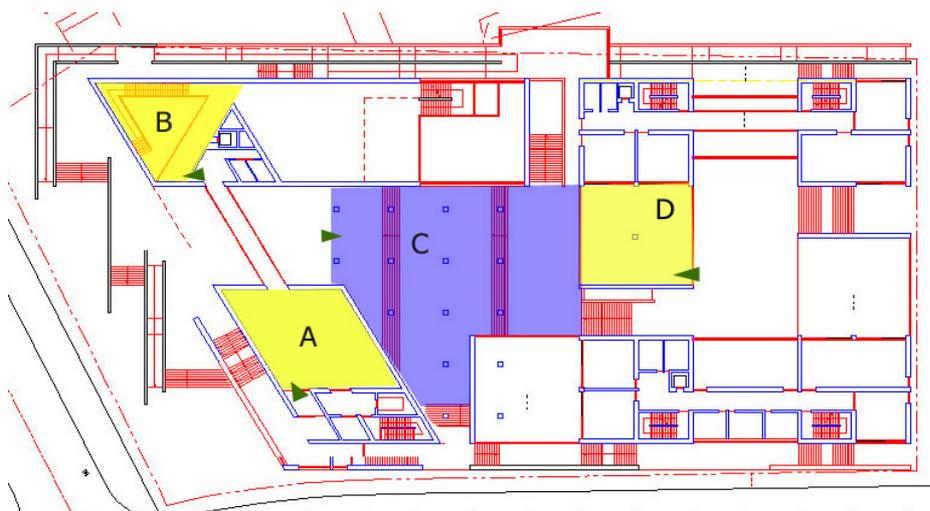


圖 3.5：實驗空間 A、B、C、D 之平面圖的相對關係

3.1.2 實驗空間

在各個實驗空間中(圖 3.4 與圖 3.5)，空間 A(附錄一，01:00-02:08)是位在整棟建築中的 2 樓，除了有 3 處開口外，其主要皆為水泥的牆面、天花板與地板所圍塑。空間 B(附錄一，02:52-04:24)是一個二層樓的高的大樓梯間，空間的平面造型是一接近三角型的等腰梯形，主要也皆由水泥的牆面、天花與地板所圍塑，樓上樓下各有二處的出口。空間 C(附錄一，04:36-05:52)是一個較不規則的空間，空間封閉性也是所有實驗空間中最低的一個，圍塑面只有一面玻璃帷幕與一面水泥牆，頂部則有五分之一面積為透空，其它則為 4 處大小不同的出口所構成。空間地板是由三處高低不同的小地板組成，且空間中穿插著一群矩陣排列的方柱列。空間 D(附錄一，06:28-06:52)是矩形空間，空間中有一根柱子及一處出口，空間是由三面水泥牆，一面玻璃帷幕所圍塑。

3.1.3 動畫路線

立體動畫的呈現方式，由於研究上的限制，無法由設計者安藤忠雄本人親自設定動畫的行走路徑。因此，本研究之動畫(附錄一 動畫影片片段)的呈現路徑係由研究安藤忠雄建築的謝宗哲博士(「安藤忠雄的都市徬徨」之中文譯者)來設定，動畫時間長度為 7 分鐘，如圖 3.6 之動畫行走路徑是基於下列因素所設定的：

1. 安藤忠雄建築事務所提供之靜態透視圖(圖 3.3)。
2. 要有一個空間能清楚表現出清水混凝土所圍塑的空間。
3. 古典幾何學的純粹量體，讓人感受純粹的空間感動，如三角形與圓形的表現。
4. 進入到建築主體前，先沿著一道牆走很長的路，再轉入建築主體。

5. 透過銳角呈現兩個不同方向的視覺向度。

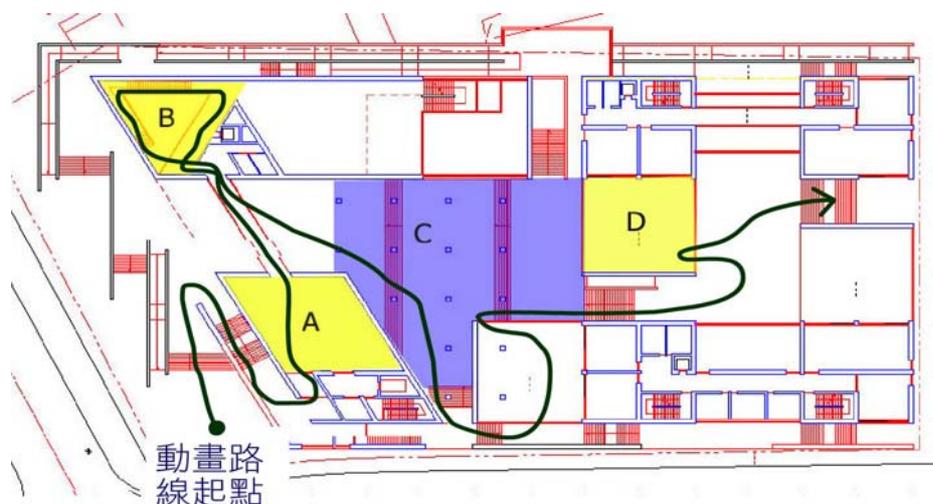


圖 3.6：動畫行走路徑與受測之實驗空間 A、B、C、D

3.2 「立體動畫」實驗

3.2.1 受測者

1. 設計者：1 位有空間設計經驗的設計者，即受過五年以上之建築設計訓練的碩士班學生，但此位受測者是從符合普遍性原則的 3 位合格受測者中挑選出無效資料較少的一位，做為本實驗之分析資料。
2. 觀看者：1 位未受建築設計訓練的觀看者，但此位受測者是從符合普遍性原則的 3 位合格受測者中挑選出無效資料較少的一位，做為本實驗之分析資料。

3.2.2 受測項目

「空間」是建築的基本要素(Danby, 1962; Zevi, 1993)，而空間經驗大部份由視覺上的感受獲得，因此當人在一個空間中，第一個所面對的是經由牆、地板與屋頂所圍塑成的「空間造型」(form) (Le Corbusier, 1923; Banham, 1962; Ching, 1996; 漢寶德, 2007)，以及另一個感受是對此空間大小的「空間尺度」(scale)(Danby, 1962; Rasmussen, 1964; Ching, 1996)，然後沿著串起個別空間路線的「空間動線」(circulation)到另一個空間(Danby, 1962; Alexander, 1977; Bloomer and Moore, 1977; Krier, 1988; Ching, 1996)，最後經由不同空間感受後，組織其不同空間的「空間組織」(organization) (Krier, 1988; Ching, 1996; 劉育東, 1996)。因此，在受測項目中，選擇了「空間造型」、「空間尺度」、「空

間動線」與「空間組織」四個受測項目。

3.2.3 受測方式

每位受測者分別觀看空間模擬器所呈現之「立體動畫」，且在觀看的過程中，以似口語分析(protocol analysis)方法(Ericsson and Simon, 1993)中的放聲思考(think aloud)概念，將動畫影像在大腦中所產生的認知，透過口語方式述說，口語難以表達時，以手繪方式呈現。爲了讓受測者可以完整的將腦中的認知說出，在述說的過程中，會停止影片的播放，等待受測者敘述完後，再繼續影片的播放。另外，在受測之前，會先告訴受測者受測項目(如 3.2.2 節)，以讓受測者有初步的觀察方向。而爲了讓受測者熟悉放聲思考的實驗方式，在正式受測的開始，亦會先練習一段與本實驗無關的空間影片。實驗過程中，以數位攝影機紀錄受測者所觀看的投影畫面，同時也紀錄受測者在觀看時之口語聲音。

3.2.4 受測步驟

1. 在觀看「立體動畫」的過程中，動畫會經過 A、B、C、D 四個空間(圖 3.6)時，請受測者分別說出這四個空間的空間形式與長寬高之尺寸，並以因子影響提示方式，問當下判斷的依據爲何？以及有那些不足的因子，是造成受測者無法或不易判斷的原因。(以獲得受測者對「空間造型」與「空間尺度」的受測結果)
2. 在觀看完「立體動畫」之後，
 - a. 受測者以他自己本身最善於說明的方式(如口說與畫圖等方式)，表達出空間 A、B、C、D 之間的空間動線，同時，以因子影響提示方式，問其判斷的依據爲何？以及有那些不足的因子，是造成受測者無法或不易判斷的原因。(以獲得「空間動線」的受測結果)
 - b. 受測者以他自己本身最善於說明的方式(如口說與畫圖等方式)，表達出空間 A、B、C、D 的相對位置，同時，以因子影響提示方式，問其判斷的依據爲何？以及有那些不足的因子，是造成受測者無法或不易判斷的原因。(以獲得「空間配置」的受測結果)

3.2.5 實驗結果

在這一階段「立體動畫」的空間實驗後，我們總共獲得兩種資料，一是二位受測者在觀看過程中，以似放聲思考概念，分別描述 4 個受測空間之造型與尺度，與最後觀看完四個空間後之空間組織與空間動線，透過數位攝影機做記錄再整理成文字的

口語資料(附錄二)；另一個是在實驗過程中，口述難以說明，則透過筆與紙手繪的草圖資料(表 3.2、圖 3.7 和圖 3.8)。而兩位受測的總時間除包含動畫播放時間長度 7 分鐘外，設計者為 37 分，觀看者為 43 分鐘。

3.3 「立體虛擬實境」實驗

本「立體虛擬實境」之空間實驗的時程，為「立體動畫」之空間實驗後之一個月後舉行，主要原因為本階段實驗之受測者均為同組人，為了讓其忘記上階段之空間經驗，故以相隔一個月時間，以降低對本階段實驗之影響。

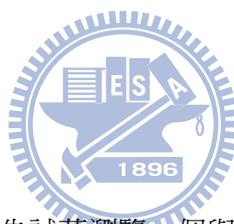
3.3.1 受測者

為 3.2 節最後所挑選出來的受測者。

3.3.2 受測項目

同 3.2.3 節。

3.3.3 受測方式



每位受測者在正式實驗之前，先試著瀏覽一個與本實驗無關的空間，以讓受測者了解本立體虛擬實境的互動操作方式，其透過搖桿的操作方式如圖 3.2，前進(forward)與後退(backward)是透過搖桿上的兩個按鈕，移動速度則是以固定速度方式設定；搖桿向前或向後傾斜則表示觀景方向朝下(tilt down)或朝上(tilt up)，搖桿向左或向右傾斜則表示觀景方向朝左方(pan left)或右方(pan right)。同時在操作的過程中，亦請受測者以放聲思考的方試，述說其接受影像後的認知。空間受測的順序是由空間 A 至空間 D，空間的切換則是透過搖桿上的按鈕直接切換。圖 3.5 中的三角點為每個受測空間的起始位置。實驗過程中，如同立體動畫實驗，以數位錄影機紀錄受測者所觀看的投影畫面，與瀏覽時的口語聲音。

3.3.4 受測步驟

1. 主要步驟與 3.2.4 節相同，而不同的是受測者在此一受測中是主動式之自行瀏覽每一個受測空間，四個受測空間瀏覽完後，再自行找出這四個受測空間之動線，最後再進行空間動線與空間組織的口語與手繪表達。

3.2.5 實驗結果

在這一階段「立體虛擬實境」的空間實驗後，與「立體空間」實驗相同，我們同樣獲得兩種資料，一是二位受測者在瀏覽過程中，以似放聲思考概念，分別描述 4 個受測空間之造型與尺度，與最後觀看完四個空間後之空間組織與空間動線，透過數位攝影機做記錄再整理成文字的口語資料(附錄三)；另一個是在實驗過程中，口述難以說明，則透過筆紙手繪的草圖資料(表 3.3、圖 3.11 和圖 3.12)。而兩位受測的總時間分別設計者為 37 分，觀看者為 50 分鐘。

3.4 現象分析

根據 3.2 與 3.3 的實驗結果，本節就「立體動畫」與「立體虛擬實境」在設計空間的呈現上，「設計者」(有建築設計經驗者)與「觀看者」(無建築設計經驗者)在空間了解上的進行「立體動畫」與「立體虛擬實境」之差異現象分析。因此，在分析受測者對於「空間造型」、「空間尺度」、「空間組織」與「空間動線」四個受測項目時，將再分別針對這些項目再細分受影響的子因子，其說明如下所述，子因子的說明如表 3.1：

1. 「空間造型」上的分析因子可分為形狀(shape)、邊緣(edge)、表面(surface)、開口(opening) (Ching, 1996)。
2. 「空間尺度」上的分析因子可分為參考物(reference object)、透視(perspective) (Ching, 1996)、材質大小(size of texture)、觀看位置(point of view)(Danby, 1962; Heuser, 1994)。
3. 「空間動線」上的分析因子可分為走道、樓梯 (Krier, 1988; Ching, 1996)、坡道(ramp) (Danby, 1962)、廣場(square)(Bloomer and Moore, 1977)。
4. 「空間組織」上的分析因子可分為空間屬性(character)、主次入口(entrance)(Ching, 1996; 劉育東, 1996)、空間排列(scheme)(Krier, 1988; Ching, 1996)、空間連接(adjacent)(Ching, 1996)。

表 3.1、因子說明

空間因子	子因子	子因子說明
1. 空間造型	形狀	空間的外形輪廓
	邊緣	界定空間的邊線，可能是清晰或模糊的
	表面	面之外表，如質感粗細、顏色深暗、紋路
	開口	平面上的開口，如牆面上的窗、天花板的天窗
2. 空間尺度	參考物	空間中如有桌子或人之參考物，易於根據這些參考物判斷空間的大小

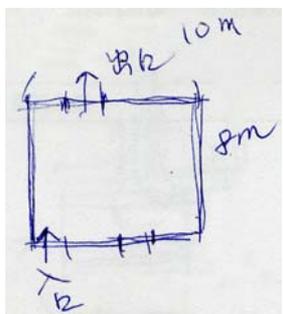
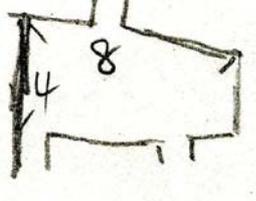
	透視	透視的角度影響判斷空間的大小，如誇張的透視角易增加空間的大小
	材質大小	圍塑面上的材質大小，如清水模板的大小
	觀看位置	觀看在空間中觀看的位置，如半空中之俯視
3. 空間動線	走道	可行走的通道
	樓梯	連接不同高度地板的階梯通道
	坡道	連接不同高度地板的平面通道
	廣場	可任意穿越其中的公共場所
4. 空間組織	空間屬性	個別空間的屬性，如公共空間與私密空間
	主次入口	建築物與外部空間連結的入口
	空間排列	個別空間的排列方式，如集中、線性、格狀等排列
	空間連接	空間與空間的連接關係，如內外空間

3.4.1 「立體動畫」之現象分析

本節是空間實驗中第一階段「立體動畫」的實驗結果分析，將針對實驗結果所獲得的口語資料(附錄二)與手繪資料(表 3.2 中的圖，圖 3.7 與圖 3.8)，就有設計經驗者(設計者, 觀看者)與無設計經驗者(觀看者, 觀看者)兩位受測者在透過「立體動畫」之呈現方式，觀看 4 個受測空間在「空間造型」、「空間尺度」、「空間動線」與「空間配置」的了解。底下分別就這四項進行各子因子之比較與討論，進而得出設計者與觀看者在空間設計了解上的初步原始落差現象與細微差異現象。

「空間造型」比較

表 3.2、兩位受測者對 4 個受測空間在空間造型上的實驗結果

受測空間	設計者		觀看者	
	手繪造型	子因子	手繪造型	子因子
A		形狀(牆面的形狀)、邊緣(牆邊的夾角)		形狀(牆的形狀)、邊緣(地板邊之夾角)

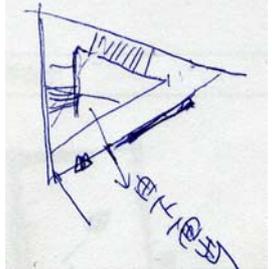
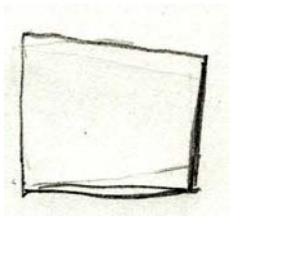
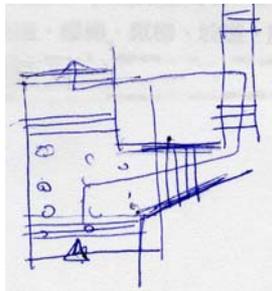
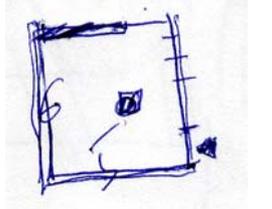
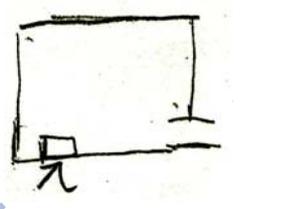
B		形狀 (天花板 形狀)、邊緣 (樓梯與牆面 的接邊)		邊緣 (地板與 牆之邊緣)
C		邊緣 (連棟的 建築物)、開 口 (沒被包圍 的開口)、形狀 (周圍建築物的 外形)		邊緣 (其它建 築物、樓梯)
D		形狀 (三面石 牆與玻璃帷幕 的外形)		形狀 (牆的形 狀)

表 3.2 為「設計者」與「觀看者」在「立體動畫」實驗中，對於 4 個受測空間之造型所做的描繪與相關判斷的子因子。底下為兩位受測者透過「立體動畫」了解「空間造型」時之原始落差現象與細微差異現象及其分析：

原始落差現象

現象一、對於空間造型如屬於菱形空間時，在動畫的呈現上，不易被察覺出來。表 3.2 中 4 個平面造型與圖 3.5 的 4 個平面造型相互比較，兩位受測者所繪製的空間造型中，空間 A 的差異是最大的，兩位受測者都將空間 A 視為一個矩形空間，而非真正的菱形空間。設計者所繪的平面造型較趨近於一個正方形，觀看者則呈現一個長二比一的長方形。

現象二、圍塑面較封閉且空間單純的幾何空間，較會透過「形狀」判斷空間造型。空間之圍塑面封閉較完整且空間中較沒有其它的建築元素之單純的幾何空間，受測者會較傾向運用「形狀」判斷空間造型。如空間中沒有樓梯、柱子等其它建築元素的空間 A 與空間 D，兩位受測者都運用了「形狀」判斷空間造型。

現象三、攝影機 dolly 運鏡可能會放大攝影機行走的空間，忽略 pan 所呈現的空間。

動畫的運鏡對於一個空間的呈現，如攝影機運行路徑只集中在某一測時，較會放大在此部份空間的在整體空間的比例，如在這空間 C 中，設計者所繪的平面空間 C 較接近實際的空間 C，但在右側開口的空間比例上比實際大上許多，這可能是動畫的路徑(圖 3.6)有經由此開口，即以 dolly 的運鏡方式，強化了設計者對於此部份的印象，而忽略了 pan 運鏡時，呈現其它部份空間與整個空間 C 之大小的比例關係。

現象四、動畫運鏡對空間造型因子呈現不足，不易於判斷空間造型。 動畫的運鏡如果沒有對整體空間有完整的呈現，如圍塑面的形狀、邊緣等，受測者會較難了解所在的空間造型。如實驗的一開始，動畫的畫面是由二樓的戶外走道進入空間 A，但在進入空間 A 後，運鏡尚未完全的將空間 A 呈現出來時，會影響受測者對其空間造型的了解，如受測者在其口語的反應是：

我覺得這個空間很難判斷它到底是方形還是其他形狀，因為我只知道它有幾面去組成的，但是沒辦法...以看到三面來確定它到底是什麼形狀(附錄二, 設計者, 05:46)

因此建築動畫的運鏡如果沒有對圍塑面的形狀、邊緣等有較完整的呈現，受測者在那個空間中會較難了解所在的空間造型。

二次落差現象

現象五、「設計者」用較多因子判斷空間造型，「觀看者」則主要集中在邊緣。 「設計者」會比「觀看者」用較多的子因子判斷空間造型，如空間 B 用了「形狀」(天花板形狀)、「邊緣」(樓梯與牆面的接邊)與空間 C 用了邊緣(連棟的建築物)、開口(沒被包圍的開口)、形狀(周圍建築物的外形)等較多的因子判斷空間造型，而「觀看者」大都只透過「邊緣」判斷空間，這相對也可能是造成空間造型了解準確性較低的原因。

「空間尺度」比較

表 3.3、兩位受測者對 4 個受測空間在空間尺度的實驗結果

受測空間	實際尺度	設計者		觀看者	
		推測尺度	子因子	推測尺度	子因子
A	長: 13.8m 寬: 13.8m 高: 4.95m	長: 8m 寬: 10m 高: 3-4m	參考物 (人高與開口的寬度)	長: 4m 寬: 8m 高: 3m	參考物(長寬是根據門的寬度,高則是人的高度)
B	長: 13.8m 寬: 4~18.5m 高: 10.35m	每一邊: 8m 高: 10m	參考物 (人與樓梯高度)	長: 5.5m 寬: 5.5m 高: 二樓半	參考物(人的大小與樓梯的長度)

C	長: 34.5m 寬: 38.6m 高: 10.35-12.75m	長: 12m 寬: 10m 高: 最高 12m	參考物(空間 B 與長型階梯的高 度、人)	長: 15m 寬: 10m 高: 4m	參考物(人與柱 子)
D	長: 13.8m 寬: 13.8m 高: 4.2m	長: 5m 寬: 6 m 高: 2.8 m	參考物、材質 大小(人與水泥 牆)	長: 4m 寬: 6m 高: 3.2m	參考物(人與水 泥牆)

表 3.3 為「設計者」與「觀看者」在「立體動畫」實驗中，對於 4 個受測空間之尺度所做的數據推測與相關判斷的子因子。底下為兩位受測者透過「立體動畫」了解「空間尺度」時之原始落差現象與二次落差現象及其分析：

原始落差現象

現象六、主要以「參考物」做為判斷空間尺度的依據，但對尺度越大的空間在判斷的誤差會越大。綜觀兩位受測者對於 4 個受測空間的推測，設計者所推測的數據較接近實際的空間尺度，但整體看來，推測的數據都低於實際空間尺度，尤其是在空間 C 的長寬推測差距尤其甚大，而他們判斷此空間的子因子都有利用到參考物的人，且空間 C 亦是所有受測空間最大的一個，因此會造成判斷差距拉大的原因可能透過參考物在判斷空間時，因參考物在此空間中過小，亦無其它相對明確可參考的物件足以推測。而在高度上，設計者以空間 B 為「參考物」，知道 B 的高度大概在 10 公尺左右，猜測空間 C 的天花板應和空間 B 同樣高度，所以在空間 C 中還有兩層低的長階梯，透過空間中人的比例推估，大概有 2 公尺高，因此，推測空間 C 最高的地方為 12 公尺高，相對也比較接近實際尺寸。而觀看者可能因空間 C 在長寬相對其它受測空間都大的情況下，反而讓他覺得空間 C 比空間 B 低。

現象七、攝影機運鏡上如沒有呈現「參考物」與整體空間的比例關係，空間尺度不易被判斷。動畫運鏡上，因其線性的時間序列關係，在尺度判斷上，大多是以參考物做為空間尺度判斷的依據，在運鏡上如沒有呈現參考物與整理空間的比例關係，空間尺度不易被判斷。如在實驗一開始，設計者做了底下的陳述：

其實畫面在進行的時候，會對 scale 掌握不是很明顯，因為視角一直在改變，所以它能夠可以相對比 scale 的並不是那麼準確(附錄二，設計者, 01:06)。

因此，攝影機運鏡的視點一直改變時，受測者不容易在動畫影像中，透過一些視覺線索看見參考物與空間之相對的比例關係，進而推測其空間尺度。

現象八、立體視覺之雙眼視差過大易產生雙眼不適。在透過立體視覺來判斷空間尺

度上，受測者雖覺立體影像能讓他們感覺到較有深度，有助於他們判斷空間裡的距離，但本研究中無法明確顯示出立體視覺對空間尺度的幫助為何。然而，受測者在觀看立體動畫的過程中，會因攝影機運鏡持續近距離拍攝空間中的物體時，產生較大的視差影像，如立體動畫在空間 C 的柱廊中(附錄一，動畫影片片段 04:36~04:48)，會比只有牆面空間所產的視差影像要明顯，因而讓受測者產生觀看上的不適。

二次落差現象

現象九、「設計者」對建築元素有較準確的尺度概念，相對「觀看者」在空間尺度的判斷會較準確。觀看者雖和設計者都透過「參考物」判斷空間的尺度，但推測出來的數值大多低於設計者判斷尺度的數據，這可能是觀看者對於空間尺度較無法用數值來直接表示空間的大小，如遇到較大尺度時，便無法以一個尺度的數字來表述他所認為的空間大小，會用較抽象的方式表示，如空間 B 是二層樓半高的方式來表述，同時表示他是用猜測的(附錄二，觀看者,19:54)。

「空間動線」比較

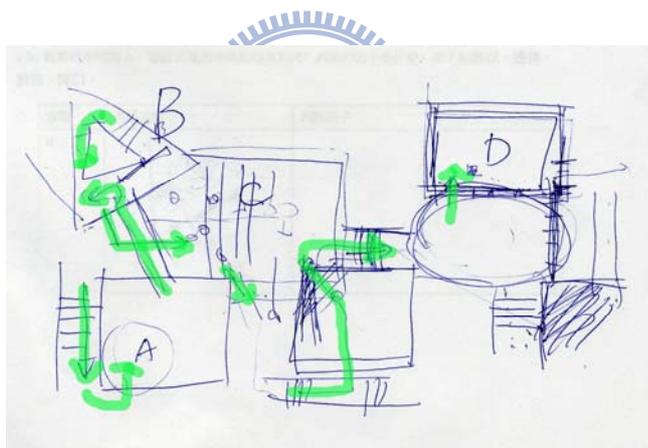


圖 3.7：觀看立體動畫後設計者繪製的空間組織與動線

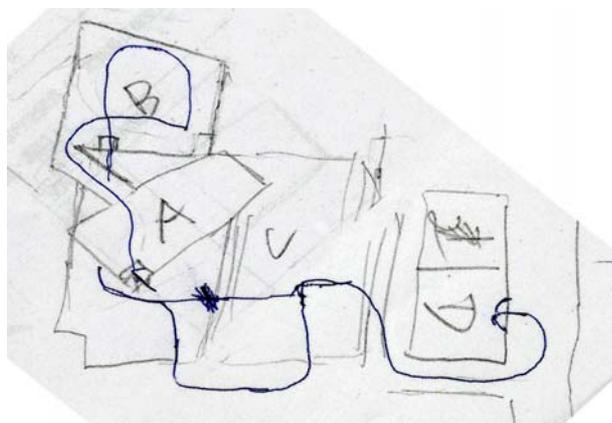


圖 3.8：觀看立體動畫後觀看者繪製的空間組織與動線

圖 3.7 與圖 3.8 裡帶有箭頭的線條是「設計者」與「觀看者」觀看「立體動畫」後所繪製的四個受測空間之動線。底下為兩位受測者透過「立體動畫」了解「空間動線」時之原始落差現象與二次落差現象及其分析：

原始落差現象

*現象十、攝影機運鏡呈現的動線因子會影響受測者對空間動線的了解。*攝影機行走的過程中，呈現如「走道」、「樓梯」、「廣場」等空間動線的因子與否，會決定受測者對空間動線的了解。如兩位受測者都清楚的知道空間 A 與空間 B 主要由一條有玻璃帷幕的走道連接。攝影機運鏡在從空間 C 往空間 D 中，運鏡畫面有清楚的呈現連接這兩個空間之樓梯與走道，因此受測者容易知道空間動線中有這些的動線因子。

*現象十一、攝影機運鏡在動線上轉彎時，缺少動線視覺線索時，易誤判斷轉彎的角度。*空間 D 中，兩位受測者都知道連接空間 C 和 D 是由一處向下「樓梯」與一「走道」、「廣場」相連，但「設計者」在此次的空間動線沒有察覺出攝影機的運鏡在進入空間 D 之前，是做了近 180 度的轉向(附錄一 06:00-06:28)，而非只是 90 度左轉，故在動線上誤判空間 D 的入口是在下樓梯走道後左轉，而非是左轉再左轉。

二次落差現象

*現象十二、「觀看者」比「設計者」易受攝影機運鏡轉彎影響而迷失方向感。*攝影機運鏡的轉彎次數越多，越會擾亂受測者在空間中的方向感，而觀看者受動畫運鏡轉彎影響的程度大於設計者。如設計者與觀看者在從走道進入空間 B 時的二處轉彎，雖兩者在這二處的轉彎都與實際動線有差異，但設計者在空間 B 中繞了一圈之後，其之後空間動線尚與實際動線接近，但觀看者在空間 B 出去的動線連接空間 C 便與實際的空間動線有較大的差異。且要離開空間 C 前的那一段動線，又將動線又左轉了一次，才離開空間 C，雖其空間 C 與空間 D 之組織與實際相同，但在動線上確有些的落差。

「空間組織」比較

圖 3.7 與圖 3.8 裡除了是「設計者」與「觀看者」觀看「立體動畫」後所繪製的四個受測空間之動線外，另外同時也是四個受測空間之組織。底下為兩位受測者透過「立體動畫」了解「空間組織」時之原始落差現象與二次落差現象及其分析：

原始落差現象

*現象十三、攝影機運鏡轉彎越多，亦會影響受測者對空間組織的判斷。*設計者在圖 3.7 所繪製的空間組織與觀看者在圖 3.8 所繪製的空間組織，在和圖 3.6 實際的空間

組織比較後，設計者在四個空間的組織中，只有空間 D 的位置錯誤外，其於三個空間與實際「空間組織」大致相同。然而會造成設計者在空間 D 判斷錯誤原因可能在於動畫從空間 C 到空間 D 的運行路徑中，走到廊道底遇到空間 D 外面的小廣場時，攝影機運鏡做了一個 180 度的 pan 轉彎，且在轉彎的過程中，畫面沒呈現出空間 D 與走道的相對關係，以致這方面被設計者所忽略。觀看者在空間組織上的呈現，如果排除空間 A 的空間組織，空間 B、空間 C 與空間 D 之相對位置是較接近實際的 B、C、D 三個空間組織；但空間 A 一起加進來看的話，空間 A 與空間 B 的相對位置雖有點斜對關係，但中間還有一條走道相隔，觀看者呈現出二個空間在角落上是相連的。再看空間 A 與空間 C，實際的空間 A 是在空間 C 的左下方，但在這裡觀看者所呈現出來的是在左上方。觀看者在這裡似乎忘了在動畫的行走過程中在空間 A 往空間 B 的玻璃帷幕有看到空間 C 的柱列。這可能的原因在於從空間 A 到離開空間 B 這過程中的攝影機運鏡轉彎處與空間 C 到空間 D 這段的轉彎處相對較少。

二次落差現象

現象十四、「設計者」由「空間排列」因子較清楚的了解空間組織，而「觀看者」則只偏向「主次入口」之個別空間的關係了解空間組織。設計者對於空間 A、B、C 三個空間能比較清楚的掌握，在於透過空間 A 與空間 B 之間的玻璃帷幕走道上，能看到空間 C，如底下設計者所說：

…透過這個廊道然後看到 C 空間很多柱廊…(附錄二, 設計者, 32:47)

且在後續又知道空間 D 是在空間 C 的右方。

一下來看到是個廣場…這廣場可以從這邊看到往下的錯層……然後有廊道…可以看到比較矮的 D 空間…這裡是玻璃面…然後入口是從這裡…然後它裡面這邊是石牆…然後有個空的，……，所以它相對關係大概是依它的空間排列與空間連接去判斷彼此的關係以及主次入口 (附錄二, 設計者, 33:31)

因此，設計者在空間組織的判斷主要依據的是「空間排列」，其次就是「空間連接」與「主次入口」。而觀看者則說他主要判斷空間因子的方式主要依據的是「主次入口」，這可能也是觀看者只能從個別空間與空間之間的個別關係尋找相對位置，而這個別空間關係一多之後，可能就會容易造成多個空間結合起來後會有錯誤的空間組織。

