

國立交通大學建築研究所

碩 士 論 文

數位發表空間：在空間模擬器中的可觸式架構

Digital Presentation Space: a Tangible Framework in VR CAVE



研 究 生 李 致 遠

指 導 教 授 劉 育 東

中 華 民 國 九 十 七 年 七 月

數位發表空間：在空間模擬器中的可觸式架構
Digital Presentation Space: a Tangible Framework in VR CAVE

研究生	李致遠	Student	Chih-Yuan Lee
指導教授	劉育東	Advisor	Yu-Dung Liu

國立交通大學
建築研究所
碩士論文



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

July 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

中文摘要

數位模型可否取代實體模型，長久以來一直受到廣泛的討論。虛擬與實體的關係，也因為人機界面的發展，而開始慢慢受到重視，許多嶄新概念開始慢慢被提出，諸如遍布運算、擴增實境及穿戴式運算等等，但都不是很清楚的在敘述這個問題。直到可觸式使用者介面概念的建立，人機界面才真正進入一個全新的里程碑。本研究經由分析舊有系統及媒材得出，數位模型的瀏覽系統大都缺乏「介面直覺性」以及「視覺深度性」。因此，本研究試圖提出一種兼具有介面直覺性及視覺深度性的數位模型發表空間，來提供使用者瀏覽及發表數位模型。

在經由分析結果進行規劃後，決定以可觸式使用者介面的概念來設計介面的直覺性，並以空間模擬器來達到視覺的深度性。在系統的建置過程中，軟體部分運用二維圖象辨識系統 ARtoolkit 以辨識標識的位置，來即時回饋數位模型的狀態給使用者，以達到介面直覺性。接著在硬體部分，分別在空間模擬器中架設兩支攝影機來模擬人類的雙眼，以捕捉標識的位置並產生具有視覺深度性的影像。而標識也被設計成在空間模擬器中的陰暗環境底下可被辨識並可依需求來替換。

最後系統完成後，邀請十位建築背景的受測者來進行實驗，分別就介面直覺、視覺深度、材質貼圖及環境模擬四個項目來與實體模型進行比較予以評分。最後實驗結果發現，受測者均認為系統在介面直覺及視覺深度方面雖尚不及實體模型，但在材質貼圖及環境模型方面有優異的表現，因此受測者均認為本系統有取代實體模型的潛力。本系統的貢獻在於提供了一種瀏覽數位模型的可能性，並產生許多未來在其它方面可能的應用。

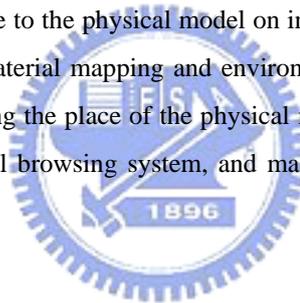
關鍵字：人機介面 可觸式使用者介面 空間模擬器 數位模型

Abstract

Could Digital model take the place of physical model, it had been discussed popularly for a long time. The relationship between the physical and the virtual begin to be respected with time. Until the concept of tangible user interface (TUIs) was been proposed, human computer interface (HCI) comes to a new era. The research analyses and discovers that the previous digital model browsing system mostly lack of “intuitive interface” and “visual depth”. It attempts to propose a digital model presentation space which includes intuitive interface and the visual depth.

After analysis and planning, deicing to apply the concept of TUIs to design the intuitive interface and taking the use of 2D graph recognizing system to recognize the condition of marks. Applying VR CAVE to achieve the visual depth, and take two cameras to simulate the eyes of human to achieve stereo. The marks are design to be replace by requirement and could be recognized under the dark environment in VR CAVE.

After the system finished and tested by ten subjects majored in architecture, we found out that the subjects all think that the system close to the physical model on intuitive interface and visual depth. But the digital model was excellent in material mapping and environment simulation; it made the subjects assented that it had potential for taking the place of the physical model. The system’s contribution is to propose a possibility of digital model browsing system, and makes many possible applications in the future.



Keywords: human computer interface, tangible user interface, VR CAVE, digital model

謝誌

在交大的兩年，說長不長，說短不短，我的收獲很多，要感謝的人更多。

感謝指導教授 Aleppo 所給予的指導與支持。

感謝口試委員君昊老師與李華老師的不吝指教以及寶貴意見。

感謝交大基義老師、玄輝老師、迪義老師、匡時老師、浩修老師們的教導與關懷。

感謝簡聖芬老師在我大學時期的啓蒙與教學。

感謝楚卿、歐姊、彥良、小可愛、文禮、姿汝等博班學長姊的幫忙與指導。

感謝一同面對論文壓力的數位組同袍們，振祐、元鈺、碩濤、凱翔、Gallon。

感謝所上其它同學，柳吟、周董、肛狗、Dutch、Jecho、老趙、盈柔、聖荃、小毛的幫助。

感謝鴨鴨還有狸貓在這兩年來不離不棄的陪伴與支持。

感謝我最愛的家人，奶奶、爸爸、媽媽、妹妹、弟弟，我愛你們。



要謝的人太多了，那就謝天吧。

第一章 導論

1.1、研究背景	-01-
1.2、研究問題與目標	-01-
1.3、研究方法與步驟	-02-

第二章 文獻回顧

2.1、使用者界面的發展	-04-
2.1.1、使用者與電腦的關係	-04-
2.1.2、可觸式使用者介面	-06-
2.1.3、使用者與電腦的互動	-08-
2.2、相關案例探討	-10-
2.2.1、前期研究	-10-
2.2.2、主要研究	-11-
2.2.3、建築設計與都市計劃上應用	-12-
2.2.4、與其它科技結合之應用	-13-

第三章 系統分析與規劃

3.1、先前系統分析	-17-
3.1.1、可觸式使用者介面的媒材	-17-
3.1.2、與 VR CAVE 互動的媒材	-19-
3.1.3、分析結果總結	-21-
3.2、未來系統規劃	-22-
3.2.1、互動設計	-22-
3.2.2、硬體環境	-23-
3.2.3、軟體架構	-25-

第四章 系統建置

4.1、硬體架設	-28-
4.1.1、系統硬體環境	-28-
4.1.2、標識製作	-29-
4.2、軟體建構	-30-
4.2.1、系統程式編寫	-30-
4.2.2、數位模型建置	-32-
4.3、初期結果	-33-

4.4、系統評估	-34-
4.4.1、實驗設計	-35-
4.4.2、結果分析與討論	-36-
4.4.3、系統修正與結果	-38-
第五章 結論與後續研究	
5.1、結論	-40-
5.2、研究限制	-41-
5.3、研究貢獻	-41-
5.4、後續研究	-41-
參考文獻	-43-
附錄 A:受測者問卷	-46-
附錄 B:受測者問卷結果整理	-47-



1.1、研究背景

自從電腦開始進入人類的生活以來，使用者與電腦之間的關係，一直不斷隨著時代的演進在改變。從最早期的多人一機，逐漸發展成一人一機，到最後的一人多機，人機介面(Human Computer Interface, HCI)這件事情近幾年來開始受到重視而被研究者廣泛的討論。從一開始的最早期的使用者介面(User Interface, UI)，使用者必需牽就於龐大的設備以及不人性化的介面設計，使用上需要耗費龐大的時間跟資源。接著有人開始將現實生活中的經驗，轉移到電腦的使用介面上，讓使用電腦這件事，開始變得簡單容易。然而回到以人為中心的概念(Human-center)，使用者與電腦間的介面不應該是鍵盤、滑鼠或螢幕，而是應該置入(Embed)在我們日常生活的物件中。使用者不應該是屈就於電腦，而是該凌駕於電腦。

此時，許多研究者開始探究虛擬與實體間的關係，並且該如何去連結這兩個世界的鴻溝。於是有人開始提出許多實驗性的媒材，企圖打破這層隔閡。直到 Ishii 等人，提出一個稱為可觸式使用者介面的概念(Tangible User Interface, TUIs) [Ishii et al. 1997]，人機介面開始邁入另一個全新的時代。接著許多研究開始將這概念的觸角延伸至各個領域，諸如建築設計及都市規劃等等。直到近幾年，類似的概念開始被商品化，其便利的操控性受到消費者的青睞。現在，我們正開始要慢慢享受到這概念所帶來的新生活模式。

然而數位時代以來，電腦輔助設計(Computer-Aided Design, CAD)的發展讓數位模型漸漸取代了實體模型的某些功能。而 VR CAVE 所提供的沉浸感，也讓人對空間有了全新的體驗，並帶來許多應用的可能性。嶄新人機互動概念的發表，讓使用者與數位模型間的互動關係，也開始變成了一個重要的議題。如今，許多應用媒材以及互動介面開始慢慢被開發出來，我們也開始預期實體模型會被數位模型取代的一天。

1.2 研究問題與目標

數位模型是否能取代實體模型，在電腦輔助設計發展以來，這個議題一直是被廣泛討論的焦點。儘管數位模型有著許多實體模型沒有的優勢，諸如尺寸、材質、動畫、光影等特點，但實體模型一直無法被放棄[Liu, 1996]。主要是因為實體模型擁有數位模型所沒有的尺度感、量體感以及可觸感等特性。有研究指出人類在操作實體模型的感知中，視覺佔了 80%，而觸覺則佔了 20%，其餘的感知則幾乎沒有影響[Wu, 2004]。

VR CAVE 提供了空間的立體沉浸感，在瀏覽數位模型時，增強了視覺深度性的部分。然而使用者在與 VR CAVE 的互動過程中[Wu, 2004; Shih, 2005; Liu, 2007]，瀏覽數位模型的系統卻不是以人類自然直覺反應的動作為出發點，導致生活經驗無用，操作上甚至需要花費額外的時間學習，或是記憶指令增加了認知上的負擔。所以在 VR CAVE 中瀏覽數位模型的媒材，是否能有更好的「介面直覺性」？

而 Nielsen(1993)則指出了次世代的介面將會是未來人機互動的典範。直到 Ishii 等人提出可觸式使用者界面的概念[Ishii et al, 1997; Ullmerl and Ishii, 2001]，人機界面才真正進入全新的世代。爾後有人便開始將這概念運用到建築設計及都市規劃的領域上[Underkoffler and Ishii, 1998; Jeng and Lee, 2003]。然而這些裝置卻大都是顯示在物件表面或平面顯示器上，缺乏視覺上的深度性，但是視覺卻在人類所有的感知中佔了 80%的比例[Wu, 2004]。所以在可觸式的使用者介面中，我們是否能夠有效的增強「視覺深度性」？

綜合上述兩個問題，使用者對於數位模型在視覺及觸覺上的感知，是否能提出一個兼具「介面直覺性」及「視覺深度性」的數位模型瀏覽系統？

可觸式使用者介面的概念，使得 VR CAVE 具備了使用者介面的直覺性，而 VR CAVE 則提供了視覺深度性，增強了可觸式使用者介面在視覺上的不足。所以本研究企圖以 VR CAVE 為其環境基礎，結合可觸式使用者介面的概念，發展一套同時滿足介面直覺性以及視覺深度性的數位模型瀏覽系統，來取代傳統的實體模型。



1.3 研究方法與步驟

本研究主要企圖建構一數位模型之瀏覽系統，以取代實體的模型，所以研究時除了彌補瀏覽數位模型時所缺乏的視覺深度性以及介面直覺性外，也應保留數位模型的光影、貼圖及動畫表現等優點。研究步驟將會在一開始把過去的系統及媒材就介面直覺性及視覺深度性進行分析，得出結論後便進行規劃與設計，接著完成系統軟硬體的實作以及結果討論，最後再進行簡單的評估實驗來佐證研究的成果並修正。

本研究主要將分為三個步驟來進行：系統分析與規劃、系統建置、系統評估。

系統分析與規劃

首先將過去的數位模型瀏覽系統及媒材進行分析，指出「介面直覺性」不足的原因，以及缺乏「視覺深度性」的部分。再來針對分析的結果，來進行系統雛型的設計，讓使用者與數位模型的互動能夠同時滿足上述兩點需求。在初步設計完成後，再依其需求來規劃未來開發時所需的硬體環境以及軟體架構。

系統建置

根據前一步驟規劃的成果，開始實際進行系統的建置。首先完成所需硬體設備的組裝，以及 VR CAVE 立體環境的架設。再來完成軟體部分的數位模型建置與系統程式的開發與測試，最後則是整體系統完成後的展示以及討論。

系統評估

系統建置完成後，爲了評估這系統是否有達到最初的研究目標，便邀請數位建築背景的受測者來進行簡單的實驗。受測者人數定在十位，以避免實驗結果有所偏頗而不夠客觀。實驗方式爲讓受測者實際使用這系統，來比較瀏覽數位模型與直接觀察實體模型的差別，再以問卷的形式來給予評分，最後再寫下操作後的心得以及簡單的訪談。實驗的結果將檢測是否有達到研究目標，並提供系統未來修正改進的參考。



2.1、使用者界面的發展

2.1.1、使用者與電腦的關係

自從電腦問世以來，人類的生活開始受到重大改變。如同摩爾定律(Moore's law)在 1965 年所預言，印證了電腦科技這幾十年來的發展，相信也將適用於未來的幾年內。而電腦科技的進步一日千里，也讓人跟電腦的關係，跟著開始產生劇烈的變化。所謂的人機介面，指的就是使用者與電腦等機器之間的互動關係以及介面，一般為使用者對電腦下達指令的輸入端(Input)，如鍵盤、麥克風等等，電腦針對指令進行運算後，再將結果以人類能感知的形式，如視覺、聽覺等，傳輸到輸出端(Output)，使用者再根據電腦的回饋予以回應[Dix et al, 2004]，如圖 2.1.1 所示。

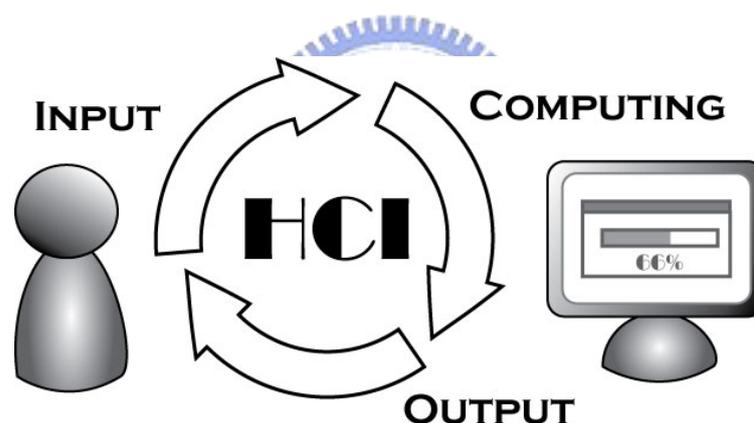


圖 2.1.1 HCI 的概念圖

使用者與系統之間進行互動和信訊交換的媒介，即使用者介面(User Interface, UI) [Shneiderman and Plaisant, 2005]，也跟時代在演進。最早期的輸入方式，是把程式或指令打在紙帶(Punched Cards)上，來將訊息輸入至電腦。在送入電腦的排程後，尚需等待幾天才能得到計算的結果或是執行的程式，稱為批次介面(Nielsen, 1993)。此一時期，電腦是昂貴的設備，多隸屬於大學或是研究單位，由多人共同分享一台電腦，是一機多人(One Computer, Many People)草創時期。

鍵盤的發明，則讓我們以鍵入(Key in)指令的方及來與電腦即時的互動。然而使用者必需記憶大量的指令，尤其非英語系國家，更造成了認知上的負擔(Cognitive Loading)。一直到了 1981 年，全錄(Xerox)在帕洛阿爾托研究中心(Palo Alto Research Center, PARC)發展了全錄之星(Xerox Star)，設立了第一世代的圖形使用者介面(graphic user interface, GUI)，並介紹了我們稱之為滑鼠(Mouse)的東西[Johnson et al 1989; Norman, 1998]。

圖形使用者介面包含了許多概念[Dix et al, 2004]，像是”桌面隱喻(Desktop Metaphor)”，即在電腦桌面上模擬辦公室中的日常用品，讓使用者得以類比平時工作的經驗來操作電腦，諸如資源回收筒就是丟棄檔案、資料夾就是存放檔案的地方等等。再者為”WIMP (Windows, Icons, Menu, and Pointer)”，指的就是我們現在使用的作業系統的一些元素：視窗、圖示、選單、指標。最後則為”所見即所得(What You See Is What You Get, WYSIWYG)”，表示使用者將能以更直覺的方式來與電腦進行互動。第一代個人電腦(Personal Computer, PC)的問世，則讓我們來到一人一機(One Computer, One People)的時代。

到了 1991 年，Mark Weiser 在 Xerox PARC 時發表了一篇文章，提出了遍布運算(Ubiquitous Computing, Ubicomp)的概念[Weiser. 1991]，指出不久之後，電腦科技將以擴展人類能力的方式被設計隱藏在生活環境中，我們可以更輕易簡單迅速的取得並處理訊息。我們也將看不到電腦，因為電腦將進入背景(Background)，我們的生活空間中將隨處充斥著電腦，電腦無所不在。而透過無線網路技術，人們可以在不受時空限制的環境下享用無縫隙的科技資訊(圖 2.1.2)，人們使用科技將更為便利、省時。未來生活環境中將隱藏了許多的電腦服務，我們的生活進入了一個一人多機(Many Computer, One People)的全新世代。



