

國立交通大學建築研究所  
碩士論文

空間方塊-互動方塊應用於空間堆疊練習

Space Cube: An Interactive Cubic Toy for Spatial Stacking



中華民國九十六年二月

空間方塊-互動方塊應用於空間堆疊練習

Space Cube: An Interactive Cubic Toy for Spatial Stacking

研究生：顏豪廷          Student: Hau-Ting, Yen

指導教授：劉育東        Advisor: Yu-Tung, Liu



Submitted to Department of Graduate Institute of Architecture

College of Humanities and Social Sciences

National Chiao Tung University

In partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Graduate Institute of Architecture

December 2006

Hsin-chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年二月

## 空間方塊-互動方塊應用於空間堆疊練習

學生:顏豪廷

指導教授:劉育東

### 摘要

在建築的設計的過程中，草模的製造在設計過程中扮演了一個可以將概念快速轉化成可見模型；由於 CAD/CAM 時代的來臨，使得草模的製造方式中，建立模型的工具從傳統的實體演進到數位的模型；虛擬模型已成為建築師在探討概念初期所使用的新媒材。但是虛擬模型卻缺乏了真實的觸感及可以掌握模型整體感的表現(Chang, 2005)。以往許多設計者，經常礙於對於電腦界面的不熟悉，或是電腦操作流程過於繁複，導致設計者對於新媒材有操作上的困難，使預期設計的本質與原來的構想有所差別。有些研究者也針對這個議題，對真實與數位模型做比較(Lin, 1999)，為了讓數位模型更加具有真實感，如 VRAM 利用數據手套及力回饋手套來增加虛擬模型觸感 (Regenbrecht et al. 1993; Wu, 2003)，這些研究除了提出數位模型的優點之外，也找出數位模型所缺乏的或無法取代實體模型的本質。透過觸及式設計介面(TUI)的操作過程可以使設計過程更加地簡化，設計者可以直覺性的去操作電腦媒材來輔助設計。

藉由堆疊實體方塊來建立 3D 模型，是一個容易的方式去幫助設計者在複雜的虛擬介面中分析與了解空間構成與組織的架構(R. Aish and P. Noakes. 1984)。在相關的研究上，使用了機器可讀取的模型(Machine-Readable Models)已達到了直覺的介面(J. H. Frazer, 1982)；在近期，有研究利用了量體為基本的實體模型，當設計者使用單元動作時，虛擬量體會即時的同步動作(T. Murakami et al 1994; Matthew G. Gorbet 1998; J. Lee 2003; M. Eng et al 2004, )，但是這樣的模式卻是缺少了從虛擬回饋的訊息；還有另外一部份的研究是當設計者組裝量體之後，可以將模型連接到電腦上，電腦並可以辨識出這些方塊所組成的形體(D. Anderson et al 2000; E. Sharlin et al 2003)；

有研究者利用了樂高為基本的實體模型，這樣的方式利用實體與虛擬的互動發展了新的遊戲模式；此實驗為一個即時性的模型發展工具，在堆疊實體模型的同時，在虛擬的場景中出現了相對應的模型，操作者可以藉由實體的方塊，與虛擬的方塊進行互動。在此篇論文建立出一個即時的實虛互動玩具，利用 WEBCAM 的視覺辨識系統，實體方塊可以控制電腦銀幕的虛擬方塊，而虛擬方塊可以回饋訊息給實體方塊進行同步的互動，設計者根據指示去調整特定的方塊，進而可以讓設計者檢視實體模型堆疊上所需的策略。

本論文呈現了一個以實體與虛擬互動為基礎的 3D 的輸入裝置，並且此裝置具有能力可以使用手與裝置互動，此裝置並且提高了設計者對於 3D 模型塑造(3D modeling)的直覺性，更降低了設計者在操作不同媒材上的複雜度。

# Space Cube: An Interactive Cubic Toy for Spatial Stacking

Student: Yen, Hau-Ting

Advisor: Yu-Tung, Liu

Graduate Institute of Architecture

National Chiao Tung University

## Abstract

In the initial process of architectural design, model building is a pivot part of transferring concepts into visual bodies. Since the progress by CAD/CAM, initial phase modeling has evolved into digital models from traditional visual ones. Virtual models have become a new generation medium for architects during early design phase.

Digital modeling software has many distinct characters, such as duplication, modification, and material simulation. However, virtual models lack the touch in reality and the ability to express the feeling as a whole (Chang, 2005). In the past, many designers often faced difficulties on new medium operation. As a result, the presented designs sometimes did not match the original ideas. Basically, this kind of situation is due to designers' unfamiliarity toward the user interface or the complicated process of operations. Toward these issues, some researchers made comparisons and researches between virtual models and traditional ones (Lin, 1999). To bring more senses of reality, digital and force-feedback gloves, such as VRAM, are applied to get the touch of virtual models (Regenbrecht et al. 1993; Wu, 2003). By using the "Designing Tangible User Interface", the design process can be easily simplified. On the other hand, it also greatly helps designers operate the computer medium toward CAD.

Digitizing Stacked cube models is a simple method to help designers understand and analyze the space constructions and system frameworks (R. Aish, 1984). Besides, several relative researches have showed that interfaces such as Machine-Readable Models fit intuition quite well (J. H. Frazer, 1982). Recently, certain researches even developed into a further step. By using solid geometry models connected with computer, the virtual models react simultaneously while designers make digitized units moved (T. Murakami et al 1994; Matthew G. Gorbet 1998; J. Lee 2003; M. Eng et al 2004). However, this kind of operation mode lacks reality feedbacks from virtual systems. Some other digital model researches adopted a different kind of mode. By using electric-connected units, models of these units could link up with computers and be identified (D. Anderson et al 2000; E. Sharlin et al 2003). Nevertheless, this kind of process is not real time reacting no matter connected or not. During the unit-connection process, the user cannot interact with the 3D model in real time. Moreover, since units are connected with the single phase connector, the connected phase is also limited somehow. Due to the limitation mentioned above, a new method is developed to solve these issues. By using a real time interaction implement, solid geometry models could control the virtual ones on the screen. In the meantime, virtual model could also give feedbacks simultaneously for interaction.

**Key words:** tangible, cube, modeling, interaction

## 誌 謝

感謝君昊老師以及文禮學長的 LUA 課程，讓我從對於電腦程式領域的懵懂無知，慢慢的成長到摸索出興趣；也謝謝簡聖芬老師的 Processing 課程，讓我了解到實虛互動裏面精隨有趣的地方。感謝難兄難弟男哥、景明、景順還有致傑的支持，有你們的一起努力，這兩年真的過的很充實；還有感謝父母這兩年的支持，你們的付出我都會謹記在心。



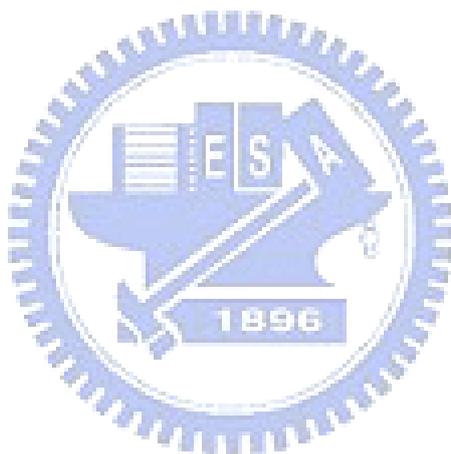
# 目 錄

	頁次
中文提要 .....	i
英文提要 .....	ii
誌謝 .....	iii
目錄 .....	iv
表目錄 .....	vi
圖目錄 .....	vii
第一章、 研究背景.....	1
1.1 建築與電腦 .....	1
1.2 問題陳述與研究目標 .....	3
1.2.1 研究範圍 .....	3
1.2.2 問題定義 .....	3
1.3 研究目標與方向 .....	4
1.3.1 整合虛擬與實體的設計環境.....	4
1.3.2 空間堆疊練習.....	4
1.3.3 虛實介面設計訊息的交換.....	4
1.4 研究步驟與架構 .....	5
1.4.1 研究方法 .....	5
1.4.2 研究架構 .....	6
第二章、 先前研究回顧.....	7
2.1 設計初期草模設計流程個案歸納研究.....	7
2.1.1 個案分析題目.....	7
2.1.2 個案分析的設計.....	7
2.1.3 個案分析的工具.....	8
2.2 個案分析歸納與結果.....	8
2.2.1 個案分析的觀察.....	8
2.2.2 個案分析的歸納.....	10
2.2.3 影像辨識 .....	10
2.3 圖形使用者介面.....	12
2.3.1 圖形使用者介面的特性.....	12
2.3.2 圖形使用者介面應用於設計初期過程中.....	13
2.3.3 視覺辨識.....	14
2.4 實體設計介面.....	15
2.4.1 人機互動介面.....	15
2.4.2 TUI 應用於設計初期過程中.....	18
2.5 方塊玩具.....	19

2.5.1 GUI 應用於方塊玩具.....	19
2.5.2 TUI 應用於方塊玩具.....	19
第三章、系統的設計.....	23
3.1 系統的架構.....	23
3.2 系統架構流程的設定.....	24
第四章、系統的操作流程.....	29
4.1 實際操作的過程.....	26
4.1.1 實作的流程.....	29
4.1.2 量體 3D 位置偵測.....	31
4.1.3 虛擬量體的分析.....	34
4.1.4 虛擬量體訊息回饋裝置.....	37
4.2 操作與設計.....	39
第五章、系統測試.....	40
5.1 實驗的設置.....	40
5.1.1 實驗的假設.....	40
5.1.2 實驗的過程.....	40
5.1.3 實驗的設計.....	41
5.2 實驗的結果與討論.....	42
5.2.1 實驗結果的分析.....	42
第六章、結論與後續研究.....	48
6.1 結論.....	48
6.2 研究貢獻.....	48
6.3 研究限制.....	49
6.4 後續研究.....	50
參考文獻 .....	51
附錄(A) 個案分析的過程.....	53
附錄(B) 軟體介面.....	56
附錄(C) 硬體介面.....	58

## 表 目 錄

表格 1. 實體與虛擬環境應用工具表.....	8
表格 2. 實驗過程紀錄表.....	41
表格 3. 實驗受測者基本資料表.....	42
表格 4. 3D 環境生手操作過程階段分析表.....	44
表格 5. 3D 環境具經驗者操作過程階段分析表.....	45
表格 6. 實驗成果分析比較表.....	47
表格 7. 數位媒材組操作過程表.....	54
表格 8. 傳統媒材組操作過程表.....	55



## 圖目錄

圖 1. 研究架構圖	6
圖 2. 基地平面圖與設計題目	7
圖 3. 3D 數位模型的環境	9
圖 4. 傳統草模型	9
圖 5. 系統互動模式	11
圖 6. 圖形使用者介面架構圖(Ullmer & Ishii, 1998)	13
圖 7. Information at Early Design Stages(ASANOWICZ, Alexander)	14
圖 8. Video-place (Myron Krueger, 1969)	14
圖 9. Artificial reality (Levin and Lieberman, )	10
圖 10. 互動式人機介面架構圖(Ullmer & Ishii)	16
圖 11. 互動式人機介面架構圖(Ullmer & Ishii)	18
圖 12. 數位黏土遊戲(J. Rossignac et al , 2003)	13
圖 13. 實體虛擬陰影互動裝置(J. Underkoffler 1998)	18
圖 14. LEGO Digital Designer	19
圖 15. 實虛互動方塊 (D.Anderson et al, 2000)	20
圖 16. Designing A Physical Construction Kit for 3D Modeling ( Markus Eng et al. 2002 )	20
圖 17. A Free-Hand 3D Modeling Interface	21
圖 18. Cognitive Cubes: virtual prototype; physical interaction.(Ehud Sharlin et al.2002)	21
圖 19. ActiveCube system(Yoshifumi Kitamura et al. 2004)	22
圖 16. 基地平面圖與設計題目	18
圖 17. 3D 數位模型的環境	22
圖 18. 傳統草模型	23
圖 19. 互動模式	24
圖 20. 系統架構圖	24
圖 21. 系統架構流程分解圖(3D 位置資訊)	24
圖 22. 系統架構流程分解圖(發現問題)	25
圖 23. 系統架構流程分解圖(調整特定方塊)	25
圖 24. 系統架構流程分解圖(回饋到實體的環境)	25
圖 25. 系統流程圖	26
圖 26. 系統架構分解圖(Wiring與Wiring i/o board)	26
圖 27. 系統架構分解圖(物體偵測)	26
圖 28. 系統架構分解圖(量體指示)	27
圖 29. 系統流程解圖(LED的開與關)	27
圖 30. 系統架構分解圖(簡單的物件追蹤)	28
圖 31. 影像辨識追蹤	29
圖 32. 實做四個流程	30

圖 33. (R. G. B) 位置追蹤系統架構.....	32
圖 34. WEB-CAM影像追蹤流程圖.....	33
圖 35. 旋轉與運鏡功能圖.....	34
圖 36. 虛擬方塊方位辨識流程.....	35
圖 37. 虛擬方塊大小即時辨識流程.....	36
圖 38. 實體方塊測量大小系統圖.....	37
圖 39. 訊息回饋流程圖.....	38
圖 40. Wiring 介面.....	30
圖 41. JMyron 的視覺辨識系統.....	57
圖 42. Wiring I/O aboard. ....	57