3.4.2 「立體虛擬實境」之現象分析

本節是空間實驗中第二階段「立體虛擬實境」的實驗結果分析，將針對實驗結果所獲得的口語資料(附錄三)與手繪資料(表 3.4 中的圖，圖 3.11 與圖 3.12)，是有空間設計經驗者(設計者)與無空間設計經驗組(觀看者)兩位受測者透過「立體虛擬實境」之

呈現方式，瀏覽受測空間在「空間造型」、「空間尺度」、「空間動線」與「空間配置」的了解，底下分別就這四項進行各子因子之比較與分析，進而得出設計者與觀看者在空間設計了解上的初步原始落差現象與二次落差現象。

「空間造型」比較

表 3.4、兩位受測者對 4 個受測空間在空間造型上的實驗結果

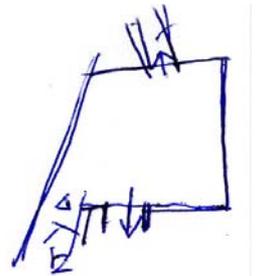
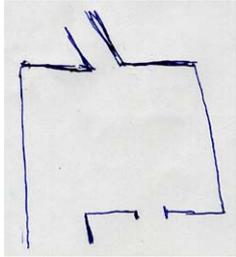
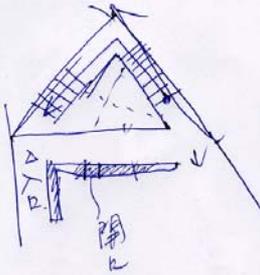
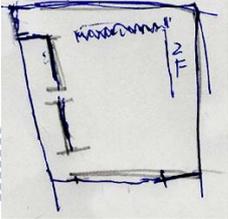
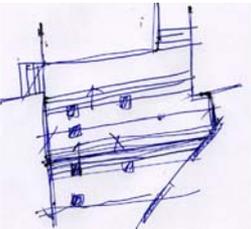
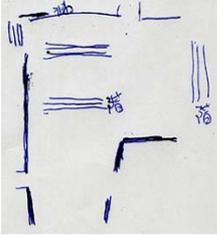
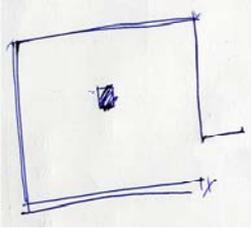
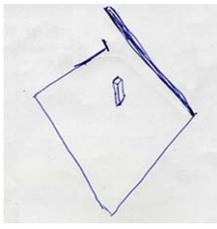
受測空間	設計者		觀看者	
	手繪造型	子因子	手繪造型	子因子
A		形狀、邊緣(地板天花板之形狀、牆與牆之夾角)		形狀、邊緣、表面(牆面的磁磚，牆面角度)
B		形狀(樓梯與天井的形狀)		形狀、邊緣(牆面的角度)
C		形狀、邊緣、開口(樓梯被切的形狀是銳角，周圍的面如玻璃牆面與外圍建築物的形狀，向下的出口階梯)		邊緣、表面(牆面地面的角度、牆面)
D		形狀、邊緣(三方方形的牆，牆與牆間的角度)		形狀、邊緣(牆面、角度)

表 3.4 為「設計者」與「觀看者」在「立體虛擬實境」實驗中，對於 4 個受測空間之造型所做的描繪與相關判斷的子因子。底下為兩位受測者透過「立體虛擬實境」了解「空間造型」時之原始落差現象與二次落差現象及其分析：

原始落差現象

現象十五、呈現畫面的比例與攝影機視野範圍會影響受測者判斷一個空間之邊緣角度，進而影響對空間造型的判斷。在空間 A 中，兩位受測者對此空間的繪製均與實際的空間 A 有所不同，且在造型上的判斷，都有用到「形狀」與「邊緣」，會造成兩位受測者都判斷錯誤的原因可能在於呈現畫面的比例與導覽空間的攝影機為焦距 28mm 之 65.47 度的水平視覺範圍時，使用 pan 與 tilt 時，容易將垂直牆面看成是向內或向外傾斜的牆面(圖 3.9)，將「邊緣」之牆角小於 90 度的夾角變成近直角或更大的鈍角(圖 3.10)與在角落上的天花板、地板之呈現角度放大。然而受攝影機水平視覺範圍影響了「邊緣」呈現，進而影響空間造型的判斷，除了空間 A 兩位受測者都判斷錯誤外，受測 B 在空間 B 與空間 D 的描繪也同樣有對空間夾角產生誤判。因此呈現畫面的比例與攝影機視野範圍可能是造成受測者在邊緣角度掌握不準確的主要因素。

二次落差現象

現象十六、設計者判斷空間造型側重在「形狀」因子上，而觀看者則較集中在「邊緣」。兩位受測者對於空間造型的判斷，設計者用了比較多的子因子作為判斷空間造型的依據，尤其是在「形狀」，四個空間的判斷，都用到了「形狀」因子；而觀看者大部份只集中在「邊緣」，同樣每個空間都運用到「邊緣」因子。這有可能是設計者是有建築設計背景的關係，故在觀察空間造型時，會運用比較多的建築知識做為判斷的線索。



圖 3.9 左右兩圖為使用 tilt 時，造成牆面向內與向外傾的變化

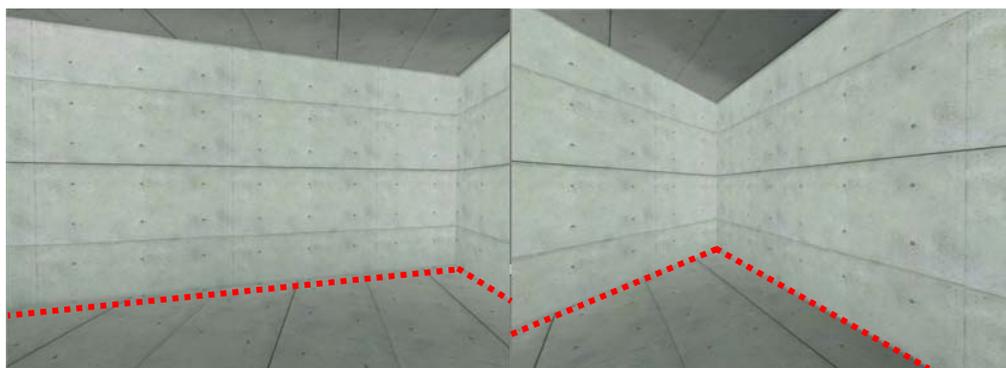


圖 3.10 左右兩圖為使用 pan 時，造成牆角不同的變化

「空間尺度」比較

表 3.5、兩位受測者對 4 個受測空間在空間尺度上的實驗結果

受測空間	實際尺度	設計者		觀看者	
		推測尺度	子因子	推測尺度	子因子
A	長: 13.8m 寬: 13.8m 高: 4.95m	長: 10m 寬: 7m 高: 3-3.5m	參考物(開口大小, 人的高度)、透視(攝影機的透視感)	長: 5m 寬: 7m 高: 2m	參考物(走道寬度)、材質大小(牆壁的磁磚)
B	長: 13.8m 寬: 5~19.8m 高: 10.35m	Each side: 6m 高: 6m	參考物(人的高度, 樓梯的寬度)	長: 3.5m 寬: 6m 高: 4m	材質大小(牆壁的磁磚)
C	長: 34.5m 寬: 38.6m 高: 10.35-12.75m	長: 20m 寬: 15m 高: 10-12m	參考物(人的比例)、材質大小(牆面的清水模大小)	長: 15m 寬: 10m 高: 4m	材質大小(牆壁的磁磚)
D	長: 13.8m 寬: 13.8m 高: 4.2m	長: 5.2m 寬: 5m 高: 3.5m	參考物(人的高度)、材質大小(牆面的清水模大小)	最長邊: 7m 最短邊: 4m 高: 3.5m	材質大小(牆壁的磁磚)

表 3.5 為「設計者」與「觀看者」在「立體虛擬實境」實驗中，對於 4 個受測空間之尺度所做的數據推測與相關判斷的子因子。底下為兩位受測者透過「立體虛擬實境」了解「空間尺度」時之原始落差現象與二次落差現象及其分析：

原始落差現象

現象十七、同立體動畫，主要以「參考物」做為判斷空間尺度的依據，但對尺度越大的空間在判斷的誤差會越大。

現象十八、同立體動畫，當瀏覽者太靠近物體時，會產生過大視差，容易導致視覺不適。

二次落差現象

現象十九、設計者對能透過其建築知識，能較快速且準確的知道空間的尺度，而觀看者只能藉著感覺說出一個數字。兩位受測者所估算的空間尺度，設計者較接近實際空間的尺度，而觀看者則相差較大。而在判斷空間尺度的方法上，設計者主要是透過空間中的人、樓梯寬度、出入口寬度等可以用其建築知識，很快的知道這些「參考物」的大概基本尺度，所以對於空間判斷的方式大多先確認一些「參考物」的尺度，再經由這個參考物尺度去推算更大尺度的距離，如在較小尺度空間 B 的量測是：

假設樓梯是一米二…那就看是樓梯的幾倍…所以樓梯是我判斷因素(附錄三, 設計者, 15:43)

較大尺度的空間 C，受測者的口語陳述是：

應有 15 米，因為我覺它應比高度還要再長一點…最寬的寬度應有 20 米，我覺他大概有高度的兩倍(附錄三, 設計者, 23:47)

其是先判斷人的高度，再推測空間 C 的高度應有 10 米到 12 米，再以這個高度來推測空間 C 之長度與寬度。而觀看者則是先透過投影螢幕所投射出來的清水模板紋路，用較直覺方式猜測「材質大小」做為他判斷空間尺度的依據，如在空間 A 時，他對空間 A 裡的清水模板紋路做了底下的陳述：

那個磁磚看起來寬度像是五十公分，所以天花板的高度大概有兩公尺以上(附錄三, 觀看者, 00:05)…因為磁磚的長度應該有一公尺，所以這個房間的…這算寬度…應該滿寬的(附錄三, 觀看者, 00:36)

進而推估空間的尺度，然而，這樣直覺式感知與設計者用有較明確尺寸依據的推測方式會與實際空間尺度有較大的誤差產生。

「空間動線」比較

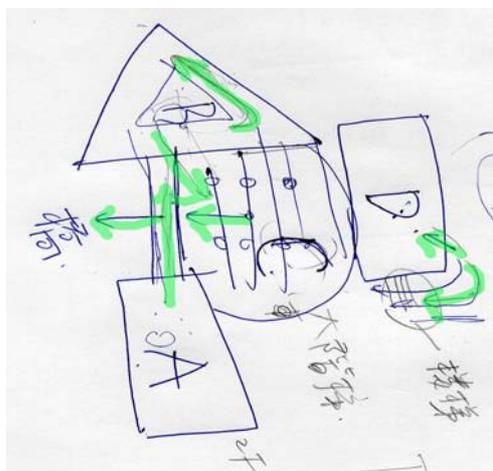


圖 3.11：瀏覽立體虛擬實境後設計者繪製的空間組織與動線

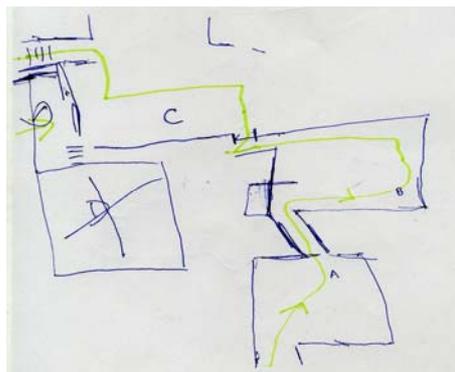


圖 3.12：瀏覽立體虛擬實境後觀看者繪製的空間組織與動線

圖 3.11 與圖 3.12 裡帶有箭頭的線條是「設計者」與「觀看者」瀏覽「立體虛擬實境」之 4 個受測空間後，再自行導覽找出這四個受測空間的動線繪製。底下為兩位受測者透過「立體虛擬實境」了解「空間動線」時之原始落差現象及其分析：

原始落差現象

*現象二十、空間動線中轉彎處越多，越容易增加對空間動線的錯誤判斷。*與圖 3.5 相較，設計者繪製的空間動線較為接近真實的空間動線，四個受測空間之主要動線都有繪製出來。但在空間 B 裡的動線繪製上還是與圖 3.5 實際的空間動線有所差異，從走道進入空間 B 前得先左轉後，才能看到空間 B，但設計者在這部份忽略了還有左轉的短走道，因此連帶在空間 B 裡的二樓走道與樓梯動線繪製錯誤。觀看者在圖 3.12 所繪製的空間動線，在部份的空間動線是對的，如空間 A 到空間 B 之間的空橋「走道」與空間 C 到空間 D 之間的「樓梯」、「走道」與「廣場」。然而此空間動線會與圖 3.5 實際空間動線產生較大的差異在於進入空間 B 前的左轉，尚有個短走道，之後再右轉進入二樓的走道，但觀看者在這同樣和設計者相同忽略了這裡的短走道，只記得進入空間 B 是空橋走道走完後右轉。且將空間 B 出去接空間 C 的方向轉錯，空間 B 出去遇到大入口走道左轉才能接到空間 C，但觀看者將這處的轉彎記錯，連帶影響之後的空間組織。顯然，在空間 B 這樣的多轉彎的空間動線，且是短走道的空間動線，可能是造成兩位受測者在部份容易對空間動線判斷錯誤的一個原因。

*現象二十一、視覺較突出的動線因子，較容易讓受測者記起。*圖 3.11 與圖 3.12 兩位受測者所繪製的空間動線，都清楚的知道空間 A 與空間 B 之空橋走道，因兩旁是玻璃帷幕，有別於其它動線大多是水泥牆面，因此較容易被記得此一動線。而其它走道動線如是太短或隱藏在某個動線中，便容易被忽略，如從空間 A 進到空間 B 時，尚有一個左轉的小走道，且前後還有兩處轉彎的動線。

「空間組織」比較

圖 3.11 與圖 3.12 裡除了是「設計者」與「觀看者」觀看「立體虛擬實境」後所繪製的四個受測空間之動線外，另外同時也是四個受測空間之組織。底下為兩位受測者透過「立體虛擬實境」了解「空間組織」時之原始落差與二次落差現象及其分析：

原始落差現象

*現象二十二、有較整體的空間排列線索，會有助於精確的了解空間組織。*設計者在尋找各個受測空間的空間動線時，找到空間 A 和空間 B 主要是由一條空橋走道連接後，在由這條「走道」的玻璃帷幕發現底下有柱列的空間 C，因此知道空間 A、B、C 三個空間的組織，如底下受測者口語資料：

我在走這個橋的時候…我就知道 C 在它們兩個的中間(附錄三, 設計者, 35:02)

最後當設計者從空間 D 旁的走道(圖 3.5 空間 D 下方)時，便發現離開空間 C 往空間 D 的樓梯之「主次入口」。

我看 D 時…其實一開始不太清楚…所以剛在那邊找又繞了一圈…其他我都沒有看過…到這裡我看到有個洞…但當我看樓梯又看到柱列 我就知道他在柱列前面(附錄三, 設計者, 35:02)

因此，透過子因子「空間排列」知道空間 D 是在空間 C 的下方，空間 A 與空間 B 在空間 C 的兩側，進而推測 4 個受測空間的組織。

二次落差現象

*現象二十三、「設計者」對於空間組織判斷，較會透過各種因子推測空間組織，「觀看者」較偏向依「主次入口」判斷空間組織。*設計者對於空間組織判斷，如同「立體動畫」實驗，較會透過各種因子推測空間組織，而觀看者較偏向依主次入口判斷空間組織。觀看者所繪製的空間組織與圖 3.5 的空間組織差異較大。其最大差異在於空間 B 與空間 C 的相對位置，在上文的空間動線比較，我們有提到觀看者在空間 B 有幾處的空間動線忽略進入空間 B 時的轉彎方向與離開時的方向，因而將空間 B 通往空間 C 的空間動線記錯，因而在空間組織上，也產生錯誤的理解。然而，如不先一次看 4 個空間的組織，個別去看空間 A 與 B、空間 B 與 C、空間 C 與 D 之組織，可以看出個別組織和圖 3.5 的空間組織差異不大，如空間 A 隔一「走道」與空間 B 相連，空間 C 隔一「樓梯」、「走道」與空間 D 相連，因此，從這樣的一個結果，初步的推測觀看者用子因子「主次入口」與「空間連接」只能個別推出與鄰近空間的關係，空間與空間如沒有這兩個子因子關係，對觀看者可能就相對較難推測其空間組織，另一可能則是在立體虛擬實境導覽中，空間 B 之動線轉彎處太多，也是容易造成觀看者方位判斷錯誤的原因。

3.4.3 小結

設計者與觀看者對於立體動畫與立體虛擬實境兩種呈現媒材所產生的「原始落差」現象與「二次落差」現象(表 3.6)。在「原始落差」現象方面，設計者與觀看者在空間造型的判斷，均會因畫面比例與攝影機視覺範圍而產生菱形空間之邊緣角度的誤判。空間尺度的判斷，主要都以參考物做為判斷的依據，且空間越大，判斷的誤差也越大；另外，立體視覺雖有助尺度的判斷，但視點太貼近物體時，會產生過大的視差因而容易造成雙眼的不適。空間動線的判斷，動畫的運鏡或空間動線本身轉彎越多，會增加動線的誤判。空間組織的判斷，呈現的視覺畫面如有較整體的空間排列線索呈現，將有助於空間組織的了解。在「二次落差」現象方面，空間尺度的判斷，設計者相較於觀看者對空間中之建築元素有較準確的尺度概念，對空間尺度的誤判亦會較小；在空間組織的判斷，設計者會用較多的因子推測空間組織，觀看者則偏重在各別空間之主次入口。因此，這些可立即執行整合的落差現象，我們將在第四章透過一個空間視覺化系統整合這些落差現象。底下部份則是我們在下一章系統功能所要整合的現象。

- 「水平視覺範圍擴展」整合立體動畫與立體虛擬實境在空間造型上的落差現象。
 - 現象一、對於空間造型如屬於菱形空間時，在動畫的呈現上，不易被察覺出來。
 - 現象十五、呈現畫面的比例與攝影機視野範圍會影響受測者判斷一個空間之邊緣角度，進而影響對空間造型的判斷。
- 「自動空間測距」整合立體動畫與立體虛擬實境在空間尺度上的落差現象。
 - 現象六、主要以「參考物」做為判斷空間尺度的依據，但對尺度越大的空間在判斷的誤差會越大。
 - 現象九、「設計者」對建築元素有較準確的尺度概念，相對「觀看者」在空間尺度的判斷會較準確。
 - 現象十九、設計者對能透過其建築知識，能較快速且準確的知道空間的尺度，而觀看者只能藉著感覺說出一個數字。
- 「自動空間導引模式」整合立體動畫與立體虛擬實境在空間動線上的落差現象。
 - 現象十、攝影機運鏡呈現的動線因子會影響受測者對空間動線的了解。
 - 現象十一、攝影機運鏡在動線上轉彎時，缺少動線視覺線索時，易誤判斷轉彎的角度。
 - 現象二十一、空間動線中轉彎處越多，越容易增加對空間動線的錯誤判斷。
- 「平、立、剖面圖介面顯示」整合立體動畫與立體虛擬實境在空間組織上的落差現象。
 - 現象十三、攝影機運鏡轉彎越多，亦會影響受測者對空間組織的判斷。

現象十四、「設計者」由「空間排列」因子較清楚的了解空間組織，而「觀看者」則只偏向「主次入口」之個別空間的關係了解空間組織。

現象二十三、有較整體的空間排列線索，會有助於精確的了解空間組織。

現象二十四、「設計者」對於空間組織判斷，較會透過各種因子推測空間組織，「觀看者」較偏向依「主次入口」判斷空間組織。

- 「自動雙眼聚合視覺呈現」與「自動視點定位」整合立體動畫與立體虛擬實境在空間尺度上的落差現象。

現象八與現象十八、立體視覺之雙眼視差過大易產生雙眼不適。

表 3.6、立體動畫與立體虛擬實境之落差現象

立體動畫	
空間造型	
原始落差現象	現象一、對於空間造型如屬於菱形空間時，在動畫的呈現上，不易被察覺出來。
	現象二、圍塑面較封閉且空間單純的幾何空間，較會透過「形狀」判斷空間造型。
	現象三、攝影機 dolly 運鏡可能會放大攝影機行走的空間，忽略 pan 所呈現的空間。
	現象四、動畫運鏡對空間造型因子呈現不足，不易於判斷空間造型。
二次落差現象	現象五、「設計者」用較多因子判斷空間造型，「觀看者」則主要集中在邊緣。
空間尺度	
原始落差現象	現象六、主要以「參考物」做為判斷空間尺度的依據，但對尺度越大的空間在判斷的誤差會越大。
	現象七、攝影機運鏡上如沒有呈現「參考物」與整體空間的比例關係，空間尺度不易被判斷。
	現象八、立體視覺之雙眼視差過大易產生雙眼不適。
二次落差現象	現象九、「設計者」對建築元素有較準確的尺度概念，相對「觀看者」在空間尺度的判斷會較準確。
空間動線	
原始落差現象	現象十、攝影機運鏡呈現的動線因子會影響受測者對空間動線的了解。
	現象十一、攝影機運鏡在動線上轉彎時，缺少動線視覺線索時，易誤判斷轉彎的角度。
二次落差現象	現象十二、「觀看者」比「設計者」易受攝影機運鏡轉彎影響而迷失方向感。
空間組織	
原始落差現象	現象十三、攝影機運鏡轉彎越多，亦會影響受測者對空間組織的判斷。
二次落差現象	現象十四、「設計者」由「空間排列」因子較清楚的了解空間組織，而「觀看者」則只偏向「主次入口」之個別空間的關係了解空間組織。

立體虛擬實境	
空間造型	
原始落差現象	現象十五、呈現畫面的比例與攝影機視野範圍會影響受測者判斷一個空間之邊緣角度，進而影響對空間造型的判斷。
二次落差現象	現象十六、設計者判斷空間造型側重在「形狀」因子上，而觀看者則較集中在「邊緣」。
空間尺度	
原始落差現象	現象十七、同立體動畫，主要以「參考物」做為判斷空間尺度的依據，但對尺度越大的空間在判斷的誤差會越大。 現象十八、同立體動畫，當瀏覽者太靠近物體時，會產生過大視差，容易導致視覺不適。
二次落差現象	現象十九、設計者對能透過其建築知識，能較快速且準確的知道空間的尺度，而觀看者只能藉著感覺說出一個數字。
空間動線	
原始落差現象	現象二十、空間動線中轉彎處越多，越容易增加對空間動線的錯誤判斷。 現象二十一、視覺較突出的動線因子，較容易讓受測者記起。
空間組織	
原始落差現象	現象二十二、有較整體的空間排列線索，會有助於精確的了解空間組織。
二次落差現象	現象二十三、「設計者」對於空間組織判斷，較會透過各種因子推測空間組織，「觀看者」較偏向依「主次入口」判斷空間組織。



4. 空間視覺化系統

本步驟「空間視覺化系統」是根據第三章空間實驗之「設計者」與「觀看者」透過「立體動畫」與「立體虛擬實境」所得到的「原始落差」現象與「二次落差」現象，經由 4.1 節「系統建製」，將這些可立即執行的現象透過此系統整合，並再透過 4.2 節「系統測試」，測試此系統之各別功能模組與整體系統是否縮短第三章空間實驗中的落差現象及初步的使用性測試。底下為本章兩個主要步驟之說明。

4.1 系統建製

本研究之空間視覺化系統主要整合了「水平視覺範圍擴展」、「自動空間測距」、「自動空間導引」、「平、立、剖面圖介面顯示」、「自動雙眼聚合視覺呈現」、「自動視點定位」等功能，而這些功能的建製與最後的整合主要是透過軟體 Quest 3D 完成。

Quest3D 簡介

本研究之整合系統所使用的軟體為 Quest3D 4.0 版，是一套專做互動式虛擬實境的設計軟體，因為其軟體架構相對於其它軟體(如 Virtools、Director 3D 等)較為單純，只架構在 DirectX 之上，而非同時架構在 DriectX、OpenGL 和其它 3D API 之上(圖 4.1)，故在強調 3D 空間視覺效能的表現上，會優於其它的虛擬實境軟體。而程式的編輯環境主要以一個視覺化的矩形單位，稱為 channel (圖 4.2 右上方)，每個 channel 像是一個物件指令一樣，有它各自的特定功能。程式的開始位置由設定的起始 channel 決定(即 channel 的上方有一個大的箭頭指示)，再往連結起始點的最左邊節點，以深度優先的執行順序，執行每個 channel。執行完所有的 channel 一次後，稱為一個影格迴圈(frame cycle)。

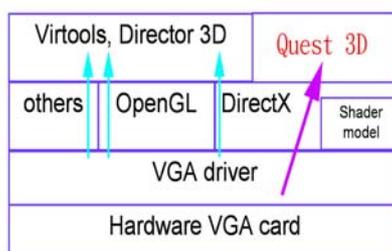


圖 4.1：Quest3D 與其它軟體在軟體架構上的差別

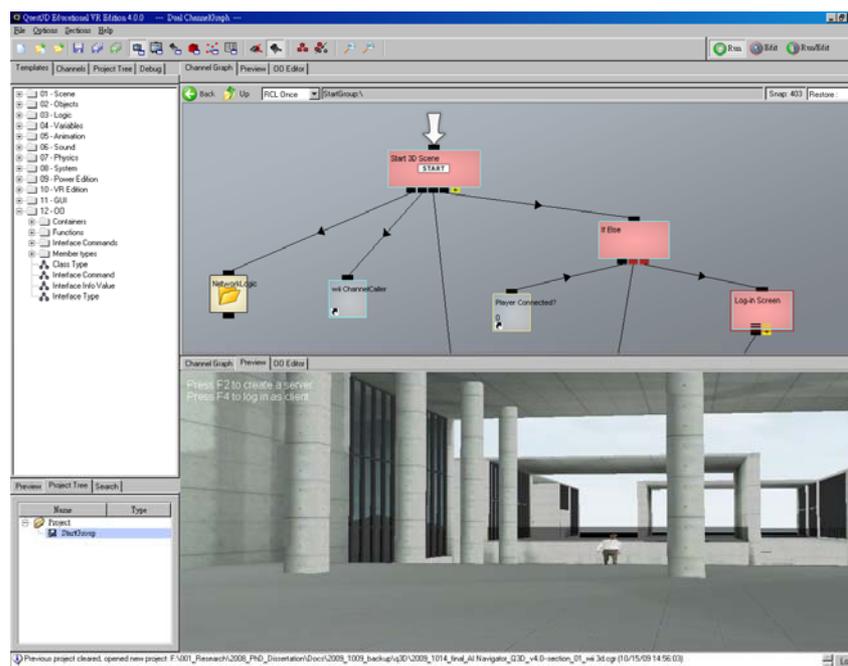


圖 4.2：Quest 3D 之視覺化程式編輯介面

每個 channel 上下各有可連結的節點，上面的節點都只會一個節點，依連線的箭頭方向，表示傳送或接收數值、向量、矩陣等不同型態之參數資料；channel 下面節點依本身 channel 功能而有不同，可接 0 個到數個不等的 channel，同樣依箭頭方向，決定參數資料是傳送或接收。Quest3D 的 channel 主要分為場景(scene)、物件(object)、邏輯(logic)、變數(variable)等不同的指令群組（圖 4.2 左上方）。程式設計的方式是將這些 channel 群組拖曳到 channel 編輯視窗，再依其 channel 組成的規則編寫程式。而場景之模型資料與材質貼圖則是在動畫模型編輯軟體如 3D Max 裡製作好後，輸出成 DirectX 所支援的.X 格式，再由 Quest 3D 輸入成一個模型資料專用的 channel 與對相互對應的材質貼圖 channel。最後再由攝影機、光源、互動邏輯等不同功能群組 channel 將這 3D 場景以及時方式，呈現在圖 4.2 右下方的視窗中。

4.1.1 水平視覺範圍擴展

人類立體雙眼視覺所能觀看的範圍為水平角度 124 度，垂直角度為 120 度(Schiffman, 2000)，但在桌上型顯示器或投影機所顯示的視覺範圍和真實人類視覺所能觀看的範圍有明顯的不足。對於瀏覽者自行導覽空間時，較無法從窄小的視覺範圍裡，觀察到較多的空間因子，因此在視覺的呈現上，應提供如實體空間中，人觀看空間時之相同的視覺範圍，以利瀏覽者對所處空間有更多的空間資訊可以更直接且容易的觀察。然而，在現今主要的空間呈現媒材在螢幕的視覺呈現上仍以 4:3 的比例為主，尤其是以投影方式的視覺比例，以及爲了要讓空間呈現出來的視覺範圍較接近人類

雙眼視覺，可視範圍設定為 90 度(Galán-Díaz et al., 2006)，但在這樣設定的基礎下，瀏覽空間容易造成空間了解上的誤判，尤其是幾何空間中的直角、銳角、鈍角因透鏡的 pan 與 tilt 造成空間形變 (distortion)。也因而在 3.4.1 節的對於「設計者」與「觀看者」在「立體動畫」中空間造型的原始落差現象：

現象一、對於空間造型如屬於菱形空間時，在動畫的呈現上，不易被察覺出來。

與 3.4.2 節「設計者」與「觀看者」在「立體虛擬實境」中的空間造型的原始落差現象：

現象十五、呈現畫面的比例與攝影機視野範圍會影響受測者判斷一個空間之邊緣角度，進而影響對空間造型的判斷。

所以爲了要解決這樣的現象，焦距必需大於 18mm 以減少幾何空間呈現形變，但這勢必減少單一螢幕的視覺範圍，而爲了能提供瀏覽空間時有較寬廣的視覺領域，如以投影螢幕爲顯示基礎下，得增加投影畫面來擴展視覺呈現範圍與降低空間形變的產生。所以，本系統在視覺範圍的擴展上，選擇了一台有較寬的水平視覺顯示之立體空間模擬器 CAVE 系統(圖 4.3)呈現能接近人類雙眼視覺 124 度的水平角度。但其硬體架構是以一台電腦主機對應一個顯示畫面，對於一部由三面螢幕所構成的空間模擬器，需有六台客戶端電腦與一台伺服器端電腦，如組成之螢幕越多，客戶端電腦也要相對越多，空間模擬器之系統架構會越形複雜。因此，在本整合系統上的軟體硬體架構，將試圖改變成另一較少客戶端電腦爲架構，即是一面由左右眼視覺呈現的立體畫面只要一部客戶端電腦負責即可，而三面螢幕構成的 CAVE 系統則由一台伺服器端電腦與三台客戶端電腦組成，其本系統之硬體規格與硬體架構圖如表 4.1 與圖 4.4 所示。軟體改變的部份則是透過水平延展方式，將電腦單一畫面分成兩部投影機呈現。在 VR 軟體的設計上，畫面的呈現由單一畫面改成左右畫面的顯示。而三面螢幕之間的同步顯示，則由伺服器端電腦透過網路連線解決三面螢幕同步顯示的問題。

表 4.1：空間視覺化系統之主要硬體規格

伺服器端與客戶端主機規格	
CPU：	英特爾 Intel Pentium 4 631with HT 3.0GHz
主機板：	華碩 Asus P5K SE
記憶體：	創見 Transcend 1G DDR-2-800
顯示卡：	華碩 Asus EN8600GT 256Mb PCI-E
作業系統：	Windows XP Professional
立體投影規格	
投影螢幕	120 半透明壓克力背投影螢幕
投影機	PLUS U2-X1130