圖 2.1.2 透過無線網路，使用者將享受到無縫隙的電腦服務

在 1997 年 Ishii 等人，他們則認為在遍布運算的概念底下，所有的電腦都將消失在我們眼前，一些資訊的輸入輸出裝置，不應該會再是傳統的鍵盤、滑鼠，而是置入於我們的日常生活物品中，還有身處並習以為常的環境，使用者得以用更自然直覺的方式來與電腦，甚至是我們的環境進行互動，因而提出了一種全新的人機介面概念，稱為可觸式使用者介面(Tangible User Interface, TUIs) [Ishii et al. 1997]。它企圖將數位資訊放進我們每天日常生活的實體物件及環境中，來擴增我們的真實世界，它探究數位與類比、虛擬與真實、甚至是人與電腦的關係。人機互動的介面，也再度進入一個全新的里程碑。

Nielsen (1993)則將電腦上的使用者介面總結為五個時期:

- 1、 批次處理系統 (batch systems)
- 2、 條例命令系統 (line-oriented systems)
- 3、 全螢幕式介面 (full-screen interface)
- 4、 圖形使用者介面 (Graphical User Interfaces)
- 5、 次世代介面 (Next-Generation Interface)

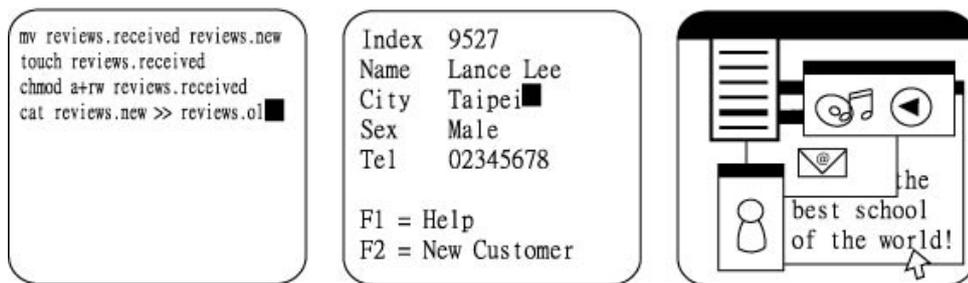


圖 2.1.3 條例命令系統、全螢幕式介面跟圖形使用者介面的例子 (Nielsen, 1993)

在 90 年代以後，開始進入了次世代介面。許多研究者都開始認為使用者與電腦的互動形式，將走向更自然直覺的方式，符合人類的本能操作，讓電腦來迎合使用者，而不是使用者學習複雜的方式與電腦互動。科技的進步與技術的發展，也產生了许多嶄新的概念，使用者與電腦間的關係開始進入 3D 虛擬空間，因此過去傳統的介面將不再適用於未來，有人便將此一時期的介面稱之為 3D 使用者介面(3D user interfaces, 3D UIs) [Bowman ed al, 2005; Shneiderman and Plaisant, 2005]。

2.1.2 可觸式使用者介面

近幾年來，我們可以看到一波研究的趨勢，去探究真實與虛擬之間的關係，以及我們該如何去連接這兩個截然不同的世界。其中便產生了许多重要的研究議題，也提出了許多嶄新的想去及概念諸如諸如虛擬實境(Virtual Reality)、擴增實境(Augmented Reality)、混合實境(Mixed Reality)、遍布運算及穿戴式運算(Wearable Computing)等等。許多介面開始討論實體表現與數位資訊之間的關係，真實與虛擬之間的介面該如何去建構，使用者在兩者之間該以怎樣的角角色自處。但這些現有的架構都還不是很清楚的在描述這個問題[Ullmerl and Ishii, 2001]。

而 Fitzmaurice、Buxton 和 Ishii 等人，則跨出了重要的一步，發表了一種全新的架構來敘述人機介面，稱為可握式使用者介面(Graspable User Interface) [Fitzmaurice ed all, 1995]。主要是將一些與電腦互動的功能賦予在一個實體物件上，而非傳統的滑鼠、鍵盤。以此為基礎，將其概念擴展為一個全新的名詞：可觸式使用者介面[Ishii et al, 1997]，同時也宣告著新世代的來臨。

他們最早提出了一種引人興趣的範例原型，一個類似算盤(abacus)的物件。對於人機互動的領域，這是一個全新的觀點。這個算盤不單單只是一個輸入的裝置，它反而消弭了所謂的輸入與輸出裝置的隔亥，打破了過去舊有的觀念。取而代之，這個算盤是個操縱數值(Value)的實體表現(Physical Representations)，更是可以直覺使用的實體控制(Physical Controls) [Ullmerl and Ishii, 2001]。

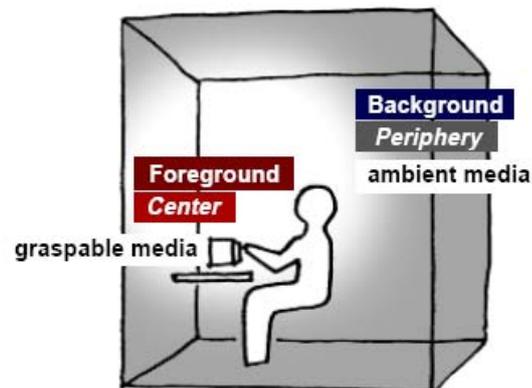


圖 2.1.4 TUI 的初期概念圖 (Ishii et al, 1997)

我們長久以來使用的圖形使用者介面，所建立出來的人機介面，把輸入端如滑鼠、鍵盤及輸出端如螢幕、音響切成兩邊。我們的生活經驗毫無用處，因為界面本身就是新生的事物，使用者必需透過學習去理解。而可觸式使用者介面，則將這一鴻溝重新連接起來。

微軟 2007 年在 D5 研究討論會上發表了的一款新型態的觸控型螢幕電腦 – 一張簡單的咖啡桌，過去的滑鼠及鍵盤已經消失不見了，取而代之的，是一張白淨的桌面[Microsoft, 2007](圖 2.1.5)，使用者可以直接用手來拖拉檔案、放大縮小照片等等，相當的直覺。而蘋果所推出的 iPhone[apple, 2007](圖 2.1.5)，則將觸控概念運用於手機上，以更直覺的方式，創造出更有趣的使用者經驗。概念的商品化受到消費者的喜愛，許多產品設計紛紛跟進，由此可見可觸式使用者介面將是下一代人機互動的典範，也將為我們帶來更便捷的生活。



圖 2.1.5 TUI 概念的商品 (Microsoft, 2007; Apple, 2007)

2.1.3 使用者與電腦的互動

而人跟電腦是如何進行互動，認知心理科學的 Norman(1988)指出，使用電腦完成一項工作有兩種方法。一種是執行命令讓電腦完成工作，稱為指令(Command Mode)或第三者互動(Third-Person Interaction)。第二種方式是自己完成工作，稱為直接操作(Direct Manipulation Mode)或是當事者互動(First-Person Interaction)。一般我們都是使用指令的方式，將繁複的工作交給電腦。但一些很重要、還沒定案，或者還不清楚如何去做時，我們需要直接操作。而直接操作系統，讓人不覺得是在用電腦，而是在做一件工作，不覺得電腦的存在，也就是把電腦設計得讓你不覺得它的存在。未來我們將看不到電腦。

Nielsen(1993)則歸納出使用者與電腦的主要互動方式，如表 2.1.1：

表 2.1.1 使用者與電腦的互動方式

互動方式	主要使用處	主要性質
批次	批次處理系統 信箱伺服器	不需要使用者的參與，工作時甚至不需要使用者在同一時間或地點。
問題答覆	條列命令系統	電腦控制使用者，以適應任意的使用。
指令語言	條例命令系統	容易去編輯及指令的重覆使用。有力的語言可以支援複雜的操縱。
功能鍵	全螢幕式系統 圖形化介面	可以快速輸入一些標準的命令，但是彈性受到限制。
表格填入	全螢幕式系統 圖形化介面	可以看到許多區域，並一次編輯。
選單	全螢幕式系統 圖形化介面	使用者不必再記憶選項，省去變慢跟困惑的潛在可能。
直接操作	圖形化介面 虛擬實境	使用者控制。來自真實世界的隱喻。有利於圖形。
無指令	可觸式介面 虛擬實境	使用者不需去專注在電腦上的操作，電腦會監視使用者的動作，並適時處理。
自然語言	可觸式介面	允許隨意的輸入裝置去掌控變化的問題。

可觸式使用者界面是如何與使用者互動的，Ullmer 也提出可觸式使用界面的互動模型(圖 2.1.6)，來與我們習慣使用的圖形使用者介面作一簡單的比較[Ullmerl and Ishii, 2001]。

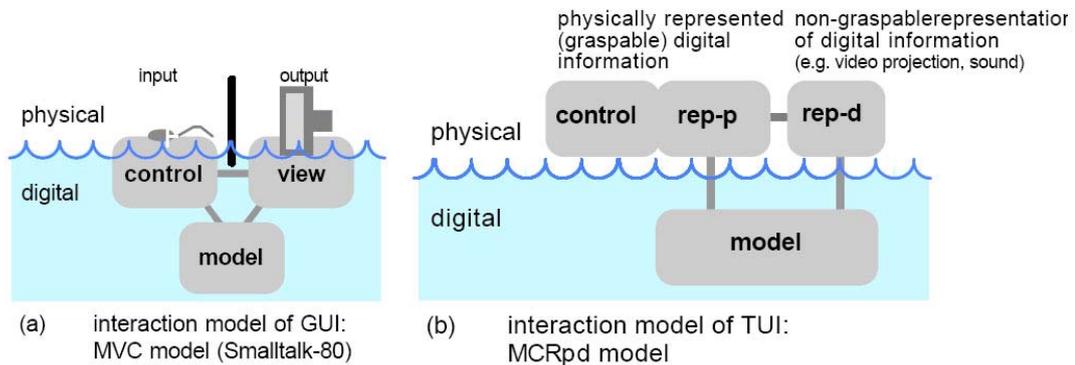


圖 2.1.6 GUI 與 TUI 的互動動模型 (Ullmerl and Ishii, 2001)

圖 2.1.6 (a)是傳統的圖形使用者界面的 MVC ”Model-View-Control”模型。主要可以分為三個部分，分別為控制端、觀看端及主體模型。在實體世界中我們透過滑鼠與數位世界接觸，由螢幕來接收數位世界的回應。輸入與輸出裝置有所隔閡，在實體世界中顯露的部分很少，使用者無法直接的來與其互動連結。

圖 2.1.6 (b)則是可觸式使用者界面的 MCRpd “Model-Control-Representation (physical、digital)”模型。主要分為控制端、主體模型、實體表現跟數位表現。控制端跟實體表現是連接在一起的，我們透過實體的控制來進行操作，而數位表現跟實體表現，在現實環境中是連接起一起的。使用者沒有輸入輸出端的隔閡，是緊密連結再一起的。

傳統圖形使用者介面在使用者認知上的研究不勝枚舉。但近幾年來，也開始有研究指出[Dias et al, 2003; Maher and Kim, 2006]，在可觸式使用者界面上，能夠更有效的支援多人同時同地的進行互動，且有利於設計者在物體與空間關係上的建立。而經實驗證實，在三度空間的認知跟空間關係組織的建構上有不錯的成果，甚至能夠有效應用於精神神經評估上[Sharlin et al, 2002]。

可觸式使用者介面與圖形使用者介面進行比較的話[Patten and Ishii, 2000]，可觸式使用者介面在位置回憶上的表現較為優異，並且在物體與環境的空間關係上，可以有效幫助使用者記憶，這是傳統界面所沒有的。

除此之外，設計者空間認知的改變，會讓創意產生，並發掘一些隱藏的空間及特性。結論也推論出桌上(Tabletop)系統對於 3D 物件跟空間關係的推理，是一種非常有力的平台。桌上系統目前也許還不足以取代現有的桌面(Desktop)系統，但假以時日，也許能提供設計者另一種更好的選擇 [Maher and Kim, 2006]。

2.2、相關案例探討

本小節主要討論一些可觸式使用者界面的案例，依時間的先後順序，將概念提出前的相關作品歸類在前期研究，而概念提出後的作品則放在主要研究。而建築設計及都市計劃上的應用這小節，則討論其它領域的應用。最後一些較新的應用及與其它科技的結合，則放在最後一小節討論。

2.2.1 前期研究

在圖形化使用者界面使用一段時間以後，開始有人質疑虛擬與真實之間的互動關係，是否只能建立在滑鼠及鍵盤上，DigitalDesk是一個研究的先趨[Wellner, 1993]。它展示了一個互動的方式，就是透過投影機投射影像在一個實體桌面上，並利用攝影機追蹤手指的動作，讓數位跟實體文件可以與桌上的電子文件來進行互動(圖2.2.1)。

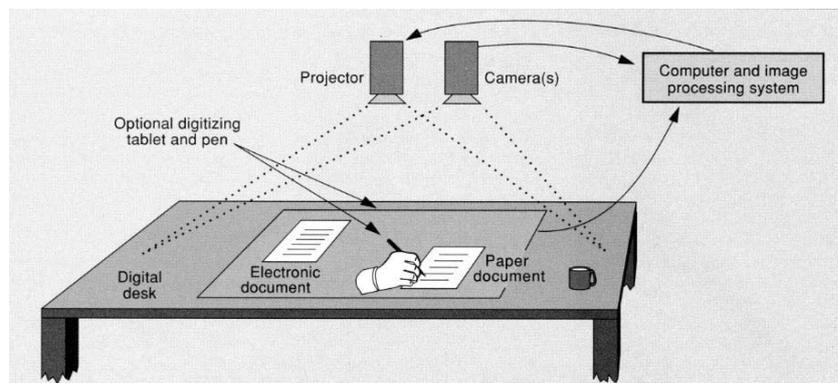


圖 2.2.1 DigitalDesk (Wellner, 1993)

而 ClearBoard 則是發展了一套遠距合作式設計的互動系統[Ishii and Kobayashi, 1992]。他們認為，能夠分享彼此的手繪稿跟眼神的交流是遠距合作式設計的重點。於是便將一建築的元素 - 牆面，轉換成一溝通的界面。透過這面”牆”(第二版為一桌面)，兩個設計者得以同時在一平面上作設計，並且可以看見對方來進行溝通互動(圖 2.2.2)。

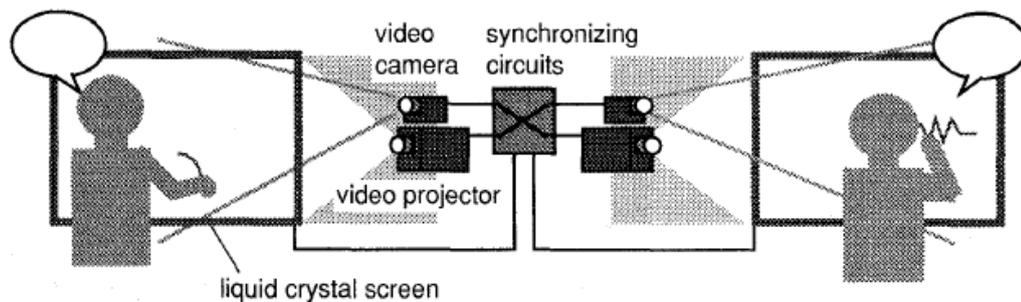


圖 2.2.2 ClearBoard 的架構 (Ishii and Kobayashi, 1992)

Bricks 則提出了可握式使用者介面(graspable UIs) [Fitzmaurice et al, 1995]，透過這些稱為 Bricks 的方塊，使用者可以直接地操控虛擬物件(圖 2.2.3)。Bricks 可以連接虛擬物件並移動、旋轉它們，如果同時使用兩個的話，則可以達到縮放、變形的功能。



圖 2.2.3 Bricks 的互動狀況 (Fitzmaurice et al, 1995)

2.2.2 主要研究

前期的研究已經慢慢開始突破以往傳統的界面，都有試圖去尋求取代鍵盤滑鼠的方式，但都還無法突破桌面的形式。而在遍及運算的概念開始普及後，介面的發展開始從桌面蔓延到整個空間。在 Tangible Bit 這個計劃中[Ishii and Ullmer, 1997]，提出了三個主要的概念目標：互動性的界面、以可觸的實體物件連結位元並以環境中的背景媒材來感知。而可觸式使用者界面這個全新的人機界面名詞，在這個計劃中首次被提了出來。

這個計劃主要包含了兩個部分，第一個為在前景(Foreground)中，以使用者為中心的可觸式部分的 metaDESK [Ullmer and Ishii, 1997]跟 transBOARD，以及以周遭背景(Background)的環境媒材為主的 ambientROOM [Ishii et al, 1998](圖 2.2.4)。metaDESK 主要是將一些圖形使用者介面中的一些隱喻元素，諸如視窗、圖示、選單及滑桿等，轉換成實體物件。透過實際操作這些實體物件，來達到相同的效果。不同的是，它將虛擬元素給實體化。TransBOARD 試圖把一個互動皮層的概念丟進一塊白板中。這是塊可以吸收資訊的數位網路白板。除了透過網路分享白板上的繪稿外，更可以使用一張叫 hyperCARDS 的卡片，將白板上的資訊透過網路記錄進去，回家後只要使用這張卡便可從網路將記憶的資訊讀取出來。ambirntROOM 則是在一個空間中，將提供資訊這件事情，隱藏到背景(background)去。透過一些微妙的暗示，像是聲音、燈光、空氣流動及水的波紋等，甚至於是一些簡單能被感知的動作，以數位的表現來傳遞資訊給使用者，藉此來模擬一些現實生活動中的一些自然現象。