# 第一章 研究背景

## 1.1 建築與電腦

電腦應用在建築設計形式表現上，在七十年代以前一直沒有突破性的進展，但是七十年代末期由於電腦輔助建築設計的程式設計者解決許多實際操作的問題，例如隱藏線(hidden line)的移除、光影的表現、實體模型(solid model)的視覺效果、電腦動畫等功能，以及引用自人工智慧的專家系統開始被有效率的使用、新式的印表機造就繪圖輸出品質的大幅提昇、電腦輔助建築設計的教學手冊開始大量出版等等，促使愈來愈多的事務所開始在設計過程中運用電腦輔助設計系統。而重要的關鍵性時刻出現在七十年代中期，由於小型個人電腦的發展，並在八十年代結合了「AutoCAD」軟體，造成電腦輔助建築設計的迅速普及(Bruegmann, 1987)。

從電腦輔助設計(Computer-aided design, CAD)出現後，建築設計開始產生了新的變化與方向，鍵盤與滑鼠逐漸取代設計者手中的尺規，電腦銀幕則取代設計師眼中的設計圖，電腦輔助設計幫助設計者在設計的過程中減少設計的時間與資源，並能刺激建築設計者新的思考方向與方式，因此，新的設計媒材開始影響傳統的設計方法。(Ouyang, 1996; Lin, 2003)

電腦輔助設計大致可以區分為三個層次，分別為設計表現與軟體應用、設計原理與電腦繪圖、以及設計思考與電腦智慧。隨著電腦的應用，許多未曾出現在過去的新型態空間逐漸被建造出來，這些新型態的空間由於有著電腦的輔助，不論是設計前期或是後期的建造，都讓設計者得以跳脫以往的設計侷限，進而發揮自由的想像力，不受傳統條件所侷限，因而有別以往傳統方正或幾何變化的建築造型自由的新型態不斷產生(Liu, Y-T., 1999)。

由於CAD/CAM時代的來臨，草模的製作模式中，建立模型的工具從傳統的實體模型演進到數位的模型；虛擬模型已成為設計者在探討概念初期所使用的新媒材。然而虛擬模型與實體模型在現今各自扮演了無可取代的角色，TUI(Tangible User Interfaces)就是探討跨足這兩媒材的直覺性介面系統；藉由實體與虛擬模型交換訊息，可以使設計者更為專注於設計發展的過程，而非限制於這些介面的操作與使用；然而這樣的系統應用在量體堆疊還存在很多問題，

設計概念的過程中，最常用的就是量體的堆疊，可以迅速了解空間與比例的關係，例如建築師 Frank o Gehry 他就常用大量的草模型來思考形體的關係，在目前常用到的媒材可分成實體模型以及數位模型；實體模型佔據了實體的空間，提供了操作者的存在感與直覺性的操作(Y.-W. Cheng 1995)，然而這樣的重複操作草模是有缺點的，不但是非常

的耗費時間；在概念的發展階段，由於修改而不斷地重新繪製，導致的訊息的流失，把這些概念初期的訊息數位化將是有利於設計發展的(D. Herbert 1993)。

在建築的設計過程中，量體草模(study model)的製造在設計過程中扮演了一個可以將概念快速轉化成實體模型的角色，模型的製作可以幫助設計者發掘設計在不同觀點上的看法，藉由此可以獲得更多可能的聯想；設計初期設計者大量接收與分析不同的資訊，包含影像、數據、文字或是概念想法，這些非實質的訊息經由設計者的想法重新的組構，設計者最後憑藉不同的媒材將設計初步的雛形呈現出來，透過運用不同形式質感的表現媒材、風格與觀念，更能幫助設計帶來更多想像的空間。在電腦尚未發明之前，傳統上建築設計師就是利用紙、筆與實體模型來設計與表現建築尺度與三度空間的立體性，這些傳統媒材一直是設計過程中不可或缺的(Rowe, 1987)。

設計者在初期的空間量體模型，設計者必須藉由不同階段的草模型來進行設計上的推論與發展，想像這些潛在的造型演變的可能，同時也是因為實體模型不具有被複製的性質，所以量體草模的特性擁有經常是一系列有相關聯的模型的特性。在設計的初期，對於設計條件的假設都是特定的而且是暫時性的，這樣的目的是為了要降低設計上的限制，讓設計的複雜度可以簡化到可以被設計者操作的程度，並且讓設計俱備不斷可以被重複評估的條件。

早期的電腦輔助設計系統，專注於設計後期階段的设计繪圖上，初期設計階段的電腦輔助設計則在近期有更多的發展，運用電腦輔助工具的問題，通常對於設計過程產生過多的干擾，例如設計者必須去指定量體精確的尺寸以及材質或是其他的詳細內容，原因是電腦必須被輸入這些資訊才會運作；這代表設計者必須停止設計概念的思考，去思考如何將未成熟的概念轉換成數據，以產生確定的尺寸以符合電腦操作的需要，因此這樣的電腦輔助工具是會對設計初期的設計思考造成困擾的。DeVries 和 Wagter(1990) 指出電腦媒材會對設計過程產生干擾，使設計過程中很多元素難以被發掘。

目前已經有很多數位建模的軟體，可以快速的去繪製出數位模型，數位模型提供了最佳的擬真度與修改的自由度；同時更提供了有別於實體模型的性質，這些不同的電腦特性可以用來輔助設計者，例如電腦的複製特性，可快速建造模型，容易修改的特性，運用貼圖來進行材質類比，賦予動力學的參數可以進行動態類比，還有可以賦予虛擬模型不同的物理屬性等等，都是現今普遍使用的數位模擬工具。而近年來有一些研究在探討電腦介入建築設計過程中所扮演的重要角色，傳統的方式是使用數學公式來計算建築問題的方式，無法評估視覺的品質好壞，如果利用電腦的環境模擬工具來評估，就可以立即知道何種開窗位置及大小可以獲得較好的視覺效果，利用電腦而不用建築師來做決策，卻是可以提供更確實的資訊、分析及比較(Wong and Will, 1996)。

但是虛擬模型卻缺乏了真實的觸感及可以掌握模型整體感的表現(Chang, 2005)。以往許多設計者，都會礙於對於電腦界面的不熟悉，或是電腦操作流程過於繁複，導致設計師對於新媒材有操作上的困難，或是因為在操作的同時，使設計的本質與原來的構想有所差別。

除此之外，有些研究者也針對這個議題，對真實與數位模型做比較(Lin, 1999)，為了讓數位模型更加的具有立體感而結合了虛擬實境，或是利用數據手套及力回饋手套來增加虛擬模型觸感的真實感(Regenbrecht et al., 1993; Wu, 2003)，這些研究除了提出數位模型的優點之外，也希望可以找出數位模型所缺乏的或無法取代實體模型的本質。在設計的初期操作過程中，設計者經常使用實體模型與數位模型，但是他們通常被分開來使用，並未能因為兩者不同的屬性可以相互的影響，實體模型能夠提供直覺性的設計思考模式，但是卻是非常缺乏可被即時修改的功能 (G. Conti et al., 2000)。本篇論文將研究設計者應用實體與虛擬量體模型來探討設計初期的應用。

## 1.2 問題陳述與研究目標

### 1.2.1 研究範圍

#### 1. 空間堆疊練習的操作模式

空間堆疊練習是建築設計一個很重要的環節，可以幫助設計者運用量體來進行建築物的配置，空間堆疊練習可以快速的把設計者的想法表現出來，本研究將分析在空間堆疊練習階段時，運用數位媒材與傳統媒材在建築設計初期的差異性與共同性。

#### 2. 人機互動介面應用的研究

在近期，有研究利用了幾何量體為基本的實體模型，當設計者使用實體單元動作時，虛擬量體會即時的同步動作(T. Murakami et al, 1994; Matthew G. Gorbet, 1998; J. Lee, 2003; M. Eng et al, 2004)，但是這樣的模式卻是缺少了從虛擬回饋的訊息；還有另外一部份的研究是當設計者組裝量體之後，可以將模型連接到電腦上，電腦並可以辨識出這些方塊所組成的形體(D. Anderson et al, 2000; E. Sharlin et al, 2003)；然而這樣的辨識量體組成的過程，不論在連結或是非連結時都不是即時的，在組構方塊的同時，使用者無法即時的與 3D 量體互動，然而由於量體是經由單一向度接頭連結，所以量體連結的向度也是受到侷限的。

### 1.2.2 問題定義

#### 1. GUI(Graphic User Interface)界面的缺點

在 CAD/CAM 發展成熟的今天，設計者可以運用多種不同 GUI 的介面來進行

設計，這些 GUI 介面雖然具備完善的功能可供設計者進行不同的應用，但是這些介面過於複雜的功能指令對於初學者而言是不容易去操作的；當初學者要開始進行設計時，常常會花費過多的時間來學習 GUI 介面的操作，這樣會使設計者在設計初期發想概念時遇到阻礙。

## 2. 虛實的互動

實體的模型在設計的過程中可以提供給設計者直接的實體感受，設計者可以直接感受到材質與比例的關係，但是實體模型卻經常是固定的比例模型，設計者必須經過計算才會知道真實的比例與他的尺寸，所以在設計初期使用實體模型來操作，在設計上的所能夠獲的資訊是較為缺乏的。虛擬的模型在設計的過程中可以提供給設計者不同的設計資訊，設計者可以藉由不同的顯示模式來獲得不同的分析資訊，但是虛擬模型卻是缺乏直覺性的操作，必須經由一連串的命令才可以完成量體的繪製。本研究將著重探討於如何將虛擬模型與實體模型互補的優缺點整合互補，兩種媒材如何再設計初期的過程中被重組再加以相互配合應用，建立一個直覺性的虛實互動的環境，用來提供給設計初學者使用。

## 1.3 研究目標與方向

將從本篇論文中，計畫去創造一種可以進行虛實互動的空間方塊，可以更加的直覺性去控制實體模型對應在虛擬三度空間的位置，更可以藉由虛擬環境中所提供的訊息進而去進行下一步的量體操做，去探討如何將兩者的特性整合，如何應用在設計初期的量體堆疊過程將是本研究最大的目標。藉由互動式工作空間之建構，期望達到以下三點敘述的目標。

### 1.3.1. 整合虛擬與實體的設計環境

在設計者要進行設計時，常常要適應兩種工作的模式，一種是傳統操作模型的製圖桌，另一種是電腦的繪圖介面，設計者通常會完成其中一個之後，必須再加以模擬製作另外一個，這樣的方式是會花費多餘的時間，以及產生過多重複性的步驟，並且會干擾設計者進行設計想法上的思考；本研究希望整合這兩個工作環境，建立一個虛實互動的方塊玩具，可以幫助初學的設計者快速的完成空間堆疊練習的製作。

### 1.3.2. 空間堆疊練習

人與電腦的溝通通常需要透過複雜的電腦介面，這樣的方式是一個不直覺性的過程，本實驗會利用此虛實互動的方塊，建立直覺性的與的人機互動；設計者利用手去操控方塊就可以控制複雜的電腦介面，這樣設計者可以專注於設計本質上。

### 1.3.3. 虛實介面設計訊息的交換

實體與虛擬的介面各自扮演不同的分工角色，需要經過設計者去溝通兩邊；但是在本研究裡，希望建立兩個介面直接的溝通，在操作的同時，另外一各界面會產生及時的回饋，這樣可以幫助設計者快速的去審視設計過程中所做的步驟，會對於設計本身產生怎樣的影響。

## 1.4 研究步驟與架構

### 1.4.1 研究步驟

本研究的研究方法分成六個重點階段，將從分析相關的研究開始，找出這些研究中的研究限制以及所遭遇的問題；基於這些問題與限制，找出本研究發展的大方向；研究方向確立之後，本研究將針對建築設計的草模階段進行案例分析，分析設計者在不同設計環境下的反應，利用這些分析結果找出系統的規劃模式；基於這樣的系統規劃，互動方塊的軟硬體設計必須依照這樣的系統模式被建立，且會安排設計者按照固定的設計題目進行操作；操作的過程會記錄下設計者面對此系統所面臨的問題；基於這些問題可以進行整體系統的評估，檢視是否符合對於設計本身產生的效益與幫助，進而可以加以修改系統的設計與應用。

#### 第一階段：相關研究分析

相關的研究分析重點放置於方塊堆疊的遊戲之中，例如虛擬樂高的案例或是相關方塊堆疊的實驗。案例分析將針對於建築設計初期草模階段，面臨不同媒材進行分析與紀錄，將訂定一個簡短的設計題目，指派給兩位應用傳統媒材與數位媒材的設計者進行實驗。