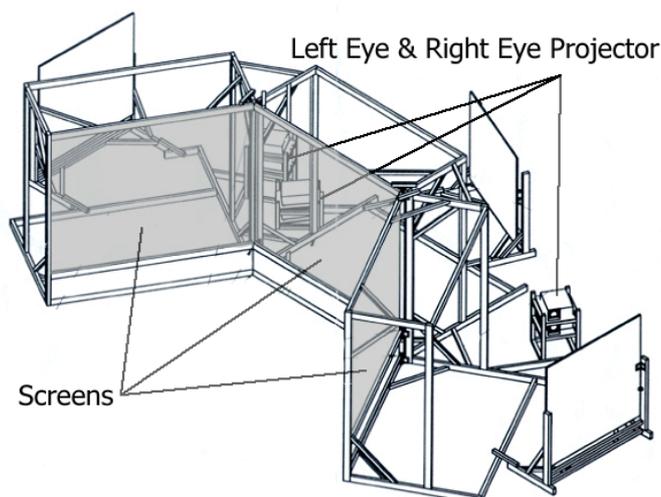


圖 4.3：三面螢幕組成的空間模擬器

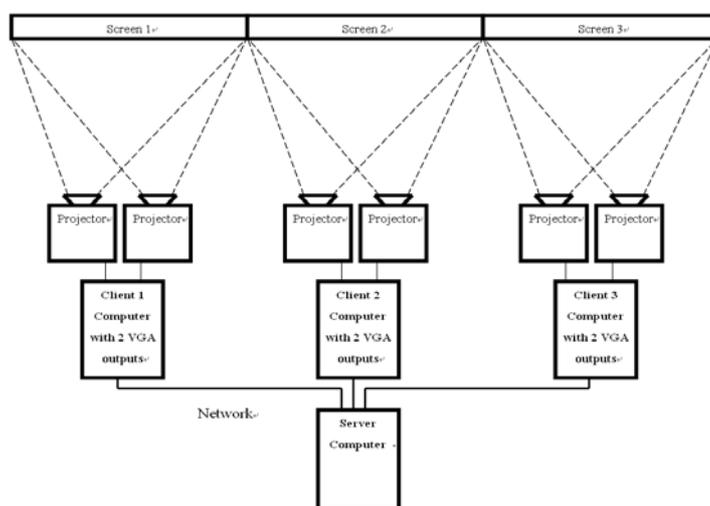


圖 4.4：三面螢幕之硬體架構圖

網路連線

透過增加顯示螢幕的方式來擴展水平視覺範圍，但系統的主要控制仍以一部伺服端電腦為主，其客戶端只是將伺服端傳送過來的物件位置更新，並及時的呈現位置更新後的視覺畫面，所以此系統在執行的一開始，會先確認那一部電腦為伺服端電腦，那些是客戶端電腦。之後客戶端電腦透過列舉（enumeration）方式建立起與伺服端電腦之 TCP/IP 的網路連線。圖 4.5 為伺服端與客戶端之網路連線的 channel 程式，最左邊的三個單一 channel 串連是此網路程式的起點，主要是要取得網路卡號，建立每部連線電腦的唯一識別碼。中間部份的程式碼則是依按鍵的選擇，建立或移除伺服端電腦或客戶端電腦的連線。最右邊的程式碼則是回應目前的網路連線狀態。

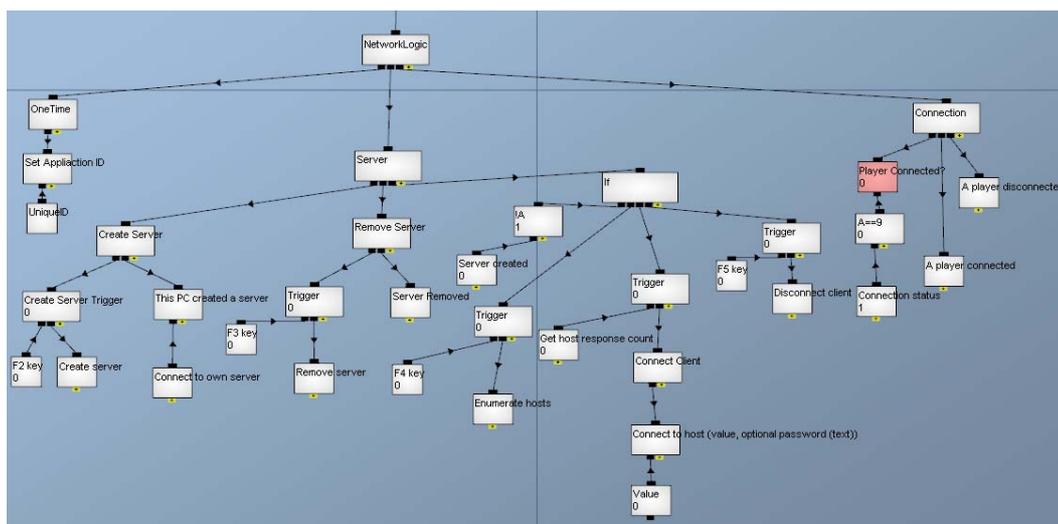


圖 4.5：伺服器與客戶端之網路連線程式

伺服器與客戶端建立網路連線後，因其它客戶端電腦只是及時顯示的各自負責的不同視覺角度的影像，所以，在此系統是建立一個名為 Cube 的虛擬物件，透過 Network Matrix channel 將物件 X、Y、Z 的座標(position)、旋轉(rotation)與尺度(scale)之矩陣參數傳送到每部連上伺服端的客戶端電腦，伺服器裡同樣有個對應 cube 的虛擬物件，伺服端的虛擬物件之矩陣參數有任何改變，客戶端也會即時的跟著改變，而在這的及時改變，必需考慮到三個畫面能否同步(synchronization)，所以在 Network Matrix channel 裡需設定成 Time Adjusted 系統會每 50 毫秒(millisecond)做一次同步校正。

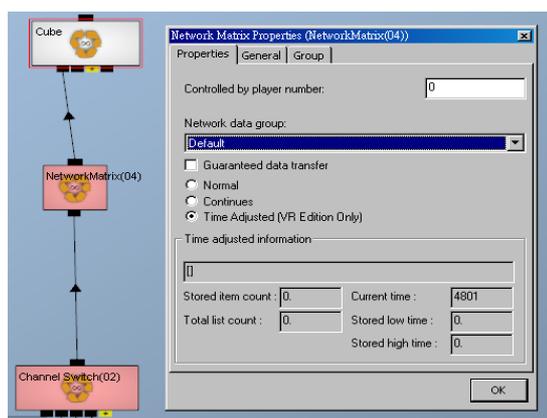


圖 4.6：Network Matrix 與內部 Time Adjusted 的設定

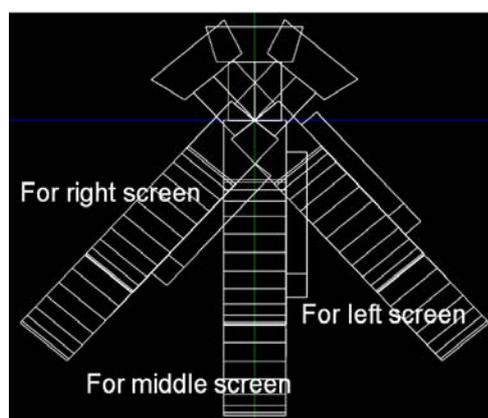


圖 4.7：三部攝影機之夾角關係

攝影機架設

水平視覺範圍擴展目前大多以連接多重螢幕(multi-screens) 的方式解決(工研院, 2002; Shibano et al, 2003; Liu and Tang, 2003)，其構成方式，目前可分為平面型、冂字型、冂字外擴型與圓弧形(圖 4.8)等，而呈現出來的影像角度也會不同，如是三面螢幕為

架構的平面型擴展，運算視覺不同畫面的攝影機只要將其平行位移即可。□字型架構的則是三部攝影機相互呈現垂直關係，朝左、上、右三個方向。□字外擴型則是左右螢幕會比□字型架構更為往外張開，攝影機彼此間角度則小於 90 度(圖 4.7)，視左右二面螢幕外擴程度而定。圓弧形架構則視圓弧形之包覆性而定，如是半圓弧形的投影面，攝影機的架設方式則和□字型相同，但要輸出的影像要處理弧形面形變的問題。

在單一攝影機的視覺呈現範圍，主要受視覺範圍(FOV)與焦距之參數的影響，焦距越短，其呈現的水平視角與垂直視角越大，但同時透視越大，越容易造成透視影像形變，而焦距越長，雖然相對較不會有影像形變的產生，但是卻也壓縮了水平與垂直的可視範圍。本系統所使用架構為□字外擴型，三面螢幕彼此之間的夾角為 120 度，如果三部攝影機彼此以 60 度為夾角，剛好三部攝影機的中心位置與螢幕中心點位置呈 90 度的關係，如圖 4.9 之左圖。但在這位置上的攝影機之 FOV 必須設定為 60 度，才能讓三面影像剛好連接起來。然而，FOV 為 60 度，則其焦距為 31.17mm，雖有比焦距 18mm 長一點，但這樣的設定還是容易造成呈現的影像產生形變，且三部攝影機加起來的 FOV 則為 180 度，已經遠大於人類水平立體視覺的 124 度。因此，如何在這樣的投影螢幕架構下，讓水平視覺範圍呈現在 124 度，得必須縮小每部攝影機之 FOV 到 41.3 度左右(41.3X3 趨近 124)(圖 4.9 之右圖)。然而，在投影螢幕彼此夾角呈 120 度的條件下，攝影機之水平 FOV 41.3 的角度，雖可在呈現 124 度的人類立體水平視角，但除了中間攝影機可以正投影在中間螢幕上，左右兩攝影機的影像投射到螢幕上無法以正投影方式投向螢幕，會產生有近 20 度的影像偏差，除非改變投影螢幕彼此之夾角約為 140 度，或類似圓弧投影之影像修正。

在第三章之空間實驗中，單一螢幕，焦距 18mm，呈現 FOV 90 度的水平視覺範圍與 FOV 73.74 的垂直視覺範圍，而在本系統中，水平視覺範圍擴大至三螢幕之焦距 47.7mm FOV 123.9(41.3X3)度，接近人類水平視覺範圍的 124 度，但垂直視覺範圍沒有相對擴展，反而降至 31.6 度，壓縮了觀看者或瀏覽者對垂直視覺向度的觀察範圍。圖 4.10 則是三部攝影機所呈現出來的三個畫面影像，左右兩端之影像因左右攝影機與中間攝影機呈 41.3 度之夾角，中間畫面影像裡的階梯連接到左右影像時，呈現出左右起翹的變形，這是因為左右畫面影像被攤成與中間畫面在同一平面所致。

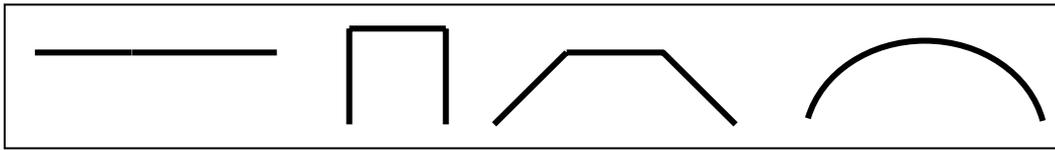


圖 4.8：多重螢幕之構成方式由左至右為平面型、口字型、口字外擴型與圓弧形

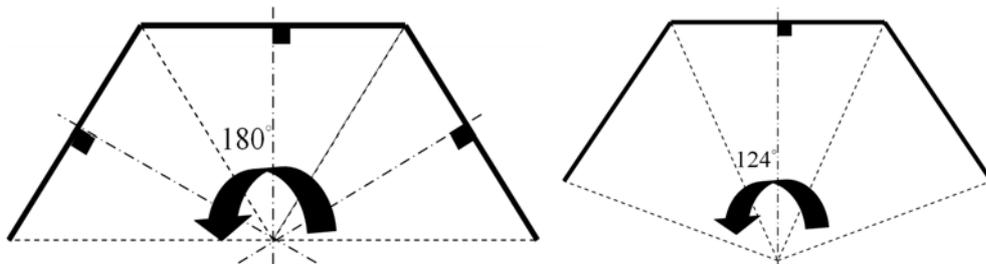


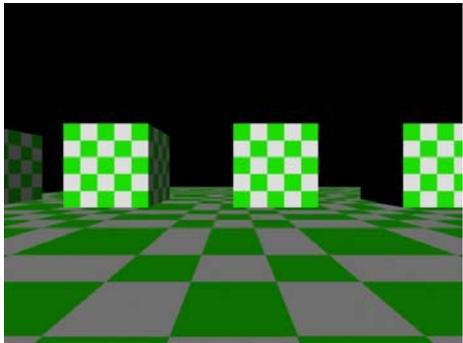
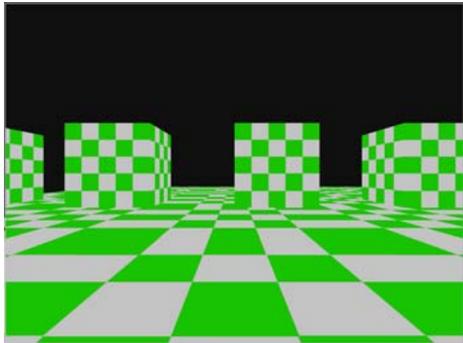
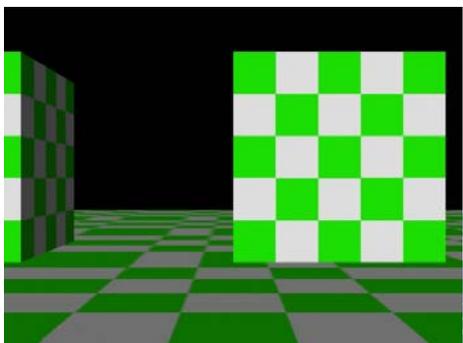
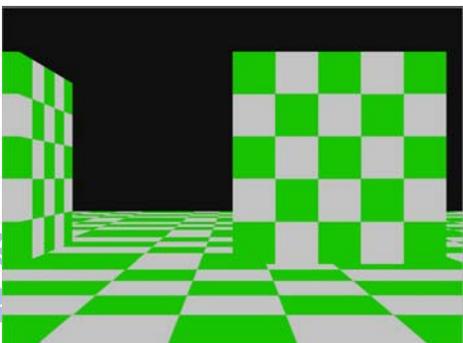
圖 4.9：左右兩圖為 FOV 180 度與 124 度之攝影機視點



圖 4.10：三部攝影機所呈現出來的畫面

Quest 3D 裡攝影機的焦距設定是由攝影機節點底下的 ProjectionMatrix channel 之 factor 決定，但此參數的設定與一般我們所認知的焦距參數的不同，因此，在這裡我們必需推算出 factor 所對應的實際焦距，亦才能知道 Quest 3D 裡攝影機的 FOV 為多少，其推算的方法是我們先在 3D max 裡建立一個貼有方格的材質場景，同時架設好一部焦距為 20 的攝影機，畫面比例為 4:3，然後再將此一場景匯入 Quest 3D，然後在 Quest 3D 裡建立與 3D max 有相同位置的攝影機，再根據 Quest 3D 裡的可視範圍，調整 factor 參數，直到呈現畫面與 3D max 裡的畫面相同為止，最後我們得出來的結果是焦距為 20mm 則 zoom factor 為 2.4，焦距為 50mm，zoom factor 為 6(表 4.2)，因此，焦距的轉換率為 $\text{焦距} \times 1.2 / 10 = \text{factor}$ ，我們將此轉換率套用到 Quest 3D 裡，以接近一般所認知的焦距(圖 4.11)，而非一個難以對應的視角參數。

表 4.2 focal length 與 zoom factor 的推算

3D MAX	Quest 3D
focal length = 20 mm	zoom factor = 2.4
	
focal length = 50 mm	zoom factor = 6
	

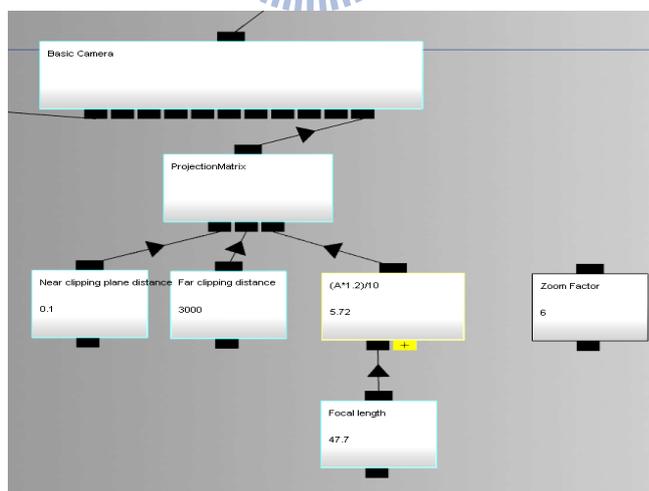


圖 4.11：攝影機焦距參數轉換

4.1.2 自動空間測距

由電腦產生(computer-generated)虛擬影像，是一種可以任意調整尺度的多尺度(multi-scale)空間呈現媒材 (Bridges and Charitos, 1997)。且不少設計者體認到大部份

用電腦輔助設計系統所產生的虛擬環境，是缺乏人的存在感與尺度感(Penz, 2003)。其可能的原因在於提供給空間瀏覽者的視覺範圍受到限制，瀏覽者對觀看的空間不易產生融入感，相對也較無法以自己的身體尺度當作參考物來判斷所處之空間尺度，所以在在動畫或虛擬實境中，對於空間尺度的掌握，往往需要透過空間中的參考物、材質大小等因素才能稍微有個估計值判斷空間尺度的大小。而在 3.4.1 節對於「設計者」與「觀看者」在「立體動畫」中的空間尺度之原始落差現象：

現象六、主要以「參考物」做為判斷空間尺度的依據，但對尺度越大的空間在判斷的誤差會越大。

空間尺度之二次落差現：

現象九、「設計者」對建築元素有較準確的尺度概念，相對「觀看者」在空間尺度的判斷會較準確。

在 3.4.2 節對於「設計者」與「觀看者」在「立體虛擬實境」中的空間尺度之二次落差現象：

現象十九、「設計者」對能透過其建築知識，能較快速且準確的知道空間的尺度，而「觀看者」只能藉著感覺說出一個數字。

Ruddle 等人(1998)也指出距離的判斷和經驗有關，當瀏覽者越熟悉虛擬環境的導覽，越能精確他們的空間知識。這或許也間接的證明「設計者」相對於「觀看者」對於虛擬環境的熟悉度在其本身的專業訓練有著背景上的差異，建築設計經驗者較能透過建築相關知識知道一些建築元素的尺度，進而在瀏覽一空間時，透過這樣的背景知識推算所處的空間尺度為何，沒有建築設計經驗者雖也有透過參考物來推算空間尺度，但推算出來的尺度無法較有建築設計經驗者正確，且如是動畫，畫面的運鏡一直在前進著，很難讓「觀看者」可以像用虛擬實境的瀏覽方式，可以對某個牆面之有重複性材質做估算，如果是在一個空無一物的空間中，沒有任何的參考物，要掌握一個空間的尺度，可能便會更加的困難。

因此，本系統加入了自動空間測距，使用者在空間瀏覽中，只要想了解目前身處的空間大小時，就如雷射測距儀一樣，隨時可以透過鍵盤或搖桿按鈕，以切換方式，開啓自動空間測距的功能，只要使用者將視覺中的十字偵測點移到任何是屬於建築材料的部份，便能顯示出從目前的觀看位置到十字偵測點對應到建築體的距離，如圖 4.12 所呈現的是目前觀看位置到最後一面牆的距離為 22.89 公尺。



圖 4.12：空間尺度之測距偵測點與距離顯示

射線碰撞測距

在空間瀏覽的過程中，攝影機根據攝影機目前的位置(position)、角度(rotation)、視覺範圍與焦距，將攝影機前方由點(vertex)座標組成的三角面(polygon)、二維點陣的材質與陰暗面處理等即時的運算成視覺影像，呈現在瀏覽者眼前，而呈現在螢幕前的每一點像素(pixel)背後都是透過數學三維向量(vector) 運算的結果，因此由三角面組成的幾何模型經過透視法則的計算，呈現出如真實視覺世界中物體遠近的關係。但人辨識這些物體的遠近，只能根據一些視覺線索知道物體的大概位置與關係 (Schiffman, 2000)，除排靠一些儀器的測量，才能得到一個較精確的距離數值。而在電腦的數位世界裡，所有東西都是建構在數字的背景下。因此，在 Quest 3D 中的射線碰撞偵測(CollisionRayCheck) channel 是一個可以像打雷射線的方式一樣，從身處位置及時的測出射線所投射到目標物的表面位置，並回傳這個位置的三維座標。圖 4.13 為射線碰撞偵測的主要連結 channel，從最左邊節點起為取得攝影機矩陣(camera matrix)之位置向量，第二節點也是從攝影機矩陣中取得攝影機的方向向量，即是射線的向量，第三與第四節點則是根據第一與第二節點之向量，計算右方數個碰撞偵測(collision object channel)的物件之射線與物件表面(surface)交錯(intersection)的位置與方向(direction)。取得射線的交錯位置與方向後，再將這兩個向量轉變為一個矩陣，透過數值運算(value operator) channel 中的 Get relative distance 取得與攝影機矩陣的相對距離(圖 4.14)，並呈現在空間瀏覽時的 2D 顯示介面圖中。

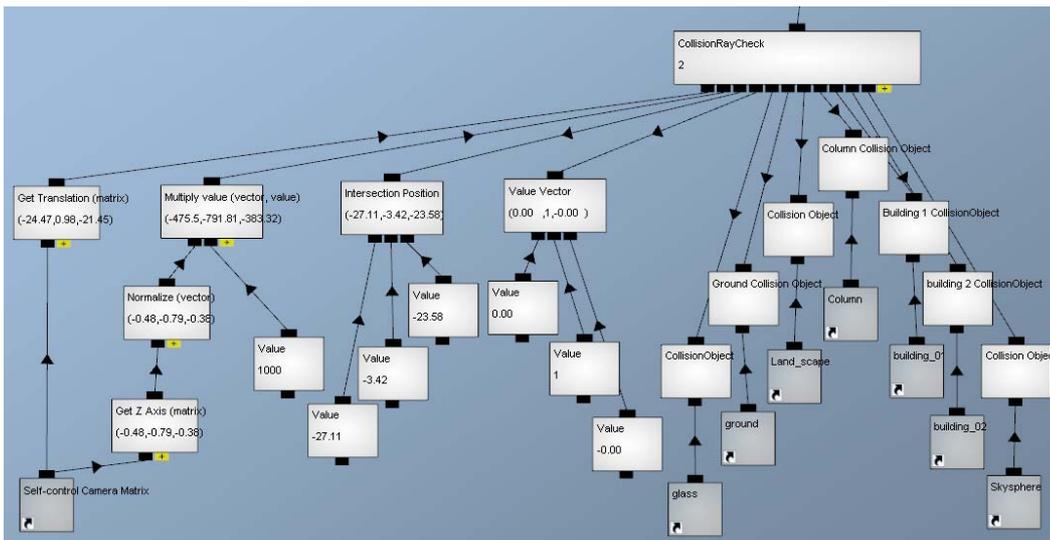


圖 4.13：射線碰撞偵測的主要連結 channel

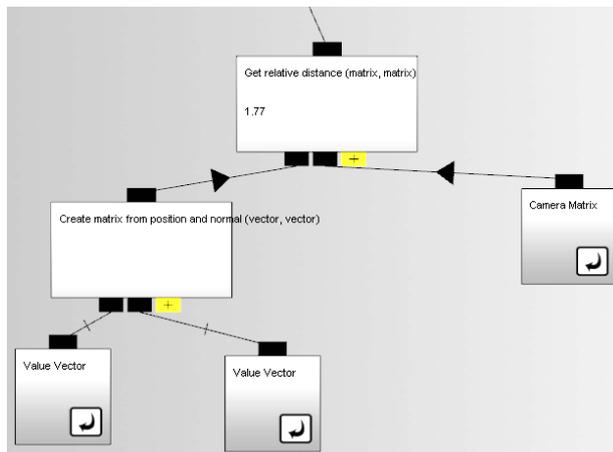


圖 4.14：數值運算 channel 計算攝影機與射線交錯點的相對距離

測距介面顯示

在上一步驟射線碰撞測距中，根據視點之十字座標所對應的物體表面即時的取得一個與瀏覽者位置的測距數值。在此步驟中，我們要將此測距資訊以立體的方式顯示在本系統中。圖 4.15 為測距介面顯示的主要 channel，圖的左上方為一個 Channel Switch，透過這個 channel 來決定測距資訊是否顯示在系統畫面上，其左下所接的是一個 Expression Value 的 channel，用來偵測其下面的 channel 是否有一個 channel 之值為 1，即是本系統設定之搖桿按鈕 7 與鍵盤 D 是否有按下，如果有按下，便會執行 Display UI ChannelSwitch 右下方之 channel group。由於本系統之立體呈現是每一組客戶端電腦是以水平擴展方式，將顯示的解析度從 1024X768 的比例，轉變成為 2048X768，再由兩部投影機各自以 1024X768 解析度呈現左右眼影像，因為介面所顯示的為 2D 形態的資訊，無法像 3D 場景裡的模型一樣，可以直接由處理立體影像的 channel group 將之分為左右影像，所以對於 2D 之文字要以立體方式顯示，必需在

2048X768 的顯示解析度中，設定兩組的 TextOut channel，即是在左眼畫面座標 475 與 270 顯示測距資訊，要在右眼畫面相同位置上顯示同樣的測距資訊，在右邊的 2D Screen Text channel 的顯示位置需要再加上水平方向 1024 的向量質(Add Two Vectors)，而 2D Screen Text 底下所連接的其它 channel，則直接連接至左邊的 2D Screen Text 的文字內容、文字顏色與字型。

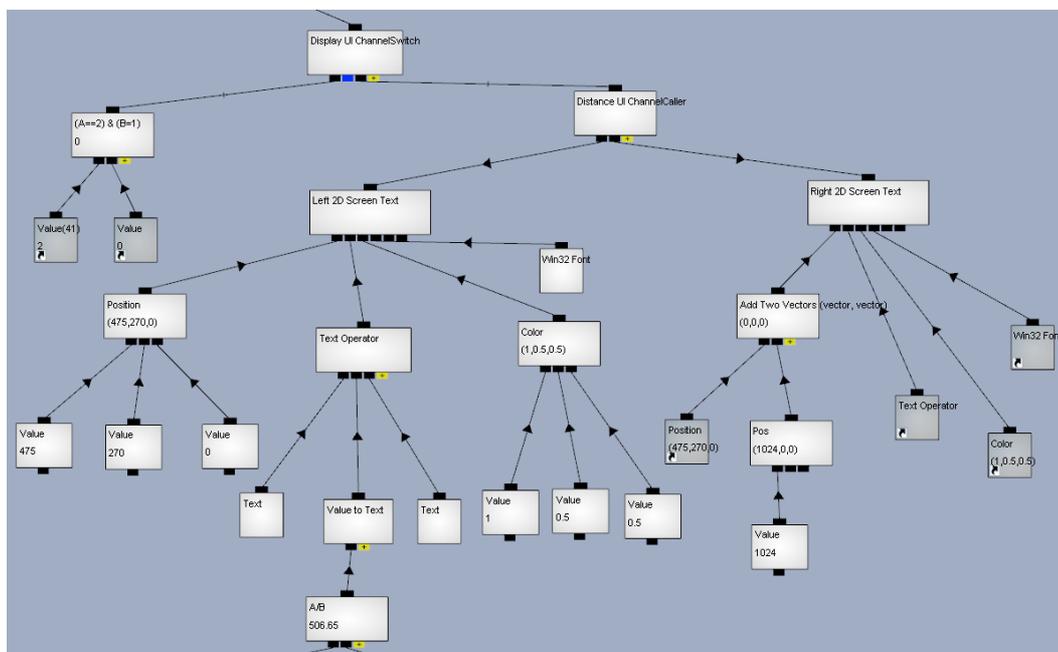


圖 4.15：測距介面顯示之主要 channel

4.1.3 自動空間導引

在一個由虛擬實境所呈現的不熟悉空間中，如欲從起始位置到達目的空間，沒有相關資訊(如路線圖或空間平面圖)的輔助，需要透過大量的尋路(wayfinding)時間，方能到達目的空間；但為了讓瀏覽者容易到達想去的空間，通常會透過超連結(hyperlink)方式，直接從所在空間立即切換到另一空間去(Fukuda et al., 2005)，或是以最短路徑方式，超越實體物理空間的限制，直接穿透牆面到達目的空間(Wu et al. 2004)，然而這樣的空間切換方式，不易讓瀏覽者了解空間與空間中的空間組織與空間動線。在 3.4.1 節對於「設計者」與「觀看者」在「立體動畫」中的空間動線之原始落差現象為：

現象十、攝影機運鏡呈現的動線因子會影響受測者對空間動線的了解。

現象十一、攝影機運鏡在動線上轉彎時，缺少動線視覺線索時，易誤判斷轉彎的角度。

與 3.4.2 節對於「設計者」與「觀看者」在「立體虛擬實境」中的空間動線之原始落差現象為：

現象二十一、空間動線中轉彎處越多，越容易增加對空間動線的錯誤判斷。

所以如空間動線本身的設計就已較多的轉彎處，相對，在透過動畫呈現空間與空間之動線，或虛擬實境由瀏覽者自行導覽時空間動線，容易造成受測者在空間中迷失方向感而對空間組織產生誤判。尤其是沒有建築設計背景者，對於空間之動線與組織，大多只能透過個別空間與空間之間判斷兩者空間的關係，但瀏覽的空間一多時，便會較無法正確的辨識出整體的空間組織。因此，相較於一般虛擬實境的自行探索，具有動畫之主動敘述的特性，能讓空間瀏覽者容易的到達目的空間，同時能更精確的了解空間連結動線，本系統加入此自動空間導引功能，即是瀏覽者從操作介面上選擇欲前往的空間後，空間的轉換則依真實空間行走方式，先由所在空間中的出口離開，經由空間動線到達瀏覽者所選擇的空間，如圖 4.16 所示，欲從空間 A 到達空間 C 時，本系統將由虛擬的引導員(圖 4.17)自動導引空間瀏覽者走戶外的樓梯或另一路徑空中走道經空間 B 到達目的空間 C。

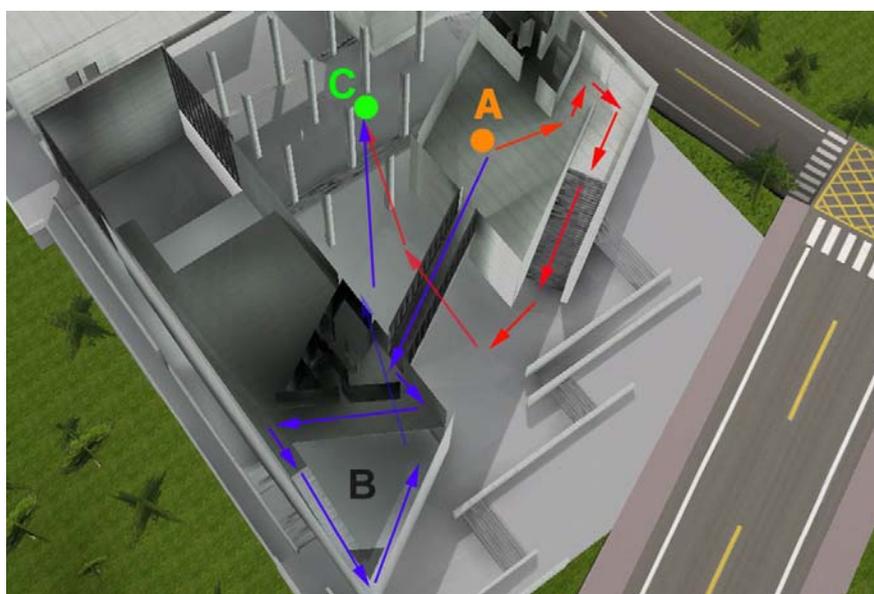


圖 4.16：空間 A 至空間 C 之自動導引路線圖



圖 4.17：虛擬引導員

尋路節點設定與尋路

自動空間導引功能在製作上，爲了可以自動行走選定的目的空間的功能，必需要在每個可行走的空間中或動線上，設定路徑節點，如圖 4.18 是在 Quest 3D 路徑搜尋圖形(Pathfinding Graph)裡設定的路徑節點，路徑節點根據 3D Graph channel 底下的 source object 所連結的 3D object channel 決定那些模型是可以被設定路徑節點，每個節點都有一個節點編號及其對應的 3D 座標，而這些被設定好的路徑節點資料被儲存在 3D Graph channel 裡，再由 MotionPlanning channel 以最短路徑搜尋演算法 (algorithm)A*(A start)尋找出起始點到目的節點之可以自動行走的路線。圖 4.19 爲 Quest 3D 裡最短路徑搜尋之主要 channel，左邊起第一節點是起始位置，將目前位置傳入 MotionPlanning channel，第二節點爲目標位置，瀏覽者選擇一空間後，透過一個數值陣列(array value)所對應的路徑節點參數，經由 MotionPlanningInfoVector channel 轉變成向量的目標位置。最右邊節點則是 3D Graph channel，除了設定路徑節點在此 channel 外，其底下所連接的節點還必需設定那些碰撞物件是屬於可行走的地板、階梯等，還有那些是屬於不可穿透的碰撞物件。