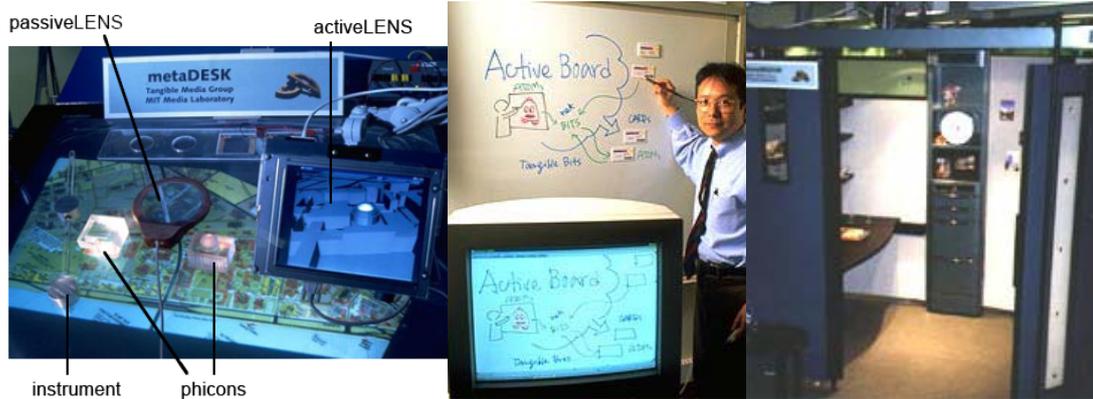


圖 2.2.4 metaDESK、transBOARD、ambientROOM (Ishii and Ullmer, 1997)

而mediaBlocks[Ullmer et al, 1998]，則是設計了一實體的圖示(icon)，可用來儲存、傳輸及操作的連線媒材。就在同時間，BUILD-IT 也提出了類似TUI的概念，稱為Natural User Interface(NUI)[Fjeld et al, 1998]。試圖將虛擬物件彩現(render)成實體物件，讓多個使用者同時在一個普通的地方進行互動。

2.2.3 建築設計與都市計劃上應用

Ishii 團隊也將此概念運用到現它領域上，並發展了一個輔助都市計劃設計與規劃的系統，稱之為Urp[Underkoffler, Ishii, 1998]。爾後經過一次改良後，將其重新命名為 Luminous Table [Ishii et al, 2002]。他們認為設計師需要掌控的媒材太多了，有實體跟數位的圖面、模型等等。於是他們將全部的媒材整合成單一的資訊空間，以利於都市規劃師的進行。

而結果說明，傳統媒材表現法搭配數位媒材的運算能力，以及允許在同一情境下的多人合作式設計，可以得到相當不錯的成效。而在數位運算部分，可以模擬風的流動曲線、日光陰影的投射、交通的車流效果等等。而媒材呈現的動態內容，容易被專業及非專業者所感知，並能鼓勵參與者之間的互動與溝通。



圖 2.2.5 Luminous Table (Underkoffler and Ishii, 1998)

由成功大學資訊建築研究室所主導的 iCube，則是一將可觸式使用者介面著眼在建築設計領域上的計劃案[Jeng and Lee, 2003; Jeng and Lee, 2003; Lee and Jeng, 2003]。他們認為現在電腦輔助設計缺乏支援多人多模型的設計平台，在溝通虛擬與真實之間，媒材應該是能輔助設計者傳達設計概念，而不是增加操作認知上的負擔。於是他們將現實生活中，我們會用到的一些設計的工具像是雷射筆、尺規、棒、雙手等，還有肢體的表達像切剖面、指向以及導覽等，都能直接的轉換在設計媒材中，讓設計者更能直覺的應用。

而設計出來的媒材，有像是即時互動的 3D 導覽剖面，使用者可以靠著移動一塊板子，改變投影在其上面的剖面。還有用畫圖時常用的尺規，來改變投影面上的視點。跟藉由裝有 LED 燈的手套，來直接修改 3D 虛擬模型。靠著設計發表時常用的光筆，也能操作某些功能。以及直接轉動實體模型，來直覺操控 3D 虛擬模型等等。許許多多的裝置，讓設計師在運用這些的媒材時，能夠更得心應手，而更能接受這些新的設計媒材。

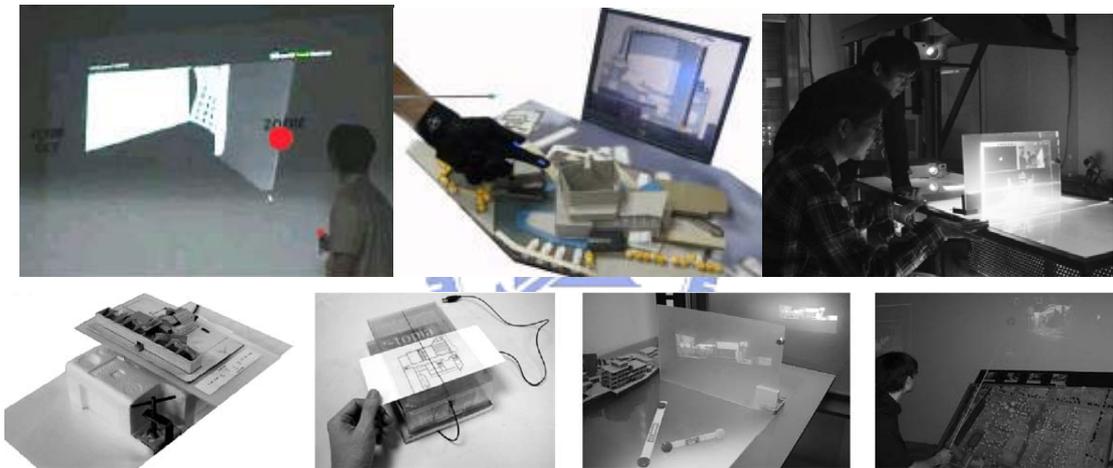


圖 2.2.6 iCube 中設計的媒材 (Jeng and Lee, 2003)

2.2.4 與其它科技結合之應用

CAVE(Cave Automatic Virtual Environment)空間模擬環境，是一種沉浸式的虛擬實境空間裝置，最早由芝加哥伊利諾大學所建置[Cruz-Neira et al, 1993]。系統的架構主要是藉由多台電腦運算後，投影到多個螢幕上，營造出一包覆式的立體成像環境。透過大尺寸螢幕，佔滿使用者視覺角度，使其產生身陷其中的錯覺，提供使用者一擬真、沉浸式的體驗空間經驗[Bowman et al, 2005]。其主要應用是在於一些空間的模擬，用於教育訓練、空間導覽、產品展示、資訊視覺化、遊戲娛樂等領域。

交通大學建築所曾重建一消失的古代城市[Liu, 2003]。他們將中國古長安的宏偉建築，和當時的一些重要活動，諸如外使入長安、打馬毬、宴會歌舞等，透過數位考古學的方式考證重建，透過 VR CAVE 將其重現在我們眼前(圖 2.2.7)。在北美館的明日建築展中[Liu, 2007]，也將新竹市政府、影像博物館及東門城等歷史古蹟透過數位技術重建，讓參觀者能有更真實的體驗(圖 2.2.8)。而日本的 MR(mixed reality)計劃[Tamura et al, 2001]，則將城市以 1/87 的比例重建其模形，透過攝影機在模形中穿梭，將畫面在 CAVE 中呈現出來(圖 2.2.9)，使參與者有體驗實體空間的沉浸感。



圖 2.2.7 虛擬長安中場景 (Liu, 2003)



圖 2.2.8 明日建築展中的明日歷史空間 (Liu, 2007)



圖 2.2.9 MR 計畫中的模擬城市 (Tamura et al, 2001)

在 CAVE 中的輸入端，除了傳統的搖桿、力回饋裝置外，也有研究將 CAVE 建構成一個虛擬發表空間[Shih, 2005]，讓所有使用者都能夠透過手上的藍芽手機(圖 2.2.10)，直接地與 CAVE 中的數位媒材互動，CAVE 成了能夠彼此相互溝通，交換訊息的評圖空間。而透過 3D 反光球(圖 2.2.11)，運用一些肢體動作，以紅外線偵測的方式，也能夠在 CAVE 中與數位模型進行互動[Wu, 2004]。two - 4 - six[Kulik et al, 2006], 2004]則是專為虛擬空間中作六自由度(6-DOF)控制的裝置(圖 2.2.12)，讓使用者在瀏覽時更為自由不受拘限。



圖 2.2.10 藍芽手機 (Shih, 2005)

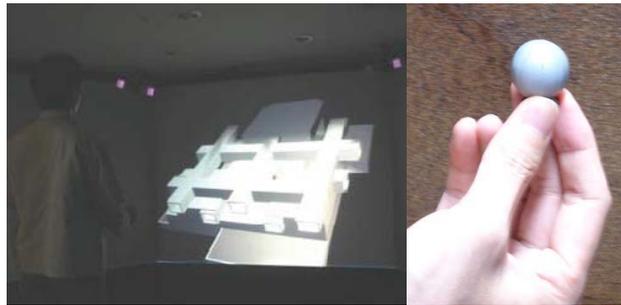


圖 2.2.11 3D 反光球 (Wu, 2004)

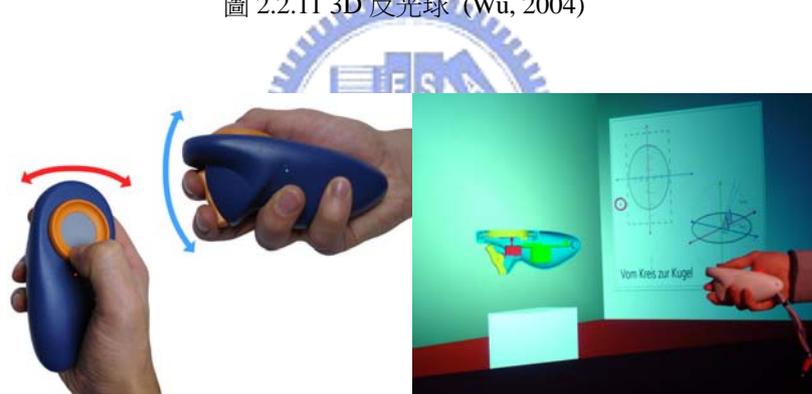


圖 2.2.12 two - 4 - six (Kulik et al, 2006)

可觸式使用者介面在 CAVE 中，已經有人提出可能應用[Kim et al, 2006]。他們主要是利用 CAVE 當其主要系統架構，以 AR 技術來進行，試圖以一簡單的及現成(off-the-shelf)的方式來完成互動。系統的設計如圖(圖 2.2.13)。互動的方式主要是透一個棒狀的道具(props)，及一個槳棒(paddle)來輔助，進行選擇、旋轉、縮放跟導覽等功能。ARTable 則是以擴增實境為基礎開發出來的可觸式使用者介面(圖 2.2.14) [park and woo, 2006]。以可以被廣泛應用在擴增實境及虛擬實境為原則，用直覺操作的方式來建構的敘事性(storytelling)系統。研究中也實驗證實比起傳統的搖桿，在學習、移動及滿意度上有更好的表現。

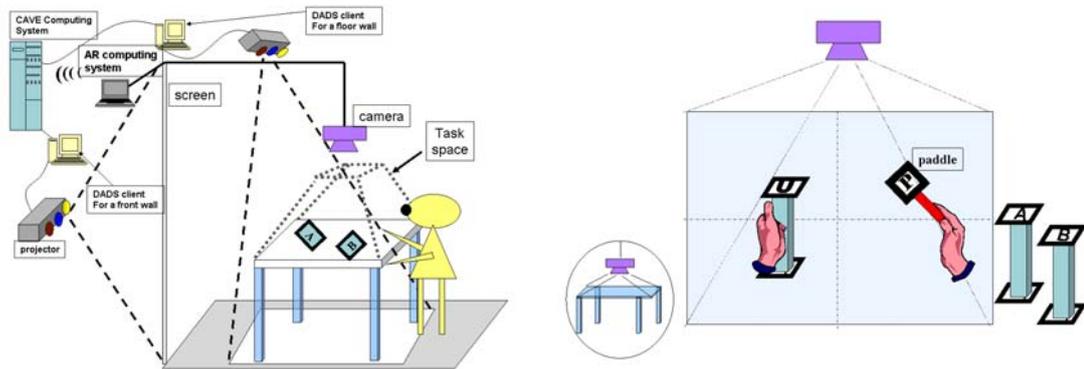


圖 2.2.13 AR 的其它應用 (Kim et al, 2006)

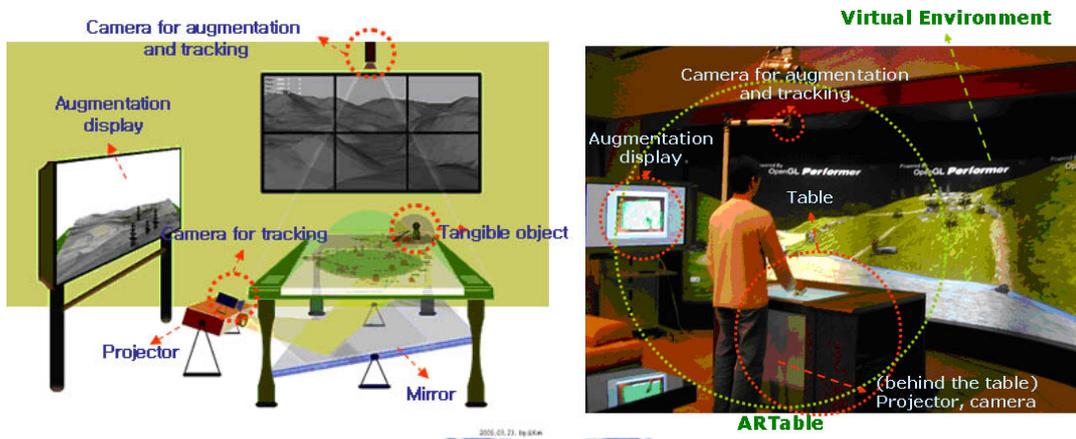


圖 2.2.14 ARTable 的系統架構 (park and woo, 2006)

3.1、先前系統分析

在先前的研究問題中所提到，瀏覽數位模型的系統大都有著兩個主要的缺點，即缺乏介面的直覺性以及視覺的深度性。本小節分別針對可觸式使用者介面以及 VR CAVE 中的數個先前案例，就「介面直覺性」及「視覺深度性」兩個方面，來進行分析。

3.1.1、可觸式使用者介面的媒材

Ishii(1997)在 metaDesk 的操作中，主要的概念就是將電腦中的圖形使用者介面轉換為日常生活中的可觸式使用者介面。對於瀏覽數位模型的介面直覺性而言，他們將圖形使用者介面中的視窗概念轉換成一個可自由移動的平面顯示器(圖 3.1.1)，藉由移動這個顯示器，我們可以調整我們想要的角度來觀察 MIT 校園的數位模型，而透過操控中間的實體模型，也可以達到轉動數位模型的效果。類比我們過去所熟悉的電腦視窗，進一步轉換這種使用經驗到實體物件上，讓我們在介面的直覺性上達到不錯的效果。而在視覺深度性上，我們必需要透過視窗概念的平面顯示器才能看見數位模型，所以只能達到一般立體感，並沒有擁有良好視覺深度性。



圖 3.1.1 metaDESK 的視窗概念顯示器及操作狀況 (Ishii and Ullmer, 1997)

而發展來輔助都市設計的 Luminous Table [Ishii et al, 2002]，則是強調現實生活中用來輔助設計的實體媒材與數位效果的結合。所以主要是以實體模型為主，再加入一些數位效果，諸如光影、車流、風動等等，來達到較好的視覺輔助功能。而在介面直覺性方面，實體模型可以被直接的移動來改變其位置，所以具備良好的介面直覺性。但是在使用上仍需要額外的實體模型來輔助，如此一來也不符合以數位取代實體的期待。在視覺深度性方面，用實體模型搭配數位顯示的方式，在視覺呈現達到很好的效果。而爾後發展了使用攝影機來模擬以人的角度觀察建築量體，但是平面投影的方式也只讓視覺的立體感達到一般，缺乏視覺深度性。



圖 3.1.2 Luminous Table 中瀏覽模型的方式 (Ishii et al, 2002)

iCube[Jeng and Lee, 2003; Lee and Jeng, 2003]中則對數位模型的瀏覽提出了多種發想(圖 3.1.4)，最主要的概念就是將生活中常用的實體設計媒材及其使用經驗，轉換到數位設計媒材來使用。在介面直覺性方面，人機互動方式主要分為兩大種類，第一種為轉動實體模型來直接影響電腦中的數位模型，雖然類比平常使用實體模型的方法在介面直覺性上效果不錯，但受限於裝置的關係，模型只能作水平向度的轉動，與實際狀況不符。而第二種方式則為穿戴 LED 手套，透過手勢來改變亮點的位置，使得電腦可以辨識指令，進而改變數位模型的狀態。雖然擺脫了傳統上滑鼠鍵盤的使用，但是這種介面需要學習特定的手勢才能跟電腦，使用上不夠順手，所以如此一來在介面直覺性上也就不足。而在視覺深度方面，大多採用平面顯示器及平面投影的方式，所以在視覺深度上的感知，也就略顯不足，雖然有實體模型在視覺上的輔助，但如此一來數位模型是否有其存在的必要，就值得深思。