#### 第二階段：互動方塊操作流程設計

根據上個階段的案例分析，分析出不同媒材在各階段的優劣勢，根據這些分析結果，可以設計出新系統的流程與操作方式。

#### 第三步驟：實作

進行互動方塊的系統設計與製作。

#### 第四階段：測試

根據上一階段的設計流程，可以進行互動方塊的製作，包含程式與硬體的部份。互動方塊完成之後，會安排兩組兩位不同領域的設計者來操作此玩具。

### 第五階段： 評估與結論

本研究會根據這兩人操作系統的過程，針對不同的實驗階段進行觀察，進而去觀察與分析系統的優缺點

#### 1.4.2 研究架構

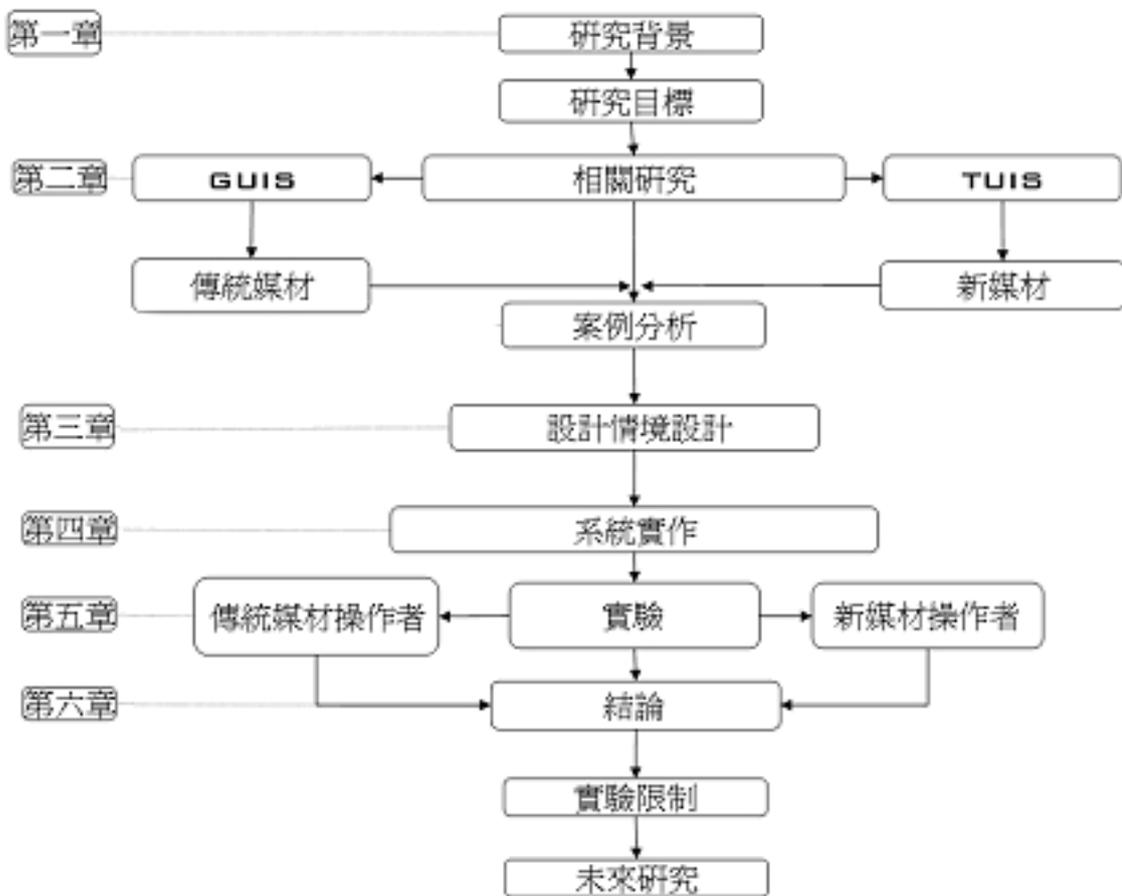


圖 1 . 研究架構圖

## 第二章 先前研究摘要

### 2.1 設計初期草模設計流程個案歸納研究

在建築設計的過程中，設計初期是一個很重要的步驟，設計者在這個階段接收了不同的訊息，例如概念性的影像，或是空間配置的準則或是資訊，這些訊息都必須在設計者的腦中推演，但是如果只憑記憶去進行推演是不足夠的，必須仰賴不同的媒材才能輔助設計者將設計推演下去。

所以設計者常會用很多種媒材來幫助腦中的印象實體化，除了電腦媒材之外設計者也常用傳統媒材例如保麗龍或是紙板等，實體的模型可以幫助設計者

#### 2.1.1 個案分析題目

設定題目為一個小型住宅的空間配置，分別讓兩個運用數位媒材以及傳統媒材的設計者去操作，進行的時間為二十分鐘，設計者只需要運用量體完成空間合理的配置，並不需要進行細部的設計。

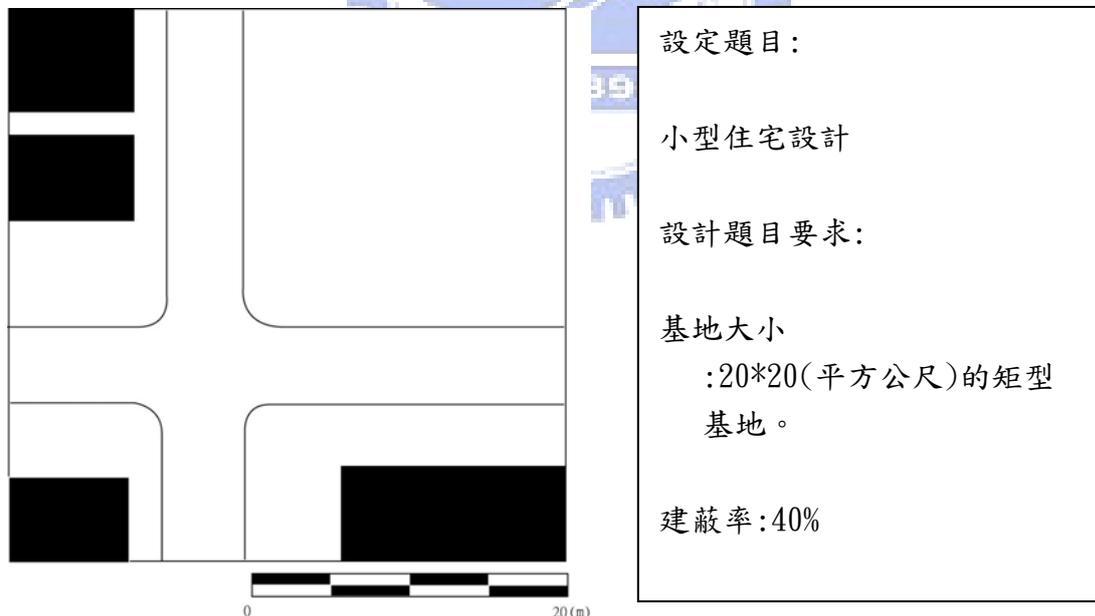


圖 2. 基地平面圖與設計題目

#### 2.1.2 個案分析的設計

本實驗主要去分析設計如何在設計初期，運用不同的媒材去進行量體的配置，所以挑選兩位具有四年以上建築設計背景的被測者，一位具有操作 3D 環境能力的經驗，另

外一位則擅長於用模型進行建築設計創作；本案例研究將用錄影的方式記錄設計者創作的過程與步驟，藉以取得案例分析數據作為研究參考。

### 2.1.3 個案分析的工具

本案例分析的工具分成兩組，一組提供給操作數位媒材的設計者；另外一組則提供給操作傳統媒材的設計者。

媒材種類	實體模型	使用工具	虛擬模型	使用工具
			保麗龍 紙板 尺 刀 黏膠	

表格 1. 實體與虛擬環境應用工具表

### 2.1.4 個案分析的目的

本個案分析主要著重於去分析設計者操作不同設計媒材的主要步驟，這些步驟主要是設計者操作這些媒材時最基本的元素，藉由這些步驟可以使媒材從新定義與被建立成有意義的草模型。分析這些步驟有助於幫助建立整個系統的操作流程，這樣的流程可以幫助整合虛擬與實體兩種媒材，進而相互配合與應用在建築設計草模發展的階段。

## 2.2 個案分析歸納與結果

### 2.2.1 個案分析的觀察

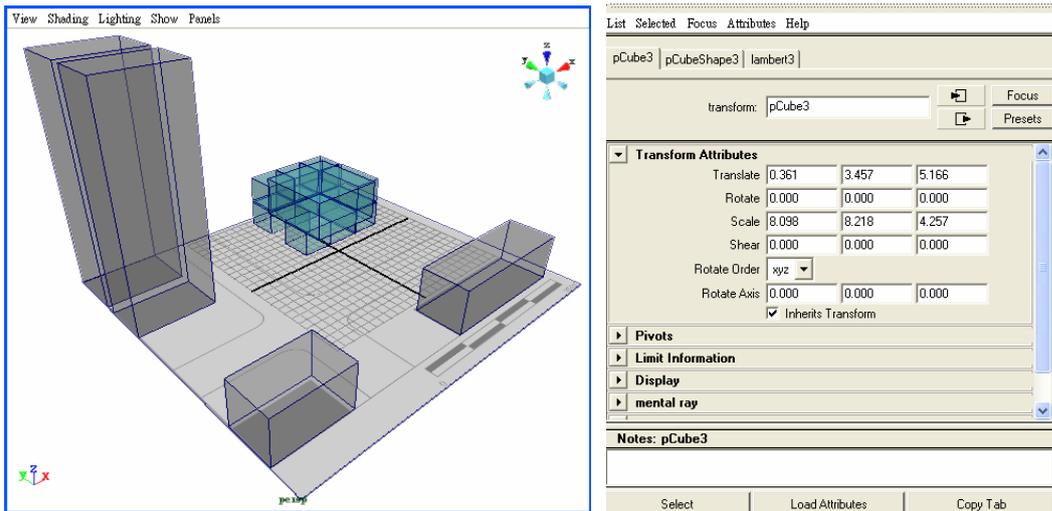


圖 3. 3D 數位模型的環境

1. 在本次案例分析對於數位媒材的部份中，利用電腦來建立草模型的過程設計者會大量的使用到旋轉以及複製的功能，並且會適當的拉近或是放遠模型，以便觀察模型的狀況；設計者也會利用桌面上所附加的格線來檢視比例與大小，系統也會提供不同的數值給設計者來參考，設計者也會利用四個視窗來檢視虛擬模型的不同向度。

虛擬的模型可以及時提供給設計者更多的模型分析資訊，尤其可以檢視量體的大小與比例是否符合設計題目的要求，對於設計者來說這些資訊可以輔助設計更快速的進行。

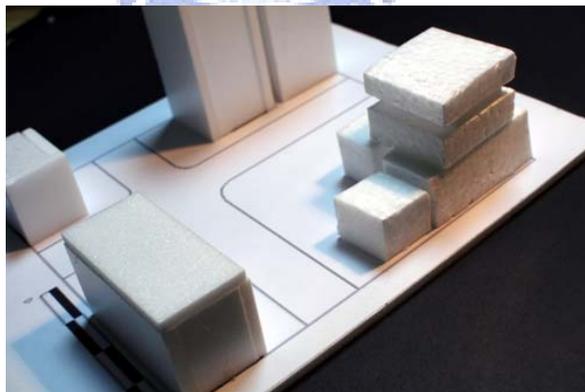


圖 4. 傳統草模型

## 2. 傳統媒材組的觀察

在本次案例分析對於傳統媒材組的部份中，利用不同的材料與製作模型的工具，設計者會花費比較多的時間去檢視量體與量體之間的比例關係，設計者專注於空間的組織與聯接，再來才是去計算設計中必須量化的部份。

### 2.2.2 個案分析的歸納

在設計者應用傳統媒材或是電腦等新媒材，用來構築草模或是草圖的階段過程中，有幾個重要的差異與現象。(P.-H. Won, 2001)

1. 在概念的組織過程中，設計者使用傳統的媒材時，會比設計者使用電腦可以構成更多的概念。主要的原因是電腦系統呈現方式的缺陷。
2. 在設計初期的草模或是草圖表現上，當電腦輔助已經是具體的形象時，傳統的媒材所創造出的媒材就會變的粗糙且受侷限。
3. 當設計者在繪製圖面的時候，設計者可以利用電腦媒材很快的形塑出造型與陰影；這個就是利用傳統媒材例如筆或是紙的缺陷。
4. 藉由電腦提供立即性的視覺回饋中，電腦可以輕易的影響設計者腦中的影像；這就是為什麼在概念的構成階段中，設計者運用電腦媒材在視覺的認知思考上會與傳統的媒材有所不同。
5. 當設計者使用電腦媒材使用電腦媒材來組織概念時，設計者認知的行為會明顯比使用傳統媒材時複雜。

根據上述的幾個準則來觀察所做實驗的現象，發現兩種媒材面對不同的設計流程都有個自的優勢與缺陷，對於設計者在設計初期都有不同程度的影響；本研究嘗試打破兩種媒材不同的實驗過程，並且加以從新設計新的系統流程，所以從上個章節所做的設計初期設計觀察中歸納出以下幾實體環境與虛擬環境互相影響的幾個重要的現象。