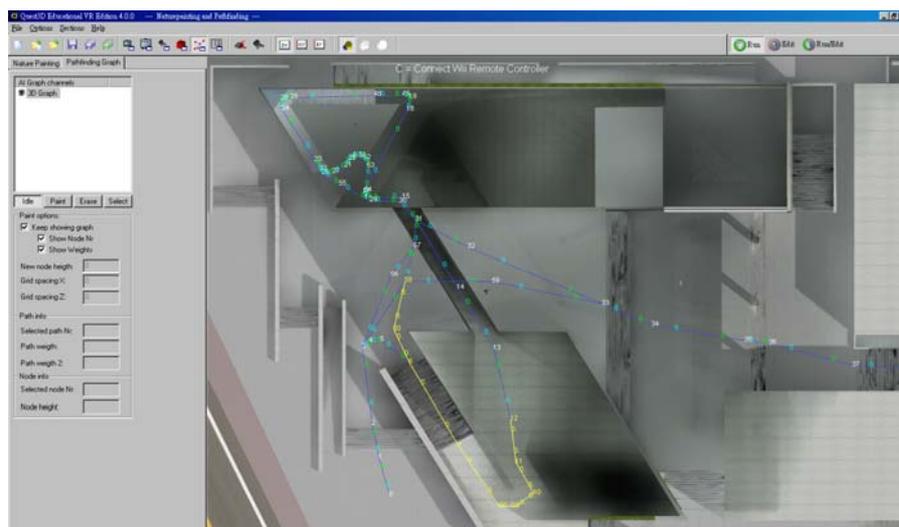


圖 4.18：空間路徑節點設定

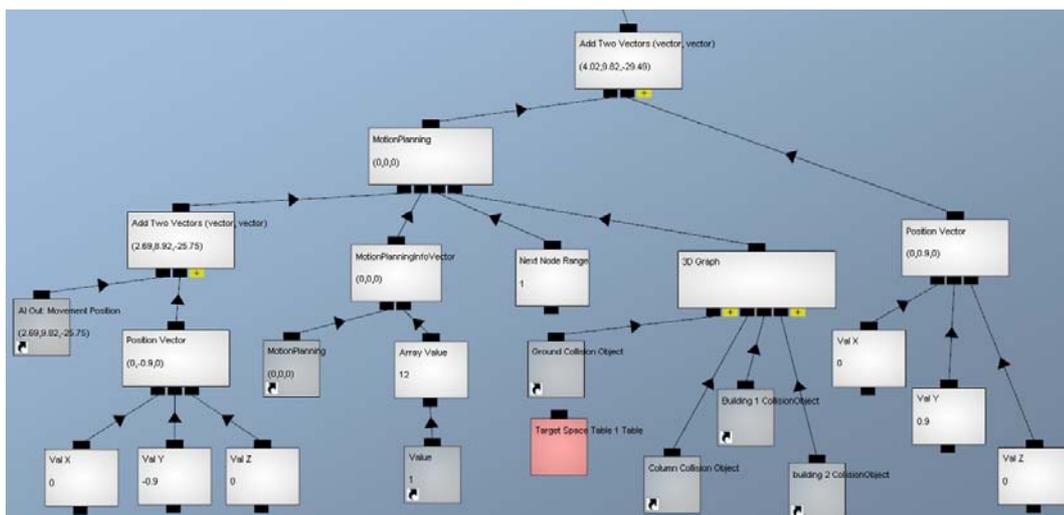


圖 4.19：最短路徑搜尋之主要 channel

虛擬引導員

在此虛擬引導員的製作上，我們從 3D Max 輸入了一個套有動作骨架的 3D 角色(圖 4.20)，動作骨架能讓靜態的 3D 角色模型依骨架的動作，產生相對應的模型形變，因此，當骨架有任何動作變化，外層的表皮模型也產生相同的動作變化。在 Quest 3D 裡，3D 角色模型的 channel 群組如同一般的模型一樣(圖 4.21)，從最上層的 3D object channel 分 motion channel 群組和 surface channel 群組，motion channel 群組這和一般模型的 motion channel 群組相同，主要是改變模型的位置，而在 surface channel 最大的差別在於 3D 角色模型必需跟著骨架動作變化，所以在 surface 底下必需再連接一個 SkinnedCharacter channel，負責將 3D 角色模型資料的 3D object Data 與存有骨架動作資料的 MotionSet channel 作形變後，再輸出到 surface channel。在本系統之虛擬引導員有兩組的動作，一個是等待時的動作，另一個是走路時的動作，這兩組的動作分別被存在 Idle MotionSet 與 Walk MotionSet 的 channel 裡。這兩個 MotionSet channel 則是透過一個 MotionBlender 連接到 SkinnedCharacter channel，Motion Blender 會根據底下 Value Damping 值，決定使用那一個 MotionSet 作為 3D 角色模型的動作狀態。Value Damping 是一種尚需連接阻尼(damp)參數的數值 channel，能將數值 1 到 0 或 0 到 1 透過阻尼參數，以較平滑方式轉變 0 與 1 之間的數值，主要的用意在於這樣的平滑轉變能讓等待時的動作與走路時的動作，在缺換的過程中是以漸變方式，由等待轉變為走路，由走路轉變為等待。而等待與走路則取決於目前 3D 角色的速度 AI Character Speed，如其數值太於 0 則表示走路，為 0 時則是等待狀態。

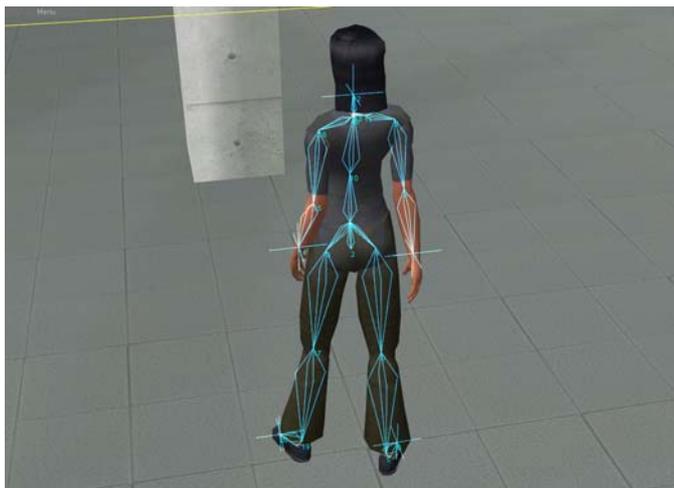


圖 4.20：3D 角色與動作骨架

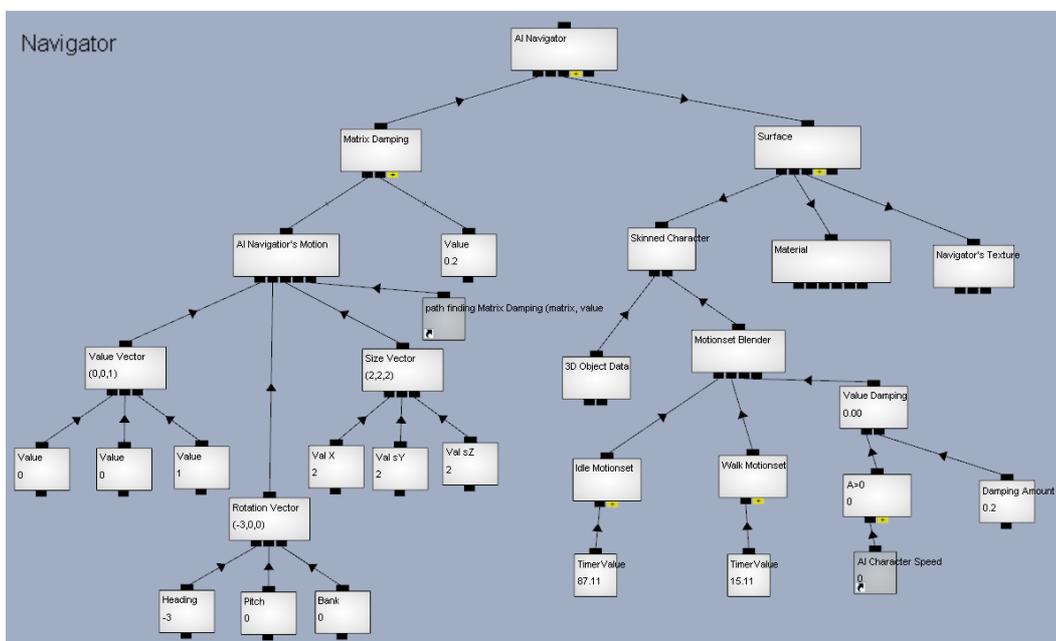


圖 4.21：虛擬引導員的主要 channel

4.1.4 平、立、剖面圖介面顯示

空間組織如有較明顯的規則性或對稱性的特質，會越容易讓空間瀏覽者知道身處何方，以及知道如何前往目標空間。相對的，如果是一個平面配置與樓層區分複雜之無明顯秩序性的建築空間，在沒有其它空間資訊的輔助下，空間瀏覽者會較難了解整體的空間組織與動線(O'Neill, 1991; Passini, 1996)。所以在單純的建築空間動畫或虛擬實境，如果沒有其它資訊的輔助，對於一個空間組織複雜與空間層次錯綜的建築呈現而言，會較難讓觀看者或瀏覽者了解各個空間之配置與動線。Lynch(1960)在

其著作都市意像(the image of the city)提出通道(paths)、邊緣(edges)、地域(districts)、節點(nodes)與地標(land mark) 五項城市實際形態的元素，而通道是觀察一座城市各種元素時所必備的要素之一。在一棟建築物中，建築空間的各種元素亦同樣透過空間動線之通道串連。因此，通道具有自明性(identity)、連續性與辨明方向的性質。如果一個視覺元素相似性或多重覆性高時，將成為迷失的重要條件，且人在人在不熟悉的地方時，在沒有地圖的輔助下，較會傾向發展序列性地圖(sequential map)(Passini, 1996)。

相較於動畫的被動式觀看，虛擬實境的主動式導覽雖能強化空間組織的記憶(Galán-Díaz et al., 2006)，但 Ruddle 等人(1998)也指出，虛擬空間中一條路徑上彎道超過二個以上，便容易造成迷失。在 3.4.1 節對於「設計者」與「觀看者」在「立體動畫」中的空間組織之原始落差現象為：

現象十三、攝影機運鏡轉彎越多，亦會影響受測者對空間組織的判斷。

而二次落差現象為：

現象十四、「設計者」由「空間排列」因子較清楚的了解空間組織，而「觀看者」則只偏向「主次入口」之個別空間的關係了解空間組織。

在 3.4.2 對於「設計者」與「觀看者」在「立體虛擬實境」中的空間組織之原始落差現象為：

現象二十三、有較整體的空間排列線索，會有助於精確的了解空間組織。

在「立體虛擬實境」中空間組織之二次落差現象為：

現象二十四、「設計者」對於空間組織判斷，較會透過各種因子推測空間組織，「觀看者」較偏向依「主次入口」判斷空間組織。

所以空間組織的判斷如沒有其它資訊的輔助，容易受限於空間本身上的設計，如空間組織在空間視覺能提供較多線索，將有助於瀏覽者了解其空間組織，且上一節「自動空間導引」中亦討論關於空間瀏覽者對於空間組織的誤判，因此在加入自動空間導引，讓空間瀏覽者可以感受如一般真實空間，無法穿牆與超連結(hyperlink)等自然的物理限制，自動的被帶領到目的空間。且在引導的過程中，為了強化對空間組織與空間動線的了解，在此整合系統中，再加入了 2D 的介面顯示(圖 4.22-4.24)，以輔助空間瀏覽者了解空間之組織與動線。在 2D 介面顯示上主要有平面圖、立面圖與剖面圖三種模式的 2D 地圖顯示，主要在於平面圖雖能幫助空間瀏覽者了解建築空間之配置，但平面圖也僅只於對同一高度之樓層具有較清楚的指示功能，如遇到空間樓層配置方式是一個沒有統一的樓層設計時，平面圖較難清楚的呈現空間之組織與動線。因此，在本系統中對於空間地圖資訊的呈現，我們加入了這三種的建築常使用的二維圖面，以輔助 3D 瀏覽時之空間動線與空間組織的不足。

此功能主要是幫助空間瀏覽者了解目前所身處的空間位置、所處的樓高以及空間與空間之連結動線與組織關係，在一般的建築動畫如要在其影片中製作與顯示目前所處的平面圖與剖面圖座標位置有其困難，而在虛擬實境中，大部份也只在顯示目前所處的平面圖位置，但如果對於一個樓層是相互交錯，不是一般空間，每個空間是按照樓層設計，規矩的被放至在某一個樓層，用一般的 2D 平面圖或許已足夠顯示空間在平面圖的位置，但交錯複雜的樓層設計，則尚需剖面圖輔助空間瀏覽者了解空間中之地面坡度或高度之變化，如本空間實驗中之空間 B、空間 C、與空間 D，雖都處於所在位置的第一樓層，但空間的高度、空間地板的高低變化都不相同，如單只看空間平面圖，無法知道這三個空間之高度、地板高低變化的不同。

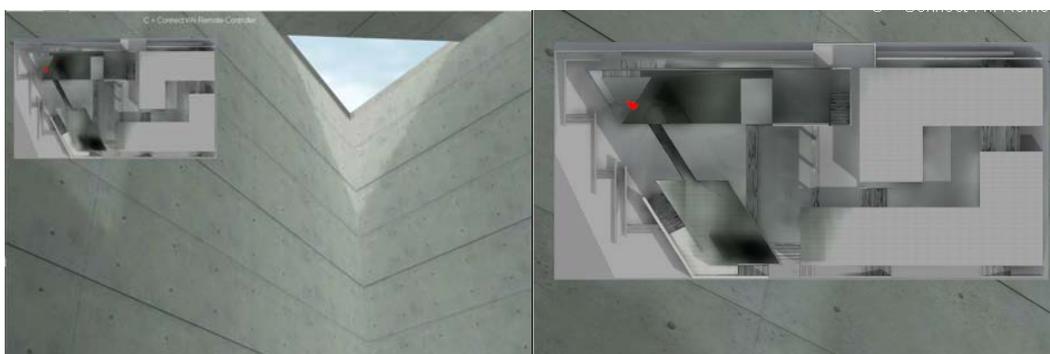


圖 4.22：瀏覽中的二維平面圖與紅色方位指標介面顯示



圖 4.23：瀏覽中的二維立面圖與紅色方位指標介面顯示

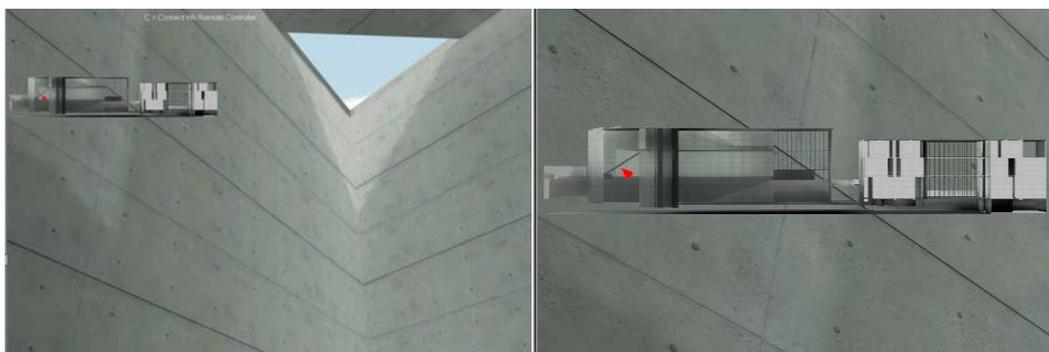


圖 4.24：瀏覽中的二維剖面圖與紅色方位指標介面顯示

子視窗分割

在 Quest 3D 裡要在三維視窗(view port)中開啓另一視窗，需要透過 Command channel 裡的視窗設定(Set viewport)，以比例切割方式，在原有視窗中分割出另一子視窗出來，如圖 4.22-4.24，其顯示的內容則是要由另一組 3D Render channel 負責。圖 4.25 是 Quest 3D 中從主要的 3D 視窗中切割出子視窗的主要 channel，其一開始要由 Clear Screen 先清除主要視窗的 Z buffer 與 Stencil buffer，再執行 Set viewport 切割子視窗的動作，其底下 4 個參數為切割的起始位置與切割的大小比例，前兩個參數為 0 是指切割位置從左上角開始，在畫面上割出 40%(0.4)的水平寬度與 50%(0.5)的垂直高度。畫出子視窗大小後，再來執行的順序是 3D Render channel，透過其底下所連接的攝影機與場景資料呈現在此一子視窗，透過改變攝影機的位置與形態可以呈現出場景中之建築空間的平、立、剖面圖等畫面。再後再執行一次 Set viewport，將畫面回復到原始的 3D 主畫面。因本系統為一個以水平擴展方式所構成的立體視覺呈現系統，故在所有關於子視窗訊息介面的顯示，均得要在水平並置的左右畫面上顯示相同的訊息介面(圖 4.26)，因此，Clone UI Channel Caller 再執行一次的子視窗切割，但這個小視窗的切割位置則與前面 0 與 0 的位置不同，在是水平寬度位置之一半(0.5)的位置，切割出相同大小的子視窗。

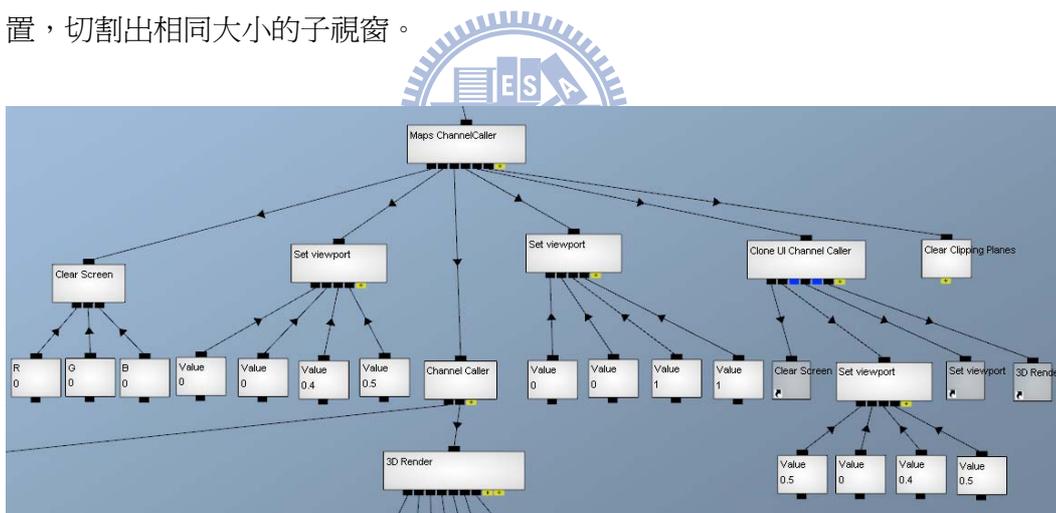


圖 4.25：畫面切割與立體介面之主要 channel

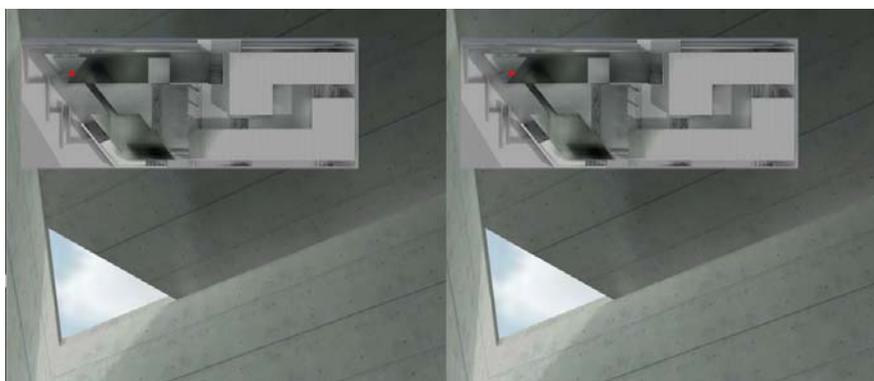


圖 4.26：水平擴展之左右 2D 介面

而這裡我們所要顯示的介面內容為瀏覽空間之平面圖、立面圖與剖面圖，圖 4.27 為圖 4.25 底下的 3D Render channel，透過 Camera ChannelSwitch 連接能顯示這三種不同圖面之攝影機，在本系統中我們設定一部呈現平圖攝影機、二部前視與側視的立面攝影機與二部前視與側視的剖面攝影機，以按鈕切換方式，顯示這五部不同視點的介面，當連接 Camera Switch 的 value 參數為 0 時，介面為關閉，value 參數為 1 至 5 時，則顯示平、立、剖之不同視點的介面內容。建築場景資料則是透過一個 building_01 的資料夾打包，但在此介面上，我們透過一個 Directional arrow 的 3D Object channel 紅色角錐模型來代表目前在介面圖上的方位指標，此指標顯示是根據其 Motion channel 底下右邊節點的 Main positional Matrix，將目前顯示大視窗攝影機之方位矩陣(matrix)做為方位指標之方位矩陣的父節點，以同步的顯示方位指標目前在平面圖、立面圖與剖面圖上的相對方向與位置。

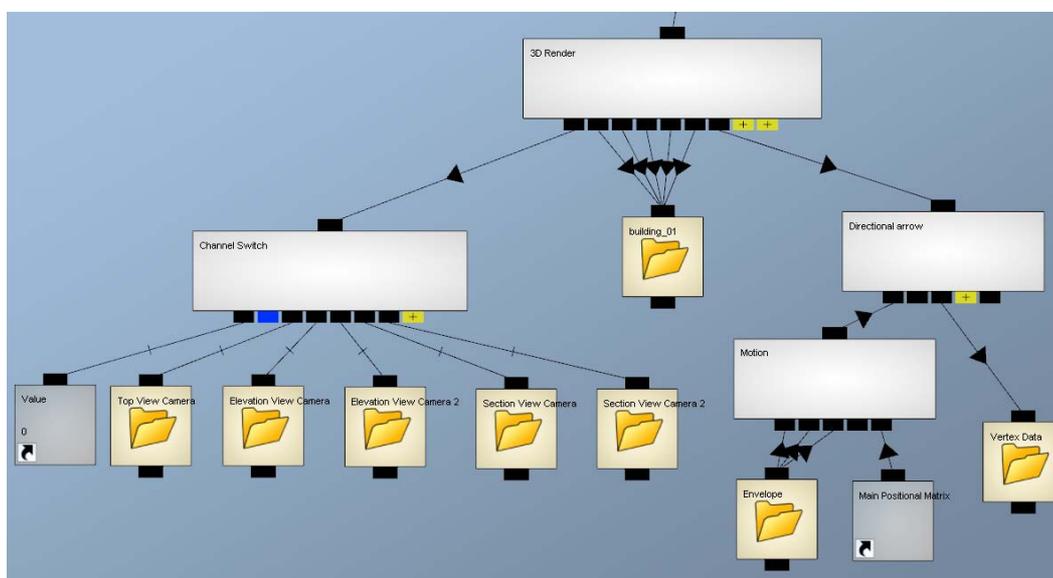


圖 4.27：顯示介面之攝影機與方位指標的 channel group

平、立、剖面圖設定

平面圖、立面圖與剖面圖的顯示，在 Quest 3D 裡是以建立不同視點的攝影機呈現整體建築之上視、側視、前視圖樣貌，圖 4.28 為面平圖與立體圖之攝影機的 channel group，其攝影機之位置 camera matrix 分別是放置在整體建築的正上方與正側方。因為一般攝影機的投影設定方式是透過一個 projection matrix 決定攝影機的可視範圍與 far clipping 等，但為了要讓建築體呈現出來能像平面圖或立面圖之正投影(orthographic projection)，而非透視投影，在攝影機之 projection matrix 改成一可正投影的 OrthoLH with Zoom channel，其底下所接的 value，則是決定正投影的範圍，值越小，可視範圍越小，即是 Zoom In；值越大，則可視範圍越大，即為 Zoom Out。

剖面圖介面顯示與平、立面圖介面兩種顯示雖同樣是以改變攝影機位置呈現不同面相的建築剖面，但要讓攝影機呈現建築體之剖面的視覺效果，必需要執行 3D Render channel group 前，由 command channel 裡的 Set Clipping Plane (圖 4.29 左圖) 將攝影機之近距離可視範圍(near clipping)拉遠，以呈現建築體之剖面效果。在此剖面圖的剖面基準面，以主視窗之攝影機位置為參考，即是主視窗攝影機改變在空間裡的位置時，剖面的基準面也會跟著改變，所以圖 4.29，在 channel 的設定上，我們將主視窗之位置再減上 5 單位的 z 值位移量，以防止紅色的方位指標模型被剖到。在剖面攝影機的設定上，為了能在本系統有比較好的視覺剖面效果，攝影機的投影是以透視的方式呈現。

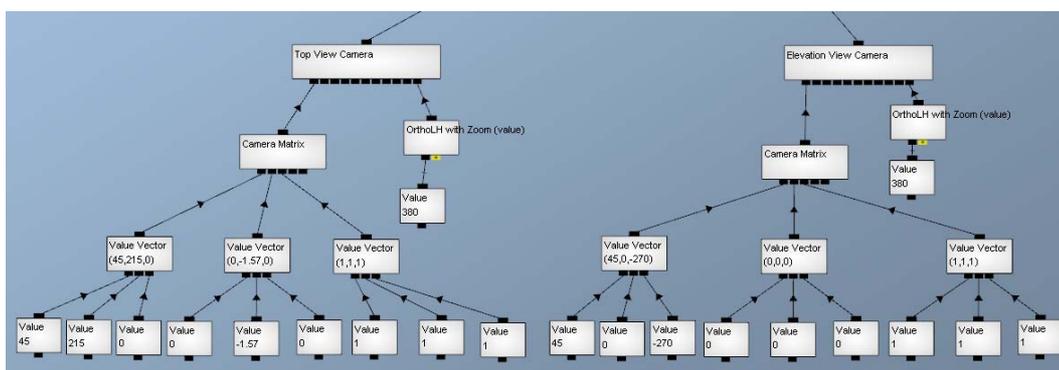


圖 4.28：平面圖與立面圖攝影機之 channel group

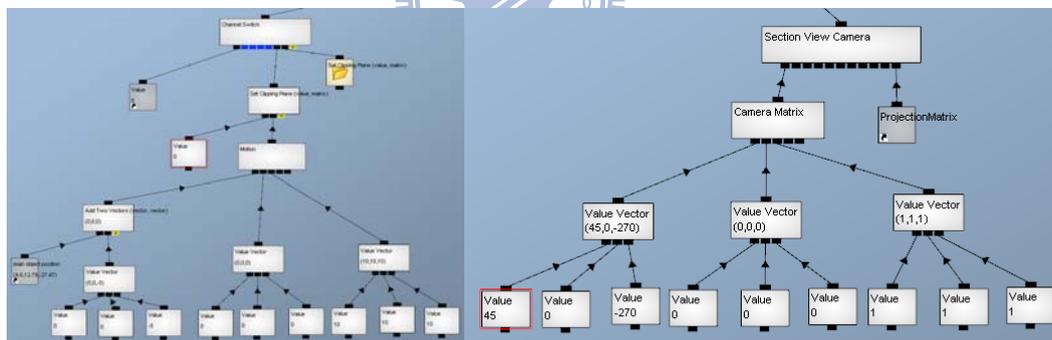


圖 4.29：剖面顯示與攝影機之 channel group

4.1.5 自動雙眼聚合視覺呈現

人在真實世界中，判斷距離的遠近，除了單眼視覺線索外，另外尚有雙眼視差、雙眼聚合(convergence)與水晶體調節等三因素(Kaufman, 1974; Schiffman, 2000)，然而在虛擬空間中所呈現的立體視覺，目前大多只有呈現單眼視覺線索的視覺影像，或只是雙眼間距 6.5 公分所產生的左右視差影像，對於雙眼聚合角度所產生的視差沒有被考慮或只是以一個固定的雙眼聚合呈現立體視覺，即雙眼與目標物之間所形成的角度是固定的(Shibano et al, 2003; Fukuda et al., 2005)，無法像人類雙眼聚合，是根據

注視的目標物之遠近做自動調整。因此，雙眼的聚合的有無，也會影響到人類判斷空間的準確性，尤其距離在二公尺以內的判斷(Howard, 2002)。而且，在第 3.4.1 與 3.4.2 節對於「設計者」與「觀看者」在「立體動畫」與「立體虛擬實境」中的空間尺度之主要落差現象為：

現象八與現象十八、立體視覺之雙眼視差過大易產生雙眼不適。

所以對於空間尺度的判斷雖有建築設計經驗者比無建築設計經驗者的判斷較準確，但與實際精確尺寸相較，兩位受測者都沒有較準確的透過兩種呈現媒材判斷實際的尺度。另外，也因為雙眼聚合角度設定為 0 度，左右眼之影像相對沒產生較大的視差影像，但這樣的設定同時也減弱了空間立體感的呈現，且更無法讓空間瀏覽者因動態的雙眼聚合所產生的視差影像得以較準確的判斷近距離的空間。因此，除了 4.1.2 節中，我們在整合系統中增加了自動測距的功能外，在此，我們亦再增加能像人類具有動態雙眼聚合的能力，讓立體虛擬實境的視覺呈現更接近人眼對真實環境的感受(圖 4.30)，以精進虛擬空間中對空間距離的判斷。

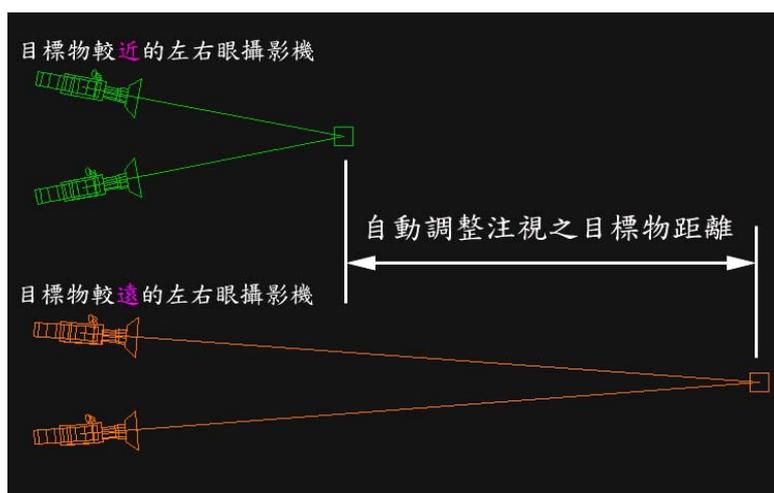


圖 4.30：目標物遠近與左右雙眼攝影機之關係

雙眼聚合角度推算

人類雙眼之瞳孔距離平均約為 6.5 公分，因為這個距離，造成人類在觀看近距離的東西時，產生左右不同視點的影像而有了所謂的雙眼視差，而雙眼視差的大小則取決於觀看物體的遠近，如果觀看的物體是遠到幾公里外的一座山，兩顆眼球幾乎呈現平行，投射到左右眼裡的影像視差則也會小到無法讓人察覺，且長時間的觀看那座山時，雙眼也不會覺得不舒服。但如果觀看的物體是近到快貼到人臉的一根手指，兩顆眼球同時向內轉動，投射到左右眼裡的影像視差則大到讓人看了馬上覺得不舒服。因此，人類雙眼聚合的角度如以雙眼距離 6.5 公分為一個邊長時，雙眼往內轉 30 度注視一物體時，則形成左右兩眼與注視物體呈現邊長為 6.5 公分的正三角形(圖 4.31)，注視物體則會位在鼻樑的 6.5 公分位置內，所以為能在本系統中能呈現出如