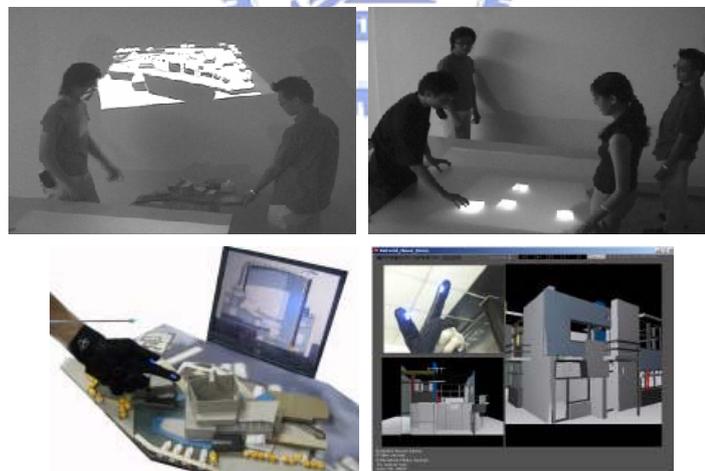


圖 3.1.4 iCube 的互動情況 (Jeng and Lee, 2003)

近年來也有人將擴增實境的技術引用在數位模型的展示上面[Kim et al, 2006; park and woo, 2006]。運作方式主要是讓攝影機讀取標識(Tags)，透過電腦來辨識其標籤的方位角度，再將運算結果疊合在真實環境中。就介面直覺性而言，透過標籤辨識的方式來操作數位模型，可以將其任意的移動翻轉，因此在介面直覺性上達到很好的效果。但在視覺深度性上，因辨識標籤需考慮環境因素，如光線、角度等，而在顯示方面受到限制，導致呈現方式大都是透過平面投影或是頭戴式顯示器，所以在視覺深度性的表現上都較為一般。

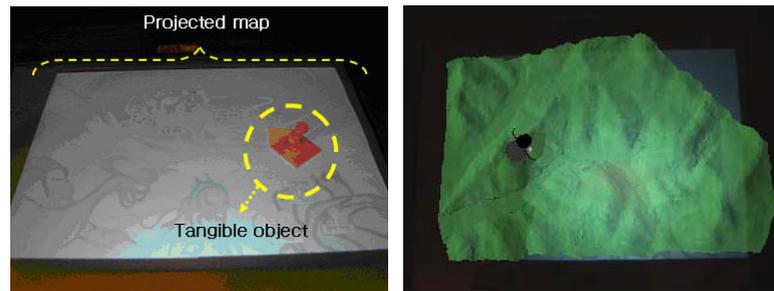


圖 3.1.5 運用擴增實境的效果 (park and woo, 2006)

3.1.2、與 VR CAVE 互動的媒材

VR CAVE 最大的優勢，就是具有立體顯示的設備，讓使用者可以感受到良好的視覺深度性。而在介面的直覺性上，搖桿就是一種常見的互動裝置[Tamura et al., 2001]，雖然搖桿的操作方式與人類生活經驗略有不同，但是在介面直覺性上有很好的效果，而且架設方便及使用簡單為其最大的優點。為了貼近人類的生活經驗，也有人發展出身體傾斜[Yang, 2005]以及腳踏墊[Lin, 2006]的方式，這類體感裝置主要是以肢體的動作來進行互動，一般常運用在沉浸式的空間體驗中，模擬人類移動的行為。不過體感裝置主要是運用在體驗虛擬空間時的移動，並不適合拿來當作瀏覽數位模型的媒材。



圖 3.1.6 VR CAVE 中各種體感裝置 (Yang, 2005; Lin, 2006)

數位行動時代的來臨，幾乎每個人身上都會有諸如手機、PDA、筆記型電腦等隨身行動裝置，所以有人將這類的動裝置，搭配其藍芽傳輸的功能，來與 VR CAVE 中的數位媒材來直接的進行互動[Shih, 2005]，而這也是這類隨身行動裝置最大的優勢。然而在介面直覺性方面，雖然多少可以取代搖桿的部分功能，但畢竟原本設計目的就不是用於瀏覽數位模型，故在操作上較不流暢，介面的直覺性不足。



圖 3.1.7 使用藍芽手機來進行互動 (Shih, 2005)

以感測設備為主的裝置，像是攝影機捕捉畫面的變化，或是紅外線感測器感應反光球的反射來進行操作[Wu, 2004]等等。特點是透過光筆、3D 反光球等光學設備來與感測裝置進行無線的互動，較能適應於 VR CAVE 的陰暗環境。但是在介面直覺性方面，需要學習特定的動作指令，要熟練也許需要一段時間的練習，指令的記憶也增加了認知上的負擔，所以在介面的直覺性上有所不足。而且與模型互動的過程中也少了在觸覺上的感知。



圖 3.1.8 3D 反光球及紅外線感測器 (Wu, 2004)

六自由度(6-DOF)裝置則是為了彌補一般裝置只有四個向度缺點而開發[Kulik et al, 2006]，因此就操作數位模型方面，已經可以達到完全的自由。但對於介面直覺性而言，雖然方向上能完全自由，但還不能完全隨心所欲，仍需透過學習，並需時間熟練，因此介面的直性也只能達到一般。而且跟前幾個裝置一樣，在與模型的互動過程中皆少了與模型在觸覺上的感知，畢竟拿著模型板跟著操控裝置是有所不同的。

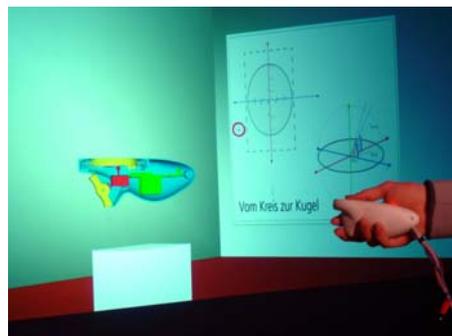


圖 3.1.8 3D two - 4 - six (Kulik et al, 2006)

3.1.3、分析結果總結

最後根據前面兩小節的分析，我們可以將現有可觸式使用者介面及 VRCAVE 中的互動媒材，就介面直覺性及視覺深度性上，簡略整理成表 3.1.1 及表 3.1.2。

表 3.1.1 可觸式使用者介面媒材在介面直覺性與視覺深度性的比較

名稱	介面直覺性		視覺深度性	
	描述	效果	描述	效果
metaDesk	透過視窗觀察數位模型	一般	平面的顯示缺乏視覺深度	不足
Luminous table	直接以實體模型來操作	很好	實體模型與數位效果的結合	一般
iCube	需額外學習及熟悉指令	不足	有實體輔助但數位模型不立體	不足
ARtable	以標識直覺的進行互動	很好	受環境限制而在視覺深度不足	不足

表 3.1.2 VR CAVE 中的互動媒材在介面直覺性與視覺深度性的比較

名稱	介面直覺性		視覺深度性	
	描述	效果	描述	效果
搖桿	操控簡單但生活經驗無用	一般	VR CAVE 中立體投影	很好
藍芽手機	無法直覺有效的操作	不足	VR CAVE 中立體投影	很好
3D 感光球	需學習指令及熟悉度	不足	VR CAVE 中立體投影	很好
六自由度裝置	不受方向限制但需學習熟悉	不足	VR CAVE 中立體投影	很好

而就介面直覺性及視覺深度性上的表現，最後歸納出下列幾項主要的缺點或不足的地方，供下一小節未來系統規劃的部分參考，來改善現有瀏覽數位模型的系統。

介面直覺性方面:

- 媒材不利於數位模型的瀏覽。
- 需借助實體模型的輔助。
- 仍需學習使用方式及記憶指令。
- 生活經驗無用。
- 互動過程中缺乏觸覺上的感知。

視覺深度性方面:

- 平面顯示缺乏視覺上的深度。
- 數位模型立體感不足。
- 繁複的顯示設備。
- 需實體模型的輔助。

3.2、未來系統規劃

本小節依前面分析的結果，就「介面直覺性」及「視覺深度性」這兩個部分，來進行改善與設計。在介面直覺性上，則導入可觸式使用者介面的概念，依循平常瀏覽實體模型的經驗，讓互動介面可以更直覺化。而在視覺深度性方面，運用 VR CAVE 中的立體成像技術，來產生視覺上的深度感。最後再依其設計結果來規劃所需的硬體環境及軟體架構。

3.2.1、互動設計

舊有系統在介面直覺性方面，主要需改進的缺點有：需要能主動的操控、避免額外製作實體模型、減少繁複的指令以及節省學習熟悉的時間等。回顧最單純觀看實體模型的方式，就是握住模型底板的部分將模型舉起，透過拿遠拿近、旋轉翻動等動作，來觀察一個模型的整體及細部，以及向評圖者解說其設計。所以在介面直覺性上的設計，嘗試以操控一塊模型板的方式來進行，這樣除了可以滿足實體的觸覺外，也可以仿照平時瀏覽實體模型的經驗，讓互動介面能有更好的直覺性。數位模型該如何隨著模型板產生即時的回饋，便成了一個急待解決的問題。

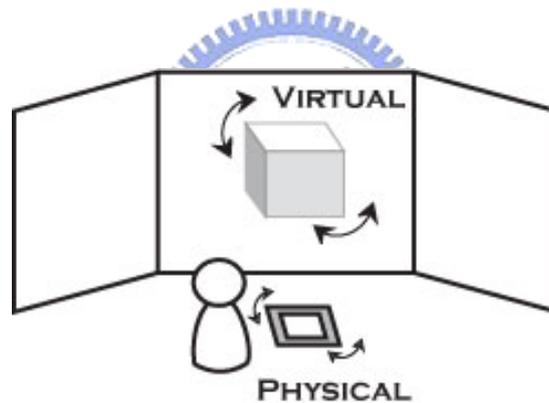


圖 3.2.2 使用者與數位模型互動的模式 (park, woo, 2006)

而在視覺深度性方面，最主要的缺憾是平面的顯示缺乏視覺深度感知，導致立體感的不足。而立體成像的原理[Lipton, 1982]，主要是利用左右眼觀察物體的視差，透過某種機制，例如偏光、遮色、光柵等方式，讓左右眼分別看到各自該看部分，最後在大腦產生具有視覺深度性的立體影像。為了滿足視覺深度性以及支援多人參與，以 VR CAVE 的硬體設施來解決這個問題是最經濟簡單的方式[Sean, 2003]，而 VR CAVE 也有著廣大的視野範圍及廣度、支援環繞視野、以及容易將真實與虛擬物件作 3D 應用的結合[Bowman ed al, 2005]。依照前述的的互動模式，就需要透過某種方式來模擬左右眼所該看到的影像，並都能夠在 VR CAVE 的系統作中即時的更新。

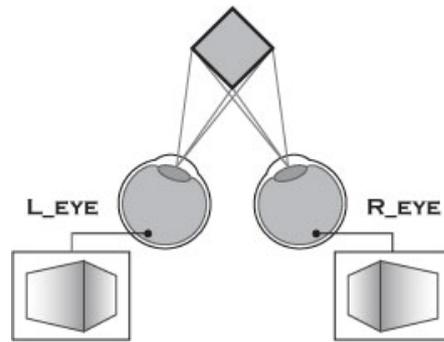


圖 3.2.1 立體成像的原理 (Lipton, 1982)

綜合前述關於介面直覺性與視覺深度性的部分，可以採用擴增實境的技術，在不同的模型板上各自貼上代表其數位模型的標識，所以當標識隨著模型板狀態改變其角度，經由攝影機的捕捉後，電腦便能運算其數位模型正確的角度並投射出來。如此便解決數位模型該如何隨著模型板產生即時回饋的問題。而立體成像的部分，就分別架設左右眼的攝影機來模擬人類的雙眼，然後調整其距離及焦距，再連結到各自的電腦輸出至 VR CAVE 播放，如此一來便能以簡便的方式來達到立體視覺的目的。

綜合以上所述，便能產生出一套具有視覺深度性，且具有介面直覺性的數位模型瀏覽系統。系統的初步整體架構規劃如圖 3.2.3。

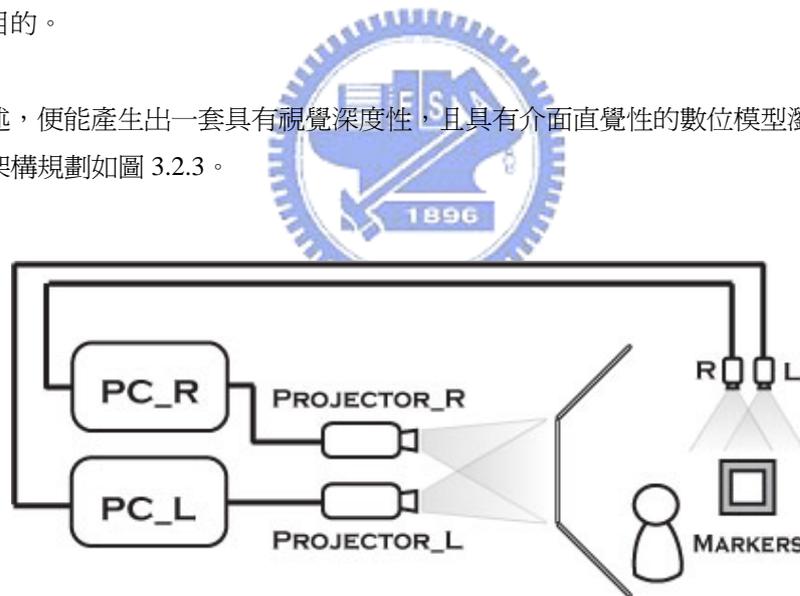


圖 3.2.3 系統的初步架構規劃

3.2.2、硬體環境

研究中所採用的立體投影設施，主要是由工研院(The Industrial Technology Research Institute in Taiwan, ITRI, 2002)所開發的背投式 VR CAVE。系統架構主要是由一台控制伺服器(Control Server)及六台客戶端顯示(displayer client)所組成的電腦群(PC Clusters)，搭配三面夾角各為 120 度的投影螢幕跟六台投影機所構成。透過其提供的立體視覺體驗，來做為本研究展示數位模型的平台。

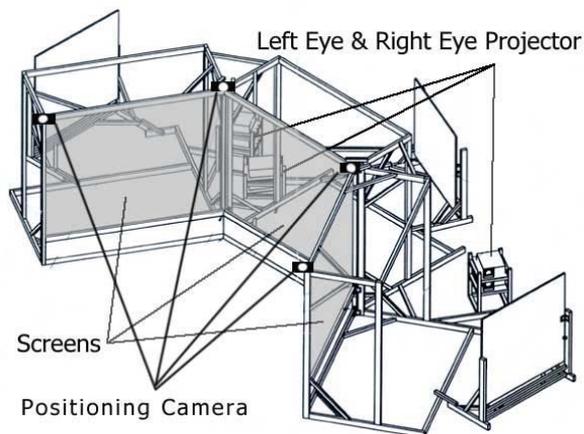


圖 3.2.4 VR CAVE 的環境 (ITRI, 2002)

而 VR CAVE 的運作原理主要是以控制伺服器為中心，透過 TCP/IP 的通訊方式將訊號傳至六台客戶端電腦來進行同步。控制伺服器負責的是協調六部客戶端電腦的運作，而客戶端電腦則是負責各影像的運算與畫面的輸出。當使用者下達指令後，由控制伺服器接收，再以固定間隔時間(10 毫秒)發出訊號至三面牆的各自兩台客戶端電腦。兩台客戶端電腦運算出左右眼影像後，再經由投影機透過偏光濾鏡(Polarized Filter)投射至同一螢幕上。使用者戴上偏光眼睛後，便可以讓左右眼接受到不同的影像，而在大腦中形成立體的視覺。

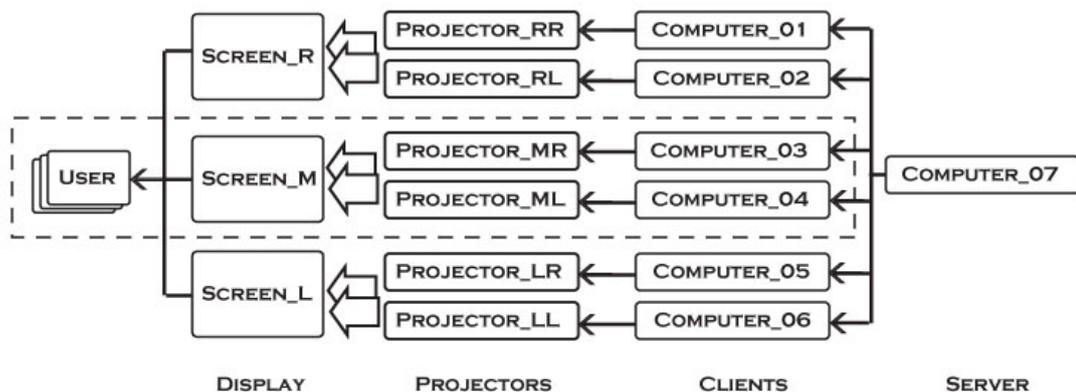


圖 3.2.5 VR CAVE 的架構圖 (ITRI, 2002)

本研究在 VR CAVE 中主要會運用到其立體成像的功能來展示數位模型，由於不需要包覆式的沉浸空間，所以只會運用到一面螢幕，而其它兩面閒置螢幕可供後續研究使用，來使其應用更為多元。而電腦的部分是由兩台攝影機直接連至兩台客戶端電腦即可運算，所以也不需要透過伺服器電腦來協調同步，能以最少的硬體完成目的。而系統的硬體架構如圖 3.2.6。