## Scenario

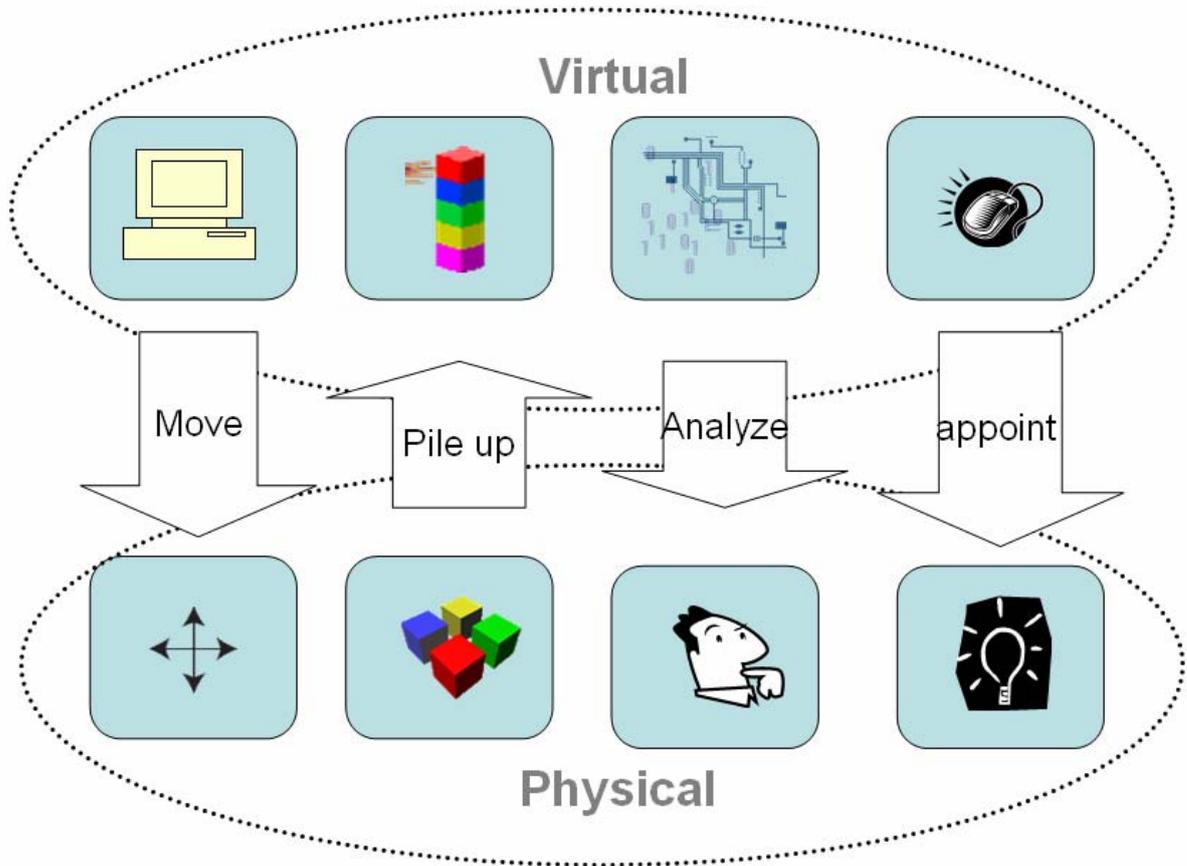


圖 5. 系統互動模式

在設計的過程中，發現兩個媒材都是依循同樣的操作流程來進行，這幾個重要的操作流程都包含了重要的操作步驟，如果缺乏這些步驟，設計流程將無法被順利進行下去；在兩種媒材的操作過程中，在面臨一樣的設計要求時，有許多的功能都是重複的，這些功能在不同的環境裡面發揮同樣的效用；但在本研究中也發現一種媒材其中很多功能都是另外一種無法所取代的，而且這些功能都是完成設計必須的重要步驟；所以根據上一步驟的案例分析歸納出幾個量體堆疊對於實體與虛擬環境的關鍵階段。

### 1. 移動

實體量體的移動給予設計者實體的感受，虛擬的模型只能依靠滑鼠與鍵盤這種間接的硬體來控制，所以並非虛擬的量體可以取代。

### 2. 堆疊

量體的堆疊在實體的環境中可以提供設計者立即的光體與陰影的回饋，設計者可以

根據這些現實環境所給予的線索來修正量體堆疊的關係。

### 3. 分析

電腦必須給他準確的數據與設定才能夠正確的顯示出堆疊的量體；在虛擬環境底下，當設計者完成量體的堆疊之後，電腦可以立即給予設計者數據的回饋，這樣設計者可以根據這些數據來調整設計的細節，並能根據這些數據來做為設計發展的過程。

### 4. 指定

當實體模型完成之後，實體模型是無法立即且準確的被複製到虛擬量體的，因此如果設計者變動了實體模型的設計，則設計者必須從新輸入變化的數值給予虛擬的模型，這樣設計者才能去對應相同位置的實體量體，所以虛實的相對應是需要多重的步與反覆的檢視才能夠完成，這樣過多的繁瑣的步驟會浪費過多的時間。

## 2.3 圖形使用者介面

一般電腦螢幕上的「圖形指示視窗」(Graphic Interface)用來控制螢幕的呈現的介面，就是所謂的圖形使用者介面，為了將個人化的資訊從個人的裝置輸入至空間中的介面，最基本的方式就是透過圖形介面的操控，藉由網路的傳遞，轉換資訊從電腦螢幕至空間中的實體介面。



### 2.3.1 圖形使用者介面的特性

最早的圖形使用者介面 (Graphical User Interfaces (GUI)) 介面是由 Xerox Corporation's Palo Alto 的研究中心在 1970 年所設計出來的，到了 1980 年隨 Apple Macintosh 的盛行而變的普遍。現在普遍運用的 GUI 介面有 Microsoft windows 以及 Apple Macintosh，這些系統有幾個重要的構成元素，分別是指標，指標的控制裝置，指令圖示，桌面以及視窗。

目前 CAD 系統大多使用「視窗指示介面」來操控螢幕的呈現，這就是所謂的圖形使用者介面 (GUI)，只要看著電腦螢幕，利用鍵盤及滑鼠把資料鍵入電腦內，所有的互動皆是透過鍵盤及滑鼠完成。GUI 是一個利用電腦圖像的方式，可以使電腦程式可以更加方便來運用的系統；一個好的 GUI 可以方便使用者去使用複雜的程式語言，在另一方面來說，使用者更可以有效的利用這個介面來進行工作。

但是在大部分的 3D 建造模型系統裡面，以指令為主的輸入系統或是圖形化使用介面，對

於 3D 的模型仍然最有效率的輸入裝置，滑鼠與鍵盤仍然是必須的對於使用者去選擇指令，如圖現在設計者常用的 3D 繪圖軟體 Maya 以及 LEGO Digital Designer；這些繪圖軟體對於使用者來說，他所附加的指令是過於繁複的，而且仍是抽象的概念，使用者或是設計者必須先去思考這些繁瑣的動作，才能進而去審視與修改 3D 模型，所以使用者會受限於這樣的媒材，而且會迫使使用者忽略原有的想法概念，轉而將注意力放在繁瑣的操作步驟。

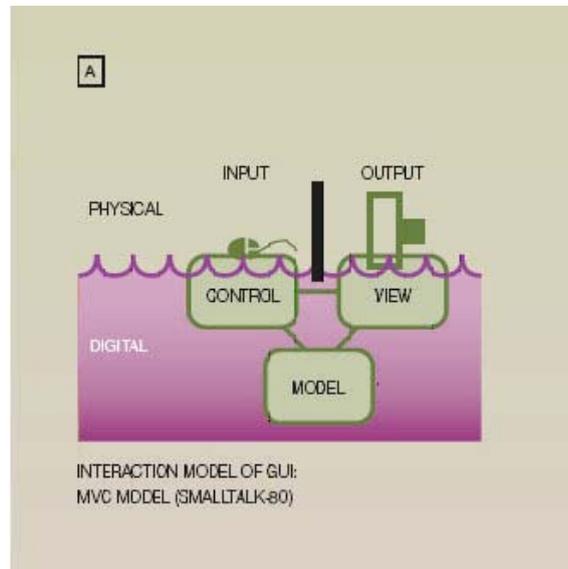


圖 6. 圖形使用者介面架構圖(Uilmer & Ishii, 1998)

### 2.3.2 圖形使用者介面應用於設計初期過程中

(Oxman, 1998)曾提到電腦是一個溝通的媒介，可以允許我們進行溝通，選擇以及交換訊息，在設計的過程中，電腦提供的一個介面，包含了 2D 與 3D 的平台給設計者進行設計的操作，這樣的平台可以幫助設計者將類比的訊息轉換成數位的資料，這些資料可以經由不同的運算方式可以轉換成不同的影像資料。

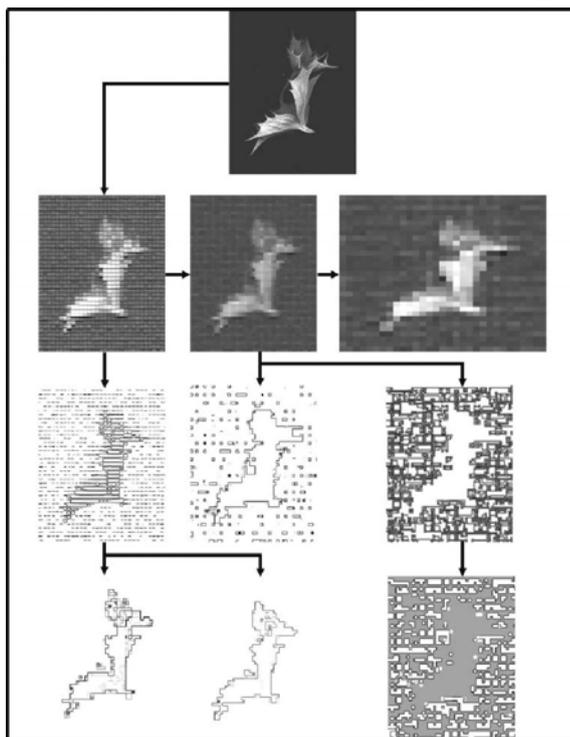


圖7. Information at Early Design Stages(Alexander, 2005)

電腦運算的方式可以幫助設計者進行思考上的推演，以電腦邏輯性的分析與數學的運算來幫助設計脫離只是概念上的想法，例如用 3D 掃描器可以把實體的物品轉成電腦可用的資訊，然後也可以轉換成 2D 不同的數位訊息，近而可以分析處理成不同的資訊，提供給設計上不同的思考方向(Alexander, 2005)。

### 2.3.3 視覺辨識



圖 8. Video-place (Myron Krueger,1969)

第一個互動藝術品是名稱叫做 Video-place (Myron Krueger, 1969)，他是第一個與電腦視覺所結合所產生的互動藝術品，Myron Krueger 認為人的身體應該依循一定的準則與電腦產生互動；在 Video-place 的裝置裡面，參與者站立於一個白色投影幕之前，並且面對一台投影機，參與者的輪廓在電腦裡面被數位化，參與者的姿勢、外貌以及手勢被立即的分析，Video-place 綜和了這些資訊，可以使一些虛擬影像的人物或是物件

可以爬在投影的人形輪廓之上，或是可以使彩色的圓圈可以被繪製於參與者的手中間，Krueger 也可以允許參與者可以用手指畫出虛擬的線條；最後 Video-place 創造出超過五十個不同的互動遊戲。

Video-place 在人機互動的領域裡面創造出很多的首例，舉例來說，一些互動的模式，如同上面的例子，可以允許兩名參與者藉由網路進行彼此的遙控來調整座標，並且是在同一分享的影像空間，在虛擬的環境裡面是第一個做到多人的實作，Krueger 稱這個系統叫做"artificial reality"。

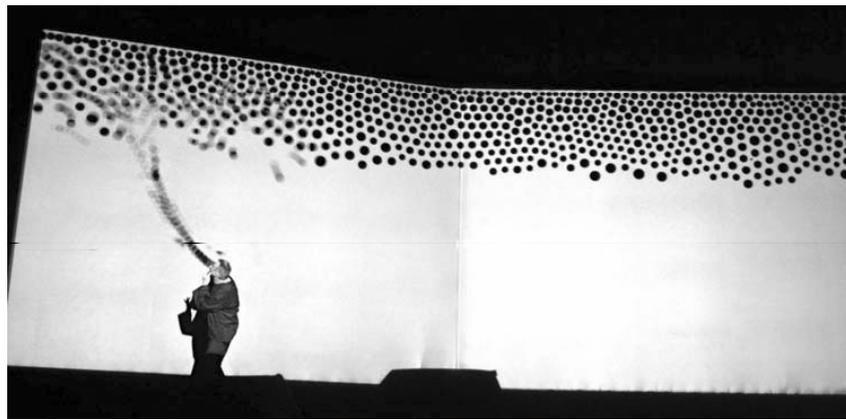


圖 9. Artificial reality (Levin and Lieberman,2003)

Messa di Voce，是一個互動的裝置由(Zachary Lieberman, 2003)所設計，這個裝置使用了以全部身體為影像基礎的互動設計，與 Krueger 的 Video-space 相似，但是這個實驗更結合了演講的分析並且定位成一個以投影為基礎的真實呈現，在這個影音的呈現中，演講的聲音與歌曲會被以虛擬的影像呈現出來；為了達成這個目標，設置了一個視覺辨識的追蹤裝置來偵測演講者的頭部，電腦同時也分析了來自於演講者麥克風的聲音，藉由這些資訊，電腦投影了不同的影像在位於演講者背後的投影幕，這些影像根據演講者的聲音會變化不出同的動作；藉由影像追蹤系統的幫助，這些圖像會藉由投影的效果從演講者的嘴中冒出來。

## 2.4 實體設計介面

### 2.4.1 人機互動介面

(Wendy, 1998)認為，要改變現有電腦介面的設計方式，就必須先改變人們對電腦的看法，如果只是使用鍵盤或是滑鼠以及電腦螢幕…等的方式使用電腦，還不如將電腦想成大家都熟悉並且經常使用的日常生活用品；與其創造一個人造物（電腦）來當成為實體世界和虛擬世界溝通的介面，不如讓實質世界的物件可以改變提升到可以存取數位

資訊及與人溝通的能力。(Wendy E. Mackay, 1998)。

虛擬環境中的資訊在一般的實質環境中是無法輕易的被察覺，必須藉由實體空間的介面被呈像，使人在物理的空間產生對虛擬的認知，感覺到資訊的存在，因此透過實體介面的媒介，使用者可以用控制性的動作、操作或是搜索介面成像的空間資訊，使的實體介面形成空間中的輸入機制，我們即可稱為此種輸入方式為目的性的實體控制輸入。