人類雙眼注視物體時，根據物體的遠近調整雙眼向內轉動的角度，我們必須在知道注視物距離的情況下，自動調整攝影機的角度，圖 4.32 則是在 3D Max 裡透過注視物之遠近，了解攝影機之角度的變化，表 4.3 則是根據注視物之固定距離的變化，記錄相對應的內轉角度，其量測的距離從 5 公分到 200 公分，角度的變化的差值則從前面近 15 度之差，到注視物距離大於 30 公分以後，角度變化的差值開始從 1.23(7.41-6.18)趨向於 0。

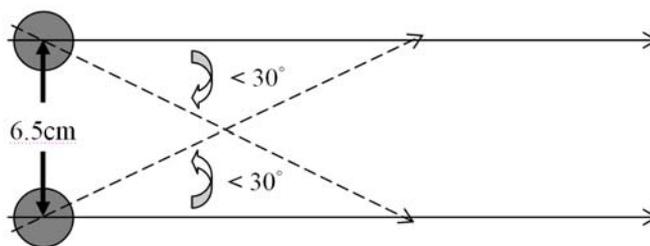


圖 4.31：雙眼向內聚合角度

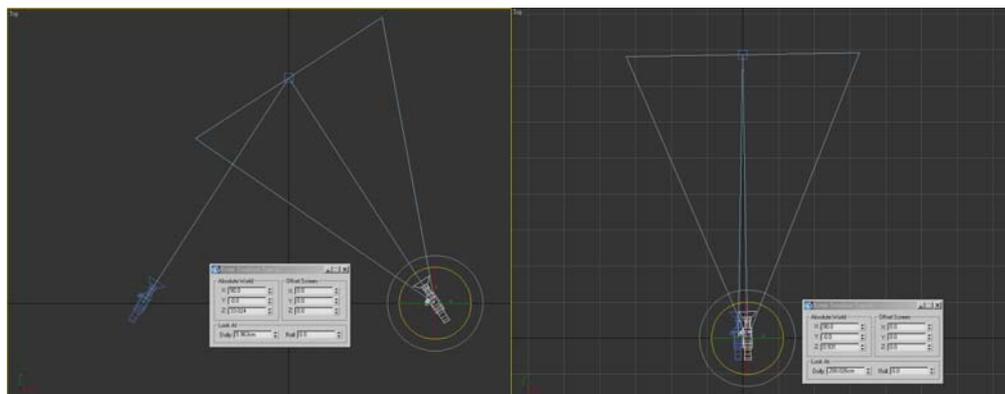


圖 4.32：觀看物與攝影機角度之量測

表 4.3 注視物距離與攝影機相對內轉角度

距離 (公分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
內轉 角度	33.02	18	12.23	9.23	7.41	6.18	5.31	4.65	4.13	3.72
距離 (公分)	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200
內轉 角度	3.1	2.66	2.33	2.07	1.86	1.55	1.33	1.16	1.03	0.93

自動聚合設計

在 Quest 3D 中立體視覺的呈現可以透過 Stereo Render channel 將影像分割成左右眼兩個影像(圖 4.33)，圖 4.34 為其節點所連接的參數 value channel，左邊第二個節點所連

結的參數為雙眼距離，因為 Quest 3D 裡的單位為公尺，所以此參數設定為 0.065。左邊第三個參數則是本節所要解決的自動雙眼聚合問題，在 4.1.2 自動空間測距節中，能即時的偵測視點位置與注視目標的距離，本節之自動雙眼聚合將此距離參數用來做為兩部攝影機向內轉動的參數。圖 4.31 所顯示的是人類雙眼球從直視到聚合時，眼球最大的轉動角度很少會超過 30 度，除非我們雙眼所注視的目標物之距離小於 6.5 公分，所以在 Quest 3D 裡的雙眼聚合角度我們將限制在 30 度以內，而 30 度轉成 Quest 3D 裡的參數則為 0.52，圖 4.34 左邊為 Envelope Properties 視窗，主要是將圖右方 Focusing Distance 的參數對應到 Envelope Properties 視窗裡的圖表，只要 Focusing Distance 參數低於 2 公尺，便會傳遞相對應的聚合角度參數到 Stereo Render channel 的第三節點。



圖 4.33：由 Stereo Render channel 產生的左右視差影像

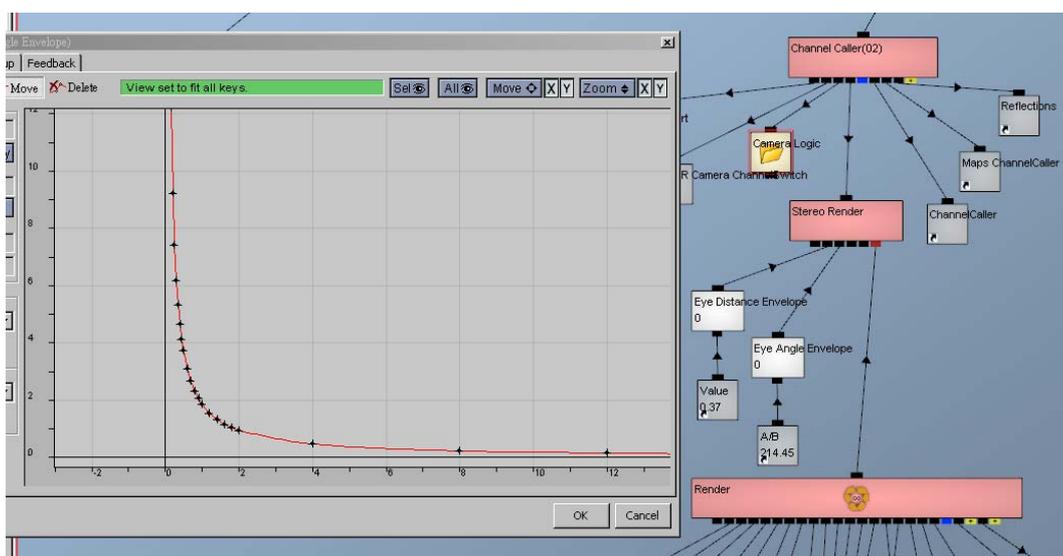


圖 4.34：距離參數透過 Envelope channel 轉換成對應的聚合參數

4.1.6 自動視點定位

建築動畫或虛擬實境模擬人行走的視覺角度時，會以一個高度值來設定人的視點高度，無論人高或人矮都用同樣的視點高度體驗動畫或虛擬實境中所預先設定好的高度，這有違人在實體空間中的觀看方式。另外，因為在 VR CAVE 中所呈現出來的視覺畫面是以 VR CAVE 的中心位置計算(圖 4.9)。所以，在這樣固定的視點下，瀏覽者得必須站在 VR CAVE 的中間位置方能和虛擬實境中所預設的攝影機位置相同。而在上一章空間實驗中關於影響瀏覽者對於空間尺度因子亦有「觀看位置」(Danby, 1962; Heuser, 2004)。立體視覺強化了視覺空間的深度，幫助空間尺度的推算。然而，在第 3.4.1 與 3.4.2 節對於「設計者」與「觀看者」在「立體動畫」與「立體虛擬實境」中的空間尺度之原始落差現象為：

現象八與現象十八、立體視覺之雙眼視差過大易產生雙眼不適。

這可能的原因在於以雙眼 6.5 公分所產生的視差，因呈現的螢幕大小與觀看的距離而有所不同，一樣的立體影像設定，會因播放的螢幕變大，而放大了雙眼的影像視差，如觀看的距離，沒有相對的拉遠，會容易產生受測者眼睛的不適。

雖然在本空間實驗中，受測者沒有感受到此因子有影響到他們對於空間尺度的判斷，可能在於本實驗之攝影機之視點與受測者們觀看位置接近。但為了本系統能更適應每位不同視點位置的空間瀏覽者，將透過一個有紅外光(infrared, IR)的 LED 燈之偏光式立體眼鏡與 Wii 無線操控器(圖 4.35)的裝置，瀏覽者戴上立體眼鏡後，整合系統便可即時的偵測到瀏覽者在 VR CAVE 前方的位置，並根據這個位置，呈現符合瀏覽者之高度與站立位置的視覺透視(Lee, 2007)。(由站立位置，自動調整視差大小)



圖 4.35：左/有 IR LED 燈的偏光式立體眼鏡 右/WiiMote 無線操控器

WiiMote 連線

由於 WiiMote 無線操控器之無線傳輸方式是透過藍芽(blue-tooth)通訊協定與同樣有藍芽收發器之電腦等裝置溝通。因此，在本系統之伺服端電腦裝上藍芽訊號收發裝

置，與 WiiMote 建立可資料相互傳遞的連線(圖 4.36)。在 Quest 3D 中，可透過 WiiMote command channel 取得 WiiMote 上按鈕、加速器、紅外光 2D 座標等資料。圖 4.37 為 WiiMote 連線與兩個 IR LED 燈之二維座標取得的主要 channel group，圖左邊的 channel group 是以 IsConnected 判斷圖 4.36 之 WiiMote 是否與伺服器端電腦建立藍芽連線，如果沒有，則傳遞一個 value 值為 0 的參數到 expression value(!A&B)的 channel 裡，等待電腦鍵盤是否按下 C 連線，如果按下 C 鍵，則透過 connect channel 連接 WiiMote。取得伺服器與 WiiMote 的連線後，在 WiiMote 上所偵測到的第一個 IR LED 燈便會由 Get IR camera data channel 取得 IR LED 之 X 與 Y 座標的資料放到 L1 Value Vector 裡，偵測到第二個 IR LED 燈後再放到第二個 L2 Value Vector 裡。因此，WiiMote 或 IR LED 燈有任何一方發生位移，便都會被轉換為相對應的 XY 座標值。

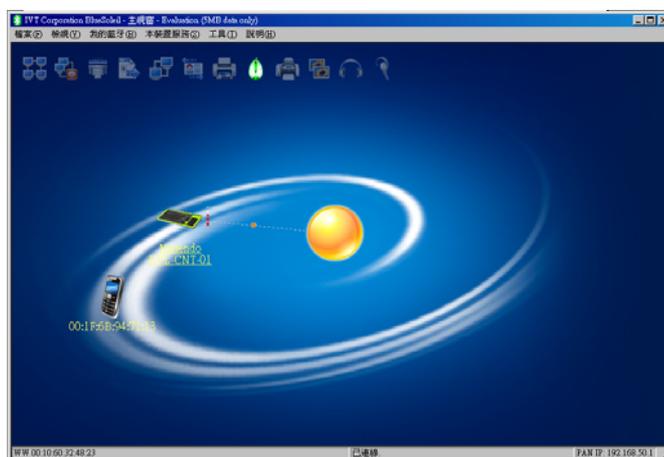


圖 4.36：WiiMote 與伺服器端電腦的藍芽連線

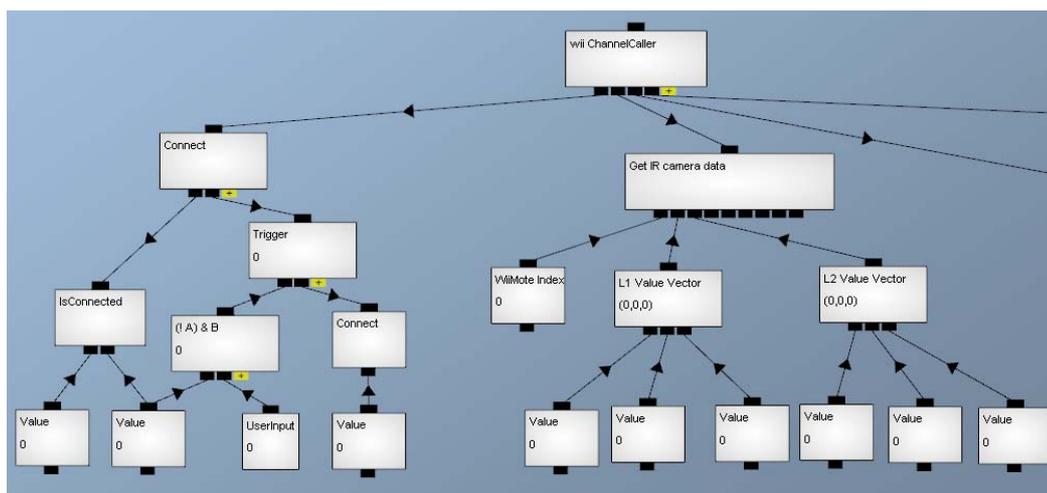


圖 4.37：WiiMote 連線與 IR LED 點座標取得

3D 座標定位

圖 4.38 兩個紅色點 L1、L2 為 WiiMote 透影像偵測，取得兩個 IR LED 燈之 X 與 Y 座

標位置在 Quest 3D 裡的顯示，其 L1、L2 兩點的 XY 座標取得如圖 4.38，而中間的綠色 3D 游標(cursor)則是透過 L1、L2 兩座標計算後的中間座標值。圖 4.39 為計算 3D 游標之 XY 座標的主要 channel，其最上方為一個 vector 型態的 ChannelSwitch，AIB 為一個 expression value，判斷是否有同時偵測到兩個 IR LED 燈，如只是偵測到其中一顆 IR LED 燈時，3D 游標的 XY 位置就引用單一的 IR LED 燈 XY 座標，而如是偵測到兩個 IR LED 燈時，則透過 Add two vectors 與 Divide values 兩個 channel 將兩組座標做相加後除以 2 的計算，取得綠色 3D 游標在兩個 IR LED 燈的中間座標值。

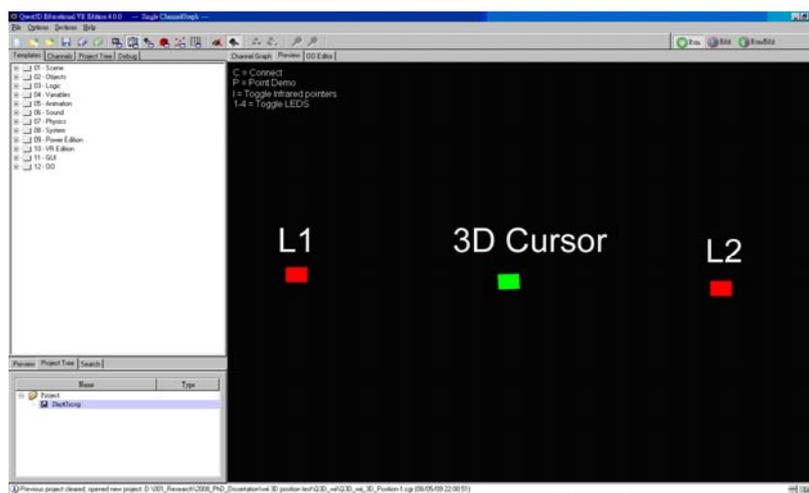


圖 4.38：透過兩個 IR LED 座標取得 3D 游標之 XY 座標

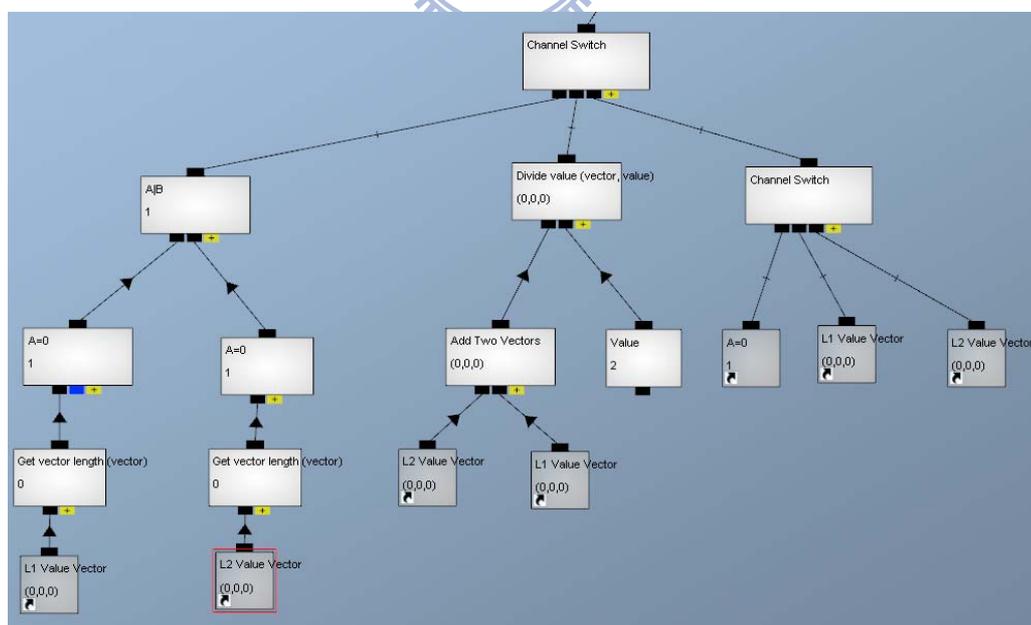


圖 4.39：計算 3D 游標之 XY 座標的主要 channel

當瀏覽者戴上兩邊有 IR LED 燈的偏光式立體眼鏡時，Get IR camera data channel 只能取得兩個 IR LED 燈之上下左右時的 XY 垂直水平座標，而無法取得有深度的 Z 座

標，但以影像式偵測兩點在一視窗中，會有一個現象是，當透過 WiiMote 以近距離拍攝兩個 IR LED 燈時，兩個 IR LED 燈在 WiiMote 的鏡頭裡是呈現較遠的距離，當把兩個 IR LED 燈拉到一定的距離時，在鏡頭裡的兩個 IR LED 則會越趨近於一點。因此，對於 Z 座標的計算，我們以兩個 IR LED 燈在 Quest 3D 產生彼此距離變化的關係推算 Z 座標的位置，但會產生如表 4.4，立體眼鏡之 IR LED 與 WiiMote 以 30 公分為等距做移動時，但在 Quest 3D 裡對於兩點距離的變化確呈現非等距的變化，而是隨著立體眼鏡與 WiiMote 拉遠，Quest 3D 裡兩點間的距離則趨於越小的變化。為了將此一不等距的變化調整成一個較等距的變化，我們透過 Quest 3D 裡的 envelop 形態的數值 channel，能根據表 4.3 裡的 Quest 3D 距離參數，修正成一個較等距變化的參數輸出，如圖 4.40 為 Quest 3D 裡的 envelop 形態的數值圖表，是根據表 4.3 實際間距與 Quest 3D 距離的對照關係所建立的圖表，圖表中垂直軸向代表實際間距的等距距離，水平軸向的則代表兩個 IR LED 燈在 Quest 3D 的距離。當圖 4.41 左邊 channel group 判斷有無偵測到兩個 IR LED 燈，如有則算兩個 IR LED 燈的 Quest 3D 距離，並將這個距離參數連接到圖 4.40 的 channel 裡，envelop channel 便會依據曲線的對應關係，將水平輸入的參數，以垂直的間距參數輸出，形成一個較等距輸出的 Z 軸變化。

表 4.4：LED 位移與 Quest 3D 裡之兩點距離

實際間距(公分)	30	60	90	120	150	180	210
Quest 3D 距離	0.6	0.3	0.2	0.15	0.12	0.1	0.09

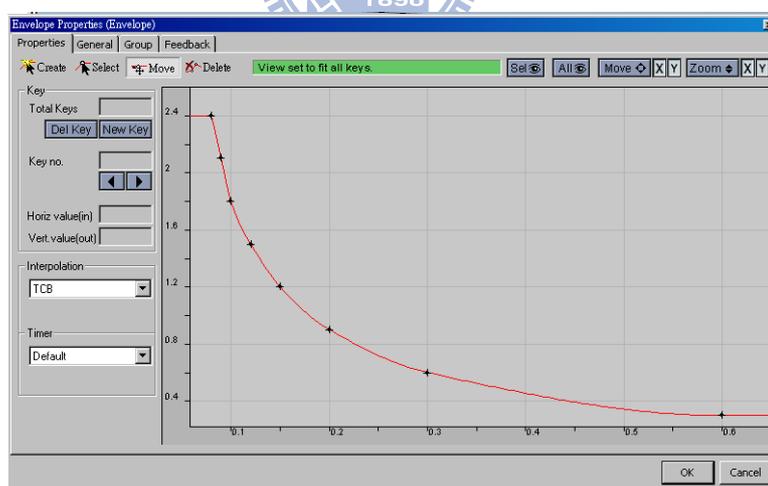


圖 4.40：envelop 形態的數值圖表

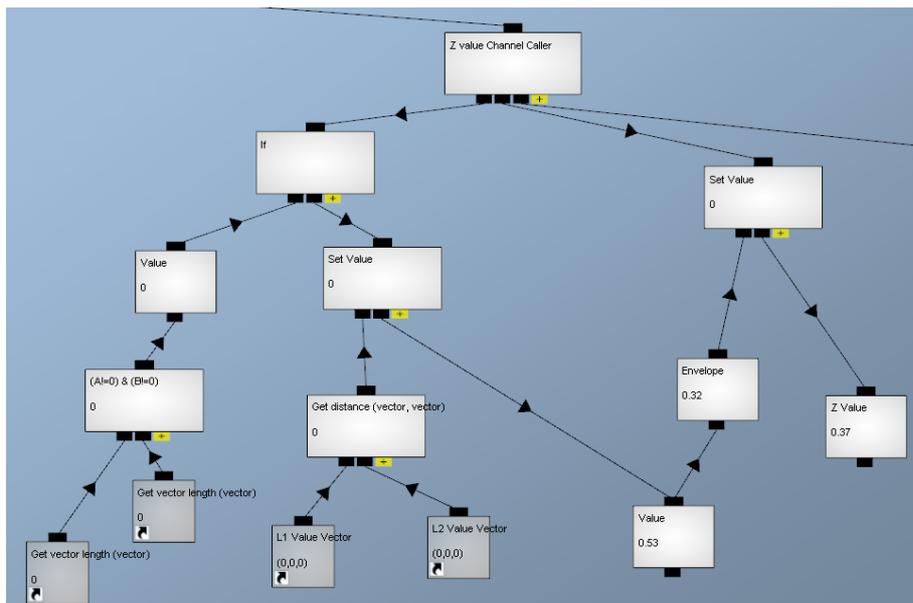


圖 4.41：計算 Z 座標的主要 channel

最後，再由圖 4.42，將經由兩個 IR LED 座標取得的 3D 游標之 XY 座標，以 Add two Vectors channel 加上最後所推算出來的 Z 座標，再經由 Set Vector channel 將有 IR LED 燈的立體眼鏡的 3D 定位座標傳送到一個新的 Value Vector channel 裡，瀏覽者在螢幕前站立的 3D 位置，便能與 3D 場景裡攝影機所預設的位置 Self-control Camera Matrix 做部份的調整，攝影機透視位置便會調整成瀏覽者觀看視點上的位置。另外，經由兩個 IR LED 所推算的深度 Z 軸位置則可用來判斷瀏覽者站在距離立體螢幕多遠的位置，圖 4.43 則是依據瀏覽者站在立體螢幕前的距離來調整立體視覺雙眼視差的大小，在本系統所設定的是當瀏覽者離立體螢幕 30 公分時，其雙眼視差 eye distance 則自動調為 0.01，當大於 240 公分後，則又會自動調成 0.06。

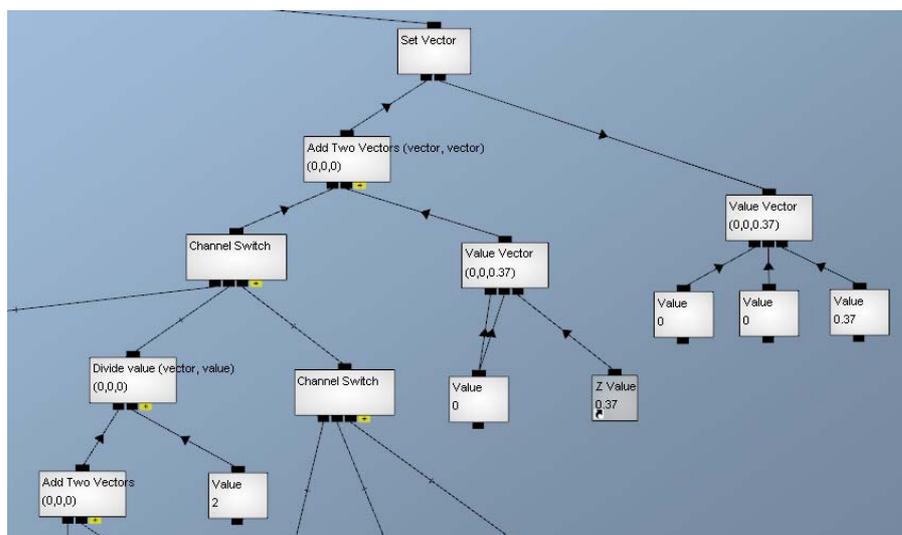


圖 4.42：取得 IR LED 立體眼鏡之 3D 定位座標

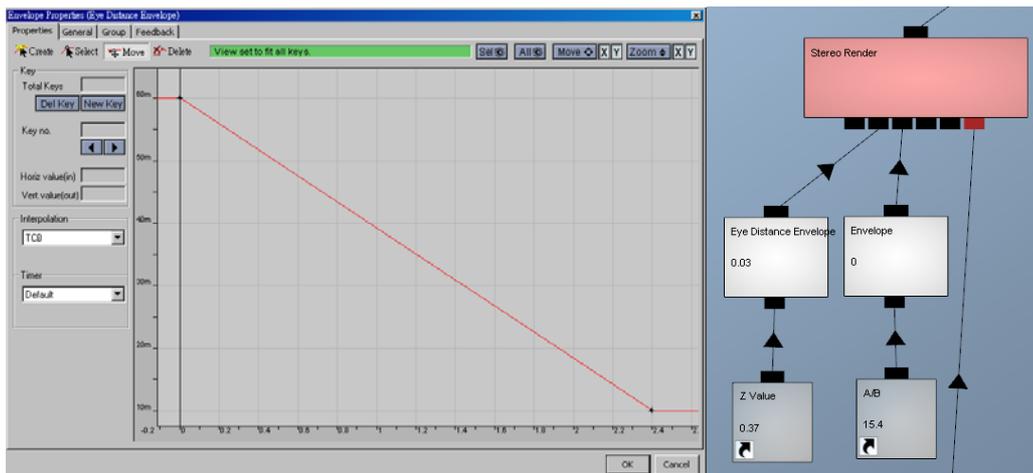
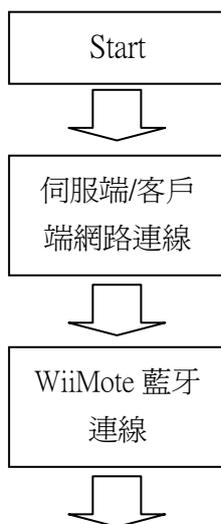


圖 4.43：Z 座標與雙眼距離的 envelop 與立體 channel 設定

4.1.7 小結

本系統整合了「水平視覺範圍擴展」、「自動空間測距」、「自動空間導引」、「平、立、剖面圖介面顯示」、「自動雙眼聚合視覺呈現」與「自動視點定位」等功能元件，其系統執行的主要流程架構如圖 4.44。系統在起動後，會停留在一個準備連線的狀態，即是圖中的「伺服端/客戶端網路連線」，設定好那一部為伺服端電腦與那三部為客戶端電腦，之後建立網路的主從連線。第二步是建立與 WiiMote 的藍芽連線，將空間瀏覽者的三維座標傳入伺服端電腦。最後再依傳入的三維座標將空間場景內容呈現在 VR CAVE 中。圖中最底下本系統整合之元件，黑色粗邊元件是一直處於即時運作的元件，而雙細邊則是由瀏覽者操控才會被起動的元件。表 4.5 與表 4.6 則是本系統之起動與導覽的操作指令。



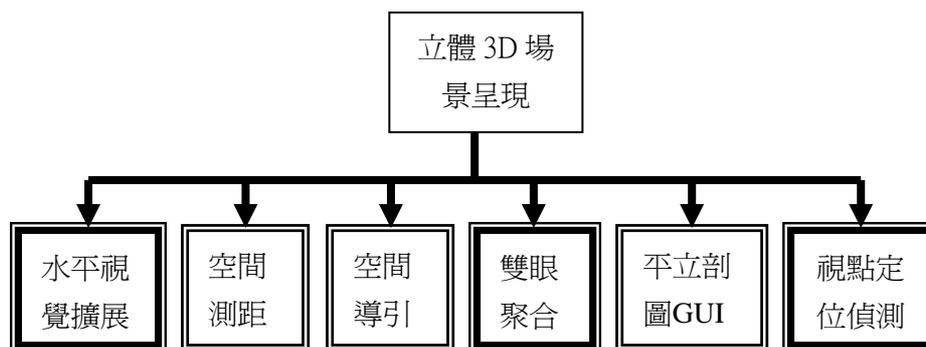


圖 4.44：整合系統流程架構圖

表 4.5：系統起動操作

系統起動功能	鍵盤操作	搖桿操作
伺服器端/客戶端網路連線－建立 Server 端	F2	
伺服器端/客戶端網路連線－建立 Client 端	F4	
WiiMote 藍芽連線	C	
切換攝影機－中間畫面	O	
切換攝影機－左邊畫面	I	
切換攝影機－右邊畫面	P	

表 4.6：系統導覽操作

系統導覽功能	鍵盤/滑鼠操作	搖桿操作
前進	方向鍵 往上	按鈕 1
後退	方向鍵 往下	按鈕 2
Pan left	滑鼠往左移	搖桿往左傾
Pan right	滑鼠往右移	搖桿往右傾
Tilt up	滑鼠往上移	搖桿往後傾
Tilt down	滑鼠往下移	搖桿往前傾
顯示測距資訊	D	按鈕 7
自動導引 -到空間 A	1	按鈕 3
自動導引 -到空間 B	2	按鈕 4
自動導引 -到空間 C	3	按鈕 5
自動導引 -到空間 D	4	按鈕 6
解除自動導引	方向鍵 往上	按鈕 1
平、立、剖面圖介面顯示	M	按鈕 8

4.2 系統測試

系統測試是一個反覆的方式(iterative fashion)，在不斷的反覆測試中，確認問題與再設計的過程(Bowman et al., 2005)。在本節中之系統測試，其目的為測試 4.1 節空間視覺化「系統建製」完成後之系統是否能解決 3.4 節中的部份現象以及系統初步的使用問題，故先以本系統建製者對系統做初步的系統測試。其底下為本系統測試之步驟項目說明。

4.2.1 測試者人數

此整合系統之建製者。更進一步的多人測試則為本論文之未來研究。

4.2.2 測試流程

本系統測試流程主要分為二個部份，

- 第一部分各別功能模組「水平視覺範圍擴展」、「自動空間測距」、「自動空間導引模式」、「平、立、剖面圖介面顯示」、「自動雙眼聚合視覺呈現」、「自動視點定位」進行測試，逐一的與第三章空間實驗中產生的落差現象做驗證比較測試。
- 第二部份為整體系統測試，從系統之主從程式起動，伺服端與客戶端電腦連線、3D 座標定位之無線藍芽連線等前置系統的測試，再到個別功能模組綜合使用之測試。

4.2.3 各別功能模測試

水平視覺範圍擴展

在第三章的空間實驗中，我們發現當受測者透過操作搖桿瀏覽空間時，以 tilt up 和 tilt down 觀看空間之天花板與地面時，會產生牆面夾角向內傾與向外傾的形況（圖 4.45）。而在本系統中，我們將單一攝影機的可視範圍縮小到 41.3 度，減少因攝影機可視範圍廣、透視性大而產生空間形變，但為了要更增加原有的可視範圍和人的可視範圍相同，我們透過投影螢幕連接方式，將原先單一 4:3 的投影螢幕再加上左右二個投影螢幕，延伸瀏覽的水平視覺範圍到人的雙眼視覺範圍 124 度。圖 4.46 為本系統同樣在瀏覽時做 tilt up 與 tilt down 時的牆角垂直線，與圖 4.45 比較，牆角垂直線向內傾與向外傾的現象已明顯降低。

另外，在空間實驗中，當瀏覽者將觀看的攝影機做 pan left 與 pan right 時，牆面間的

角度在視覺上亦會發生夾角的變化，如圖 4.32，當牆角移到觀景視窗的中間時，兩面牆間的角度、天花板與地板間給人的感覺像是一個銳角，而攝影機視點再往左移時，牆角、天花板與地板間的視覺角度則趨向鈍角。所以這部份同樣是因攝影機之可視範圍與畫面呈現比例之影響所致，而在整合系統中，我們同樣在導覽時，做 pan left 與 pan right 時，如圖 4.33 所示，牆角、天花板與地板間的視覺角度沒有像圖 4.34 產生較大的角度變化。