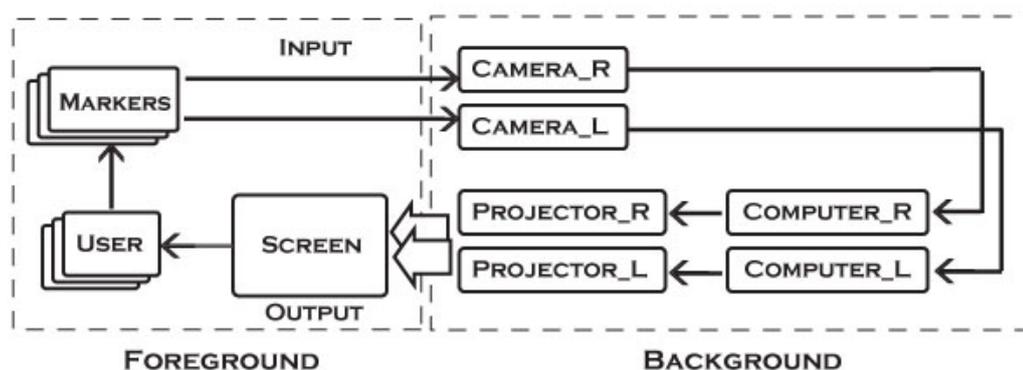


圖 3.2.6 系統的硬體架構圖

3.2.3、軟體架構

在互動設計中提到希望透過模型板來即時的與數位模型進行互動，並滿足可觸式使用者界面的概念，為達到上述兩點，需要找尋一套適用的軟體。而有研究指出[Eva and Thomas, 2002]，可觸式使用者界面設計實作的入門門檻較高，像是其中的感測互動機制，需要一些不是可以輕易取得的設備，甚至需要去焊電路板，而軟體部分則需要程式的編寫等，並非一般學設計的學生可以輕易上手。所以作者提到運用 ARtoolkit 這套函式庫來進行，是一個簡單且低成本的方式，其光學圖形追蹤辨識的效果，可以讓我們把重點放在快速成型、概念構想、互動測試上。所以本研究擬以 ARtoolkit 來作為其軟體的主要開發平台。以下就其源由及運作原理做一簡單介紹。

ARtoolkit 是由華盛頓大學人機介面實驗室(University of Washington Human Interface Technology Laboratory)所開發出來的一套函式庫(Library) [Kato and Billinghurs, 2007]，該函式庫是以 C/C++ 程式語言來編寫完成。而此函式庫所提供的函式可以讓程式開發者簡單的建立一個增擴實境的應用程式。其最大的特色是可以將 3D 影像透過運算其角度及距離，直接覆蓋在真實環境中的標識 (Markers) 上，使用者透過頭戴式顯示器(Head Mounted Display, HMD)或是其它顯示投影設備，便可以看到真實環境與虛擬物件的結合。

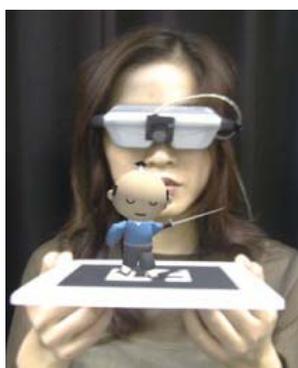


圖 3.2.7 使用 ARtoolkit 的效果 (Kato and Billinghurs, 2007)

而任一以 ARtoolkit 為函式庫所撰寫出來的程式，必需包涵八個階段，一但執行這個程式，便會不斷的遞迴執行這整個過程。以下就此流程作一簡述。

1. 將視訊攝影機所拍攝到的影像，以一定的頻率連續的截取出來。
2. 程式再將載取到的影像由彩色影像轉換為黑白影像。
3. 接著在程式會在黑白影像中搜尋任何矩形的區域，若有搜尋到任何矩形的區域，便會進一步辨識矩形內的圖形是否為預設的特定圖形，若符合的話，程式則會辨認為標識。
4. 根據之前辨認出來的標識，程式便會開始計算標識與視訊攝影機之間的距離與角度。
5. 然後找出與該標識對應的虛擬模型，而對應的規則必需先在程式中完成。
6. 程式依其規則計算出描繪虛擬模型所需的正確角度、大小及位置。
7. 再將繪虛擬模型繪製在剛才截取的影像中。
8. 最後將結果輸出至顯示器中，便可看到虛擬模型與真實環境的結合。

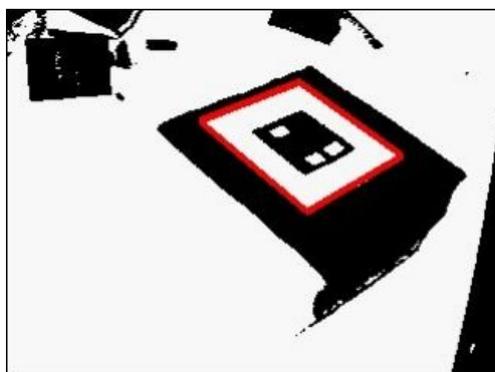


圖 3.2.8 程式將畫面轉為黑白並搜尋方框 (Kato and Billinghurs, 2007)



圖 3.2.9 ARtoolkit 中使用的標識範例 (Kato and Billinghurs, 2007)

本研究將透過 ARtoolkit 函式庫來辨認模型板上的標識，從標識圖案資料庫中辨識出其代表的數位模型檔後，再分別將左右眼攝影機捕捉到的角度距離作運算，透過 OpenVRML 讀取.wrl 數位模型檔，將該看到的數位模型部分描繪出來，最後在 OpenGL 程式圖形介面中去除掉不需要的背景雜訊並將其彩現影像以全螢幕(Full Screen)的方式輸出至 VR CAVE 的螢幕上。但標識的辨識在 VR CAVE 陰暗的環境中可能會遭遇到辨識的困難，這部份留待實作部分再解決。最後完成的系統整體架構規劃將會如圖 3.2.10。

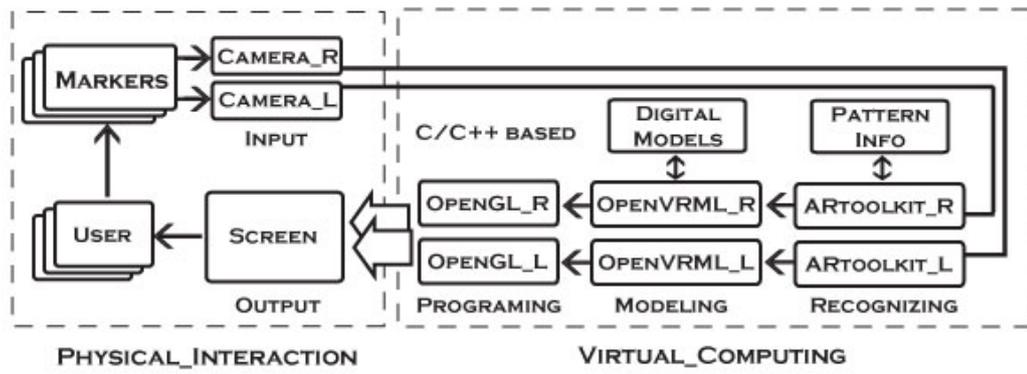


圖 3.2.10 實體互動與虛擬運算的關係



4.1、硬體架設

本小節將就硬體部分的建置過程來作一簡要的概敘。主要工作內容可分為系統硬體環境及標識製作兩個部分。在系統硬體環境方面，於原有的 VR CAVE 硬體環境底下，只需另外加裝兩個攝影機來捕捉標識影像即可。而在標識的部分，為了使其在 VR CAVE 陰暗的環境中能夠被清楚的辨識，以及配合使用上的需求，而作了簡單的設計。

4.1.1、系統硬體環境

硬體環境的架設較為簡單，在原有的 VR CAVE 硬體環境底下，只需加裝兩個分別代表左右眼的攝影機即可，如圖 4.1.1 所示。而攝影機有幾個選擇的重點，需要能方便架設，攝影角度能有極大自由以方便視角的調整，且最好有輔助光源能增加標識的辨識度。而攝影機架設的位置以讀取標識時不被使用者所防礙為主，且架設角度能夠正確反映與使用者的實際互動為主。最後完成的硬體架設關係如圖 4.1.2



圖 4.1.1 攝影機的架設

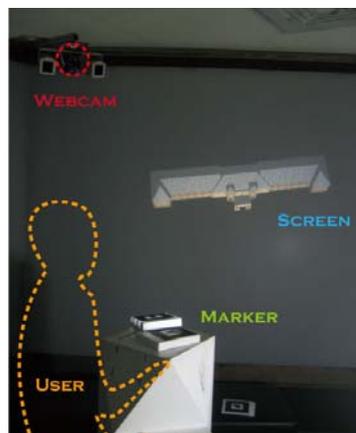


圖 4.1.2 系統的硬體環境

4.1.2、標識製作

使用 ARtoolkit 所能辨識的標識，必需為一正方黑色方框，然後中間再填充方便自己識別的圖案，如圖 4.1.3 所示。在 ARtoolkit 的辨識過程中，會先將畫面轉成純黑白，所以無法加入顏色這個元素來增加標識的辨別性。再來程式會搜尋黑白畫面中的方框，一但搜尋到方框便會開始辨識裡面的內容，而裡面的圖案是可以先經過設計的，讓圖案不只對電腦有意義，也讓使用者可以方便的去辨認標識所代表的數位模型。而這套函式庫可以允許同時讀取多個標識，所以可以先將標識分為建築物、基地、交通等等，再來依需求搭配使用，讓這套瀏覽系統在使用上更為多元。

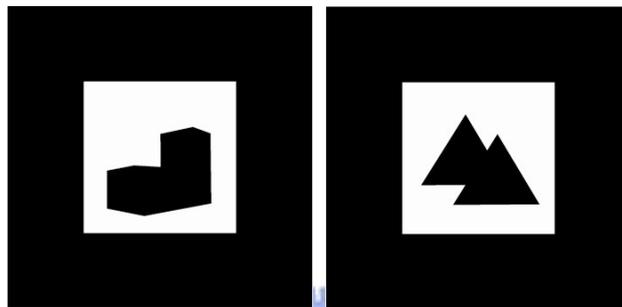


圖 4.1.3 分別代表建築物與基地的標識

但標識的判讀在 VR CAVE 的陰暗環境中會有辨識上的困難，而外加過量的輔助光源則會干擾投影幕的觀效果。運用 ARtoolkit 在辨識過程中會將畫面轉為黑白這個特性，可以讓標識自體發光來增加辨識度，且對環境的影響會減至最少。於是將標識製作成一個埋有 LED 燈的燈箱裝置，旁邊裝有開關可以方便控制發光與否，且將上方的標識設計成可以替換的方式，如此一來只需製作兩三個燈箱，便可以拿來靈活的組合運用。如此的設計方式，讓燈箱有了厚度跟重量，比起薄薄的一張紙，更有真實比擬手拿模型的觸感，也落實可觸式使用者界面的概念。而燈箱的大小則會影響辨識的距離及模型的大小，經測試後的尺寸以 16cm*20cm 最能符合現場環境。最後完成的燈箱標識及其現場展示狀況如圖 4.1.4 所示。



圖 4.1.4 完成後的標識

4.2、軟體建構

軟體建構主要分為兩個部份，數位模型的建置及系統程式的編寫。製作數位模型的主要步驟包含模型建置、材質貼圖、動畫設定等工作，最後再將其輸出成 wrl 檔，讓接下來建置的系統程式可以運用。而系統程式的部分主要是以 ARtoolkit 函式庫來辨認標識，再來使用 OpenVRML 使其支援 wrl 的數位模型檔，最後整個 3D 圖形的架構是在 OpenGL 中完成。

4.2.1、數位模型建置

數位模型的建置可以使用任何一套 3D 軟體來完成，只要最後進行轉檔即可。過程可分為模型建置、材質貼圖、動畫設定及轉檔輸出等幾個步驟。以下分別就作一概略性的敘述，而建置的數位模型則以交通大學明日建築展中(Liu, 2007)的新竹市政府及其周遭廣場為例(圖 4.2.1)，範例中使用的 3D 軟體則為 Autodesk 3ds Max8。



圖 4.2.1 新竹市政府實景

參考實際建築物及其平立面後，以多邊形模式(Polygon)將其模型建置出來。而建置的原則以面愈少愈好，盡量以精細的貼圖代替。因為如果電腦的硬體設備不夠好的話，過多的面數會拖垮整個運算的速度，而導致運算延遲(Delay)的情況發生。如果是原本建構複雜的模型，最好透過減面的動作將原有的面數降低，以換取較好的互動效果。

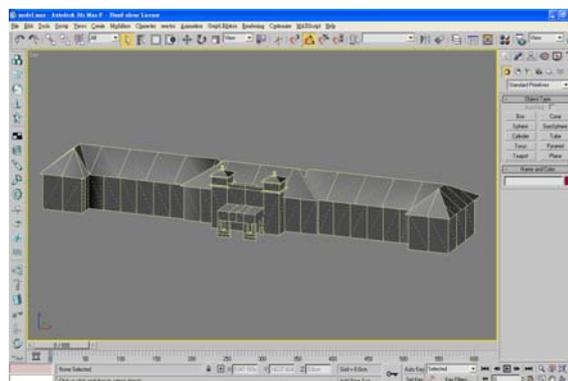


圖 4.2.2 建置好的數位模型(Liu, 2007)

接著將實際拍得的實景照片以影像處理軟體進行處理，把需要的立面剪裁出來，去除不必要的雜訊如人、車等，再將同一棟建築物的圖片整理在同一個檔案上，最後再將材質匯進 3D 軟體中，用 Unwrap UV 的方式貼上，如圖 4.2.3 所示。轉檔後的材質檔案能夠支援大部分常用的格式，如 jpeg、bmp、png、gif 等，但是不支援 dds 的格式。

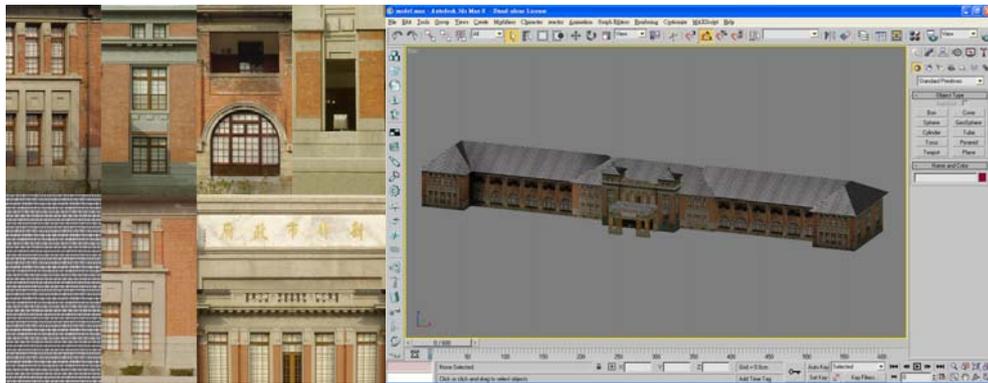


圖 4.2.3 材質及貼圖後的模型(Liu, 2007)

在完成所需要的模型建置及材質貼圖後，便可以在 3D 軟體中，將需要移動的物件設定動畫，而設定好的動畫將會在最後轉檔時一併匯出，不需要額外的步驟。動畫的設定沒有太大的限制，也可以進一步使用骨架系統來設定進階的動畫。在圖 4.2.4 中所設定的是交通工具的動畫，藉此模擬真實場景的狀況

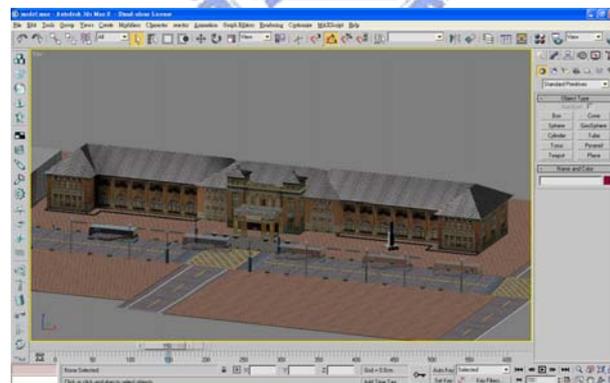


圖 4.2.4 建築物及基地的模型(Liu, 2007)

最後完全上述的步驟後，便可以將檔案轉檔匯出(Export)成.wrl 檔，以供接下來完成的系統程式使用。而 wrl 檔是 VRML 所能支援的數位模型檔案格式，此部分留待系統程式編寫中作介紹。轉檔的過程需注意材質的路徑設定，以免在讀取材質時找不到材質檔案，最好不要設絕對路徑，把檔案跟材質都放在同一個資料夾中是最保險的方式。

4.2.2、系統程式編寫

程式編寫的部分，由於直接使用 C/C++來編寫程式對於設計背景的學生有某種程度的困難，直接修改 ARtoolkit 中所提供的範例檔是較為快速的方式，最後決定以 VRML 這範例來修改較符合需求，執行 VRML 範例的效果如圖 4.2.1 所示。它是一個視窗程式，會出現視窗的外框，但在 VR CAVE 中執行時，視窗的外框會干擾瀏覽時的效果也不美觀，所以視窗外框必需要消除，讓其以全螢幕模式執行。與背景疊合的效果也不需要，對於瀏覽數位模型時是種干擾的雜訊，所以也需要去除背景，單純顯示數位模型即可。