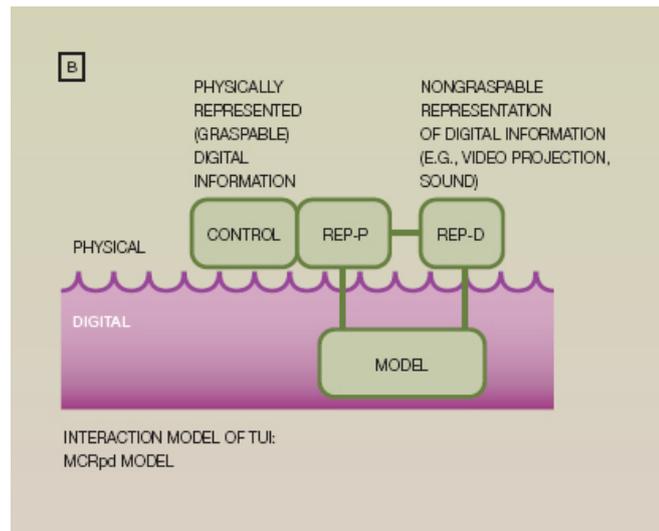


圖 10. 互動式人機介面架構圖(Ullmer & Ishii, 1999)

廣義的來說，一個系統可以由實體的人造物所構成，同時可被觸摸，可以用來重現與控制數位資訊就叫做 TUI，他的最重要的特色就是可以緊密的整合呈現的訊息與控制，實體的物件同時呈現訊息以及直接控制虛擬的訊息，分別有下列幾個特性講述關於呈現的訊息與控制。(Ullmer & Ishii)

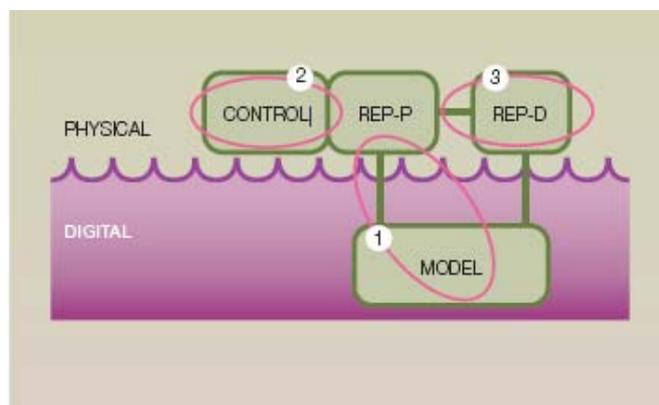


圖 11. 互動式人機介面架構圖(Ullmer & Ishii, 1999)

1. 實體裝置的呈現是基於數位資訊的根基之下。

實體的裝置與人的互動必須經由虛擬資訊的溝通才能夠被整合在一起，藉由電腦程式的控制，可以使裝置做出正確的反應，以符合人的需要。

2. 實體的呈現使機械裝置實體化並用來進行互動的控制

可觸及的設計介面提供即時的互動控制，這種機械裝置有時只是無生命力的，只能藉由操作者的手而移動；或者在一些研究中，這些機械裝置有力回饋的裝置，就可以對於使用者產生刺激(MacLean et al. 2000)這些互動的機械裝置有時可以不受拘束的在六個向度自由移動，或者有時只是在平面上很拘束的被操作。

3. 實體的呈現可以直覺的與多變的數位的訊息連結

可觸及的介面必須在實體與數位的兩個界面取得平衡，雖然把實體的元素型體化仍扮演中心的角色，

過去我們處理資訊的方式是透過虛擬的空間處理數位的資訊，虛擬環境中的資訊在一般的實質環境中是無法輕易的被察覺，透過實體空間的介面呈現，數位資訊可以被整合在實質空間，人和資訊的互動也應該是透過實體空間的工具介面以及技術來達成，這樣的實體介面，就是所謂的互動式人機介面。

可觸及的設計介面是一個對於設計介面的新概念這是一個可以連結實體的介面與虛擬的訊息的介面，它比傳統的(GUI)介面更加更直覺性；TUI 過程藉由電腦的介面，可以使設計過程更加的簡化，使設計者可以直覺性的去操作電腦媒材，來輔助設計的進行。最簡單的方式就是使實體物件具有輸入及輸出機制 (Input / Output)，也就是把物質變成介面，讓使用者能在日常生活中自然的使用肢體的動作，例如：手勢動作、身體移動、手掌、手指…等，來操控我們所熟悉的實質物件，而不需要花太多時間去思考怎麼操作這些設備，透過實體介面 (TUI, Tangible User Interfaces) 的操作，改變人們對電腦使用的認知；實質就是虛擬，物質即是介面。

TUI 技術再設計過程中是一種新的數位設計媒材，他對於設計過程中提供了新的輔助功能，讓設計者可以更容易的去操作虛擬的數位媒體，或是利用這種媒材可以得到更多的輔助資訊，來彌補實體模型的不足。因此可知 TUI 新數位設計媒材，對於設計過程中虛擬與實體的模型的角色已有所改變；目前我們可以從一些案例了解，TUI 新數位設計媒材對設計過程中，實體模型是如何藉由此系統與虛擬模型互相配合，使它提供了對於設計過程很大的潛力與影響力。

## 2.4.2 TUI 應用於設計初期過程中

(Foley, J.D., 1987) 提出一個直接操作的概念，直接操作就是透過取代訊息或是移動訊息來與電腦作互動，並不需要特別的命令式的修改指令來修改訊息，就可以直接移動虛擬環境中的物件，這樣的方式就如同再實體的環境中一樣，如此設計者可以與虛擬環境得到較好的互動。

互動是設計者與系統設計者的重要基礎，它可以使使用者了解到感知的能力，(Wickens and Holland, 2000; Ashcraft, 2001; Goldstein, 2002)，許多互動系統可以幫助使用者更快速的完成目標，會使使用者更願意去操作系統。

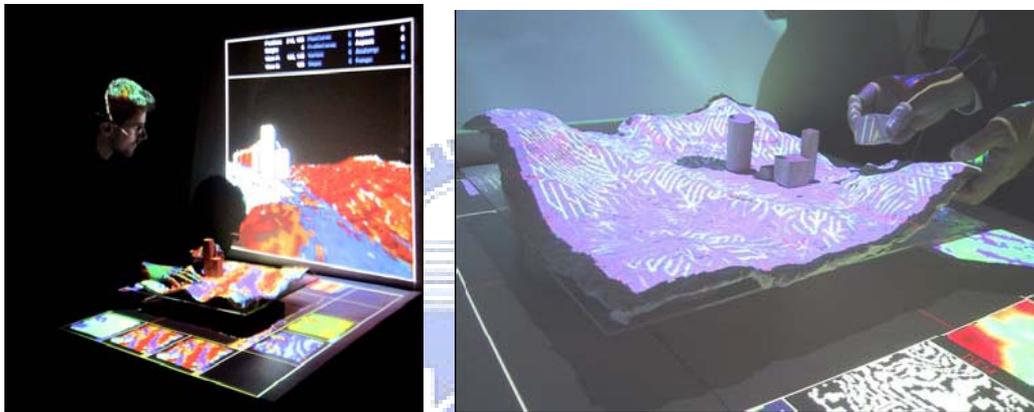


圖 12. 數位黏土遊戲(J. Rossignac et al., 2003)

此實體虛擬陰影互動裝置研究(J. Underkoffler, 1998)是藉由實體與虛擬的共同建造方式，是一個用手去捏塑實體黏土，在此同時，藉由雷射掃描，可以去感知粘土的及時型態變化，這樣可當作一個 3D 輸入的介面，再藉由投影機，可以在黏土表面上投影出立即的黏土的狀態變化，呈現出虛擬模型所要表達的訊息與視覺回饋。

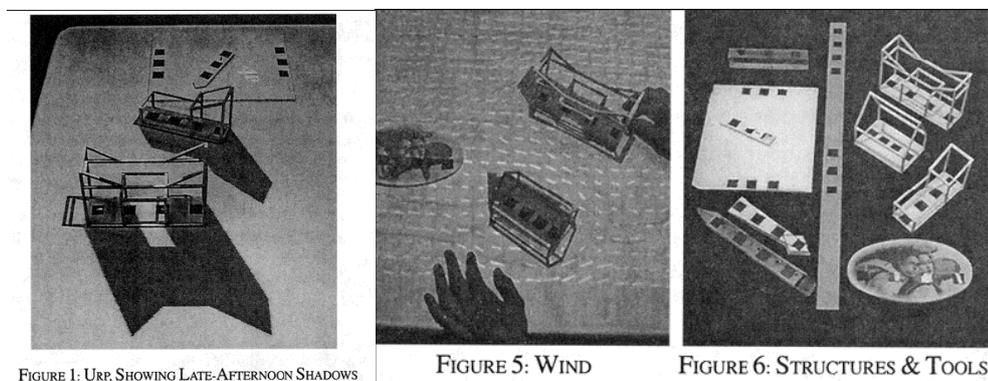


FIGURE 1: URP, SHOWING LATE-AFTERNOON SHADOWS

FIGURE 5: WIND

FIGURE 6: STRUCTURES & TOOLS

圖 13. 實體虛擬陰影互動裝置(J. Underkoffler, 1998)

此互動光影實驗主要是利用虛實互動模擬出虛擬的陰影，這是一個建立於工作臺上的互動裝置，去進行建築量體與環境上的互動；在平台上藉由 WEBCAM 去偵測實體物件的位置，然後去判別物件的形體，藉由此推斷出陰影的方向與角度，再利用投影機去投出陰影的位置；使用者可以任意移動實體的模型，陰影也會隨實體模型的位置改變而跟隨移動，而且可以藉由手控制的時鐘去調整模擬實際環境的陰影，進行準確的日期與時間的陰影模擬。陰影原本是一個需平行光源才能模擬出精確的位置，但是在實際環境中，並不容易模擬出平行光源，自然的太陽光也會有時間上的限制，藉由此虛擬的陰影，就能夠模擬出準確的平行光源，更可以設定準確的時間投影，藉此虛實互動裝置，可以用手去調整與控制陰影，使用者可以更直接的去觀察與操作模型(J. Underkoffler, 1998)。

## 2.5 方塊玩具

方塊是在三度空間中的一個量體元素，在設計的領域中，方塊是最容易被設計者操作的基本元素在多面體之中方塊是面數最少的，加上容易堆疊的特性，所以方塊可以藉由不同的組構方法快速的構成不同的形體，這樣的特性使方塊不論在互動遊戲或是建築的領域中都被當作是最基本了單元來操作。

### 2.5.1 GUI 應用於方塊玩具

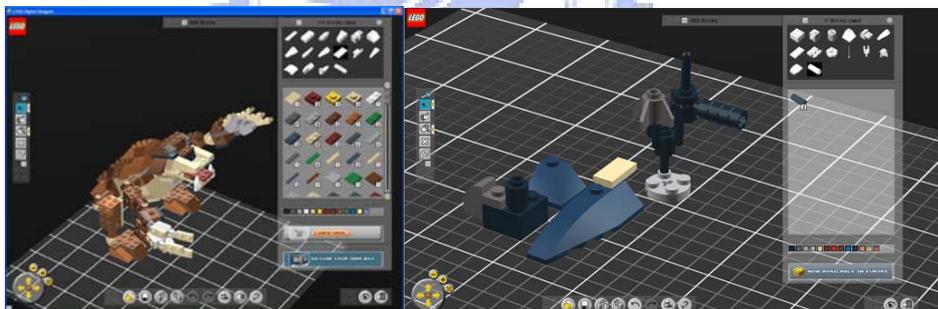


圖 14. LEGO Digital Designer

LEGO Digital Designer(LEGO Group, 1999)是一個模擬實體 LEGO 的圖像使用者介面，這個系統可以進行虛擬的 LEGO 堆疊遊戲，系統裡面有所有市面上販售的方塊與不同的構件，每個方塊的節點具有吸附的功能，相符合的節點會自動的聯結在一起，組裝的同時可以系統幫助玩家判斷是否可以進行合理的拼裝；在虛擬環境裡可以對模型進行旋轉與視角的切換；當玩家完成一個他所構思的模型之後，此系統有一線上的估價與採買系統，幫助玩家在購買實體模型之前就可以先行評估與模擬模型。

### 2.5.2 TUI 應用於方塊玩具

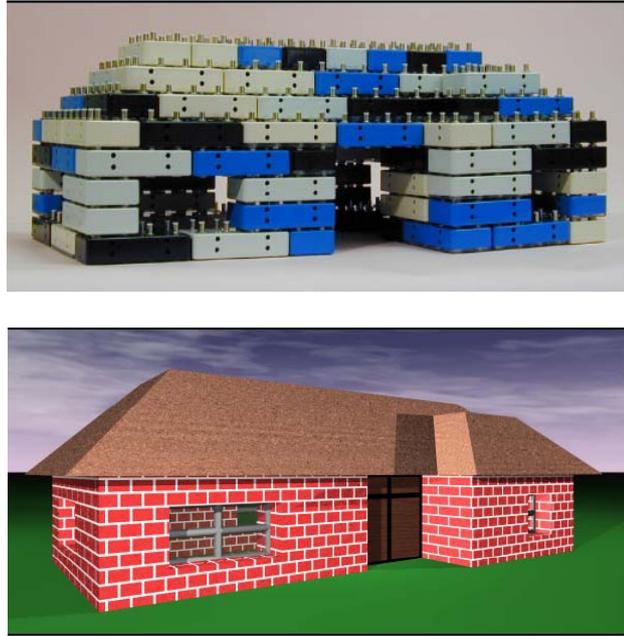


圖 15. 虛實互動方塊 (D.Anderson et al, 2000)

有研究者利用了樂高為基本的實體模型，設計了一套可以在設計者組裝之後，可以將實體模型連接到電腦上，之後電腦可以辨識出這些方塊所組成的形體(D. Anderson et al., 2000)，這樣的方式利用實體與虛擬的互動發展了新的遊戲模式；此實驗為一個即時性的模型發展工具，在堆疊實體模型的同時，在虛擬的場景中，也同時出現了相對應的虛擬模型，並且可以提供操作者即時的虛擬彩現，操作者可以藉由實體的方塊，與虛擬的方塊進行互動，不但可以感受到實體的感知，同時也可有立即性的視覺回饋。