在空間融入感上，本系統之水平視覺擴展上，雖與單一 4:3 投影螢幕，已有較接近人觀看空間之水平視覺範圍，但在垂直視覺範圍因投影螢幕之比例關係，由 4:3 的比例變成 16:3，垂直視覺圍反而必需相對被縮減，由 51 度變到 36 度，人在觀看空間時，在水平視覺上相對雖較有沈浸感，但垂直視覺的融入感反而相對減小。



圖 4.45：Tilt up 和 tilt down 時，牆角之垂直線條產生內傾與外傾的形變

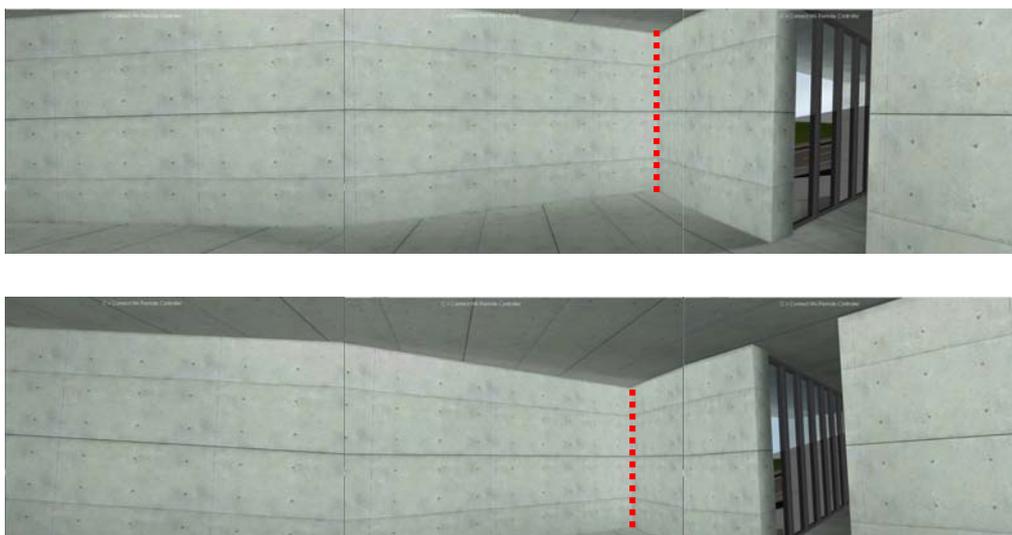


圖 4.46：整合系統之 tilt up 和 tilt down 時之牆角垂直線

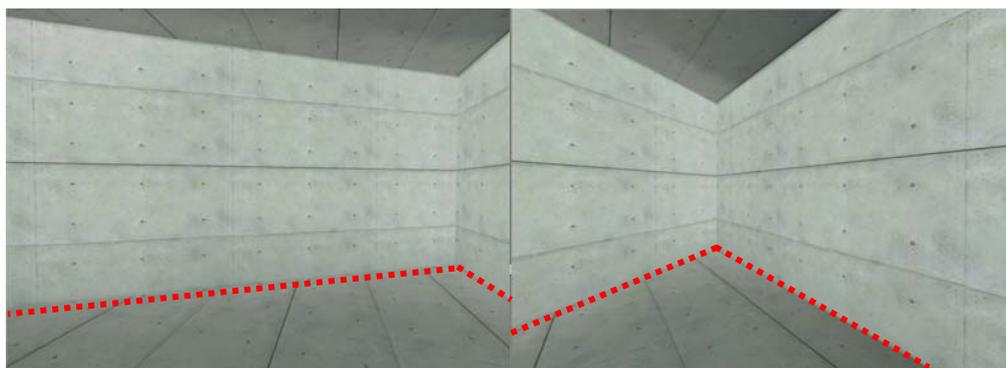


圖 4.47：pan right 與 pan left 時的夾角變化

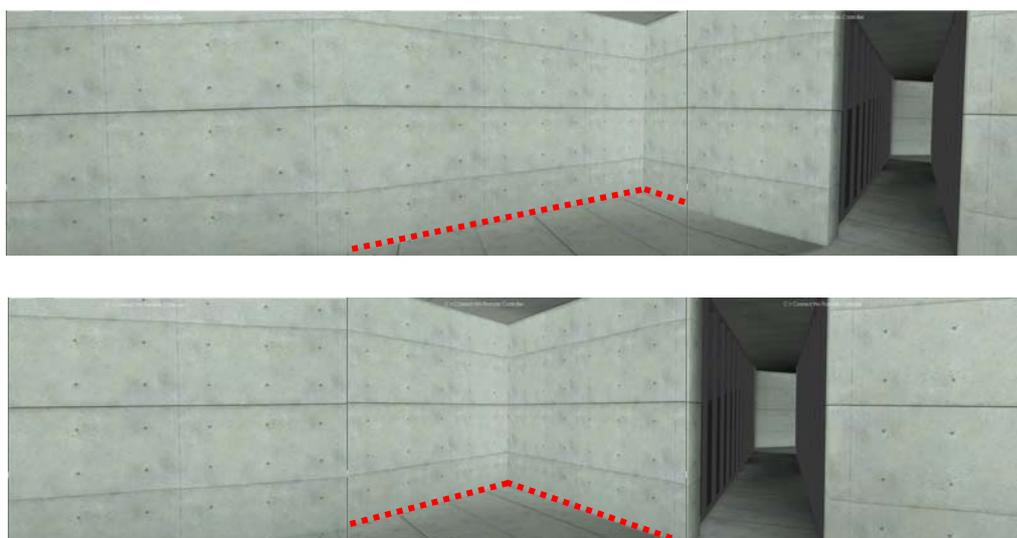


圖 4.48：整合系統之 pan right 與 pan left 時的夾角變化

自動空間測距

本系統架構在三面螢幕所組成的空間模擬器，其視覺呈現範圍對於瀏覽者不容易以自己的身體尺度當作參考物來判斷所處之空間尺度，所以必需在虛擬空間中尋找可以判斷空間尺度的線索，而判斷的準確與否，則必需取決於對尺度線索的熟悉程度。因此，本系統之自動空間測距，是模擬實際空間測量用之雷射測距做為虛擬空間中之尺度的量測工具。空間瀏覽者之自動空間測距操作方式只要在操作搖桿上按下按鈕 7(如表 4.6)，即啟動此自動空間測距的功能，空間瀏覽的畫面上則出現距離偵測點的十字座標與目前觀測位置至偵測點的距離資訊(圖 4.49)，所以在本整合系統之自動空間測距，將有助於減少因沈浸程度、空間尺度線索、空間瀏覽者背景等限制所產生對空間尺度了解上的錯誤。然而，在測距使用方式與測距資訊的顯示方式，對於一般人之操作是否能容易的認知到十字偵測點是用來量測空間尺度之距離，以及使用搖桿操作尺度量測，其使用性為何，則必須以一般人做實際測試，才能較容易了解他們在自動空間測距功能使用上的問題。



圖 4.49：空間 C 之高度與寬度的即時測量

自動空間導引

本系統之自動空間導引模式所使用的方式是當空間瀏覽者只要按上一搖桿上的數字按鈕 2，如表 4.6 所設定的操作表，自行導覽模式會切換成自動空間導引模式，導覽攝影機前方出現虛擬引導員，空間瀏覽者不必再操作移動行走的按鈕，導覽的攝影機便會自動遵循虛擬引導員依空間動線行走走到目的空間。但在此功能如瀏覽者在空間 B 裡的樓梯上，按下了自動空間導引模式到空間 B 時，會因為空間 B 的設定位置為地板的中間位置，在路徑節點的設定上，是依循樓梯走道到達樓地板，但虛擬引導員則直接躍下樓梯，到達地板中間位置，此種現象的 bug 是因路徑節點在此位置上是以最短路徑方式，直接躍下樓梯，不會把這樣的高低現象視為是一種阻礙，所以沒有依著樓梯上的路徑節點走到樓地板的目標位置，所以要解決此問題，可行的方式是在樓梯走道上建立扶手，建立會阻礙最短路徑計算的障礙物，以防止在自動空間導引時再次產生此種錯誤。

在使用介面上，本功能所設定的四個目的空間是透過搖桿上的按鈕起動自動導引至目的空間，雖可以完成這四個空間的導引，但是以搖桿上的某些按鈕做為可自動導引的目的空間，除非有圖示說明按了那些按鈕可以到圖示上的那個空間，否則以按鈕選定自動導引的目的空間，在操作介面的介面指示性(Bowman et al., 2005)上不易被初次的空間瀏覽者知道。另外，在自動空間導引功能的執行過程中，除了虛擬引導員走在前方導引外，功能狀態的視覺訊息只有一行文字顯示目前正要前往的目的空間(圖 4.50)，在功能執行狀態的視覺顯會稍微薄弱。所以在此功能的使用界面上，如能改以 2D 或 3D 介面選單讓空間瀏覽者用較直覺方式直接在螢幕上的選單選擇，將有助於空間瀏覽者了解有那些空間是可以行往。



圖 4.50：自動空間導引模式之視覺介面

平、立、剖面圖介面顯示

本系統之平、立、剖面圖介面顯示，主要是幫助空間瀏覽者了解目前所身處的空間位置、所處的樓高以及空間與空間之連結動線與組織關係。其使用方式是空間瀏覽者在操作搖桿上按按鈕 8，開啓平面圖介面(圖 4.51)，再按一次按鈕 8 則顯示立面圖，切換的方式，共有 5 種不同的介面顯示。然而此顯示介面的使用方式，對於熟悉此系統的瀏覽者在使用上已經熟悉介面的顯示順序，但對於初次使用本系統的瀏覽者則必需先看過使用說明，才能知道此功能的使用，使用按鈕切換，對於初次使用的瀏覽者可能會顯的不夠直覺。

在平、立、剖面圖的顯示上，因為在顯示此圖集的技術上是在既有的建築模型再架設不同視點與不同功能的攝影機，同時以一個紅色三角錐模型代表目前所在位置，再將這些不同視點的攝影畫面顯示在介面上，但因 3D 模型由三角面組成，沒有厚度且有法向量問題，因此在介面上顯示剖面不易將建築結構清楚的呈現出來(圖 4.52 或圖 4.24)，要能清楚顯示剖面時的厚度，必需透過空間中之光影貼圖區分全黑為牆，亮的地方為空間。



圖 4.51：平面圖介面顯示



圖 4.52：剖面圖介面顯示

自動雙眼聚合視覺呈現

本功能自動雙眼聚合視覺呈現主要是在立體的虛擬環境中模擬人類兩眼球對於進距離的注視物具有雙眼球聚合的作用，而非只是雙眼球平行直視所產生的立體影像，尚有眼球的轉動。本功能透過判斷前方物體之距離，調整立體視覺之向內旋轉的角度。如注視的焦點是在遠方，則呈現出來的雙眼視差影像則會呈現平行(圖 4.53)，但對於注視進距離的視差影像，則會產生遠距離的影像視差比近距離注視點的視差要大(圖 4.54)，雖然人類在注視近距離的物體時，也會產生遠距離的影像視差大於近距離的影像視差，但因人類雙眼球尚有瞳孔與水晶體，可以調整人類在觀看近物時的景深，將遠方視差大的影像模糊化，讓人類雙眼在注視近距離物體較不會有不適的感覺。

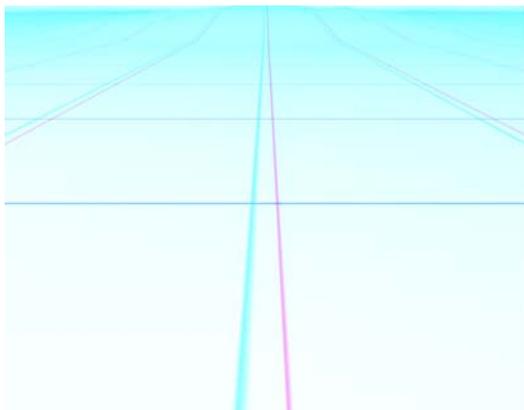


圖 4.53：雙眼平行直視之視差

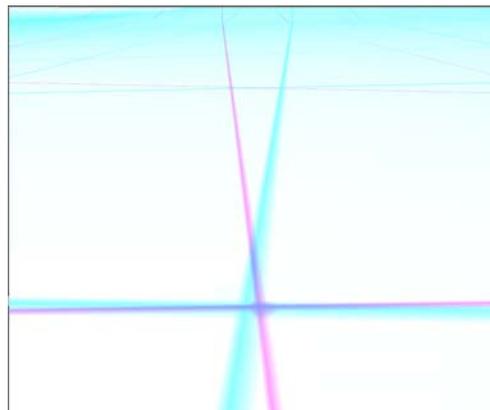


圖 4.54：觀看 20 公分的雙眼視差影像

自動視點定位

本系統建製在一個口字外擴型空間模擬器上，在傳統上，無論是播放立體動畫或立體虛擬實境，對於虛擬攝影機的設定，主要是在一個共同的視點上，設定三組不同方向的攝影機。但空間瀏覽者站必需站在三面投影螢幕的正中心，才能觀看到最正確的觀看視點。因此，自動視點定位是為了解決此一限制(圖 4.55)，透過立體眼鏡上之 IR LED 燈與 WiiMote 取得空間瀏覽者的觀看位置，瀏覽者在 WiiMote 可以取得 IR LED 的範圍內，可以依瀏覽者的觀看高度、前後與左右位置即時調整成合適的視點位置(圖 4.55，圖 4.56，圖 4.57)。

另外，關於立體視覺的視差大小亦需跟著空間瀏覽者所站立的位置做適當的調整，以符合人雙眼所能接受的視差大小，增加空間瀏覽者觀看立體視覺的舒適性。所以當瀏覽者觀看的視點太靠近螢幕時，立體的影像視差會縮小(圖 4.58)，以減小瀏覽者因視差大造成觀看的不適。然而，此功能在測試時，因立體眼鏡上左右兩顆 IR LED 之距離與功率會限制瀏覽者與 WiiMote 之間的距離，最好的偵測距離只能在上、下、左、右、前、後各為 1 公尺內。



圖 4.55：觀看視點在中間位置



圖 4.56：觀看視點在左邊位置



圖 4.57：觀看視點在右邊位置



圖 4.58：圖左圖右為觀看視點遠與近時，在虛擬引導員上產生不同的視差

4.2.4 整體系統測試

系統開啓測試

本系統之程式只有一個可直接執行的 exe 執行檔，系統安裝時，只要將執行檔複製到伺服器與三台客戶端電腦即可。但啟動的順序上，需先執行伺服端的執行檔，同時啟動無線藍芽與 WiiMote 成功連線後，再執行客戶端電腦，畫面會停留在選擇執行伺服器或客戶端的選項，依序是伺服器電腦需先執行，其它客戶端電腦才能執行客戶端的選項，亦才能執行從客戶端電腦連線到伺服器電腦的動作。成功連線到伺服器電腦後，再將顯示影像各自切換到不同視點的畫面。以上在啟動執行上，每次均能成功啟動，但啟動程序上步驟多，易導致執行順序上的錯誤。

個別功能模組綜合使用測試

當「自動空間測距」與「自動空間導引」兩個功能模組同時開啓時，因自動空間測距之十字圖示與自動空間導引裡的虛擬引導員的顯示位置均以畫面中央位置顯示，因此，如這兩個功能模組同時開啓時，空間瀏覽者如在虛擬引導員引領的過程中要用十字圖示量測空間尺度時，虛擬引導員會阻礙了空間瀏覽者的視線（圖 4.59）。另外，當「平、立、剖面圖介面顯示」之 2D 介面顯示時，會影響到「自動空間測距」與「自動空間導引」裡的 2D 文字介面顯示（圖 4.60），只要有平、立、剖面圖任何一介面顯示，即是起動了子視窗分割之 Set ViewPort channel 會與 2D 文字顯示 channel 產生衝突，無法顯示出文字訊息。

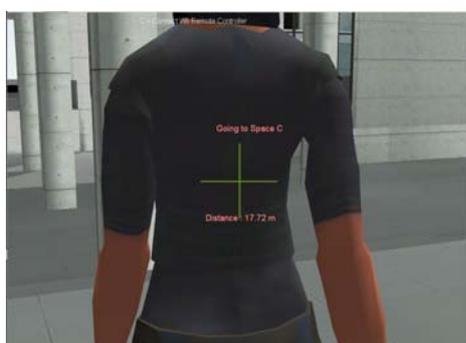


圖 4.59：當自動空間測距與自動空間導引
開啓時之介面



圖 4.60：當自動空間測距、自動空間導引
與 2D 介面同時開啓時之介面



系統效能測試

本系統所顯示的場景資料在三角面數為 96800 面，材質大小為 5Mb，整體檔案為 9 Mb，在螢幕解析度 2048x768(1024x768 之水平擴展)的顯示大小與表 4.1 的硬體設備下，其螢幕畫面更新率可維持在每秒 60 影格。另外，在同步顯示效能上，因本系統之三台客戶端電腦均為相同硬體設備，且空間場景之資料量小，三個投影畫面在同步顯示上可以有順暢的呈現，不至有某一顯示畫面產生延遲的情況。

5. 結論

設計呈現媒材的發展，從傳統媒材延伸到能被設計者容易操作時間向度的動畫媒材，與具及時互動的虛擬實境媒材，本研究中，從立體動畫與立體虛擬實境之空間實驗，檢視此兩種新媒材在設計呈現之溝通上會有的原始落差現象與二次落差現象，並透過一個整合的空間視覺化系統縮短呈現溝通時的落差現象。因此，綜合前四章之分析與討論，本章將簡述設計媒材現象、空間視覺化系統、研究限制、後續研究與研究貢獻等結論。

5.1 設計媒材現象

空間實驗中，我們從「設計者」與「觀看者」觀看「立體動畫」與瀏覽由「立體虛擬實境」的實驗中，分析「立體動畫」與「立體虛擬實境」在「空間造型」、「空間尺度」、「空間動線」與「空間組織」之「原始落差」現象與「二次落差」現象。其「設計者」與「觀看者」對於「立體動畫」與「立體虛擬實境」兩種呈現媒材所產生的初步現象，在「原始落差現象」中，設計者與觀看者均會因畫面比例與攝影機視覺範圍而影響菱形空間之邊緣角度的判斷；主要都以參考物做為空間尺度判斷的依據，且空間越大，判斷的誤差也越大；立體視覺容易因視點位置貼近物體時，產生過大視差而造成視覺的不適。動畫的運鏡轉彎越多，會增加空間動線與空間組織的誤判。而在空間組織現象中，呈現的視覺畫面如有較整體的空間排列線索呈現，將有助於空間組織的了解。在「二次落差」現象中空間尺度的判斷，設計者相較於觀看者對空間中之建築元素有較準確的尺度概念，對空間尺度的誤判亦會較小；在空間組織的判斷，設計者會用較多的因子推測空間組織，觀看者則偏重在各別空間之主次入口。

5.2 空間視覺化系統

「空間視覺化系統」整合了「水平視覺範圍擴展」、「自動空間測距」、「自動空間導引」、「平、立、剖面圖介面顯示」、「自動雙眼聚合視覺呈現」、「自動視點定位」等功能，以縮短設計者與觀看者在「立體動畫」與「立體虛擬實境」中所產生的共同「原始落差」現象、以及設計者與觀看者彼此之間的「二次落差」現象。

「水平視覺範圍擴展」透過縮小攝影機可視範圍以減少因透視所產生的空間形變。

同時，增加投影螢幕數量，以三投影螢幕並置方式擴展空間呈現媒材之水平視覺呈現的範圍。「自動空間測距」解決透過參考物判斷空間尺度時所產生的誤差，由系統自動提供空間瀏覽者如雷射測距的功能，精確的掌握設計空間的尺度。「自動空間導引」由虛擬引導員自動引領空間瀏覽者到他所欲前往的目的空間，而前往的過程是模擬實體空間之限制，行走空間中的實際動線，但空間瀏覽者仍然可以任意轉動觀看的視點，以強化對空間動線的了解。「平、立、剖面圖介面顯示」補足 3D 導覽中，空間視覺資訊對於空間組織的不足，以及單純的平面圖對樓層相間之呈現上的限制。「自動雙眼聚合視覺呈現」模擬人兩眼球對於二公尺內的之立體視覺，以更貼近人雙眼的視覺變化，改進參觀者透過雙眼聚合感知空間距離的能力。「自動視點定位」依瀏覽者位置，自動調整適合瀏覽者的視點位置，以符合人有不同視點高度與站立位置，同時，更能呈現出適合參觀者位置的立體視差影像。

5.3 研究限制

本研究中，受測者本身之空間能力的探討，由於本研究只是先初期性的探討立體動畫與立體虛擬實境這兩種設計呈現媒材在建築空間所扮演的角色，對於人的空間能力為何與探索空間的細部心智行為不在本研究的範疇內。另外，這些落差現象是基於一個畫面比 4:3 之 120 吋的背投影螢幕所得的結果，對於其它不同形式的呈現媒材，如 HMD、桌上型個人顯示器，半球型之多人大型投影顯示器、全包覆式之六面盒型顯示器等則不屬於本研究所探討的。

本研究之原始落差現象的分析方面，部份現象是由設計者的實驗資料中推測，如立體動畫中空間造型之現象三與現象四，雖然在觀看者中沒有發現，但在分析的假設上，我們認定設計者與觀看者為同一群體，屬於一般大眾，因此，在這部份的初步結論，認定其它的有建築設計背景者與無設計背景者也有可能產生的現象。

立體視覺在判斷空間尺度的研究限制，透過立體視覺判斷空間尺度，受測者雖然覺得立體影像能讓他們感覺到較有視覺深度，有助於他們判斷空間裡的距離，但本研究中無法明確顯示出立體視覺幫助空間尺度判斷到何種程度。另外，本空間視覺化系統在現行的投影螢幕技術，多人站在螢幕前，只能看到單一攝影機的視點影像，所以本研究之自動雙眼聚合視覺呈現與自動視點定位仍指戴上能被定位之立體眼鏡的瀏覽者而言。

5.4 後續研究

本研究之空間實驗所得到的初步原始落差與二次落差現象，在後續研究上可再根據其它的設計空間，再透過立體動畫與立體虛擬實境之呈現方式，以驗證這些初步現象之可信度，以及其它可能的現象。另外，空間實驗中，對於一些空間造型與空間尺度無法在立體動畫與立體虛擬實境中被了解，但不知是否這樣的空間造型在真實的環境中，同樣也無法被了解，在未來的研究上，可以針對真實空間與虛擬空間在空間造型上與尺度上更進一步的比較，以了解人對空間造型與尺度上會判斷錯誤，到底是空間本身就不好判斷或是呈現媒材的問題。

空間視覺化系統的自動空間導引，可以將虛擬引導員設計成不單只是引導員，更可做為一個空間設計的介紹者，同時也能選擇不同的介紹者，如空間本身的設計者，提供空間瀏覽者在視覺上與聽覺上更貼進真實的感受，對於設計者更深一層的設計哲理也更能進一步的體驗。

觀看虛擬環境會產生模擬器病(cybersickness)，有一部份是觀看立體視覺影像，如何才能有好的立體視覺效果且是舒適的視覺感受，這些會受呈現畫面的大小、觀看的位置與視差的大小影響，而這些因素之詳細的數據關係，需要更進一步的透過實驗了解。

以 WiiMote 做為三維座標，因為可以定位的範圍有限，對於大螢幕顯示的空間視覺化系統，空間瀏覽者在觀看時，活動的範圍相對較大，會容易超出定位偵測範圍，未來可以再針對此項限制，改以更大範圍的定位偵測，以方便空間瀏覽者有更大範圍的觀看位置。

在系統測試上，實際的在設計實務上，以設計者及一般公眾進行多人的測試，可分為空間設計內容了解與操作介面使用的測試，以了解空間視覺化系統在傳達設計者之設計內容還有的溝通落差，以及系統在操作介面的使用性問題。

空間視覺化系統在呈現其它設計空間上，如何讓空間設計內容，從初始的數位模型建立階段到最後空間視覺化系統之空間呈現，整個轉檔過程需要那些的標準流程，以利設計者能更容易地將他們設計的空間得以在此系統裡呈現。

5.5 研究貢獻

本研究主要探討的是設計呈現媒材「立體動畫」與「立體虛擬實境」在空間呈現時會有的落差現象，對於空間造型的初步落差現象中，兩種媒材在視覺呈現上會因畫面比例與攝影機視覺範圍而產生空間之邊緣角度形變，易造成一般大眾對空間造型的誤判。在空間尺度的現象上，空間中之參考物可能為一般大眾在了解空間尺度上最主的主要判斷依據，但對越大的空間尺度，則亦會產生越大的判斷錯誤；立體視覺雖有助尺度的判斷，但雙眼視差容易因為視點太貼近物體時，產生過大的視差而造成視覺的不適。在空間動線的現象上，動畫攝影機之運鏡對動線因子的呈現，與運鏡轉彎越多，會影響一般大眾對空間動線的了解，同時亦會影響空間組織的判斷。這些主要的現象，將有助於設計者以「動畫」、「虛擬實境」與「立體視覺」在空間呈現上的改善參考。

空間視覺化系統之「水平視覺範圍擴展」，能減少單一畫面視覺範圍太大所生的空間形變問題，其多螢幕之攝影機設定方式將提供給多螢幕空間模擬器設計者一個重要的參考。「自動空間測距」讓空間呈現媒材對於空間尺度易產生的尺度感落差，有一個更精確的尺度數據。「自動空間導引」結合了動畫之主動敘述的優點，讓空間瀏覽者可以在一定的限制內知道重要的空間資訊，同時有某部份的主控權，這樣的互動呈現方式提供空間呈現媒材一個新的呈現互動方式。「平、立、剖面圖介面顯示」即時的提供空間瀏覽者在空間中不同的空間剖面，以了解錯綜複雜的空間。「自動雙眼聚合視覺呈現」能提供更貼近人類立體視覺的感受，以減少立體視差所產生的不適。「自動視點定位」解決T字外擴型空間模擬器需在站在中央才有好的視覺效果的限制，同時縮小因太靠近螢幕時所產生的過大視差。因此本空間視覺化系統在設計實務上或對大眾展示上，能提供設計者與公眾一個更完整的設計空間之呈現媒材。

參考文獻

英文

- Ager, M. T., and Sinclair, B. R., 1995, *StereoCAD: Three Dimensional Representation*, CAAD futures proceedings, pp. 343-355
- Ahmad Rafi, M.E., 1998, *Computer animation for architectural visualisation*, Ph.D. thesis, University of Strathclyde
- Alexander, C., 1977, *A Patten Language-Towns, Buildings, Construction*, Oxford University Press
- Alexander, C., 1979, *The Timeless Way of Building*, Oxford University Press
- Alvarado, R. G.; Castillo, G. A.; Marquez, J. C. P.; Mayorga, S. N., 2005, *Filmic Development of Architectural Animations*, International Journal of Architectural Computing 3(3): pp.299-316
- Akin, O. and Weinel, F. E., 1982, *Representation and Architecture*, Silver Spring, Maryland: Information Dynamics, Inc.
- Anthony, L., Regli, W. C., John, J. E. and Lombeyda, S. V., 2001, *CUP- a computer-aided conceptual design environment for assembly modeling*, The ASME Journal of computer and information science in Engineering 1(2): pp.186-192
- Astheimer, P., Dai, F., Felger, W., Gobel, M., Haase, H., Muller, S. and Ziegler, R., 1995, *Virtual design II- an advanced VR system for industrial applications*, in Proceedings of Virtual Reality World '95, Germany, pp. 337-363
- Bai, R. Y., Liu Y. T., 1998, *Toward a computerized procedure for visual analysis and assessment*, Proceedings of the CAADRIA '98, pp. 67-76
- Belleman, R. G., Stolk, B. and Vries, R., 2001, *Immersive Virtual Reality on Commodity Hardware*, Proceedings of the ASCI, pp. 297--304
- Bertol, D., and Foell, D., 1997, *Designing Digital Space: An architect's guide to virtual reality*, John Wiley & Sons, Inc.
- Bloomer, K. C. and Moore, C. W., 1977, *Body, Memory and Architecture*, Yale University Press
- Bosselmann, P., 1998, *Representation of Places- reality and realism in city design*, University of California Press
- Bouchlaghem, D., Shang, H., Whyte, J. and Ganah, A., 2004, *Visualisation in architecture, engineering and construction*, Automation in Construction 14(3): pp. 287-295

- Bowman, D. U., Kruijff, E., LaViola, J. J. and Poupyrev, I., 2005, *3D user interfaces: theory and practice*, Addison-Wesley
- Braun, M., 1995, *Picturing Time: The Work of Etienne-Jules Marey (1830-1904) (1830-1904)*, University Of Chicago Press
- Bridges, A. and Charitos, D., 1997, *On architectural design in virtual environments*, Design Studies 18(2): pp. 143-154
- Burdea, G. C. and Coiffet, P., 2003, *Virtual Reality Technology*, A Wiley-International publication
- Burden, E., 1988, *Design Simulation*, John Wiley, New York
- Burry, M.C., 2001, *Beyond Animation*, Architectural Design Profile no 150: pp. 6-16
- Calderon, C., Nyman, K. and Worley, N., 2006, *The Architectural Cinematographer: Creating Architectural Experiences in 3D Real-time Environments*, International Journal of Architectural Computing 4(4): pp. 71-90
- Campbell-Kelly, M. and Aspray, W., 1996, *A History of the Information Machine*, BasicBooks
- Ching, F. D.K., 1996, *Architecture-form, space, & order*, John Wiley & Sons
- Chu, C. C., Dani, T. H. and Gadh, R., 1997, *Multi-sensory interface for a virtual reality based computer aided design system*, Computer Aided Design 29(10): pp. 709-725
- Clark, R. H. and Pause, M., 1996, *Precedents in architecture*, 3rd edition, Van Nostrand Reinhold, New York
- Crawford, P., 2006, *Digital animation as a participatory tool for exploring community visions*, Environment and Planning B: Planning and Design 33(4): pp. 481-484
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J. and DeFanti, T. A., 1993, *Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE*, Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques SIGGRAPH '93, pp. 135-142
- Darling, D., 1992, *Visualizing people in time and space*, Environment and Planning B: Planning and Design 19(6): pp. 613-637
- Dani, T. H. and Gadh, R., 1997, *Creation of concept shape designs via a virtual reality interface*, Computer-Aided Design 29(8): pp. 555-563
- Ericsson, K. A. and Simon, H.A., 1993, *Protocol analysis : verbal reports as data*, The MIT Press, revised edition
- Fadel, G., Crane, D., Dooley, L. and Geist, R., 1995, *A link between virtual and physical prototyping*, in Proceeding of the SME Rapid Prototyping and Manufacturing Conference, Michigan, pp. 6-12
- Fear, B., 2000, *Architecture + film II*, Wiley-Academy
- Frohlich, T. and Kruse, R., 2005, *Cybernarium-A Mixed-Reality Edutainment Center*, Disappearing architecture:from real to virtual to quantum edited by Georg Flachbart and Peter Weibel, Birkhauser