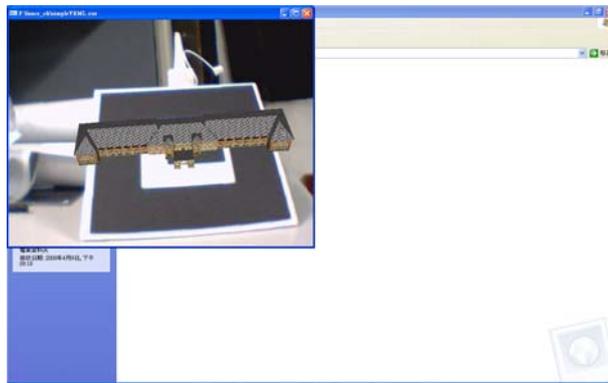


圖 4.2.1 執行 VRML 範例的效果

為了解決上述兩個問題，所以需要去修改程式的原始碼。在 windows 的作業系統底下要編譯這個程式(Kato and Billingham, 2007)，首先需要一套 C/C++的編譯軟體，像是 Microsoft Visual Studio .NET 2003 或是 Visual Studio 6。再來下載 DSVideoLib，讓程式可以控制攝影機的驅動程式，接著在作業系統中安裝 GLUT 這套擴充函式庫，最後再下載 OpenVRML，讓程式可以支援 VRML(Virtual Reality Modeling Language)，即所謂的虛擬實境模型化語言，簡單來講就是三維立體圖形的資料結構檔案，透過它我們才可以讀取我們所使用的數位模型檔案，即 wrl 格式。下載完並安裝上述的檔案後，便可以開始編譯這個程式。

一開始解決視窗全螢幕的問題。整個程式是架構在OpenGL下面，而OpenGL (Open Graphics Library) 則一套是以C語言所發展的三維立體空間圖形程式介面。為了達到全螢幕，必需要在不斷重覆執行的主迴圈(Main Loop)底下加上一行全螢幕的指令。

```
glutFullScreen();
```

再來是去除背景雜訊的部分，背景是來自於攝影機將拍攝到的畫面轉為三原色像素再畫(Print)到螢幕上，所以只要找到這行指令，再將其註解掉即可。註解掉的指令如下。

```
//arglDispImage(gARTImage, &gARTCparam, 1.0, gArglSettings);
```

最後執行編譯出來的程式如圖 4.2.2 所示。與圖 4.2.1 經由比較可以發現，雖然兩張的標識是在同一個角度與位置被拍攝所得到的螢幕截圖，但先前視窗的邊框不見了，整個畫面是以全螢幕的方式呈現，而背景的雜訊也不見了，不會干擾到使用者，能夠單純的去瀏覽數位模型，也達到原本設立的目標。

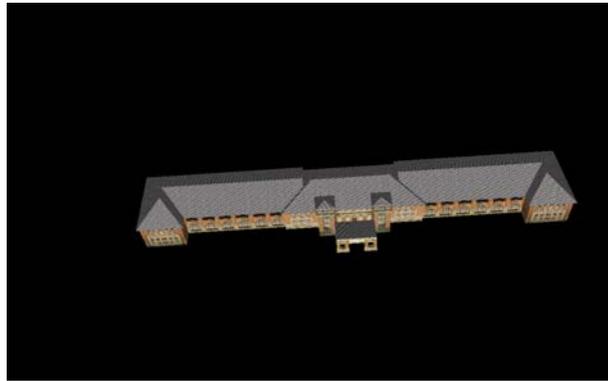


圖 4.2.2 執行編譯後程式的效果

4.3、初期結果

最後將完成後的系統進行初期結果展示。調整兩台攝影機の間距及焦距後，使其可以清楚辨認標識的角度、遠近及位置，再將運算結果顯示在 VR CAVE 的螢幕上，使用者戴上立體眼睛後，便能清楚的看見具有視覺深度性的數位模型。使用者戴著立體眼鏡，透過標識與數位模型互動的狀況，如圖 4.3.1 所示。

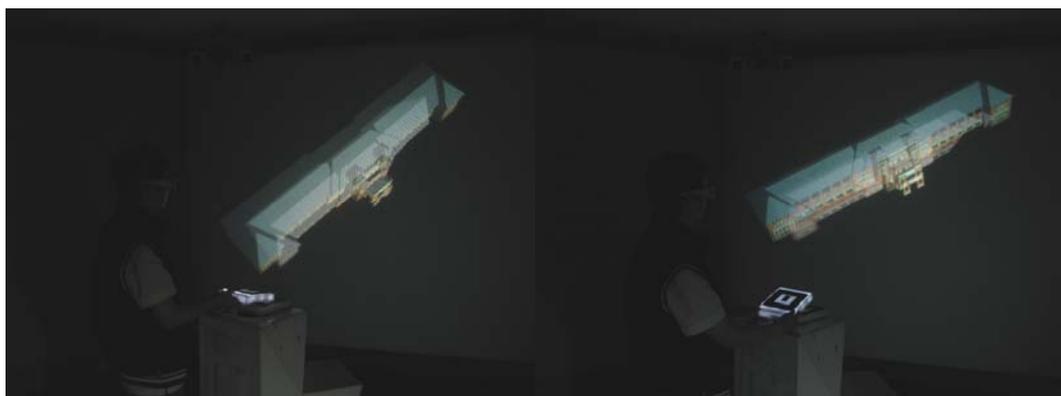


圖 4.3.1 使用者實際操作的狀況

而拿著標識燈箱來與數位模型互動，可以直覺地仿照平常觀察實體模型的經驗，直接轉動標識來影響數位模型的角度，如圖 4.3.2 所示，真正達到介面直覺性。且燈箱的厚度與重量，也讓我們有了實體的質度與觸感。

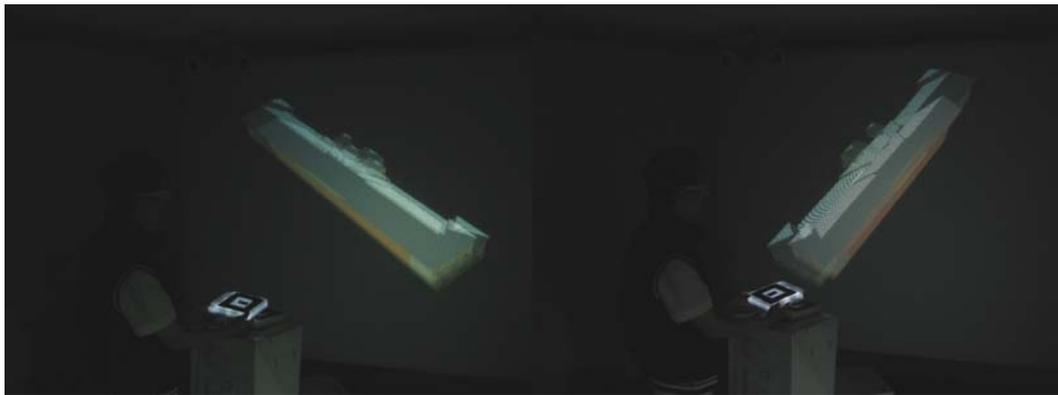


圖 4.3.2 使用者直覺的與模型進行互動

而我們平時除了觀察建築物本體外，也會將多個模型同時拿來比較，或是將建築模型與基地模拿來比對，藉此觀察建築物與環境的關係。而在系統中可藉由同時使用多個標識燈箱來達到此目的，如圖 4.3.3 中，使用者兩手分別拿著建築本體與基地環境的標識來比對以及觀察與環境的關係。而畫面中的基地也加入了行車動畫的呈現，讓瀏覽系統的表现法更為貼近真實，甚至可以更進一步的模擬真實環境。



圖 4.3.3 與基地模的結合及動畫的呈現

4.4、系統評估

本小節主要是來檢驗此系統是否有達到最初的研究目的，並得到檢討及回饋，因而設計此一簡單實驗。以下主要分為實驗設計及結果討論兩個部分，實驗設計的部分介紹了實驗目的、受測對象、模擬建築、實驗流程及檢測項目等。結果分析與討論則是針對第一部分的結果來進行分析及討論，並提出可以改進的地方。最後在系統修正的部分，針對需要改進的地方進行修改微調，讓系統整體的表現可以更貼近真實情況。

4.4.1、實驗設計

實驗設計的部分，主要是依研究目的，建立一套可以取代實體模型的系統，因而設計一簡單的實驗來讓使用者實際評估比較實體模型以及這套數位模型瀏覽系統，看這套系統是否足以取代實體模型，並得到檢討回饋點，來改進原系統的不足。

實驗中模擬的建築物為新竹市政府，與東門城相攘，為新竹市的重要地標，在新竹市的人絕大部分都會親臨，讓受測者可以更準確的判斷。而根據評估的重點，數位模型及實體模型皆需著重在量體的表現，材質的貼圖以及環境的模型等等。而數位模型已如前一小節所示，實體模型也上了材質，並製作周邊環境以及人行車輛等，如圖 4.4.1 所示。



圖 4.4.1 新竹市政府的數位模型與實體模型

系統的開發主要是針對建築系學生及相關從業人員，因此受測者的限制需要受過三年(含)以上的建築系學生，如此才對模型有一定的了解及掌握，實驗的結果才有意義。為了使實驗結果不至於太過偏頗，因而將受測者人數定在十人，以吸取更多不同的建議。

測驗的方式，主要是以問卷的方式進行。依據研究的重點，將問卷分為五個部分。第一個部分為個人基本資料的填寫，第二部分則讓受測者回想平常使用實體模型及數位模型的經驗，來引導到問卷的主要問題。第三部分即為主要問題的部分，依照四個評分子項，分別為視覺深度、介面直覺、材質表現、環境模型等，來讓使用者來跟實體模型進行比較，給予一到五分分數，一分為不足，三分為相同，五分為更好，並寫下原因為何。第四部分則就整體而言，此一系統是否可取代實體模型，並寫下原因。最後一部分則可寫下對此系統的建議及感想。

四個主要評分子項目如下:視覺深度是要讓使用者檢測感受的立體感是否逼近於實體模型;而介面直覺則是端看操作介面是否一如實體模型;材質表現則是比較數模型跟實體模型那個比較容易呈現材質的真實感;環境模擬則是讓使用者感受何者在於基地環境、植栽分佈、人行交通等的模擬較為優異。

實驗的流程分為五個步驟，首先向受測者解說實驗的目的，以及受測的方式及內容，並簡單說明整個流程。接下來實際解說如何操作並使用這套系統，接著讓受測者實際去使用及操作這套系統，並實際比較與實體模型的差異。比較完畢後即可填寫問卷，最後再進行一小段簡單的訪談，來了解使用者操作的感受。整體的流程約為 40 分鐘，如圖 4.4.2 所示。



圖 4.4.2 評估實驗的流程

4.4.2、結果分析與討論

首先是實驗引導問題的部分，在十位受測者中，有七位受測是常使用實體模型來表現設計，而全部的受測者皆皆表示常使用數位模型。在比較實體模型與數位模型方面，絕大部分的受測者都常用並偏好使用數位模型來表現設計。根據受測者的表示，實體模型的優點在於直覺、感知強烈、容易操作溝通、可觸碰、有製作的痕跡及作者的特質等優點，缺點方面有製作費時、保存不易、不易以人的角度觀察、材質表現不佳、不夠擬真以及難修改等。而數位模型有打光、材質表現真實、縮放自由、製作快速、修改容易及擬真等優點，但也有缺乏真實感、不可觸摸、不夠即時、尺度不易掌握、不易溝通等缺點。

表 4.4.1 實驗引導問題結果統計表

	是	否	實體	數位
是否常使用實體模型來表現設計?	7	3	/	/
是否常使用數位模型來表現設計?	10	0	/	/
較常使用實體模型或數位模型?	/	/	1	9
較愛用實體或數位模型來表現設計?	/	/	2	8

表 4.4.2 實體模型與數位模型的優缺點

	實體模型	數位模型
優點	直覺、感知強烈、容易操作、容易溝通、可觸碰、有製作的痕跡及作者的特質	可以打光、材質表現真實、縮放自由、製作快速、修改容易、擬真度高
缺點	製作費時、保存不易、不易以人的角度觀察、材質表現不佳、不夠擬真、修改困難	缺乏真實感、不可觸摸、不夠即時、尺度不易掌握、不易溝通

在主要評分的部分，如表 4.4.3 所示，以數位模型跟實體模型相比較評予 1 到 5 分，1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好，介面直覺的平均分數爲 2.8、視覺深度爲 2.8、材質表現爲 4.4、環境模擬爲 4、整體而言爲 3.6。以下分就各個部分來逐一討論。

表 4.4.3 實驗主要問題結果統計表

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均
介面直覺	4	2	3	3	2	2	3	2	3	4	2.8
視覺深度	4	2	2	3	4	3	2	2	4	2	2.8
材質表現	4	4	5	4	5	4	5	5	4	4	4.4
環境模擬	4	5	5	4	5	4	5	4	4	5	4
整體而言	4	3	4	2	4	4	5	4	4	2	3.6

在介面直覺的部分，受測者都對於此一互動介面感到新奇，旋轉移動也以人的習慣爲出發點來設定，不會有操作上的障礙。但是比起使用實體模型，一些物理感知較不明確，像是重量感不足、無法觸摸等，還有前後翻轉的反應是與實際情況相反的，加上系統反應會有些微的時間差，所以受測者的平均分數也只有 2.8 分。但是跟視覺深度部分一樣，已經非常接近相同指標的 3 分，雖然接近，但顯示還有努力的空間。

在視覺深度的部分，受測者普遍認爲 VR CAVE 帶來的立體效果，使得瀏覽數位模型時在視覺深度性上有大幅的提升。但是比起實際觀察實體模型，還是多了一份不真實感，量體感也不足，而且數位模型在尺度感上較難拿捏，因而此一評分項目，受測者的平均分數只有 2.8 分，但已經非常接近相同指標的 3 分，顯示雖然此一系統在視覺深度上尚不足以跟實體模型比擬，卻已經非常逼近其效果。

在材質表現的部分，受測者在平常均習慣使用數位模型，而材質貼圖也是數位模型的強項。相較於數位模型，實體模型在製作上對於材質的模擬有困難，較不易擬真。但是數位模型可以透過數位影像處理技術來製作材質，並透過多種貼圖方式來將數位模型貼上材質，然後調整參數至最佳比例狀態。而且數位模型也可以輔以燈光渲染，因此與實際狀況相當接近，所以數位模型在材質表現的部分得到 4.4 的高分。

在環境模擬的部分，受測者均表示系統可以在數位模型上有動態的模擬，對於交通、人行動線的模擬方面有很大的加分作用，而且透過前一項材質表現部分的輔助，使得系統在整個環境模擬的部分達到很好的效果。而動態的模擬一直是實體模型很難作到的部分，環境的模擬通常也不夠真實，因此系統在環境模擬的分數也拿到了 4 分的高分，顯示數位模型在這部分也是實體模擬所難以取代的地方。

在最後總結的部分，請受測者綜合以上各點，覺得這套系統是否可以取代實體模型。而受測者均覺得有取代的潛力，但是數位模型與實體模型其實各有優缺點，設計者有實體模型輔助設計的必要，而數位模型對於表達設計的實用度較高，所以不應取代而該是互補。因為系統包含實體模型的某些優點，並擁有許多比實體模型表現更優異的部分，所以最後得到了 3.6 分的分數，表示系統整體而言比起實體模型有更好的設計發表能力。

4.4.3、系統修正

實驗完畢就受測者的問卷及訪談得知，有兩個主要的缺點需要修正，首先是在介面直覺性上有某些互動方式與實際經驗相反，以及需要放大及縮小數位模型時感到困惑。以下便針對這兩個缺點造成的原因來探討並設法修正。

根據受測者的反應表示，將標識前端往上抬時，螢幕中的數位模型卻是後端往上抬，與平常操作實體模型的經驗相反。以使用者的角度來看的話，應該是抬起後端，模型也是後端往上。探究其原因後發現，主要是跟攝影機架設的位置有關。如圖 4.4.3 所示，一開始為了方便攝影機讀取，避免被使用者遮擋影響讀取，因而將攝影機架設在使用者的前方，但如此一來使得使用者在瀏覽互動的過程中，產生了相違的互動介面。而且也有受測者表示要近看模型應該是將標識移近雙眼，但由於攝影機是遠離使用者雙眼的，所以看遠看近的時候也會讓使用者感到困惑。



圖 4.4.3 系統介面互動時相反的反应

而在了解原因後，便著手將系統修正。首先攝影機的位置重置於使用者的上面，如此一來，當使用者將標識前端翻轉，螢幕中的數位模型的前端也會跟著翻轉。而將標識移近雙眼，由於靠近攝影機，標識的比例變大，因此螢幕中的數位模型也跟著變大。但修正過後的系置，對於使用者站立的位置就必需受到較為嚴格的限制，以免身體擋住攝影機的讀取，所以使用者站立的位置及互動範圍必需在一開始便有所規範。

最後完成的系統如圖 4.4.4 所示，可與圖 4.4.3 所表示的初期系統作一比較。模型的翻轉互動方式已經有所改進，使用者得以貼近實際上的經驗來操作這套系統，不會再有不流暢且直覺反應怪異的情況發生。而放大縮小的部分，也因為攝影機放置於使用者頭部的上方，接近使用者的雙眼，移近移遠後也能以正確的方式來顯示其應有的比例。整體系統在修正過後，在操作上相信已與實體模型無異。