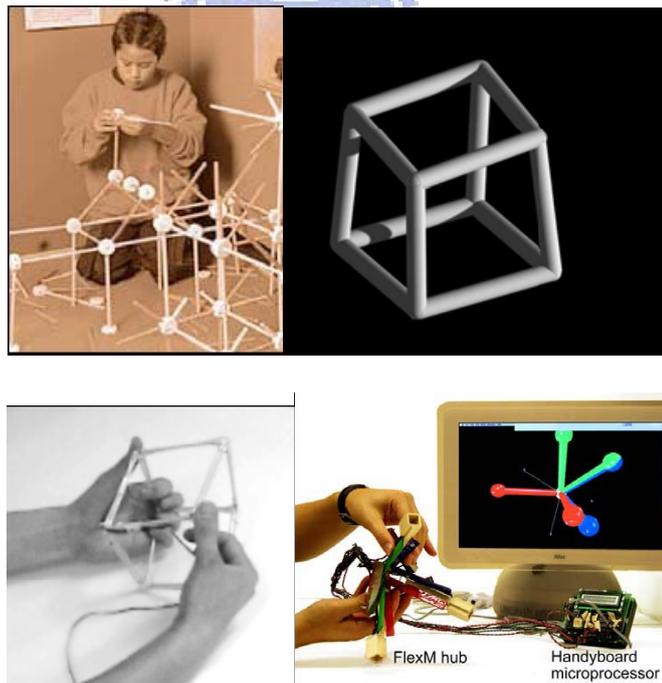


圖 16. Designing A Physical Construction Kit for 3D Modeling ( Markus Eng et al. 2002 )

方塊的模擬不只是在虛擬的環境中呈現出形體的模擬，同時也有相關的研究加入物理的性質到方塊裡；這個研究根據益智遊戲來做為整個系統發展的概念，發現此益智遊戲雖然組裝的向度很多，但是組裝過後卻是不能再加以調整的，必須從新拆解才可以發展新的模型；所以此系統試圖發展一種使用力學裡面擠壓的方式來控制虛擬的模型，藉由利用手的操作使實體模型變形，虛擬的模型也同時產生出即時的形體變化，這樣設計者就可以立即的調整模型骨架與骨架的角度，進而改變量體的型態。

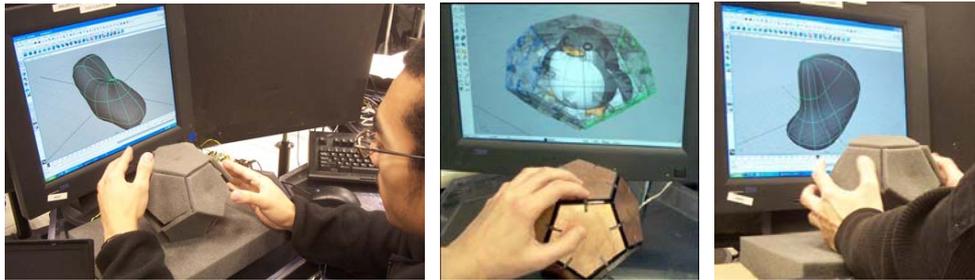


圖 17. A Free-Hand 3D Modeling Interface(Jackie Lee, 2003)

實虛量體的互動有不同的形式來呈現，例如此系統就是以建立在 maya 上與一個可以擠壓的十二面實體上(Jackie Lee, 2003)；此實體量體可以感受到手部動作的擠壓動作的力量，藉由系統分析出力量的數值可以控制虛擬量體(nurbus)的變形，不同面向的實體碰觸代表不同虛擬量體的擠壓方向，這樣的控制方式可以提供直覺性的操作，可以給不熟悉 3D 介面的設計者使用。



圖 18. Cognitive Cubes: virtual prototype; physical interaction.(Ehud Sharlin et al.2002)

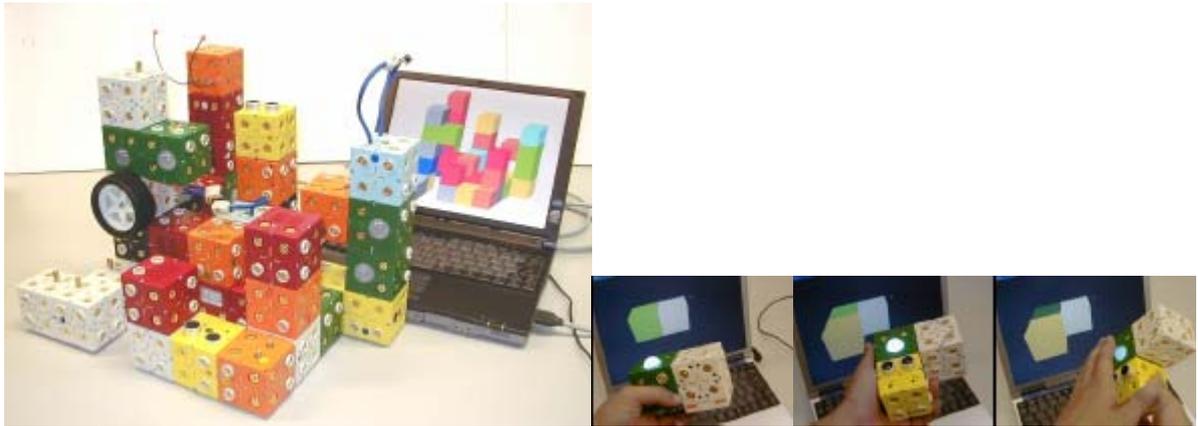


圖19. ActiveCube system(Yoshifumi Kitamura et al. 2004)

Cognitive Cubes(Ehud Sharlin et al.2002)與ActiveCube system(Yoshifumi Kitamura et al. 2004)皆是在探討如何利用一個互動的裝置，藉由手的動作去操控一個實體的模型，這個實體的模型可以即時去控制虛擬的模型，並且可以即時的彩現虛擬的模型，藉此使用者可以簡化設計的操作流程，不需學習虛擬環境的介面就可以分析虛擬模型的狀態。



## 第三章 系統的設計

根據個案分析的歸納結論，設計者使用不同的媒材有不同的限制，同時也有不可被取代的本質，本個案分析針對對於建築設計者操作空間配置的關鍵階段，設計出可以簡化設計過程的系統架構。

本實驗主要使用 webcam 辨識的技術為系統的基本架構，先前研究主要都是使用複雜的電子電路裝置來進行量體的判讀，本研究利用視覺辨識的即時性與低技術的門檻，而且視覺辨識可以即時的將實體環境訊息轉換成數位的數據，這些數據可以幫助設計者進行分析。

由於並不需要複雜的電子裝置，只需要單一顏色的素材，在穩定的光源及環境底下，就可以讓 webcam 完成視覺的辨識，所以堆疊的量體並沒有受到材質的限定，在實驗的操作過程中，可以隨時拿不同大小與比例的量體，都可以隨時藉由 webcam 觀察這些量體的變化。

量體模型在草模的應用上面，矩形的量體是最常被使用的單元，原因是矩形是容易被拿來堆疊，也可以藉此做出許多不同變化的簡單的形體；像是樂高遊戲是設計給小朋友所玩的，遊戲所選用的形體也是矩形居多，原因是矩形量體容易被操作，是一個最容易被理解，也是空間組成裡面最單純的元素。

### 3.1 系統的架構



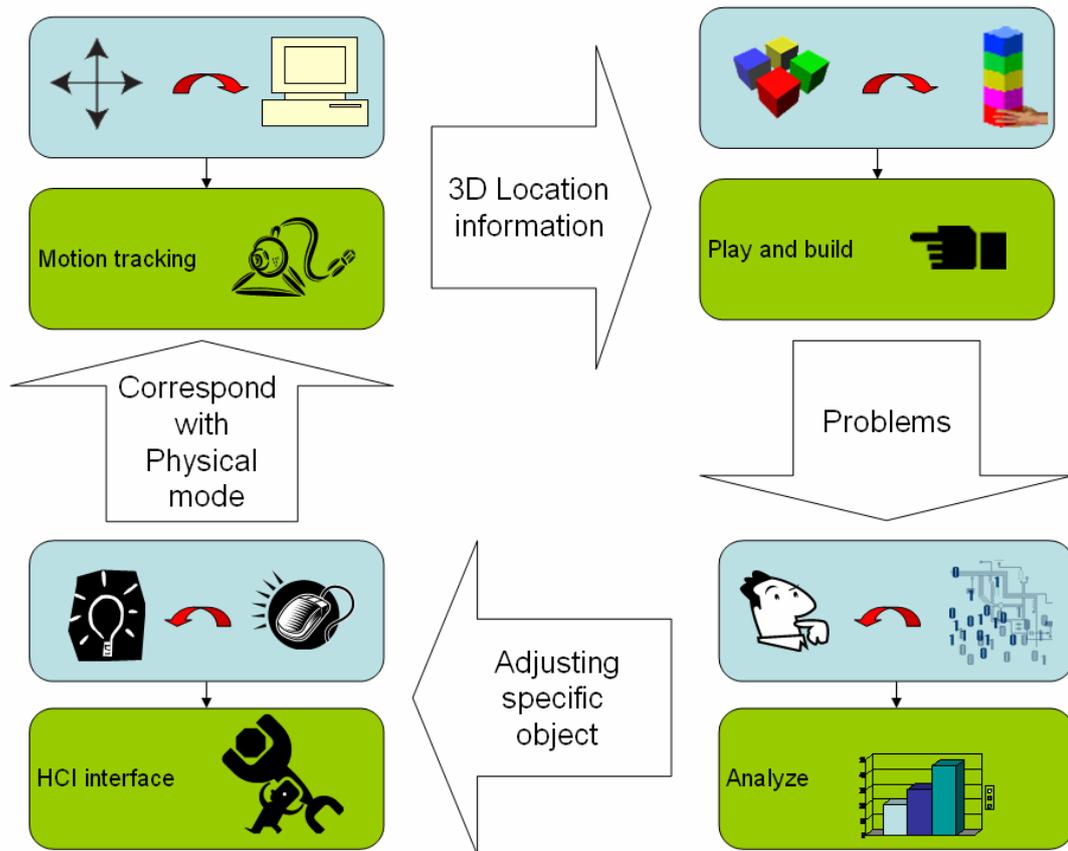


圖 20. 系統架構圖

根據上一個步驟的個案分析，針對不同媒材在建築設計草模階段所具備的優缺點，設計出一套同時利用實體與虛擬方塊進行設計的流程，此流程混合運用實體與數位兩種媒材，利用兩個個案在不同階段所不能取代的過程與方法，來操作方塊的堆疊與設計。

在此篇論文中，將在設計的草模概念階段中，建立出一個即時的虛實互動玩具，實體方塊可以控制電腦銀幕的虛擬方塊，而虛擬方塊可以回饋訊息給實體方塊進行同步的互動，互動方塊系統的進行的過程可以分成幾個步驟：

1. 當一位設計者在建築設計的草模階段時，必須利用量體來進行空間配置的研究；當他拿起一個實體量體的同時，在電腦銀幕上就出現一個即時的數位模型，兩者在3D的(X, Y, Z)位置會相對應，同時設計者去操作方塊移動的動作也會與實體模型同步。



圖 21. 系統架構流程分解圖(3D 位置資訊)

2. 在此同時設計者繼續堆疊與組合實體方塊用來分析空間的屬性，在這時虛擬方塊也同步的進行堆疊。

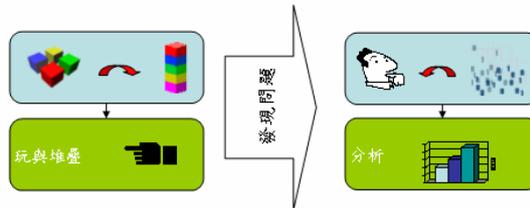


圖 22. 系統架構流程分解圖(發現問題)

3. 設計者大致配置完空間的排序之後，必須要去檢視設計的合理性，在此時設計者可以去檢視虛擬模型所依據實體方塊所分析提供的分析訊息，例如比例、方位以及體積，設計者可以依據這些訊息再加以調整實體方塊的空間配置。



圖 23. 系統架構流程分解圖(調整特定方塊)

4. 設計者根據這些分析的資訊，必須去調整實體模型的一部分，設計者指定了其中一個方塊，其中一個實體模型於是與之產生對應發出亮光，設計者根據指示去調整特定的方塊，進而可以讓設計者檢視實體模型堆疊上所需的策略。

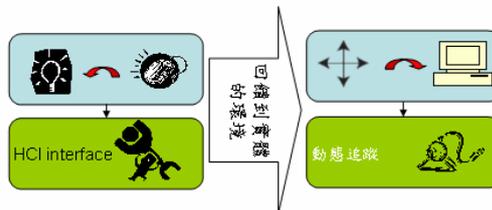


圖 24. 系統架構流程分解圖(回饋到實體的環境)