- Fukuda, T., Kaga, A., Nagahama, R., Shibano, N., Sasada, T., Liu, Y.-T., 2005, *The World's Largest VR-Dome for Collaborative Design*, CAADRIA'05, India, pp. 203-213
- Fukuda, T., Kaga, A., Izumi, H., Terashima, T., 2009, *Citizen Participatory Design Method using VR and A Blog as a Media in the Process*, International Journal of Architectural Computing, (7)2: pp. 217-233
- Galán-Díaz, C., Conniff, A., Craig, T., Laing, R., Scott, S., 2006, *Walking participants through a virtual model: how we got there and its implications*, Cognitive Processing 7 (supplement 1), pp. 33-36
- Gombrich, E. H., 1995, *The Story of Art*, Phaidon press, 16th edition
- Gibson, W.: 1984, *Neuromancer*, Ace Books, New York
- Henderson, K., 1999, *On line and on paper: visual representations, visual culture, and computer graphics in design engineering*, MIT press
- Heufler, G., 2004, *Design Basics-from ideas to production*, Niggli Verlag
- Howard, I. P., 2002, *Ch3 Depth Perception of Stevens' Handbook of Experimental Psychology*, Vol 1 Sensation and Perception, John Wiley & Sons
- Howard, I. P., 1996, *Alhazen's neglected discoveries of visual phenomena*, Perception 25(10): pp. 1203-1217
- Howard, I. P. and Wade, N. J., 1996, *Ptolemy's contributions to the geometry of binocular vision*, Perception 25(10): pp. 1189-1201
- Huang, Y. H., Liu, Y. T., Lin, C. Y., Chen, Y. T., Chiu, Y. C., Oh, S., Kaga, A. and Sasada, T., 2001, *The comparison of animation, virtual reality, and scenario scripting in the design process*, CAADRIA'01, Australia, pp. 231-239
- Kalawsky, R. S., 1993, *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*, Addison-Wesley
- Kalay, Y. E., 2004, *Architecture's new media :principles, theories, and methods of computer-aided design*, MIT Press
- Kaufman, L., 1974: *Sight and mind-an introduction to visual percetpion*, Oxford University Press
- Krier, R., 1988, *Architectural Composition*, Rizzoli, New York
- Liu, Y. T. and Bai, R. Y., 2001, *The Hsinchu experience: a computerized procedure for visual impact analysis and assessment*, Automation in Construction 10(3): pp. 337-343
- Liu, Y. T. and Tang, S. K., 2003, *Space, Place and Digital Media: Towards a Better Simulation of a City that has now Disappeared*, International Journal of Architectural Computing 1(1): pp. 112-129
- Liu, Y. T., 1996, *Understanding of Architecture in the computer Era*, Hu's, Taipei
- Liu, Y. T., 1991, *Schematic-designer: a knowledge-based CAD system for schematic design in architecture*, Design Studies 12(3): pp. 151-167
- Lynch, K., 1960, *The image of the city*, MIT Press

- Maller, A., 1991, *Toward a critical architectural representation*, Design Studies 12(2): pp. 67-72
- Manovich, L., 2001, *The Language of New Media*, MIT press,
- Martens, B. and Peter, H., 2004, *ArchiCAD Best Practice-the virtual building revealed*, Springer Wien, New York
- Mazuryk, T., Gervautz, M., 1996, *Virtual Reality: History, Application, Technology and Future*, <http://www.cg.tuwien.ac.at/TR/96/TR-186-2-96-06Paper.pdf>
- Migayrou, F. and Brayer, M. A., 2001, *ArchiLab :radical experiments in global architecture*, Thames & Hudson
- Millon, H. A., 1994, *The Renaissance from Brvnelleschi to Michelango Rizzoli*, New York
- Mine, M. R., 1997, *ISAAC- a Meta-CAD system for virtual environments*, Computer-Aided Design 29(8): pp. 547-553
- Mitchell, J. W. and McCullough, M., 1994, *Digital design media*, Wiley; 2 edition
- Mitchell, J. W., 1977, *Computer-Aided Architectural Design*, Van Nostrand Reinhold Company
- Moggiridge, B., 2007, *Designing Interaction*, MIT press
- Mullins, M. and Strojan, T. Z., 2004, *Depth Perception in CAVE and Panorama*, 22nd eCAADe Conference Proceedings, pp. 136-141
- Nagakura, T. and Chatzitsakyris, P., 2006, *A Synthetic Moviemaker for Spatial Representation*, ACM SIGGRAPH
- Neumann, D., 1999, *Film Architecture: set designs from Metropolis to Blade Runner*, Prestel Verlag
- O'Neill, M. J., 1991, *Effects of signage and floor plan configuration on wayfinding accuracy*, Environment and Behavior 23(5): pp. 553-574
- Passini, R., 1996, *Wayfinding design: logic, application and some thoughts on universality*, Design Studies 17(3): pp. 319-331
- Passini, R., 1992, *Wayfinding in architecture*, Van Nostrand Reinhold, New York
- Penz, F., 2004, *The architectural Promenade as narrative device- practice-based research in architectural and the moving image*, Digital Creativity 15(1): pp. 39-51
- Penz, F., 2003, *Architecture and the Screen from Photography to Synthetic Image- capture and building space, time and motion*, In Thomas, M. and Penz, F., *Architectures of Illusions*. Intellect Books, Bristol
- Perez-Gomez, A. and Pelletier, L., 2000, *Architectural representation and the perspective hinge*, The MIT Press
- Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H., 2002, *Interaction design: beyond human-computer interaction*, John Wiley & Sons, Inc.
- Porter, T. and Neale, J., 2000, *Architectural supermodels: physical design simulation*, Architecture Press

- Rasmussen, S. E., 1964, *Experiencing Architecture*, The MIT Press
- Rhodes, P., McCartney, K. and Powell, J., 1992, *Narrative structures within architectural videos*, *Design Studies* 13(4): pp. 355-378
- Ruddle, R. A., Payne, S. J. and Jones, D. M., 1998, *Navigating Large-Scale "Desk-Top" Virtual Buildings: Effects of Orientation Aids and Familiarity*, *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 7(2): pp. 179-192
- Ryan, M. L., 2001, *Narrative as Virtual Reality-immersion and interactivity in literature and electronic media*, the Johns Hopkins University Press
- Sasada, T., 1999, *Computer Graphics and Design: Presentation, Design Development and Conception*, *Proceedings of CAADRIA*, pp. 21-29
- Schön, D., 1983, *The reflective practitioner*, Basic Books, New York
- Schiffman, H. R., 2000, *Sensation and Perception- an integrated approach*, 5th edition, John Wiley & Sons
- Schwarzer, M., 2004, *Zoomscape-architecture in motion and media*, Princeton Architectural Press, New York
- Shepard, R., 1990, *Mind Sights*, W. H. Freeman and Company
- 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*
- Smith, A. C., 2004, *Architectural model as machine-a new view of models from antiquity to the present day*, Architectural Press
- Simon, H., 1969, *The science of the artificial*, The MIT Press
- Stanney, K. M., 2002, *Handbook of Virtual Environments-Design, Implementation, and Applications*, Lawrence Erlbaum Associates
- Sutherland, I. E., 1964, *Sketch pad a man-machine graphical communication system*, *Proceedings of the SHARE design automation workshop DAC '64*, pp. 329-364
- Sutherland, I. E., 1968, *A Head-Mounted Three-Dimensional Display*, *proceedings of the Fall Joint Computer Conference*, Washington, D. C.
- Swathika, A., Yoon, S.-Y. and Uddin, M. S., 2006, *Architectural Animation and Cinematic Interaction*, *Proceedings of the 11th CAADRIA*, pp.197-202
- Szalapaj, P., 2005, *Contemporary Architecture and the Digital Design Process*, Architectural Press
- Temkin, A., 2003, *Seeing Architecture with a Filmmaker's Eyes*, 22nd ACADIA, pp. 227-233
- Thomas, M and Penz, F., 2003, *Architectures of Illusions - from motion pictures to navigable interactive environments*, Intellect Books
- Vassil, B., 1997, *Virtual reality- a communication tool for urban planning*, <http://fos.prd.uth.gr/vas/papers/CAAD-TNDC/index.html>
- Wade, J. N., 2001, *Leonardo da Vinci's Struggles with Representations of Reality*, Leonardo

- Wan, H., Gao, S. and Peng, Q., 1999, *An integrated virtual design and virtual assembly environment*, in Proceedings of International Conference on Computer Aided Design and Computer Graphics, Shanghai, pp. 131–137
- Watt, Alan., 2000, *3D Computer Graphics*, 3rd, Addison-Wesley
- Ware, C., 2004, *Information visualization-perception for design*, Morgan Kaufman
- Weiser, M., 1995, *The computer for the 21st century*. Human-computer interaction: toward the year 2000, Morgan Kaufmann, 2nd edition, pp. 933-940
- Well, P., 1998, *Understanding Animation*, Routledge, New York
- Wertheim, M., 1999, *The Pearly Gates of Cyberspace*, W. W. Norton & Company
- Wu, Y. L., Liu, Y. T., Huang, Y. S., Wu, P. L., Wong, C. H., Wang, T. H., Gao, W. P. and Shih, W. L., 2004, *A New Interaction of Digital Exhibition*, CAADRIA'04, Korea, pp. 731-739
- Wu, Y. L., 2003, *A Digital Modeling Environment Creating Physical Characteristics*, CAADRIA'03, Thailand, pp. 385-391
- Wu, W. N., Wu, Y. L., Lin, C. C., Hou, J. H., Liang, H. L. and Liu, Y. T., 2006, *3D User Interface Study in the VR CAVE*, CAADRIA'06, Japan, pp. 379-386
- Wu, Y. L., Lim, C. K., Hou, J. H., Lee, Y. Z., Liu, Y. L., 2005, *Multiple Digital Media in Realizing Future Spaces*, CAADRIA'05, India, pp. 314-319
- Yates, P., 2004, *Distance and Depth*, Design Presentation edited by Gabriela Goldschmidt and William L. Porter, Springer, pp. 3-36
- Ye, J., Campbell, R. I., Page, T. and Badni, K. S., 2006, *An investigation into the implementation of virtual reality technologies in support of conceptual design*, Design Studies 27(1): pp. 77-97
- Zevi, B., 1993, *Architecture as Space-How to look at Architecture*, First Da Capo Press
- Zheng, J. M., Chan, K. W. and Gibson, I., 1999, *A VR based 3D graphics user interface for CAD modeling system*, in Proceedings of ASME International Design Engineering Technical Conferences, pp. 182–190

中文

- Angrill, M. C. and Parramon, J. M. (陸谷孫/黃勇民譯), 1997, *透視*, 三民書局, 台北
- Banham, R. (王紀鯤譯), 1962, *Guide to modern architecture*(近代建築概論), 台隆書店
- Danby, M. (孫宇立譯), 1962, *Grammar of Architectural Design*(建築設計原理), 台隆書店
- Giedion, S. (王錦堂/孫全文譯), 1993, *Space, Time and Architecture*(空間, 時間, 建築), 台隆書店
- Heuser, K. C. (楊淑茹譯), 2004, *Innenarchitektur und Raumgestaltung*(室內建築與空間設計), 六合出版社
- Krier, R. (吳玉成譯), 1983, *Elements of Architecture*(建築元素), 胡氏出版社
- Le Corbusier, (施植明譯), 1923, *Vers Une Architecture*(邁向建築), 田園城市
- 林楚卿, 2007, *利用 CAD/CAM 建構之提升輔助數位設計過程*, 交通大學土木工程學系博

士論文, 新竹

黃玉珊 & 余為政, 1997, *動畫電影探索*, 遠流出版社

劉育東, 2007a, *明日建築－實體、虛擬、互動、空間*, 台北市立美術館展覽專輯

劉育東, 2007b, *數位建築與東方實驗*, 天下文化

劉育東, 1996, *建築的涵意－認識建築、體驗建築、並瞭解建築設計*, 胡氏出版社

漢寶德, 2007, *認識建築*, 藝術家

網站

3D film, 2007, http://en.wikipedia.org/wiki/3-D_film#_note-limbacher

3D虛擬動物園, 2004, <http://zoo.e-tobe.com/content.php?id=16>

DirectX, 2007, <http://en.wikipedia.org/wiki/DirectX>

Dreamworks, 2007, <http://www.dreamworks.com/>

Hitachi, 2005, *Nature Contact*, http://www.expo2005.or.jp/en/venue/pavilion_private_f.html

Guggenheim Virtual Museum, 2007,

http://www.guggenheim.org/exhibitions/virtual/virtual_museum.html

IMAX, 2007, <http://www.imax.com/ImaxWeb/welcome.do>

iZ3D, 2007, <http://www.iz3d.com.tw/home.html>

Immersion, 2001, http://www.immersion.com/3d/products/cyber_force.php

Lee, J. C., 2007, *Head Tracking for Desktop VR Displays using the Wii Remote*,

<http://www.cs.cmu.edu/~johnny/projects/wii/>

OpenGL, 2007, <http://www.opengl.org>

Olympus, 2007, <http://www.olympus-global.com/en/news/2000b/nr001012fmd20pe.cfm>

Pixar, 2007, <http://www.pixar.com/>

Second Life, 2007, <http://secondlife.com/>

SensAble, 2002, <http://www.sensable.com/haptic-phantom-desktop.htm>

Wii, 2007, http://e3nin.nintendo.com/wii_accessories.html

工研院, 2002, 光電所, http://www.oes.itri.org.tw/coretech/imaging/img_vrr_adv_001.html

工研院, 2007, 電光所, <http://www.eol.itri.org.tw/>

台中科博館, 2004, <http://www.nmns.edu.tw/nmns/03theater/>

台北天文館, 2003, *立體劇場*, http://www.tam.gov.tw/frame/3d_frame.htm

高雄工藝博物館, 2004, *大銀幕電影院*,

http://www.nstm.gov.tw/theater/04_01_a1.asp?menu=1

個人簡歷

吳彥良，現為交通大學建築所博士班學生。2001 年畢業於元智大學資訊傳播學系，2002 年進入交通大學建築所數位媒材組，碩士論文為 3D 反光球在 VR CAVE 中的互動。主要的研究領域關注於電腦動畫、互動式虛擬實境與立體視覺在設計上的應用。曾經參與智慧型環境適應性個人移動載具之創新設計(2009)、澎湖天后宮雕塑裝置之 VR 呈現可行情評估(2008)、明日建築展之明日虛擬與明日歷史空間的展出(2007)、歷史建築與城區數位媒材資料調查分析研究計劃(2005)、2050 創意台灣(2004)、蒲添生數位雕塑博物館(2003)與虛擬長安(2002)等專案。其他學術發表之著作如下：

Wu, Y. L., 2009, *Some phenomena in the spatial representation of virtual reality*, CAADRIA'09, Taiwan, pp. 143-152

Wu, W. N., Wu, Y. L., Lin, C. C., Hou, J. H., Liang, H. L., Liu, Y. T., 2006, *3D User Interface Study in the VR CAVE*, CAADRIA'06, Japan, pp. 379-386

Wu, Y. L., Lim, C. K., Hou, J. H., Lee, Y. Z., Liu, Y. L., 2005, *Multiple Digital Media in Realizing Future Spaces*, CAADRIA'05, India, pp. 314-319

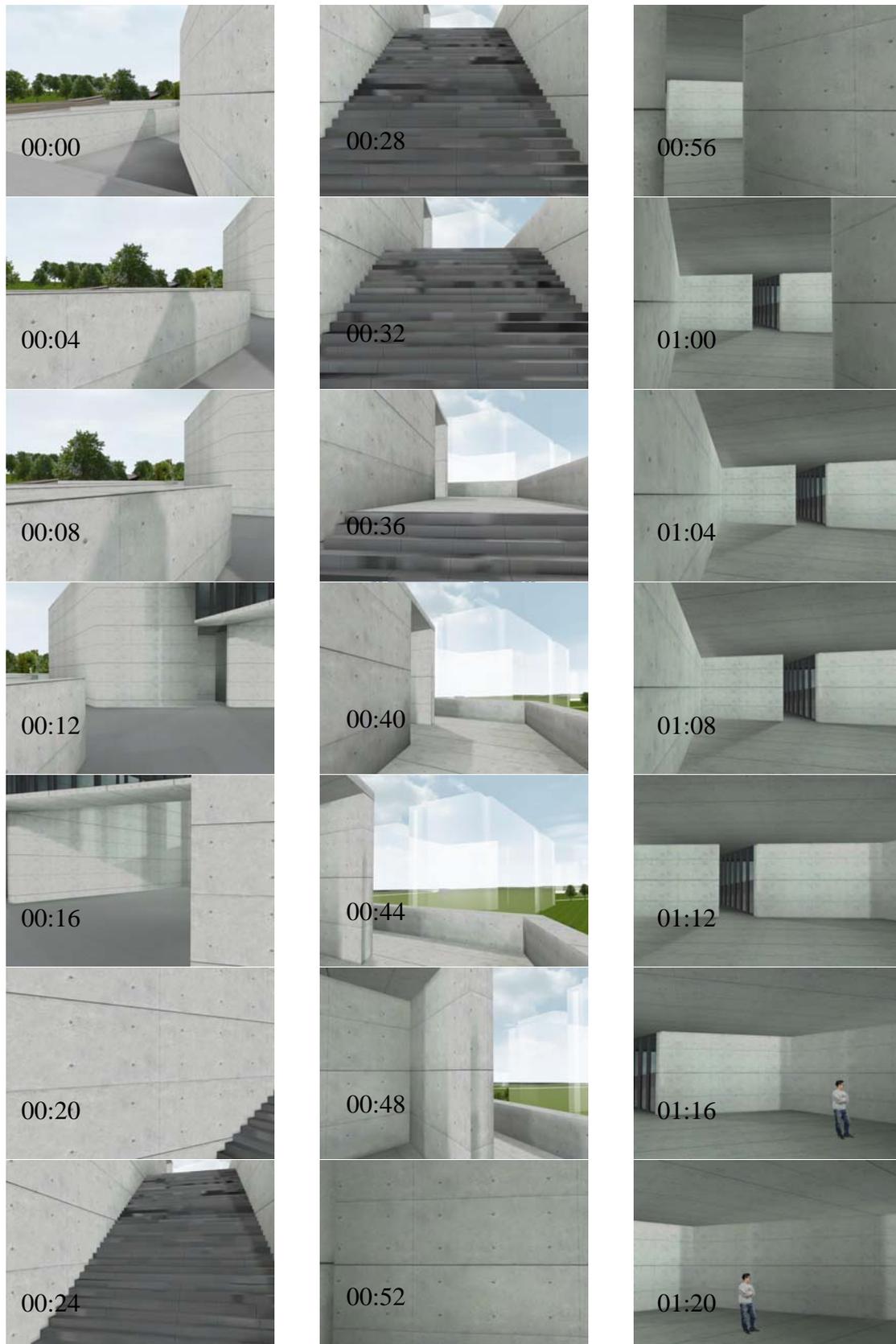
Wu, Y. L., Liu, Y. T., Huang, Y. S., Wu, P. L., Wong, C. H., Wang, T. H., Gao, W. P., Shih, W. L., 2004, *A New Interaction of Digital Exhibition*, CAADRIA'04, Korea, pp. 731-739

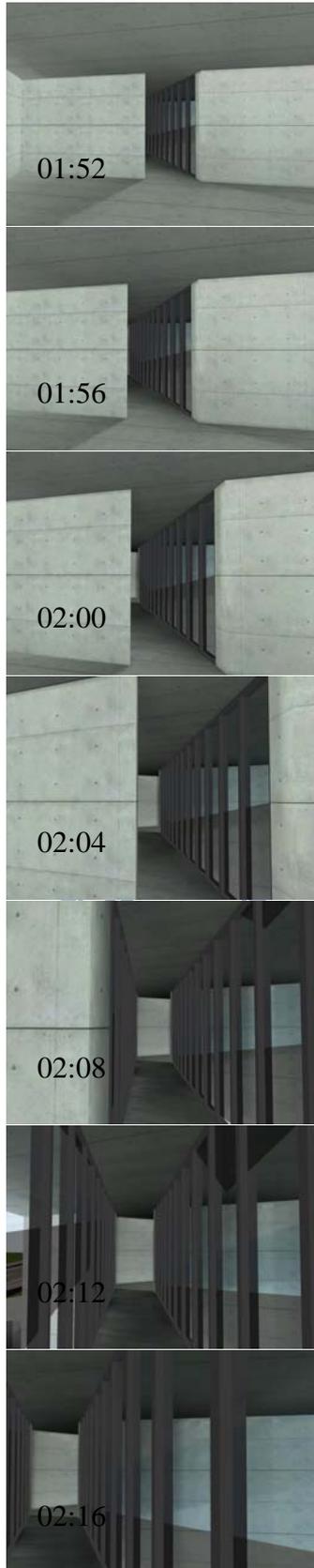
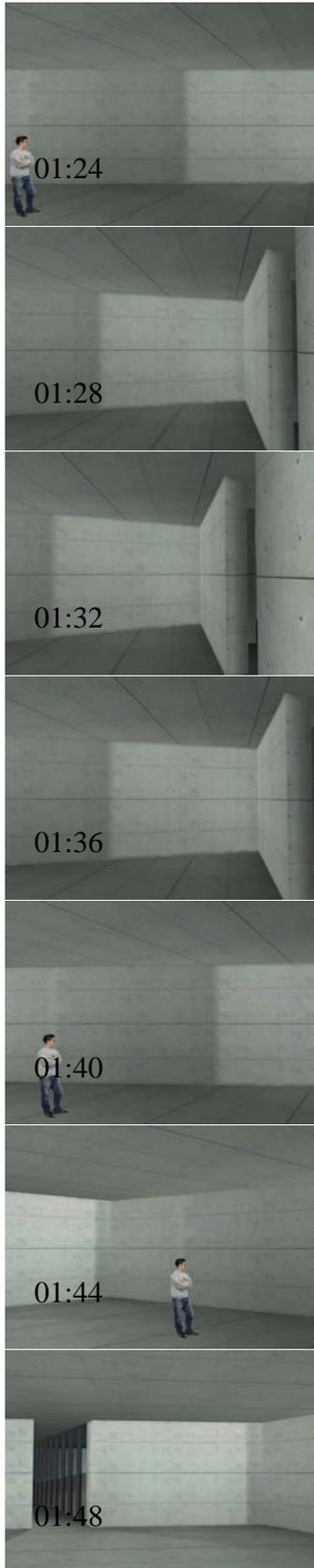
Wu, Y. L., 2003, *A Digital Modeling Environment Creating Physical Characteristics*, CAADRIA'03, Thailand, pp.385-391

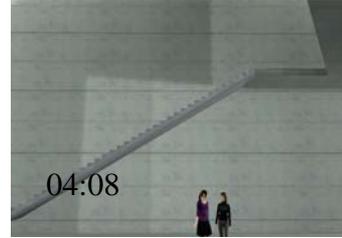
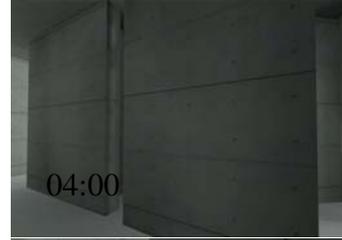
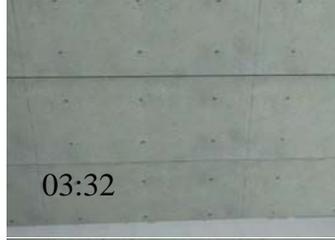
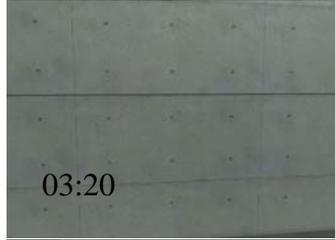
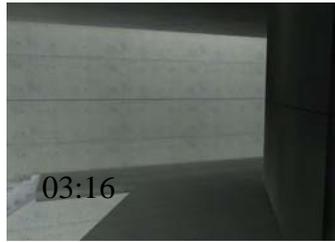
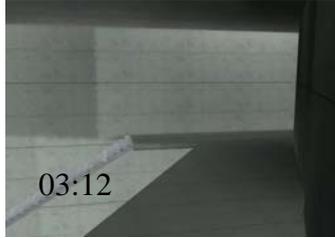
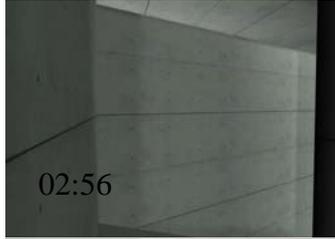
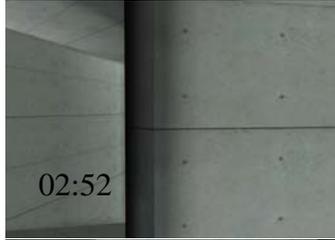
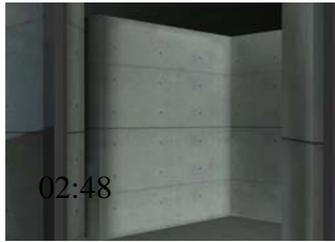
Tang, S.K., Liu, Y.T., Fan, Y.C., Wu, Y. L., Lu, H.Y., Lim, C.K., Hung, L.Y. and Chen, Y.J., 2002, *How to simulate and realize a disappeared city and city life? -- A VR cave simulation*, CAADRIA'02, Malaysia, pp. 301-308

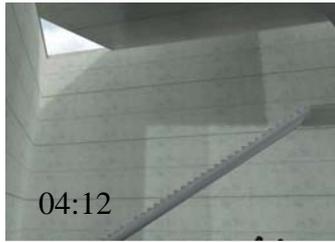
附錄一 動畫影片片段

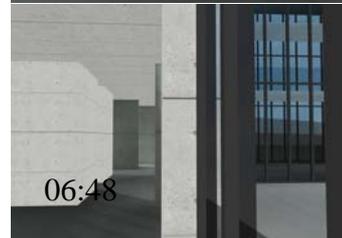
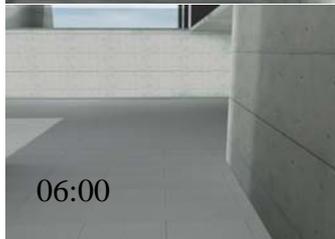
影片長度為 10500 影格/25(f/s) = 7 分 00 秒，下圖為每 4 秒(100 影格)的部份影片片段。











附錄二「立體動畫」實驗之口語資料

設計者

時間 (分:秒)	受測者(受)/ 問話者(問)	口語資料
00:09	(受)	這是一個好像要經過很狹窄的空間，旁邊下面是個樓梯，右邊有一個還滿高的牆，…大概是三米吧!...判斷是因為可能旁邊的欄杆可能是一米……一米多…
01:06	(受)	其實畫面在進行的時候，會對 scale 掌握不是很明顯，因為視角一直在改變，所以它能夠可以相對比 scale 的並不是那麼準確，現在看這面牆並不是一米多了，我覺得它大概……其實還滿難知道它是多高，可以知道空間是越來越狹窄，它應該是往右邊走…
01:50	(受)	如果說以一層樓是四米的話…，因為感覺這空間要挑高到四米的話…，其實剛剛……剛那個欄杆的短圍牆大概是一米多啦…，所以進來有一個廊道的…就是…下面好像是有像走廊的戶外空間……那樣的 scale…我會覺得是四米
03:01	(受)	覺得上面是一個廊道，下面是個戶外空間，可以繼續往前走，… 旁邊好像有一扇門，… 可以上去…感覺是凹進去的，可能是個是路口… 可以知道它是個路口
03:44	(受)	原來這樓梯這麼短…很陡
04:00	(受)	很明顯它是上去一個樓梯的一個 deck… 所以其實還是…可以看到左半邊因為陰影的關係……可以知道它是有一個路口 …有個…路口可以從左邊進去的，在入口的後面好像又有個陽台，也是可以繼續往裡邊走所以左邊是有兩個路口可以進去的
04:42	(問)	現在進來 這是 A 空間
04:52	(受)	一進來就可以看到戶外的那個廊道，從這個角度…一進來可以看到剛剛串連的空間
05:08	(問)	你怎麼知道這是剛剛那個廊道?
05:10	(受)	剛剛上樓梯的相對位置 再轉過來 就覺得它應該是剛剛那個廊道
05:46	(受)	我覺得這個空間很難判斷它到底是方形還是其他形狀，因為我只知道它有幾面去組成的，但是沒辦法…以看到三面來確定它到底是什麼形狀
06:13	(受)	從這個角度看，其實…右邊有個路口……其實…很難判斷是剛剛進來的路口…，感覺上很像不是，因為剛剛進來的路口…進來的時候左邊是牆…入口左邊就會貼著牆，不會像中間兩個牆…這個開口像中間…剛那是貼著牆…所以應該不是剛剛那個入口

07:41	(受)	我覺得人的用意就是抓它空間的大小或空間的高度吧!...大蓋一米七多吧!...所以空間的高度應該有四米...或是三米吧! 然後這個門的尺寸應該是一米二而已耶...
08:06	(受)	所以我要寫它的長寬高是不是...
08:10	(問)	對...你覺得它的長寬高大概多少?
08:24	(受)	這怎麼判斷?
09:13	(問)	你怎麼判斷它的造型是這樣子的?
09:40	(受)	可能是個...長方形吧...感覺上
09:45	(問)	你怎麼判斷的?
09:49	(受)	因為這面牆感覺比較長，轉過來的時候沒有在第一面的時候常...其實很難去確定它是不是矩形，因為它很可能是平行四邊形
10:05	(問)	所以你怎麼確定它是..?
10:10	(受)	只能透過牆面的形狀、以及牆邊的夾角與地板角邊揣測耶!
10:31	(問)	現在看到什麼東西?
10:34	(受)	我看到一個空橋...有頂蓋的橋...橋是用很多鋼...去組構而成...感覺很密...
11:07	(受)	從這個空橋看下去，可以看到柱子...外露的圓柱...圓柱...等等...是方柱，看出去這個空間還是個半戶外，可以看到玻璃牆
12:04	(受)	降看起來柱子，每根柱子好像很密...剛那個角度看就沒那麼密
12:21	(問)	看到什麼嗎?
12:23	(受)	它是個路口...進來的時候，左邊有個入口，右邊也有一個空間，可是不確定是否可以往右走，...可以確定是往左走，左邊是有路到另一個空間的
12:46		一進來會覺得下面有個地板，可是地板下面...我在想是樓梯吧! ...現在看不出來是個懸崖這樣子
13:15		嗯...這個空間...從剛剛像懸崖的地方下去...有可能是個...空間還要低一層...像挑空在類似三角形的空間，上面有一個三角形的開口，上面有天窗的感覺
13:43	(問)	這是空間 B, 看到什麼?
16:02	(受)	它就是...跟我剛剛想...應該三角形的空間...這個樓梯是順著三角型的斜邊下去的，所以在頂端會有銳角、尖角的產生...這是個往下的空間
16:08	(受)	我在想...這個出去...就是剛剛一下樓梯要...上面有那個廊道，剛剛說的縫...以為有路口的那個縫.....在一開始的時候，所以外面可以看到 A 空間在 C 空間的右邊
16:35	(問)	你怎麼知道上面是個廊道?
16:39	(受)	剛剛下來...因為從剛下來來的那個廊道空間判斷相對位置的關係
17:06	(受)	從這個畫面看，右邊有個路口可以進去...進去就可以出去...在左邊有一條縫感覺上無人可以走的，是可以看到後面空間的一個開口...在盡頭因為光的關係，可以在繼續往右走，然後看到有人，所以由這個人去判斷...去判斷...這個空間可能超高的...應該有五米吧....
17:55	(問)	五米..你是指?