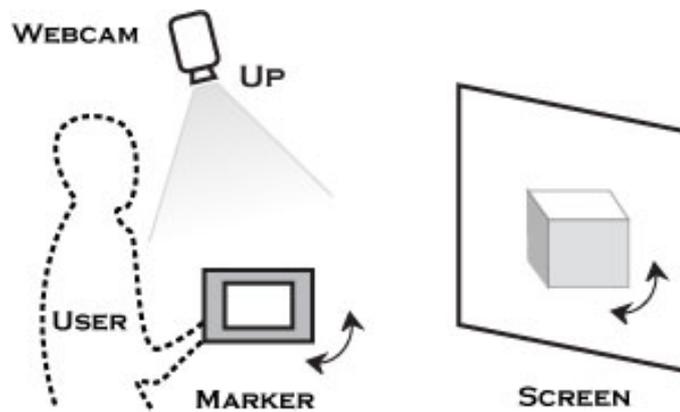


圖 4.4.4 系統介面互動修正後



5.1、結論

使用者與電腦的關係，從資訊時代以來一直不斷地在改變，數位該以怎樣的角色出現在現實生活中，也一直是研究者觀注的焦點。實體模型對於建築設計而言，長久以來都是個不可或缺的輔助媒材，數位模型的出現，其建模快速及強大的貼圖光影效果，則讓設計者有更多樣的媒材可供選擇。然而設計者與數位模型一直沒有一個良好的互動關係，相較於實體模型，設計者必需透過一些缺乏介面直覺性的互動方式來瀏覽數位模型，且視覺深度性也無法在瀏覽的過程中得到滿足。本研究則試圖提出了一種兼具有有視覺深度性及介面直覺性的數位模型發表空間。

在先前系統的分析中，得出過去的數位模型瀏覽系統，以基於可觸式使用者介面概念的媒材而言，在視覺深度性上，大都只提供了平面的立體感，缺乏視覺的深度。介面直覺性上雖然提出了新的概念，但仍有著媒材不利於瀏覽、需借助實體模型的輔助、指令的學習與記憶、缺乏觸覺感知及生活經驗無用等缺點。而基於空間模擬器開發的媒材，雖然在視覺深度性上得到了滿足，但在介面直覺性上卻也有著跟上述媒材相類似的缺點。所以在系統規畫的部分，提出了將可觸式使用者介面的概念與空間模擬器結合的構想。

經由系統實際開發後的結果，使用者戴上立體眼鏡後透過空間模擬器，即可同時向多人發表自己的建築設計，或是實際操控這套瀏覽系統來研究及發展自己的設計，節省了製作實體模型的時間。空間模擬器提供了視覺的深度性，而仿照使用實體模型的方式來瀏覽數位模型則達到了介面的直覺性，使用者可藉由移遠移近來放大縮小數位模型，旋轉移動來改變數位模型的角度，甚至同時使用兩個標識來比較及比對相互間的關係。而數位模型的光影、貼圖及動畫模擬等優點，也都可以在系統中得滿足。

經由受測者現場測試得知，受測者在介面直覺性以及視覺深度性上，均認為這套瀏覽系統雖然尚無法百分之百比擬實體模型，但其效果已經非常逼近。而在材質貼圖以及動畫模擬上的優異表現，讓受測者在綜合評比上，大都認為有取代實體模型的潛力。也有受測者認為兩者的關係不一定要取代，而是各有優缺點，能夠相輔相成，所以皆有其存在的必要。最後依據受測者的建議及回饋將系統進行修正。修正完成後的系統，已經滿足了受測者的需求以及建議，相信這套系統也更趨近於完成。

5.2、研究限制

在本研究中，爲了達到介面的直覺性，以及比擬真實模型效果，而選擇了 2D 圖形辨識的技術，使用了 Artoolkit 這套函式庫。然而這套函式庫有其先天的限制。首先是圖形辨識率並沒有辦法達到百分之百，會有誤判的可能性。再來是使用這套函式庫來開發，系統會有些微的延遲現象，導致使用者無法感覺到真正的直覺，當然這也可能跟系統所使用的電腦硬體設備有關。但這套函式庫仍然是在持續開發更新中，所以相信上述兩個缺點，在不久的將來是可以被克服的，而電腦硬體的進步的速度更快，也更加不會是問題。

而研究中爲了滿足視覺的深度性則選擇將硬體環境架設在空間模擬器中。開發系統所使用的是工研院所開發的背投式空間模擬器，有個較大的缺點是無法使用太多額外的輔助光源，否則會嚴重干擾到投影幕的顯示，而如此也讓標識無法在空間模擬器的環境中被判讀。所幸後來使用讓標識自體發光的方式來讓系統可以判讀得到，卻也或多或少影響了系統的辨識率，這也是類似媒材在空間模擬器中所要注意的事項。

5.3、研究貢獻

本研究的貢獻，在於提出了一種數位模型發表的可能性，相較於過去的系統，數位模型在瀏覽及發表時受到很大的限制，但本系統同時滿足了介面的直覺性以及視覺的深度性。在經受測者測試後，雖然表示在視覺深度性及介面直覺性上無法與實體模型完全相同，但綜合了其它優點，卻有取代實體模型的潛力，也讓數位模型是否可以取代實體模型這個議題，提供了另一個研究發展的方向以及可能性。

5.3、後續研究

本系統的開發提供了設計者一種新的數位模型瀏覽方式，可能的應用方式在前面一章有提出幾種可能性，因此針對這幾種可能性來提出可能的研究方向供後續研究者參考

建築設計發表空間

數位模型對於非建築背景者，較易讓其了解設計的內容。而建築設計發表的媒材，不單單只有模型，還有平、立、剖等圖面，還有簡報檔、模擬圖及動畫等媒材，因此運用空間模擬器其它兩面閒置的螢幕，開發各自的互動介面來展示其它的發表媒材，如此一來就有一套全數位的建築設計發表系統，可以拿來評圖或是向業主發表設計用。

數位模型設計空間

系統中展示的數位模型，尚處於單純展示的階段，後續研究者可基於本系統來開發即時的數位模型修改功能，可以當場編輯移動節點，甚至是改變材質，或是一些動畫模擬的控制等等，都是可以研究的方向。

裸眼式系統的開發

現在立體顯示的技術已經有多種裸眼的方式，像是光柵。使用者可以不必戴上立體眼睛便可感受視覺的深度性，因此將系統移植到其它立體顯示的設備，也可以提供更好的發表環境，也可以減少系統在空間模擬器中開發的限制。



參考文獻

- Bowman, D., Kruijff, E., LaViola, J., Poupyrev, I., *3D User Interface-Theory and Practice*, Pearson Education Inc, 2005.
- Carroll, J.M. (ed.), *Human-Computer Interaction in the New Millennium*, Addison Wesley, New York, 2001.
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., *Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE*, Proceedings of SIGGRAPH'93 Conference, pp. 135-142, ACM SIGGRAPH, 1993.
- Dias, M., Jorge, J., Carvalho, J., Santos, P., Luzio, J., *Usability Evaluation of Tangible User Interfaces for Augmented Reality*, Augmented Reality Toolkit Workshop, IEEE International, 2003.
- Dix, A., Finlay, J., Abowd, D. G., Beale, R., *Human-Computer Interaction*, Pearson Education, 2004
- Eva, H., Thomas, P., *Using ARToolKit Markers to Build Tangible Prototypes and Simulate Other Technologies*, INTERACT 2005, IFIP TC13 International Conference, Rome.
- Fitzmaurice, G.W., Ishii, H., Buxton, W., *Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces*, Proceedings of CHI 1995, May 7-11 2001, ACM Press.
- Fjeld, M., Bichsel, M., Rauterberg, M., *BUILD-IT: an intuitive design tool based on direct object manipulation*, In D. Harris (ed.) *Engineering, Psychology and Cognitive Ergonomics*. Vol. 4, Hampshire: Ashgate, pp. 205-212.
- Ishii, H., Ullmer, B., *Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms*, ACM, 1997.
- Ishii, H., Wisneski, C., Brave, S., Dahley, A., Gorbet, M., Ullmer, B., Yarin, P., *ambientROOM: Integrating Ambient Media with Architectural Space*, Published in the Conference Summary of CHI'98, ACM, 1998
- Ishii, H., Underkoffler, J., Chak, D., Piper, B., Ben-Joseph, E., Yeung, L., Kanji, Z., *Augmented Urban Planning Workbench: Overlaying Drawings, Physical Models and Digital Simulation*, Proceedings of International Symposium on Mixed and Augmented Reality ,2002.
- Johnson, J., Roberts, T., Verplank, W., Smith, D., Irby, C., Beard, M., Mackey, K. *The Xerox Star: A retrospective*. IEEE Comput. 22, 9, 1989.
- Jeng, T., Lee, C.H., *iCube: Ubiquitous Media Spaces for Embodied Interaction*, Proceedings of CAADFutures2003,
- Jeng, T., Lee, C.H., *Tangible Design Media: Toward An Interactive CAD Platform*, international journal of architectural computing, 2003.

- Kato, H., Billingham, M., *ARToolKit User Manual, Version 2.72.1*, Human Interface Technology Lab, University of Washington, 2007.
- Kim, J.S., Gracanin, D., Singh, H.L., Matkovic, K., Juric, J., *A Tangible User Interface System for CAVE Applications*, Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference, 2006.
- Kulik, A., Blach, R., Frohlich, B., *"two - 4 - six" - A Handheld Device for 3D- Presentations*, Proceedings of the 2006 IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 2006.
- Lee, C.H., Jeng, T., *A Context Manager for tangible media design presentation A human-centric interaction approach*, Automation in Construction 12 (2003) 487-493.
- Lin, C. C., *Spatial interface in VR CAVE : A sense of presence*, National Chiao Tung University, 2006.
- Lipton, L. *Foundations of the Stereo-Scopic Cinema – A Study in Depth*. Van Nostrand Reinhold Company. New York, 1982.
- Liu, Y. T., Tang, S. K., *Space, Place and Digital Media: Toward a Better Simulation of a City that has now Disappeared*, International Journal of Architectural Computing, Volume 1, Issue 1, pp. 112-129, 2003.
- Liu, Y. T., *Understanding of Architecture in the computer Era*, Hu's, Taipei, 1996
- Maher, M.L., Kim, M.J., *Studying Designers using a Tabletop System for 3D Design with a Focus on the Impact on Spatial Cognition*, Proceedings of the First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2006.
- Nielsen, J. *Usability Engineering*, Academic Press Inc, 1993.
- Norman, D. A., *The psychology of everyday things*, New York, 1988.
- Park, Y., Woo, W., *The ARTable: An AR-Based Tangible User Interface System*, Lecture Notes in Computer Science, pp. 1198-1207, 2006.
- Patten, J., Ishii, H., *A Comparison of Spatial Organization Strategies in Graphical and Tangible User Interfaces*, Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments, 2000.
- Sean, M. G., *VIRTUAL REALITY: Simulating and Enhancing the World Computers*, Facts On File, New York, 2003.
- Shih, W., L., *Virtual Presentation Space : An Approach to Digital Media for Design Communication in Virtual Environment*, National Chiao Tung University, 2005.
- Sharlin, E., Itoh, Y., Watson, B., Kitamura, Y., Sutphen, S., Liu, L., *Cognitive Cubes: A Tangible User Interface for Cognitive Assessment*, Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, 2002.
- Shneiderman, B., Plaisant, C., *Designing the user interface : strategies for effective human-computer interaction*, Education Inc, 2005.
- Tamura, H., Yamamoto, H., Katayama, A., *Mixed Reality: Future Dreams Seen at the Border between Real and Virtual Worlds*, IEEE Computer Graphics and Applications, pp.64-70, 2001.

- Ullmer, B., Ishii, H., *The metaDEST: Models and Prototypes for Tangible User Interfaces*, ACM, 1997.
- Ullmer, B., Ishii, H., Glas, D., *mediaBlocks: Physical Container, Transports, and Controls for Online Media*, Published in the *Computer Graphics Proceedings*, SIGGRAPH'98, 1998.
- Ullmer, B., Ishii, H., *Emerging Frameworks for Tangible User Interface*, Carroll, J.M. (ed.), *Human-Computer Interaction in the New Millennium*, Addison Wesley, New York, 2001. pp. 579-601.
- Underkoffler, J., Ishii, H., *Urp: A Luminous-Tangible Workbench for Urban Planning and Design*, Proceedings of CHI '99, May 15-20.
- Wu, Y. L., *The Interaction of 3D Mark in the VR CAVE*, National Chiao Tung University, 2003.
- Weiser, M., *The Computer for the 21st Century*, 1991.
- Wellner, P., *Interacting with paper on the DigitalDesk*, In Com. of the ACM, pp. 86-96, 1993.
- Yang, K. M., *A bodily user interface for VR-CAVE*, National Chiao Tung University, 2005.

參考網站

- Apple INC, <http://www.apple.com/iphone/>, 2007.
- ITRI, <http://newwww.itri.org.tw/index.asp>, 2002.
- Liu, Y. T., *Architecture of Tomorrow Exhibition*, <http://www.arch.nctu.edu.tw/tomorrow/>, Taipei, 2007
- Microsoft INC, <http://www.microsoft.com/surface/>, 2007.



附錄 A 受測者問卷

你好，首先感謝你協助填寫這份問卷。這份問卷主要是來檢測研究中的**數位模型瀏覽系統**是否能取代**實體模型**，並評估這套系統的實用性，以及與實體模型相比較的優缺點。問題主要分為三個部分，請依照你最直覺的反應來勾選即可，謝謝!

個人基本資料

姓名：_____ 性別： 男 女 年齡：_____

您學習建築相關背景(建築、室內、空設、景觀等)已幾年：_____

您是否曾親臨新竹市政府及周邊： 是 否

1、數位模型與實體模型(依照平常的經驗來回答)

<1>您是否常使用**實體模型**來表現你的設計： 是 否

<2>您是否常使用**數位模型**來表現你的設計： 是 否

<3>您較常使用實體模型或數位模型： 實體 數位

<4>您覺得使用**實體模型**的優點為何：_____

<5>您覺得使用**實體模型**的缺點為何：_____

<6>您覺得使用**數位模型**的優點為何：_____

<7>您覺得使用**數位模型**的缺點為何：_____

<8>整體而言您較愛使用何者來表現你的設計： 實體 數位

原因為何：_____

2、瀏覽系統與實體模型的比較(1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)

1 2 3 4 5

<1>**視覺深度**(包括尺度感、量體感)

原因為何：_____

<2>**介面直覺**(操作界面上是否直覺) 為何_____

原因為何：_____

<3>**材質表現**(材質表現上的真實感) 為何_____

原因為何：_____

<4>**環境模擬**(基地、植栽、交通等) 為何_____

原因為何：_____

3、最後整體總結而言，綜合以上各點，您覺得這套系統是否可以取代實體模型

(1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)： 1 2 3 4 5

原因為何：_____

4、對於這套系統有任何意見、想法、及建議嗎?(不夠可寫背面)

終於完成了，感謝你的幫忙，你是個好人!!