## 3.2 系統架構流程的設定

## SYSTEM STRUCTURE

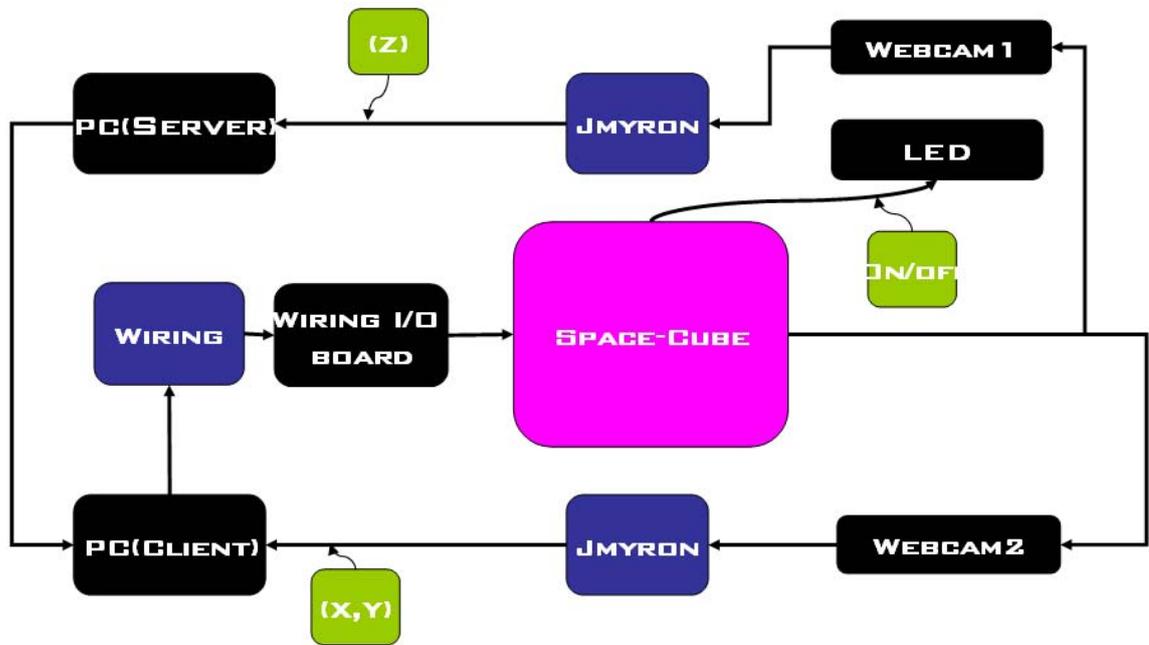


圖 25. 系統架構圖

依照上一章節的系統進行操作流程，共可以分成四個主要的部份，根據這些步驟進一步發展系統實作的流程。

### 1. Wiring 與 Wiring i/o board



圖 26. 系統架構分解圖(Wiring 與 Wiring i/o board)

電腦藉由 wiring 的軟體，可以藉此控制 wiring i/board.，藉由 wiring 撰寫程式，藉由這些程式傳遞訊號到 wiring i/board. 上。

### 2. 物體偵測

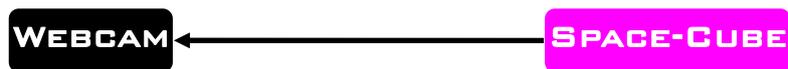


圖 27. 系統架構分解圖(物體偵測)

有一個技術名為”除去背景”，可以使人在虛擬環境中的像素可以獨立出來與背景分開，人或是物體可以在虛擬的場景中，除去現實的背景，使人活動在虛擬的場景變的可能；這個技術藉由分析比較影像每個影格中絕對性差異的像素，然後電腦會去運算並加以除去像素並由虛擬背景的影響來取代。

背景取代這個功能可以在差異性大的環境裡面運作良好，但是這個運算法卻非常的敏感，當環境的燈光狀況改變時，這取決於物體必須要有足夠的差異與背景的影響相對比。

### 3. 量體指示



圖 28. 系統架構分解圖(量體指示)

wiring i/board 可以傳遞訊號 sapce-cube，藉此可以控制 sapce-cube 的狀態。

### 4. LED 的開與關

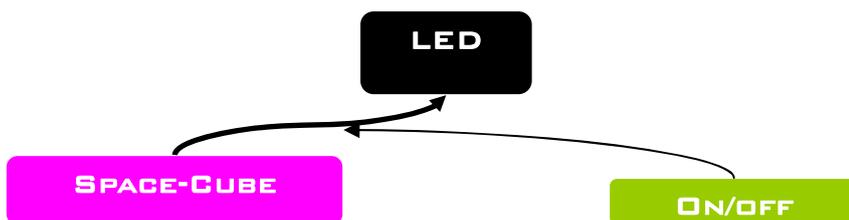


圖 29. 系統流程解圖(LED 的開與關)

space-cube 的內部設有開關，可以控制 led 的明或亮。

### 5. 簡單的物件追蹤

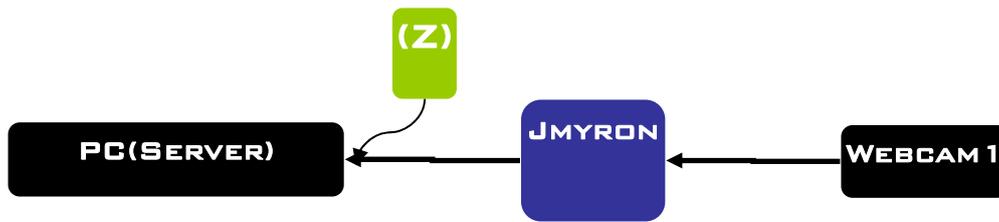


圖 30. 系統架構分解圖(簡單的物件追蹤)

物件的追蹤能仍舊是一個發展中的理論，這個概念是利用影像分析的方式去追蹤發光或是對比度高的物件，系統去追蹤每個更新的影格中最亮的像素，在這個理論中，每個像素的亮度值將會被拿去與設定中最亮的像素值做比較，如果像素的亮度值超過設定值，那這個像素的位置將會被記錄起來，當所有的像素都被檢測過之後，然後在影格裡面最亮的位置就會被偵測出來；這個技術降低的操作者對於系統操作的複雜度，因為只要專注於一個物件上面；經由細微的調整，此系統也可以去偵測與追蹤環境中最暗的像素，或是多重追蹤，甚至是針對不同色彩的追蹤。



## 第四章 系統的操作流程

Space-Cube 是一個可以輸入 3D 資訊的實體的介面，而且可以執行操作虛擬模型的系統，Space-Cube 的硬體包含了實體的材質，I/O board，電路板以及 LED，虛擬的模型可以因為(Wiring)的應用使得 Space-Cube 變成一個外部的輸入裝置。

本次實驗利用 Myron 應用於 webcam 的辨識的功能，在 webcam 可視的範圍裡面，可以追蹤實體方塊上特定的(R.G.B)色彩，並可以將此功能轉換成相對的方位數據，利用這些數據可以去控制虛擬的方塊。

### 4.1 實際操作的過程

#### 4.1.1 實作的流程

藉由燈光控制的輔助，例如背景燈光或是物件表面顏色的處理(如高反差的圖像)，這些因素都可以讓被追蹤的物件，可以比較亮於或是暗於背景的亮度，這個物件可以使物件與背景相區隔並獨立出來，在這樣的操作模式底下，影像像素的亮度都是與系統的設定值作比較的。

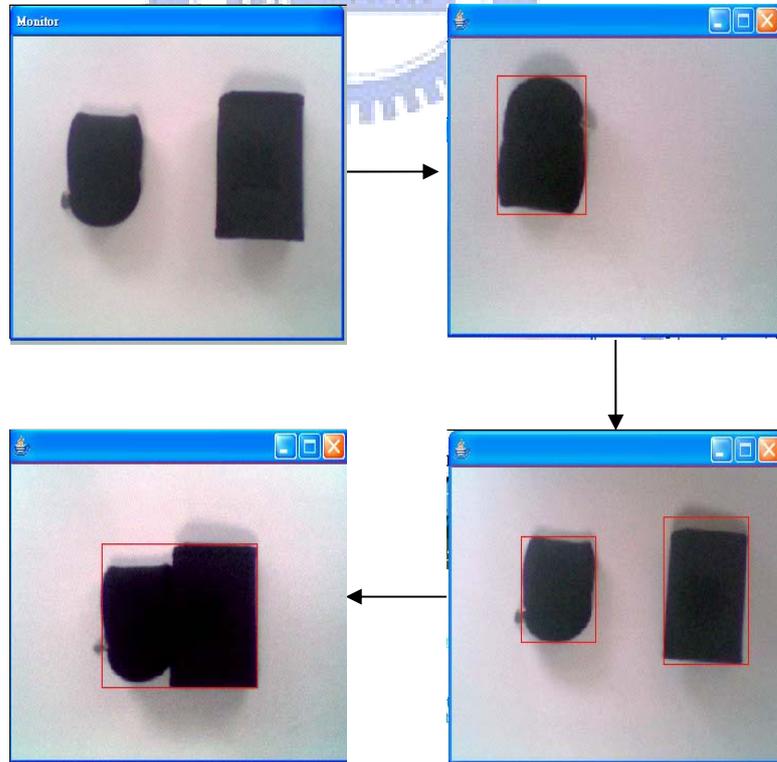


圖 31. 影像辨識追蹤

### 1. 偵測物件動作

在影格上物件的移動是可以被偵測與量化的，這個系統使用了一個理論叫做”影格差距辨識”，在這個技術上，每個影格上的像素都可以比對，例如 f1 這個影格中的一個像素就會與緊接的下一個影格 f2 的像素做出比較，去偵測出兩個像素的顏色與亮度的在這個特定位置上的移動變化量；這些變化可以被歸納成一組數值，可以用來提供單一測量值給影格的移動量；準確的來說，”影格差距辨識”這個演算法依靠的是穩定的環境光，以及固定的攝影機。

(a)在webcam上所看到的視訊，在Jmyron可以調整追蹤物件的R. G. B值，可以偵測與追蹤特定的顏色，但是必須在光線充足的狀況下。

(b)Jmyron追蹤一個物體，會隨物體的位置及大小變化，可以繪製出邊框，並且會隨物體位置大小改變而產生變形。

(c)Jmyron追蹤兩個物體的情形，如果有兩個物體同時出現的時候，則Jmyron會辨識成兩個物體，並且進行不同的追蹤。

(d)當兩個物體連結在一起的時候，電腦將其判斷為一個物體。

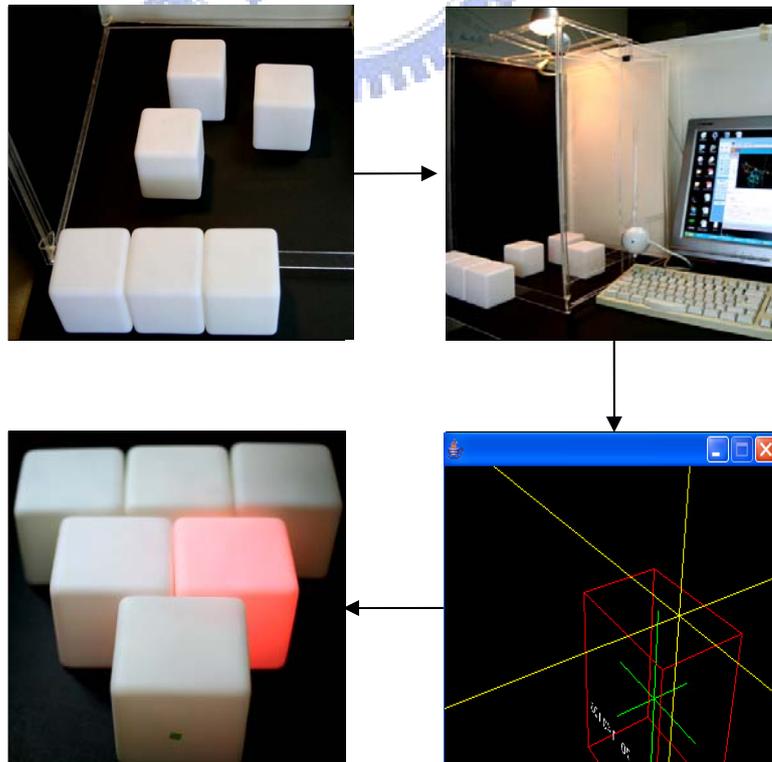


圖 32. 實作四個流程

- (a) 量體堆疊，實驗開始可以進行實體量體的堆疊實驗，藉由手的動作移動特定實驗區域的量體。
- (b) 量體位置偵測，藉由手移動實體量體之後，在兩組webcam可視的範圍之內，可以進行量體位置的偵測，藉由此偵測系統，可以直接輸入實體量體的相對座標進入虛擬的環境中。
- (c) 分析虛擬模型，當實體量體的相對應數值輸入到虛擬的環境中之後，就可以開始利用虛擬的環境進行量體的分析，例如大小與座標以及相對位置。
- (d) 訊息回饋裝置，當實體可以直覺的輸入數值到虛擬的環境中之後，就開始進行虛擬回饋訊息到實體的量體上。

在實驗的操作過程中，發現實驗必須設置在光線亮度充足，以及色溫固定的環境底下，才可以設定程式抓取固定範圍的R, G, B值；如果環境設定條件不夠穩定，實體與虛擬的對應會出現不穩定的狀態，所以虛擬的方塊會消失不見，或是處於跳動的狀態；所以在實驗進行之前，都必須先經由一連串的測試與調整程式才可以使系統正常的運作；在於程式的改善方法為捨棄環境的嚴格設定，轉而去撰寫一部份的程式，辨識方塊上的色塊，即時更改程式裡的R, G, B數值，這樣不管實驗環境如何變動，都可以增加抓取的準確率。