17:57	(受)	樓梯的高度
18:24	(問)	所以 B 間造型是怎樣?
18:26	(受)	三角形的空間 這個就很容易確定被判斷
18:37	(問)	然後他多高...你說三角形...你剛是怎麼判斷的阿?
18:40	(受)	空間的形狀阿
18:48	(問)	你從那邊看出它空間的形狀
18:50	(受)	它的形狀就是三角形阿...
18:58	(問)	從哪邊看到它是三角形...你還記得嗎?
19:07	(受)	當我看到樓梯...就樓梯一下去...下到底...再轉過來看...就可以確定它應該是三角形啦
19:24	(問)	這個空間 B 的長寬高大概多少?
19:29	(受)	八米乘八米...高十米吧
20:14	(受)	右邊出去, 看到剛剛可能在廊道往下看的方柱...所以在這個地方, 從 A 空間到 B 空間的廊道, 在左邊地方可以看到剛剛挑高的方柱
20:46	(受)	..C 空間可以看到很多方柱撐起的半戶外空間, 它應該有高低...在地平的地方它是有樓梯可以往下, 可以看到斷層
21:13	(受)	然後有一個戶外的空間, 跟 C 是相連的...但是...那個高度不是人可以上去的...不確定耶 那個高度大概是八十公分高這樣子
21:48		這裡就是 C 空間的右邊可以往下...有一個比較窄的...兩面牆...有一個樓梯可以往下, 再左邊一點又有一個樓梯可以往上, 它跟馬路的高度是有落差的...高低差的
22:25		嗯...從剛剛那個...左邊那個方向, 往上走樓梯, 它應該是上個半層樓吧...在有一個平的...它其實是個矮牆...可以知道...右手邊只是扶手...高度的矮牆
22:49		回過頭來看...這個空間是跟 C 空間相連的...從剛剛相對位置來看的話, 就是讓人家不能踏上來...大約八十幾公分的高度...然後再看到這個 C 空間
23:24		從這裡看的話, 沿著 C 空間一直往下走, 從這個平面看...應該有個高度的空間, 但不能判斷它有多高, 左邊這個空間話...牆的感覺好像是比較高的, 是沒辦法越過去的...
23:54	(問)	即將離開 C 空間了, C 空間是怎樣的造型, 然後進入跟出去的點在哪邊? C 空間的高度多高?
24:53	(受)	應該有我再想...十二米高
24:54	(問)	怎麼判斷十二米高?
25:02	(受)	因為它往上有挑空...它又是往下走
25:10	(問)	你說最高是十二米高..
25:12	(受)	對...最高是十二米高...其實很難判斷...只能用猜的, 它是一個比較長的...因為是往下走的...
26:50	(問)	怎麼判斷 C 空間造型

26:55	(受)	它週圍相鄰的一些建築物以及有一些沒有被包圍的大開口
27:17	(受)	這應該是兩個建築物中間的過度地帶 是 C 空間穿出來的一個樓梯 往下走的
27:34		右邊是的半外外空間 上面是個量體 上面可能是個空間 可以看到 天空 那個藍色的部分應該就是天空
28:14	(受)	左邊那個應該是有個牆，上面應該是個玻璃的分割，再從左邊感覺像是下個 樓梯，才有露出一點小門…剛說的那個天空…是有個頂蓋的…一堵圍牆…外 面有半外的空間這樣
29:01		可以看到很大很大面的玻璃…玻璃窗…後面…嗯…玻璃窗的後面應該…有兩 個廊道從他上方通過，由廊道來判斷的話，所以是個挑高的三層樓
29:32	(問)	現在進入 D 空間…
29:44	(受)	…嗯…D 空間跟剛剛比起來…感覺矮很多…這高度可能只有兩米八以內，可 能吧…嗯…繼續…我看到人…這個空間好像比較小…它應該…是方形的
30:55	(問)	然後高度大概多高?
30:57	(受)	兩米八
31:00	(問)	剛剛它的路口是在那?它的玻璃面在哪?
31:10	(受)	在這裡……這邊是石牆
31:46	(問)	你今天看的你還能不能回想，它 ABCD 四個空間?
32:18	(受)	這裡有個樓梯，可以看到剛的玻璃…然後樓梯下去…所以天空在這裡…C 空 間…有很多柱子的
32:37	(問)	那你怎麼判斷它 ABCD 的相對位置?
32:47	(受)	有可能是你的運鏡…你要看哪個方向都可以啦……這樓梯是往上到 A 空間 之後…剛剛那個很窄的廊道…往左邊走…可以看到挑空的樓梯…在從它下面 穿上來…透過這個廊道然後看到 C 空間很多柱廊…然後走到這裡…往這邊 走…從 C 看出去有個量體…卡在這裡…是一個空的…中間是空的
33:31	(受)	然後…一個樓梯…短樓梯…從這裡上到這裡來…一下來看到是個廣場…這廣 場可以從這邊看到往下的錯層…這邊有個建築物…這裡是玻璃的…然後有廊 道…可以看到比較矮的 D 空間…這裡是玻璃面…然後入口是從這裡…然後它 裡面這邊是石牆…然後有個空的，可能可以連街到這個地方，這裡有柱子， 所以它相對關係大概是依它的空間排列與空間連接去判斷彼此的關係、主次 入口
34:30	(受)	你運鏡的方式，然後我邊看就可以知道大概的關係，只是對於空間尺度很難 判斷…只知道比較的話 D 是最小的… C 很大…B 也滿小的，可是它很高…它 是高的……A 是比 B 還要大的空曠的空間，只是 B 比較高，只能用比較關係 看出來…沒辦法知道確切是怎樣的形狀…只有 B 比較可以確定它三角形，因 為它的樓梯…它的銳角，然後這個是平的，然後比較確切的知道它是三個邊 組成，…然後 A 空間透視有點大，所以我不太確定它是不是方形，可是知道它

		是四面牆
--	--	------

觀看者

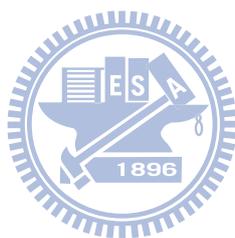
時間 (分:秒)	受測者(受)/ 問話者(問)	口語資料
01:55	(受)	左手邊像入口...像門口的，所以它是一個入口..... 這是一個入口... 這棟建築物大部分都是石板 ...連地面都是石板...天花板給我的感覺並不像是平面的...比較像是三角的
02:50	(問)	這是 A 空間
02:54	(受)	感覺非常寬、非常的空
03:02	(受)	我還有看到正前方有一個路口...我想它應該是門的裝置吧?.....它天花板的顏色是不一樣的，是比較暗沉的顏色...終於看到人了，...所以以 那個人的比例大小的話，這個空間的確是蠻大的 ，而且是非常的大...這邊...有一個缺口，右手邊有一個缺口，這個缺口可能是另外一個空間...兩個空間的連結...但是從這樣來看天花板又是平面的，並沒有剛剛那個入口時覺得它可能是立體的感覺
04:10	(問)	覺得這個空間造型它是怎樣的?
04:12	(受)	它是一個斜的
04:14	(問)	怎樣斜的...可以用畫的嗎?
04:16	(受)	可以阿 (畫圖中..)
05:26	(問)	這個 A 空間的長寬高大概多少? 寬就水平位置...長是深度就是從剛進來到這道牆大概多長.....高就是看起來高度多少?
06:40	(受)	長是四公尺, 因為一般的入口一公尺嘛...我亂猜的.....因為感覺...所以就直接寫一個 8 公尺...
06:59	(問)	那你怎麼判斷? 那個長寬高?
07:04	(受)	長的話我根據門的寬度...基本上來講...大概門的寬度一般是大概一公尺或九十公分...所以這面的話，因為你剛那樣講，我稍微想一想，長度大概有六七八 ...六七公尺... 蠻長型的一個房間
07:32		至於入口那邊，我是憑之前的印象，從入口照到這邊並不是很長..那它是根據我家裡的房間...因為我之前買房子時有稍微測一下，所以大概這種感覺跟自己家裡看到的長度差不多，因為家裡的那面牆大概是三到四公尺
08:01	(問)	那高度呢?
08:03	(受)	高度的話是根據人站的位置再往上算
08:07	(問)	剛那空間造型你是以什麼去判斷?
08:13	(受)	一開始，因為天花板是深色又有橫條，所以一進來時我以為它是個三角形的樣子，可是一直到你走到人那邊時，看就是平面的，所以我判別它是平面...它是一個方形...是立體面喔!不是它的平面.....建築物的立體面..... 是建

		築物立起來的樣子..是方形
08:50	(問)	它平面..它的造型你根據什麼東西去判斷?
09:02	(受)	因為我看牆跟兩面牆的接縫它並不是一個直角，它是已經有點這樣子的... 銳角...延續下去到另外一邊，所以我判斷這邊空間大，那邊比較小 ...
09:30	(問)	所以主要是根據那個銳角?..
09:33	(受)	對...牆腳的角度....還有那個門...因為那個門是斜的...但是我可能是錯的，可能門是斜的而房間可能是正的..也有可能...
09:50	(問)	離開 A 空間了
10:03	(受)	看到走道 ...然後這邊有...應該...玻璃門...改變光線的明暗...就會顯示...不一樣的...因為這邊看到是地板...所以改變明暗就可以看到外面...這邊看到是建築物的外觀
10:46	(受)	右邊我看到的是地板的反射...但是你越往這邊靠的時候我就看的到外面...因為光線的改變我看的到...剛看到也許不是地板的反射...也許是外面的牆面
11:15	(受)	外面有圓柱嗎?這面看起來有點圓弧形...有變化的嗎... 這樣的柱子
11:56	(受)	走廊...感覺斜的...那地板的鋪設的角度去判斷...我覺得走廊應該是斜的...因為我覺得這個木板鋪設...從一進去到尾端.....讓人有點錯覺以為它是斜的
12:50	(問)	這是 B 空間
12:56	(受)	那是斜坡吧?!...還是那是影子...這是一個斜坡..這是一個向下的很長的樓梯 所以這個空間是很深
13:42	(受)	現在要下樓梯 樓梯的長度大概有...兩樓高...所以...這個空間大概有兩層樓吧, 和上一個空間比的話... 這邊我看到一個缺口...
14:40	(問)	你看到什麼或有在想什麼 ?
14:50	(受)	第一個是我在看這個空間到底有多高 第二個是這個空間 ...恩...因為剛剛樓梯下來的長度跟現在這樣實際看感覺是不一樣的，剛剛樓梯正面下去感覺比較短，現在降看蠻長的.....這不是一個密閉的空間...看到開口
15:33	(受)	在我的左手邊上方，有看到一個開口...是一個三角形的開口...
15:51	(問)	我們要離開 B 空間.....你覺得 B 空間的造型是怎樣子?
15:58	(受)我看不出來他的形狀，但是我覺得它是一個不規則的造型
16:05	(問)	你可以把她畫出來嗎? 它的平面
16:14	(受)	它應該是有一點類似....我是根據我剛剛看到那個三角形...它的角度並不是很正，不是直角，所以才畫成這個樣子
16:37	(問)	根據什麼東西判斷它是什麼造型?
17:01	(受)	因為它牆面給我感覺...這邊牆面有很多缺口..給我感覺不像是平面...不是很直...有點斜，但又沒有那麼斜
17:23	(問)	你剛說...是根據什麼?
17:25	(受)	因為我現在看的畫面，那個暗色部分牆面跟明亮的牆面的角度其實不是很

		正，所以給我感覺這道牆是一有點斜度的，還有那上面形成的角度給我感覺它是斜面的，...那個天花板的樓梯跟垂直比較暗的那一面形成的角度，比九十度來的大的，給我感覺它並不是很直得牆，它是有點斜的
18:29	(問)	B 空間的大小?
18:53	(受)	B 空間給我感覺是平面不是很大 但是它的高度很高, 大概有兩層樓半
19:17	(問)	然後它的寬度和長度?
19:47	(受)	大概一般的客廳.....所以是...6 公尺*4 公尺...
19:54	(受)	但是是正方體...對不起 ... 因為我覺得它是有幾乎正方形...它不像之前的空間是長型的, 高 5.5 公尺, 我用猜的,
20:45	(問)	再來是 c 空間
20:47	(受)	開放性空間? 是...
20:55	(受)	有很多看起來像方柱...對...沒錯...它是方柱...面有點圓弧...圓弧的方柱...這是前庭
21:27	(問)	看到什麼?
21:30	(受)	這裡有馬路跟樹.. 還有樓梯... 還有...左手邊有一道樓梯可以上去...耶...正要上去了..
22:02	(問)	看到什麼?
22:04	(受)	我看到 右手邊有建築物, 大塊玻璃做裝飾的建築...用玻璃當牆面的建築物 , 我在想我的左手邊是不是就是我看到的那個 C 空間.....是...然後柱子很高
22:40	(問)	這個空間造型怎樣? 你的直覺這個柱列空間造型怎樣?
23:01	(受)	空間造型...有很多柱子
23:06	(問)	它的平面造型長怎樣?
23:08	(受)	喔...它的平面造型...(畫圖中..)
24:28	(問)	看到什麼?
24:32	(受)	我注意到第二建築物還有一個建築物.空間....
25:00	(受)	這是階梯...這是牆面...這是建築物... 然後剛剛我們是從這邊下去的, 這裡有一個階梯, 下去後在上來, 有接到第二個.....擾亂了...
25:35	(受)	這裡, 建築物旁邊還有一個階梯
25:46	(受)	這階梯...阿~這階梯就是我們剛剛上來的階梯
25:52	(受)	因為剛我們不是有一個階梯上來可以看到左手邊 C 空間...應該是那個階梯上來又有一個可以下去的階梯.....我猜....
26:01	(問)	這空間的尺度?
26:05	(受)	高度的話, 至少有 6 公尺以上, 長度的話 15 公尺以上, 寬度則小一點, 大概在 10 公尺吧
26:23	(問)	然後....再來看到什麼?

26:25	(受)	很大的一個長廊... 這邊有屋頂遮住...所以在想會不會是不是另外一個室內空間...前方有一個缺口,不知道是不是個入口.. 上面是一個開放性空間..... 上面應該沒有屋頂.....那裡看到缺口...可是看到旁邊的建築物時,不太確定這個空間是不是上方有建築物,還是上方沒東西
27:24	(受)	.玻璃門,而且看不出來是可以進去的,很像沒有入口... 很多玻璃門,還有室內空間,...玻璃內有一根柱子,這是另外的空間嗎?
27:47	(問)	對..這就是我們要看的 D 空間
	(受)	這空間.....
28:13	(問)	..好我們離開...D 空間造型是怎樣? 剛剛我們入口是在那邊進去你標一下 你是怎麼判斷它的空間是這樣子?
28:44	(受)	它給我感覺是很方正...不是... 有點長型...不是不規則的方形...滿規則的長方形
29:20	(受)	對,一進去的時候 感覺是一個偏正的長方形
29:27	(問)	它的長寬高呢?
29:32	(受)	長寬高...給我感覺像是 我覺得他應該有.....3.2 公尺
30:07	(問)	怎麼判斷?
30:09	(受)	3.2 是..因為....它其實是...等一下喔...我是根據常識判斷,因為它並不是一個造形很特別的空間,一般來講,以住家來說,一間普通的房間高度大概是 3.2、3.4 左右
31:04	(問)	所以寬你是怎麼判斷?
31:06	(受)	它給我感覺像是小型的教室....我是根據..... 以人為比例來判斷,一般小型的空間大概是 4*6.....可以做 20 幾個人的空間
31:57	(問)	看完了... ,再來就是看過四個空間,覺得四個空間的相對位置是什麼?
32:10	(受)	.哇..好考驗記憶力..... 這是 A 空間, 這是入口.....(畫圖中)
36:10	(問)	你怎麼判斷空間組織?
36:13	(受)	因為一開始我們是從這邊進去...從這邊去 B 空間.....下樓梯...你帶我是這樣子走...然後.....轉一圈...你問我角度的問題.....之後我們往迴轉...下去之後...我們走到這裡...我畫錯地方了.....重畫
37:10	(受)	在這邊我們有討論,所以...我們又往回走...所以 c 空間應該在這.....C 在這裡.....C 空間.....然後這個樓梯...這個樓梯...那時候.....這邊有個建築物,所以我判別...它是...它其中一間是 b...因為這邊有一個樓梯下去,有很大的長廊...接著就回轉過來看到 b 空間...所以這是 C
40:10	(問)	你主要是根劇什麼判斷空間組織?
40:20	(受)	主要應還是他們的開口,像是主次入口與空間連接
40:53	(問)	它的空間動線呢?

41:02	(受)	空間動線...這裡過來...樓梯下來..... 這裡進去...然後...這裡...樓梯下去...下去之後...往這邊走...走出來後, 這邊就是 C,...然後..... 對不起, 我少畫一個...我現在往這邊....下了樓梯...然後往這看的...往這裡走...到 d
42:28	(問)	你怎麼判斷? 你怎麼判斷空間動線?
42:40	(受)	A 跟 B 是之間是走廊, ...B 跟 C 是一道門廊,... 出來之後是一個很大的廣場,... 然後 C 跟 D 之間是走道跟樓梯



附錄三 「立體虛擬實境」實驗之口語資料

設計者

時間 (分:秒)	受測者(受)/ 問話者(問)	口語資料
00:02	(受)	現在應該在入口的地方...因為我左邊是一個很長的牆壁...進去是一個空間...然後我覺得它的形狀應該是...好像不是正方形它應該是有點平行四邊形...不是那麼方正
00:34	(問)	你怎麼判斷它不是那麼方正?
00:43	(受)	有可能是因為...前面哪入口...在我前面像橋的那個入口是有斜度的...所以我在這個空間...可能因為透視角的關係...不是那麼方正...或許是他是方正...因為那個橋的關係它不是那麼方正...高度就人的高度的話應該有三米五...三米至三米五...我要走過那個橋嗎?
01:27	(問)	這是所謂的 A 空間...你就先針對這部分 A 空間...第一個就是它的空間造型是什麼樣子的?
01:48	(受)	他的空間造型是...應該是個梯型吧...它有兩個出口
01:55	(問)	空間造型...你可以把它畫出來...從入口角度看...它大概是怎樣子的?
02:18	(受)	它也有可能是不是...自己像要修正它...不知道它是不是正方形畫圖中...
05:50	(受)	我覺得它的長...假設開口是一米五好了, 然後長大概是這開口的 7 倍
07:45	(問)	這裡是 B 空間
07:54	(受)	由樓梯灣的角度, 我覺他是個三角形的空間, 而且是挑空的, 我們現在是在二樓, 然後遠方有一個天井, 這個尺度感覺不大, 不過樓梯感覺好像很多階, 我現站在這廊道看那樓梯的比例感覺是比較奇怪的, 我現在站的高度應有三米, 整個的大小應該 我現在是在一個廊道, 我左邊是個挑空, 右邊是個牆面, 然後這牆面有兩個開口,
10:00	(受)	我現在在畫那形狀,
10:50	(問)	請問你現在在找什麼?
10:54	(受)	我現在正在判斷它的形狀, 因為畫起來怪怪的, 所以再仔細的看一下它的形狀是長什麼樣子的.....畫圖中...
13:13	(問)	你怎麼判斷他的造形是怎麼樣的?
13:19	(受)	樓梯的形狀...天井
14:24	(問)	你怎麼判斷他是 6 公尺?
14:30	(受)	因為我感覺他的長和寬是一樣的,
15:35	(問)	這邊的尺度, 你是怎麼判斷的?
15:43	(受)	樓梯吧...假設樓梯是一米二...那就看是樓梯的幾倍...所以樓梯是我判斷因素...因為人的感覺...比較...稍小一些...樓梯一米二的感覺好像比較正常...而且我在的那個廊道...人的比例大概兩米多
16:27	(問)	所以就是再上面看是一米多...下來的
16:43	(受)	下來看感覺更大...但是樓梯那麼小...應該是以空間互相的比例做調整...覺得它應該是六呎
17:00	(問)	那現在到 C 空間.....你覺這空間造型是怎樣子的?
17:23	(受)	現在看到很多柱列...柱列很高...以人的比例來看應該有 10 米 ... 它是個樓梯...漸漸往下...我們應該在至高點形狀很難判斷...因為很多建築物是互相做切割...所以它的形狀...我覺得是不規則型...我可以造它互相切割的形狀...可

		以大概...畫出它的大概樣子...但比例是不精準的...就是哪幾階阿...左邊是玻璃面...右邊是開放的空間...好像到一個比較半室外的空間...這些柱子...是方的...我現在看它的形狀...我想依照它的每個空間所呈現的樣子去判斷它的形狀...我先到下面又到上面來...想要看看它到底長什麼樣子 所以假設我站在入口...另一邊牆應該是斜的...因為樓梯被切的形狀是銳角的...
19:25	(問)	你的左邊?
19:28	(受)	就是現在的右邊, 就這樣看, 他應該是斜的
21:46	(問)	那你怎麼判斷它的平面是這樣的?
22:00	(受)	因為它有開口...所以我覺得它應該
22:10	(問)	你怎麼知道它是階梯?
22:13	(受)	因為它是有落差的 剛剛降看...它好像是往下...但是不知道是不是...所以要走進來....
23:20	(受)	然後我覺得這個高度大概有 10 米到 12 米
23:25	(問)	怎麼判斷?
23:30	(受)	人的比例
23:40	(問)	深度呢 從這邊到這邊
23:47	(受)	應有 15 米, 因為我覺它應比高度還要再長一點....最寬的寬度應有 20 米, 我覺他大概有高度的兩倍...然後我判斷的的形狀是每棟建築物外圍的形狀,
25:13	(問)	我們來看最後一個 D 空間,
25:30	(受)	我覺這和第一個空間比起來, 它比較方正, 原因可能是他比較小, 所以他透視反而比較沒那麼誇張, 然後中間有一根柱子, 它有三面方形的牆, 然後一面玻璃面, 有個開口, 這開口應有 1.2 米, 以這開口做基準的話, 旁邊這面牆應有 4 米, 應比另一面牆長一點,
26:57	(受)	因為以人的尺度來講...那個人稍微瘦一點...以高度假設人是一米七八...高度來看只有三米..至三米五...所以以降子來...看 那旁邊應該只有一米五 ... 一米二到一米五
27:35	(問)	跟高度一樣是透過人來判斷?
27:38	(受)	對.
27:56	(問)	你是怎麼感覺他是方方正正的?
28:00	(受)	因為牆跟牆間...因為空間小...透視不是很失真...所以我覺得它就應該是正方形
28:41	(問)	那我們回到空間 A.....接下來請你去走...回答它的空間組織、空間相對位置...你可以試著找到這四個空間的連結?
28:55	(受)	(自由導覽中)
32:53	(受)	..D 在哪?..
33:09	(問)	你現在找不到?
33:11	(受)	找不到 D 跟其他的關連
33:56	(問)	剛剛你找不到?
33:58	(受)	對.....我只要知道關聯就可以了?
34:05	(受)	有個橋..... 然後中間.那個廣場有階梯下來的那個.....
34:23	(問)	那你怎麼判斷 ...你怎麼判斷它 ABCD 之間的相對位置?
34:27	(受)	就是由那個橋...然後再由柱列, 跟從這裡可以看到那座橋
34:41	(問)	你怎麼判斷它 ABCD, 你說的橋..什麼意思?
34:46	(受)	就剛走在空間的感覺.....嗯..這要怎麼說, 我到 A 時, 經過橋 我看到 B 空間
35:00	(問)	所以你是看到它們排列關係?
35:02	(受)	對...我在走這個橋的時候...我就知道 C 在它們兩個的中間...我看 D 時...其實一開始不太清楚...所以剛在那邊找又繞了一圈...其他我都沒有看過...到這裡我看到有個洞...但當我看樓梯又看到柱列 我就知道他在柱列前面
35:22	(問)	你用這個...你畫它的空間的動線? 四個空間有哪些動線?

35:40	(受)	..A 應該在二樓...經過二樓的橋後看到 B 空間...B 有個樓梯下去...下去我沒有走那個空間
36:00	(受)	然後我看到有玻璃...我就跳到那個柱列...有大階梯....然後 D 空間有個樓梯上到 C 空間
36:57	(問)	主要判斷就是走道跟樓梯？
36:59	(受)	對

觀看者

時間 (分:秒)	受測者(受)/ 問話者(問)	口語資料
00:05	(受)	我覺得路口不是...路口是....狹窄型的路口，然後..然後呢... 那個磁磚看起來寬度像是五十公分 所以天花板的高度大概有兩公尺以上
00:36	(受)	沿著牆壁走 因為磁磚的長度應該有一公尺，所以這個房間的...這算寬度應該滿寬的
00:49	(問)	寬度是指什麼
00:54	(受)	喔~~~是長度 長度很長 因為左右兩邊的牆面 就是我的對面我看到一個開口 那個開口有一個路徑 因為它的玻璃面 我們可以看到一整排的玻璃面，所以這一條走道..應該是斜的，因為開口的左右兩面牆面的長度不一樣，所以應該是有一點不規則的長方形
01:44	(問)	看到什麼？
01:46	(受)	看到一個人 站在這個空間 然後根據它.....因為剛剛走進來的時候 的那一面牆比較長 現在這個人站在這裡的這一面牆感覺起來沒有對面那一面牆那麼長，所以這個空間應該是不規則的
02:18	(受)	我現在看到這個 這個立體牆面 最靠近我那邊 右邊那個 對 那個是斜的....但我不知道怎麼判斷..然後這邊有缺口 現在進去嗎？
03:06	(受)	根據牆面角度看起來，兩邊因為他們沒有成垂直型... 所以證實這個空間是不規則
03:18	(問)	不規則是指?...
03:35	(受)	因為一般的長方形是方方正正的 但根據她的角度 這面牆面角度大於九十度 這一面..等一下..這一面牆面 兩個面接觸的地方是斜的
04:06	(問)	那你可以先畫出 A 空間它的那個平面嗎？
04:08	(受)	好.....畫畫中.....
05:39	(問)	你怎麼判斷它造型是這樣子？
05:42	(受)	根據...這邊有就寫..
06:02	(受)	一個是邊緣...然後有開口...
08:15	(問)	那再來就是請你講 你覺得剛剛從這邊到這邊距離大概多大?... 比如說從這邊到這邊
08:35	(受)	根據磁磚的長度應該有...至少有 ...七公尺
	(受)	從牆角到另外 從這邊到這邊....5.5
09:07	(問)	高度呢？
09:10	(受)	兩公尺
09:15	(問)	然後你怎麼判斷兩公尺？
09:29	(受)	...牆壁的磁磚
09:50	(問)	然後它的長呢？七公尺你怎麼判斷的？
09:52	(受)	一樣用磁磚
09:59	(問)	5.5 呢？
10:08	(受)	走道寬度，一般來說走道大概都是 0.9 公尺，所以寬度大概 5.5

10:28	(問)	現在是 A 空間要換到 B 空間
10:36	(受)	我現在看到一個很長的樓梯 然後這個空間看起來很..固要下去 B 空間只有一個樓梯 這個空間不是密閉式的空間 然後它非常的高 至少有四公尺高
11:35	(受)	根據磁磚的寬度
11:54		然後...這是一個有點類似正方形的空間
12:05	(問)	正方形 怎樣判斷?
12:12	(受)	因為它的四面...不知道 在畫...等一下再說...不太確定
12:30		這邊有缺口
12:41	(受)	我現在看到左方的牆面它的立體面是斜的....
12:48	(問)	你的立體面指的是什麼?
12:50	(受)	就是這個直立式的牆面是斜的...並不是很直
13:11	(問)	看到什麼
13:16	(受)	看兩個牆面中間有一個缺口.....它有出入口
16:03	(受)	所以出口應該在這裡 然後這邊有一個出口, 所以有樓梯 這邊有樓梯 然後主要的造型長這樣..這樣子 ..這邊有出口...這邊有 缺口
16:47	(問)	你怎麼判斷?
16:57	(受)	根據...形狀.....牆面的角度
17:45	(問)	再來空間的尺度, 你覺從這邊到這邊多少?
17:58	(受)	五公尺
18:00	(問)	怎麼判斷?
18:05	(受)	一樣透過牆面的磁磚
18:48	(問)	怎麼判斷 3.5 ?
18:51	(受)	一樣透過牆面的磁磚
18:57	(問)	那高度呢? H
	(受)	(寫字中)
19:35	(問)	你怎麼判斷那個磁磚..你怎麼判斷 ...是多高
19:45	(受)	長度不知道 因為第一個空間跟磁磚有切割 但是 寬度的話瓷磚大概就是 50 或 60 公分的磁磚 常識啦... 但是也不一定是正確 所以就降去判斷
20:11	(問)	所以高度?
20:15	(受)	所以透過高度去判斷到天空的...到那個三角形是 四公尺....高度是猜測的
20:45	(受)	離開 去 C 空間
20:55	(受)	C 空間是個開放性空間.....有很多柱子....然後階梯, 還有前方有建築物
21:50	(受)	他像是一個門廊, 就是建築物前面不是都有前廊.....它比較像是前廊廉廣場.....因為它上面有遮蔽物
23:11	(受)	沒有看到開口 喔~看到了 我們剛剛是從這邊進來的 然後 c 空間大概是給我的感覺是這樣 然後這個是主要進入另一個空間的走道
23:32	(受)	然後因為是開放性空間, 所以只能講它跟其他空間連結的走道 就這樣
24:26	(問)	你怎麼判斷這些判斷這空間是怎樣子的?
24:35	(受)	嗯~ 根據前面的角度跟地面的角度是斜的 , 所以感覺像是一個梯形!!
25:05	(問)	你怎麼判斷它是長這樣子
25:08	(受)	嗯~ 角度, 站在高點往低點看
25:19	(問)	你說站在位置是什麼意思?你會有 21 的原因是為什麼?
25:25	(受)	因為我站在階梯上往下看... 所以給我的感覺比較像是梯形的
25:40	(受)	然後入口這邊是因為 牆面地面的角度
26:08	(受)	嗯 對不起, 我稍微畫一下它的形狀, 嗯, 因為有些地方沒有講所以那個牆是要塗掉
26:19	(問)	那沒關係, 會哪邊到哪邊就是有個界線對不對, 那你知道界線你是怎麼去判斷那個界線是到哪裡呢

26:39	(受)	牆面跟這個
27:23	(受)	它應該很大吧?!所以它應該不是這麼正規的地形吧
28:08	(問)	你怎知道這邊哪邊比較窄哪邊比較空的?
28:12	(受)	因為這兩邊的角度是斜的所以我才判斷這個建築是不是斜的
		大於 90, 剛剛看的時候它面對我是這樣子的
30:02	(受)	我是說因為一定有牆面的地方才能畫線, 對不對
30:05	(問)	對 這比較清楚!
30:35	(問)	這裡有幾道階梯
30:37	(受)	2 個
30:54	(受)	似乎這有個建築物..就是牆面
31:10		這裡還有階梯
31:40	(受)	這裡有個洞 也是階梯
31:55	(問)	你就是根據這些原因就對了
31:57	(受)	嗯
32:00	(問)	那它那個從這邊到這邊大概多長
32:04	(受)	嗯~~~~~怎麼講, 不能用磁磚的方式嘛
32:25	(受)	這裡大概有 15 公尺
32:29	(問)	2d 透視圖
32:31	(受)	對
32:40	(問)	從這邊到這邊, 從這邊的牆壁到你這邊的階梯大約有多少? 是根據什麼?
33:00	(受)	就是這個
33:03	(問)	那高度呢?
33:08	(受)	你說柱子的高度嗎?
33:10	(問)	就是到天花板
33:50	(受)	大概有兩層樓高, 4 公尺
34:02	(問)	那你怎麼判斷有 4 公尺高?
34:09	(受)	柱子上的磁磚
34:20	(問)	那到最後個空間, 我們在 D 空間裡面
34:53	(受)	它的牆面是玻璃的, 或者不是玻璃是類似玻璃材質
35:02	(受)	然後牆面和玻璃面的角度大於 90 度.....站在角落往這個空間看, 感覺上它像似, 嗯~它的左前方有個缺口
35:42	(受)	這個空間裡面有一面牆面是玻璃
35:55	(受)	然後它跟前面後面比起來算是蠻寬敞的, 跟 B 空間比起來算是蠻寬敞的, 但是它的高度大概有 5 公尺而已吧?!
37:07	(問)	柱子在你什麼地方?
37:09	(受)	柱子在中間, 不是在中間在靠近玻璃的地方.
37:27	(問)	那你怎麼判斷他的造型是什麼樣子?
37:47	(受)	因為站在角落看 1B
38:20	(問)	那還有什麼?
38:33	(受)	還有前面尖的角度
38:53	(問)	然後這邊到這邊是多少?
39:06	(受)	因為我覺得他比這邊再寬一點 可是這有可能是過濾別人的過不去
39:18	(問)	嗯~那你怎麼判斷?這裡是最寬的這裡是最長的
39:36	(受)	2A, 磁磚
40:06	(問)	高度?...高度用什麼判斷..?
40:12	(受)	一樣是 2A 柱子的磁磚
40:38	(問)	現在就是你可以回去 可以切 A B C D 可以試著去看他們相對的 試著走四個空間都有連結, 你可以試試看, 要請你講出空間組織跟空間動線
40:40	(受)	(導覽中..)

42:53	(受)	A 空間跟 B 空間有一道牆 進來 下去有樓梯.....然後..這裡是出口.....這是 B 跟 C 的聯接.....這是 C 空間.....我發現那個牆面是斜的耶 所以...怎麼會是斜的.....這裡是 D 空間.....畫圖中..... (補) . .
47:52	(問)	你怎麼判斷它的空間組織?
48:05	(受)	4B 主次入口和 4D 空間連接
48:25	(問)	那它的空間動線是怎麼樣子的?
48:39	(受)	走樓梯下去...(畫圖中..)
49:24	(受)	我主要是根據 3A 的走道與 3B 的樓梯