受測者 A

個人基本資料		
姓名：_____	性別： <input type="checkbox"/> 男 <input checked="" type="checkbox"/> 女	年齡：24
您學習建築相關背景(建築、室內、空設、景觀等)已幾年：6		
您是否曾親臨新竹市政府及周邊： <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		

1、數位模型與實體模型(依照平常的經驗來回答)

- <1>您是否常使用**實體模型**來表現你的設計： 是 否
- <2>您是否常使用**數位模型**來表現你的設計： 是 否
- <3>您較常使用實體模型或數位模型： 實體 數位
- <4>您覺得使用**實體模型**的優點為何：真實感。
- <5>您覺得使用**實體模型**的缺點為何：麻煩，難修正。
- <6>您覺得使用**數位模型**的優點為何：可自由放大縮小、表現、換材質。
- <7>您覺得使用**數位模型**的缺點為何：難有真實觸碰感。
- <8>整體而言您較愛使用何者來表現你的設計： 實體 數位
- 原因為何：不喜歡作模型。



2、瀏覽系統與實體模型的比較(1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)

- | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <1>視覺深度(包括尺度感、量體感) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 原因為何：立體感很好。 | | | | | |
| <2>介面直覺(操作介面上是否直覺) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 原因為何：旋轉可以直接控制。 | | | | | |
| <3>材質表現(材質表現上的真實感) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 原因為何：材質比實體模型更真實。 | | | | | |
| <4>環境模擬(基地、植栽、交通等) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 原因為何：交通容易模擬，更真實。 | | | | | |

3、最後整體總結而言，綜合以上各點，您覺得這套系統是否可以取代實體模型

(1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)： 1 2 3 4 5

原因為何：可以，因爲很好操控。

4、對於這套系統有任何意見、想法、及建議嗎?(不夠可寫背面)

- 操作可以更直接，因 VR 本身限制，所以可以試看看如何讓視覺的表現更順暢。

受測者 B

個人基本資料		
姓名：_____	性別： <input type="checkbox"/> 男 <input checked="" type="checkbox"/> 女	年齡：27
您學習建築相關背景(建築、室內、空設、景觀等)已幾年：3		
您是否曾親臨新竹市政府及周邊： <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		

1、數位模型與實體模型(依照平常的經驗來回答)

- <1>您是否常使用**實體模型**來表現你的設計： 是 否
- <2>您是否常使用**數位模型**來表現你的設計： 是 否
- <3>您較常使用實體模型或數位模型： 實體 數位
- <4>您覺得使用**實體模型**的優點為何：直覺，感知較即時與強烈。
- <5>您覺得使用**實體模型**的缺點為何：耗時，更改設計較困難。
- <6>您覺得使用**數位模型**的優點為何：打光與用色，材質較漂亮。
- <7>您覺得使用**數位模型**的缺點為何：較不真實，平面。
- <8>整體而言您較愛使用何者來表現你的設計： 實體 數位
- 原因為何：快速並易更改設計。

2、瀏覽系統與實體模型的比較(1分爲不足、3分爲相同、5分爲更好)

- 1 2 3 4 5
- <1>視覺深度(包括尺度感、量體感)
- 原因為何：操作上有門檻，熟悉之後則可爲相同(3)。
- <2>介面直覺(操作介面上是否直覺)
- 原因為何：物理感知較不明確，加上 3D 只覺得炫不會較易直覺。
- <3>材質表現(材質表現上的真實感)
- 原因為何：電腦繪圖較實體模型真實，用色上尤其好。
- <4>環境模擬(基地、植栽、交通等)
- 原因為何：實體模型不能表現環境動態。

3、最後整體總結而言，綜合以上各點，您覺得這套系統是否可以取代實體模型

(1分爲不足、3分爲相同、5分爲更好)： 1 2 3 4 5

原因為何：設計者角度有需要實體模型的幫助設計之必要性，使用者(業主或觀賞者)對於系統數位模型的解度接受度較大。

4、對於這套系統有任何意見、想法、及建議嗎?(不夠可寫背面)

- 攝影感知器的設置位置應靠近使用者的眼睛部份並且要同向感知。
- 數位模型內部也可模擬一下，讓使用者及設計者可有更多比較點。

受測者 C

個人基本資料		
姓名：_____	性別： <input checked="" type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	年齡：24
您學習建築相關背景(建築、室內、空設、景觀等)已幾年：6		
您是否曾親臨新竹市政府及周邊： <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		

1、數位模型與實體模型(依照平常的經驗來回答)

- <1>您是否常使用**實體模型**來表現你的設計： 是 否
- <2>您是否常使用**數位模型**來表現你的設計： 是 否
- <3>您較常使用**實體模型**或**數位模型**： 實體 數位
- <4>您覺得使用**實體模型**的**優點**為何：可以比較有實際比例尺寸的感覺，不同人可以容易溝通。
- <5>您覺得使用**實體模型**的**缺點**為何：製作時間較長。
- <6>您覺得使用**數位模型**的**優點**為何：製作快速、方便修改。
- <7>您覺得使用**數位模型**的**缺點**為何：不容易溝通，也不好掌握全局，常常是尺寸、比例感比較不真實。
- <8>整體而言您較愛使用何者來表現你的設計： 實體 數位
- 原因為何：對於設計發展，研究階段，數位模型可以很快討論和修改調整。

2、瀏覽系統與實體模型的比較(1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)

- | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <1>視覺深度(包括尺度感、量體感) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 原因為何：可能設備不夠快速高級。 | | | | | |
| <2>介面直覺(操作界面上是否直覺) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 原因為何：調整設定的好是可以很直覺的。 | | | | | |
| <3>材質表現(材質表現上的真實感) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 原因為何：可以很直實被渲染與模擬。 | | | | | |
| <4>環境模擬(基地、植栽、交通等) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 原因為何：因光線貼圖易接近原場景。 | | | | | |

3、最後整體總結而言，綜合以上各點，您覺得這套系統是否可以取代實體模型

- (1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)： 1 2 3 4 5
- 原因為何：可能可以，就便利性與表達設計，視覺傳達夠清楚。

4、對於這套系統有任何意見、想法、及建議嗎?(不夠可寫背面)

- 可以直接不透過螢幕表現，可能直接手觸碰的面版可以被投射出數位模型。

受測者 D

個人基本資料

姓名：_____ 性別： 男 女 年齡：25
 您學習建築相關背景(建築、室內、空設、景觀等)已幾年：7
 您是否曾親臨新竹市政府及周邊： 是 否

1、數位模型與實體模型(依照平常的經驗來回答)

- <1>您是否常使用**實體模型**來表現你的設計： 是 否
 <2>您是否常使用**數位模型**來表現你的設計： 是 否
 <3>您較常使用**實體模型**或**數位模型**： 實體 數位
 <4>您覺得使用**實體模型**的**優點**為何：有製作的痕跡與作者的特質。
 <5>您覺得使用**實體模型**的**缺點**為何：無法環境效果的擬真。
 <6>您覺得使用**數位模型**的**優點**為何：具有模擬的方便。
 <7>您覺得使用**數位模型**的**缺點**為何：無法感受實際的質感。
 <8>整體而言您較愛使用何者來表現你的設計： 實體 數位
 原因為何：實體模型有實體的質感，以及抽象想法的痕跡。

2、瀏覽系統與實體模型的比較(1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)

- 1 2 3 4 5
- <1>**視覺深度**(包括尺度感、量體感)
 原因為何：VR 可達到視覺上的立體。
 <2>**介面直覺**(操作介面上是否直覺)
 原因為何：設定是以人的操作習慣而設定。
 <3>**材質表現**(材質表現上的真實感)
 原因為何：貼圖的技術。
 <4>**環境模擬**(基地、植栽、交通等)
 原因為何：可根據不同情況作模擬。

3、最後整體總結而言，綜合以上各點，您覺得這套系統是否可以取代實體模型

(1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)： 1 2 3 4 5
 原因為何：因爲各有優缺點，可互補不可取代。

4、對於這套系統有任何意見、想法、及建議嗎?(不夠可寫背面)

- 有趣的想法，可提供觀者對數位技術的認知。

受測者 E

個人基本資料		
姓名：_____	性別： <input type="checkbox"/> 男 <input checked="" type="checkbox"/> 女	年齡：25
您學習建築相關背景(建築、室內、空設、景觀等)已幾年：6		
您是否曾親臨新竹市政府及周邊： <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		

1、數位模型與實體模型(依照平常的經驗來回答)

- <1>您是否常使用**實體模型**來表現你的設計： 是 否
- <2>您是否常使用**數位模型**來表現你的設計： 是 否
- <3>您較常使用實體模型或數位模型： 實體 數位
- <4>您覺得使用**實體模型**的優點為何：直覺反應建築量體空間。
- <5>您覺得使用**實體模型**的缺點為何：時間上的、天度上、精細度有差。
- <6>您覺得使用**數位模型**的優點為何：快速 study、整體上能完整流覽、精確。
- <7>您覺得使用**數位模型**的缺點為何：閱讀空間還是太平面。
- <8>整體而言您較愛使用何者來表現你的設計： 實體 數位
- 原因為何：方便，快速理解 model，有些形體還是須要數位輔助較精確。

2、瀏覽系統與實體模型的比較(1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)

- 1 2 3 4 5
- <1>視覺深度(包括尺度感、量體感)
- 原因為何：如果他能有快速反應量體、空間是比較好的。
- <2>介面直覺(操作介面上是否直覺)
- 原因為何：有些反應是相反的。
- <3>材質表現(材質表現上的真實感)
- 原因為何：材質光線較能精確模擬。
- <4>環境模擬(基地、植栽、交通等)
- 原因為何：材質光線較能精確模擬。

3、最後整體總結而言，綜合以上各點，您覺得這套系統是否可以取代實體模型

- (1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)： 1 2 3 4 5
- 原因為何：具備了實體的優點，也保留了數位的優點。

4、對於這套系統有任何意見、想法、及建議嗎?(不夠可寫背面)

- 假設感應範圍廣、反應更快，周邊配備升級就會更好。

受測者 F

個人基本資料

姓名：_____ 性別： 男 女 年齡：27
 您學習建築相關背景(建築、室內、空設、景觀等)已幾年：11
 您是否曾親臨新竹市政府及周邊： 是 否

1、數位模型與實體模型(依照平常的經驗來回答)

- <1>您是否常使用**實體模型**來表現你的設計： 是 否
 <2>您是否常使用**數位模型**來表現你的設計： 是 否
 <3>您較常使用實體模型或數位模型： 實體 數位
 <4>您覺得使用**實體模型**的優點為何：有製作的痕跡與作者的特質。
 <5>您覺得使用**實體模型**的缺點為何：無法環境效果的擬真。
 <6>您覺得使用**數位模型**的優點為何：具有模擬的方便。
 <7>您覺得使用**數位模型**的缺點為何：無法感受實際的質感。
 <8>整體而言您較愛使用何者來表現你的設計： 實體 數位
 原因為何：實體模型有實體的質感，以及抽象想法的痕跡。

2、瀏覽系統與實體模型的比較(1分爲不足、3分爲相同、5分爲更好)

- 1 2 3 4 5
- <1>視覺深度(包括尺度感、量體感)
 原因為何：
 <2>介面直覺(操作介面上是否直覺)
 原因為何：不能同部。
 <3>材質表現(材質表現上的真實感)
 原因為何：瀏覽系統較能表現材質。
 <4>環境模擬(基地、植栽、交通等)
 原因為何：瀏覽系統較好。

3、最後整體總結而言，綜合以上各點，您覺得這套系統是否可以取代實體模型

(1分爲不足、3分爲相同、5分爲更好)： 1 2 3 4 5
 原因為何：當電腦速度可對於使用者可直接連繫就可代替實體模型。

4、對於這套系統有任何意見、想法、及建議嗎?(不夠可寫背面)

- 當電腦速度及攝影機可與動作同部直覺反映，我覺得還還滿好的。

受測者 G

個人基本資料

姓名：_____ 性別： 男 女 年齡：24
 您學習建築相關背景(建築、室內、空設、景觀等)已幾年：6
 您是否曾親臨新竹市政府及周邊： 是 否

1、數位模型與實體模型(依照平常的經驗來回答)

- <1>您是否常使用**實體模型**來表現你的設計： 是 否
 <2>您是否常使用**數位模型**來表現你的設計： 是 否
 <3>您較常使用**實體模型**或**數位模型**： 實體 數位
 <4>您覺得使用**實體模型**的**優點**為何：尺度清楚明顯。
 <5>您覺得使用**實體模型**的**缺點**為何：無法深入空間。
 <6>您覺得使用**數位模型**的**優點**為何：能夠進入深入的空間。
 <7>您覺得使用**數位模型**的**缺點**為何：沒有真實感不夠即時。
 <8>整體而言您較愛使用何者來表現你的設計： 實體 數位
 原因為何：表現效果好。

2、瀏覽系統與實體模型的比較(1分爲不足、3分爲相同、5分爲更好)

- 1 2 3 4 5
- <1>**視覺深度**(包括尺度感、量體感)
 原因為何：立體感不夠同步。
 <2>**介面直覺**(操作介面上是否直覺)
 原因為何：即時反應。
 <3>**材質表現**(材質表現上的真實感)
 原因為何：有貼材質更能反應接近真實的狀況。
 <4>**環境模擬**(基地、植栽、交通等)
 原因為何：能夠有動態的表現。

3、最後整體總結而言，綜合以上各點，您覺得這套系統是否可以取代實體模型

(1分爲不足、3分爲相同、5分爲更好)： 1 2 3 4 5
 原因為何：如果能夠修正地更即時，我們觀看方式和實體模型幾乎相同，而且更真實。

4、對於這套系統有任何意見、想法、及建議嗎?(不夠可寫背面)

- 即時反應，對焦應要再修正會更有效果。

受測者 H

個人基本資料		
姓名：_____	性別： <input type="checkbox"/> 男 <input checked="" type="checkbox"/> 女	年齡：27
您學習建築相關背景(建築、室內、空設、景觀等)已幾年：3		
您是否曾親臨新竹市政府及周邊： <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		

1、數位模型與實體模型(依照平常的經驗來回答)

- <1>您是否常使用**實體模型**來表現你的設計： 是 否
- <2>您是否常使用**數位模型**來表現你的設計： 是 否
- <3>您較常使用**實體模型**或**數位模型**： 實體 數位
- <4>您覺得使用**實體模型**的**優點**為何：可觸碰，符合實際情況。
- <5>您覺得使用**實體模型**的**缺點**為何：無法細看室內空間，不易模擬人在空間中的感覺。
- <6>您覺得使用**數位模型**的**優點**為何：可操控範圍大，不受體情限制，可模擬較多情況。
- <7>您覺得使用**數位模型**的**缺點**為何：不可觸摸、缺乏真實感。
- <8>整體而言您較愛使用何者來表現你的設計： 實體 數位
- 原因為何：易更改; 置換容易、創作空間大。

2、瀏覽系統與實體模型的比較(1分爲不足、3分爲相同、5分爲更好)

- 1 2 3 4 5
- <1>**視覺深度**(包括尺度感、量體感)
- 原因為何：實體可觸摸、較有量體感。
- <2>**介面直覺**(操作介面上是否直覺)
- 原因為何：實體較符合直覺、與實際狀況較符合。
- <3>**材質表現**(材質表現上的真實感)
- 原因為何：可做的材質十分真實; 受限較小。
- <4>**環境模擬**(基地、植栽、交通等)
- 原因為何：可動作化，加入動態，地景更能模擬。

3、最後整體總結而言，綜合以上各點，您覺得這套系統是否可以取代實體模型

- (1分爲不足、3分爲相同、5分爲更好)： 1 2 3 4 5
- 原因為何：有取代的潛力，如果操作的時候更真覺的話，則可以取代實體模型的不足。

4、對於這套系統有任何意見、想法、及建議嗎?(不夠可寫背面)

- 可更直覺操作，觀看模型尚有不見看到細節，與基地結合時，二者合併時缺代回饋，不知是否正確。

受測者 I

個人基本資料

姓名：_____ 性別： 男 女 年齡：25
 您學習建築相關背景(建築、室內、空設、景觀等)已幾年：7
 您是否曾親臨新竹市政府及周邊： 是 否

1、數位模型與實體模型(依照平常的經驗來回答)

- <1>您是否常使用**實體模型**來表現你的設計： 是 否
 <2>您是否常使用**數位模型**來表現你的設計： 是 否
 <3>您較常使用實體模型或數位模型： 實體 數位
 <4>您覺得使用**實體模型**的優點為何：可以方便修改。
 <5>您覺得使用**實體模型**的缺點為何：費時，保存不易。
 <6>您覺得使用**數位模型**的優點為何：保存方便，容易擬真。
 <7>您覺得使用**數位模型**的缺點為何：不易修改。
 <8>整體而言您較愛使用何者來表現你的設計： 實體 數位
 原因為何：模型完成 = 平面 + 立面 + 剖面完成，省時。

2、瀏覽系統與實體模型的比較(1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)

- 1 2 3 4 5
 <1>視覺深度(包括尺度感、量體感)
 原因為何：比較大(實體小)。
 <2>介面直覺(操作介面上是否直覺)
 原因為何：實體模想怎麼動就怎麼動，系統有時間差。
 <3>材質表現(材質表現上的真實感)
 原因為何：可以選非常接近的 map。
 <4>環境模擬(基地、植栽、交通等)
 原因為何：系統非常擬真。

3、最後整體總結而言，綜合以上各點，您覺得這套系統是否可以取代實體模型

(1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)： 1 2 3 4 5
 原因為何：擬真。

4、對於這套系統有任何意見、想法、及建議嗎?(不夠可寫背面)

➤ No。

受測者 J

個人基本資料		
姓名：_____	性別： <input checked="" type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	年齡：25
您學習建築相關背景(建築、室內、空設、景觀等)已幾年： 6		
您是否曾親臨新竹市政府及周邊： <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		

1、數位模型與實體模型(依照平常的經驗來回答)

- <1>您是否常使用**實體模型**來表現你的設計： 是 否
- <2>您是否常使用**數位模型**來表現你的設計： 是 否
- <3>您較常使用**實體模型**或**數位模型**： 實體 數位
- <4>您覺得使用**實體模型**的**優點**為何：有真實感覺 和想像力中間的落差比較小
- <5>您覺得使用**實體模型**的**缺點**為何：製作費時 比例有時候無法精確
- <6>您覺得使用**數位模型**的**優點**為何：方便 對於某些無法以實體模型表現的手法較容易呈現
- <7>您覺得使用**數位模型**的**缺點**為何：和經驗不足的人討論空間時常會有認知上的落差，及便是全部視角都可以清楚了看見，但對於實體空間上的認知會有極大的落差
- <8>整體而言您較愛使用何者來表現你的設計： 實體 數位
- 原因為何：可以以一連串的思考，完成。省去許多傳統實體模型無法表面的困擾

2、瀏覽系統與實體模型的比較(1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)

- | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|---|---|---|---|
- <1>**視覺深度**(包括尺度感、量體感)
- 原因為何：經驗上的累積不同就會有所落差 尤其是現在有許多數位建築空間 想像和預期的誤差直更大
- <2>**介面直覺**(操作介面上是否直覺)
- 原因為何：比傳統模型多了趣味性
- <3>**材質表現**(材質表現上的真實感)
- 原因為何：模擬的無法表現某些實體材值得質感例如觸感
- <4>**環境模擬**(基地、植栽、交通等)
- 原因為何：幫便以電腦模擬出植栽成長變化 交通系統運作等

3、最後整體總結而言，綜合以上各點，您覺得這套系統是否可以取代實體模型

- (1 分爲不足、3 分爲相同、5 分爲更好)： 1 2 3 4 5
- 原因為何：實體還是有其優點。

4、對於這套系統有任何意見、想法、及建議嗎?(不夠可寫背面)