#### 4.1.2 量體 3D 位置偵測

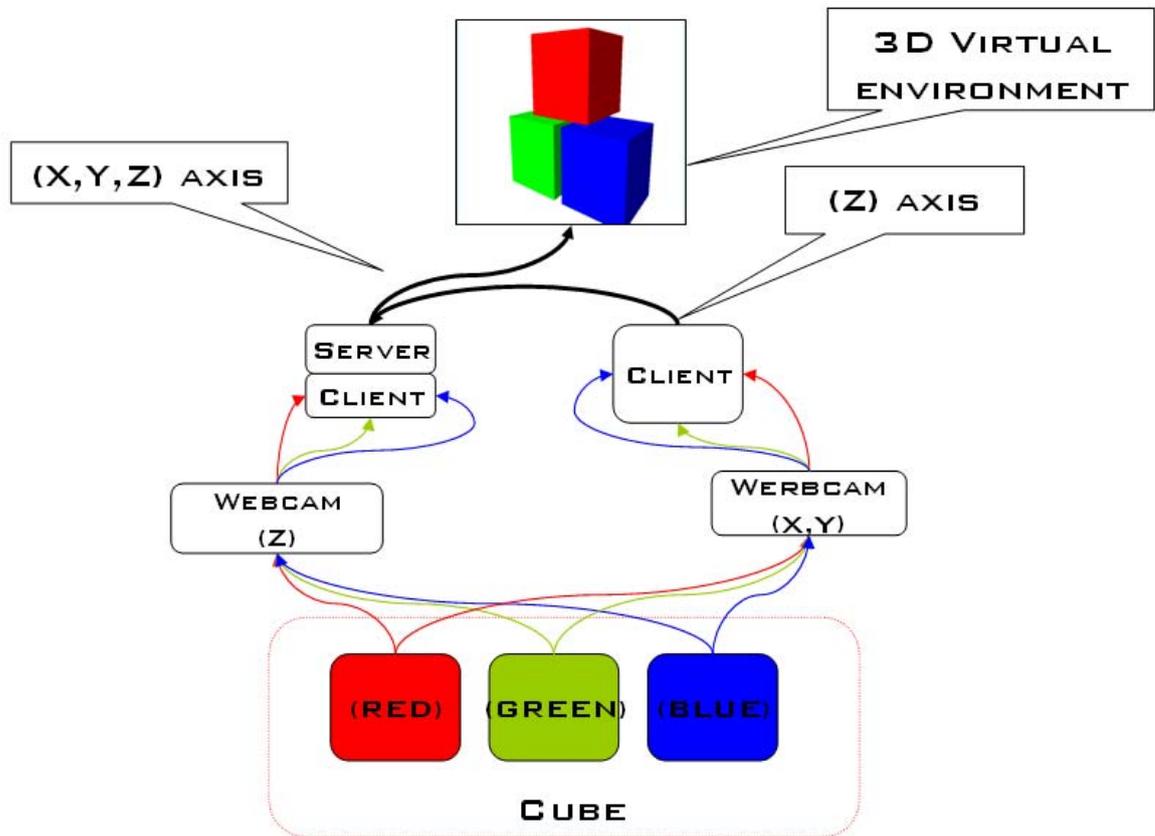


圖33. (R, G, B) 位置追蹤系統架構

- (a) 藉由影像追蹤系統，將影像分析成(R, G, B)不同的數值
- (b)藉由不同兩組的Webcam將追蹤(R, G, B)數值演算成 (X, Y) 與 (Z) 座標位置。
- (c)設置兩台電腦分別處理 (X, Y) 與 (Z) 座標位置, 然後利用網路將server端提供給 client端(z)軸數據。
- (d) 根據 (X, Y) 與 (Z) 座標位置，可以在3D環境裡模擬呈現立體的虛擬量體。

二度的量體位置偵測，只需要一組webcam就可以達成，如果要達到3D的空間位置辨識，則需要兩組webcam 來進行操作，一組負責X, Y向度，另一組負責Z向度，Z向度的數據經

由網路傳到另外一端同時控管 $X, Y$ 向度的伺服端，藉由這一台電腦，可以將 $X, Y, Z$ 這三組數據對應到虛擬的方塊上面，讓實體的方塊可以跟虛擬的方塊對應。

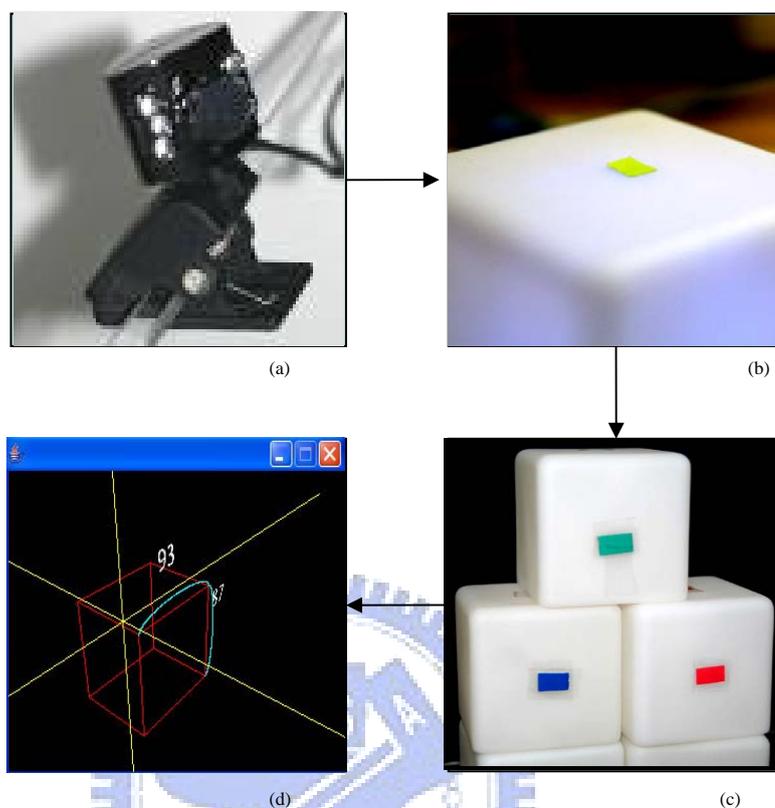


圖34. WEB-CAM 影像追蹤流程圖

(a)在固定的桁架上面分別架設兩組webcam，一組放置在實驗平台上的 $(X, Y)$ 平面正上方，另一組則放置在平面 $(Y, Z)$ 平面的左方，則實驗者利用左手操作實體方塊。

(b)在平面上放置具有方位標記的方塊，方塊的每一面都具有此標記，以利webcam可以進行偵測。

(c)再這一階段進行直覺性的實體量體堆疊；在程式語言(wiring)的架構之下，加上”Webcamxtra”中影像分析與追蹤的外掛模式，用來偵測物體上不同影像色彩(R. G. B)此特定的範圍，利用偵測此數值範圍，可以抓取出影像特定的位置，這樣可以進一步可以用來偵測在webcam裡面所抓取特定色塊的位置。

(d)在兩組電腦中分別安裝一組webcam，一組電腦設置為伺服器端，另外一組為客戶端；這兩組電腦利用區域網路來連結，這兩組電腦分別都裝置上webcam用來偵測方塊位置的數據，伺服器端的電腦可以接收客戶端所傳送過來的方塊位置數據，可以分別追蹤實體模型在空間中 $(X, Y)$ 與 $(Z)$ 的數值，透過兩端所提供的數據，伺服器端的電腦分析組合此兩組數據，就可以模擬實體方塊對應於虛擬空間的三度位置。

實驗過程中所用的webcam本身不具有穿透物質辨識的能力，如果兩組的webcam不能夠同時抓取對應的R. G. B色塊，那方塊就不能夠準確的出現，所以系統只能顯示出實體方塊的兩個面向，也就是webcam可辨識的面向，所以當實體方塊堆疊的時候，系統沒辦法對應隱藏於後面的方塊。

#### 4. 1. 3. 虛擬量體的分析

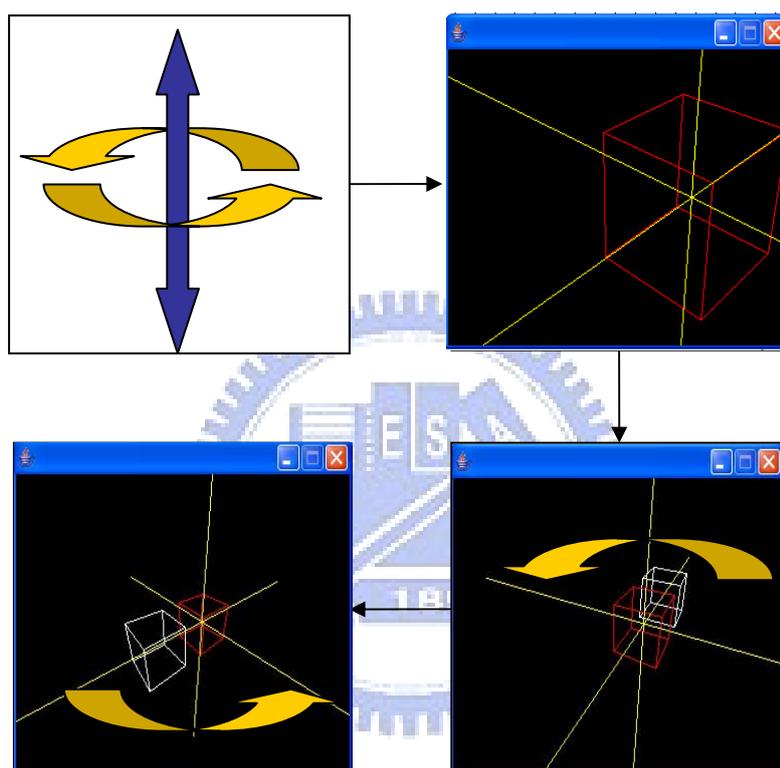


圖35. 旋轉與運鏡功能圖

(a) 虛擬環境是建立3D環境架構之上，所以在虛擬的呈現方式上也以透視的方式來表現，這樣可以方便設計者快速的瀏覽與檢視虛擬的模型，不會產生像實體模型一般的視覺上的死角。

(b) 虛擬的環境除了透視的方式來檢視模型之外，本實驗還設置了放大與縮小的功能，這樣可以方便檢視虛擬模型上所提供的不同分析數據；本實驗利用滑鼠指標在視窗上的位置與虛擬視角的遠近作對應，游標往上代表放大，游標往下代表縮小。

(c) 順時鐘旋轉也一樣根據滑鼠的指標位置作對應，往左就是順時鐘旋轉；如果滑鼠是往左上移動，則代表同時放大與順時鐘旋轉模型。

(d)逆時鐘旋轉

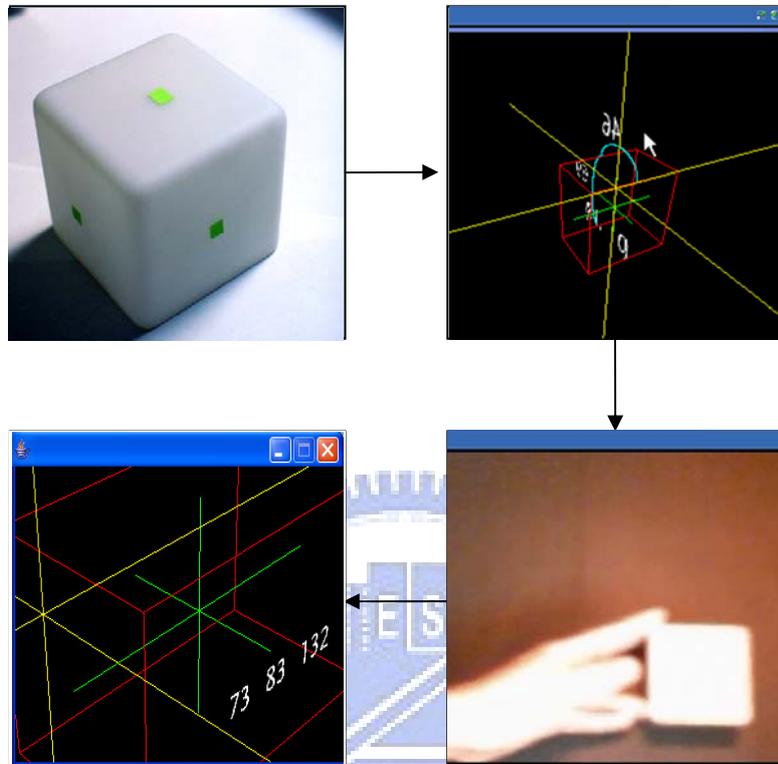


圖 36. 虛擬方塊方位辨識流程

(a)根據上步驟，虛擬模型根據實體模型可以提供不同的分析資訊，這些分析的資訊同樣根據此套視覺辨識系統的架構，顯示數值的方式是數據會直接依附在虛擬的方塊上面，同時出現與消失都會與虛擬的方塊同步進行。

(b) 虛擬量體數值大小的顯示；當單一的實體量體在辨識系統的操作下，電腦會根據及時的實體量體的邊緣來辨識其量體的大小，當兩個量體出現時，則電腦會去判斷兩個量體的相對關係，如果兩個量體相聯結在一起，則系統會把這兩個正方形量體視為一個量體，在虛擬的量體則會顯示出一個長方體的量體，但是如果兩個量體是相互分開的，則電腦會分別辨識這兩個量體，各自顯示這兩個量體的數值。

(c)用手移動模型。

(d) 如分析實體 3D 位置，在虛擬的環境中，會先設定一個對應的圖面，圖面依照實體平面相同的比例與大小來繪製；在實體方塊位置經過視覺辨識之後，就會在由框線所組構的虛擬的方塊中顯示其三度空間的位置數值。

量體位置的辨識，主要的方法是利用貼附於量體上的色塊來進行定位，利用不同顏色的色塊去分辨出不同的實體方塊，會盡量讓色塊的面積越小越好，原因是辨識的方式是利用 webcam 去偵測色塊的中心點，如果面積小這樣可以減少誤差值，進而增進位置的準確度。

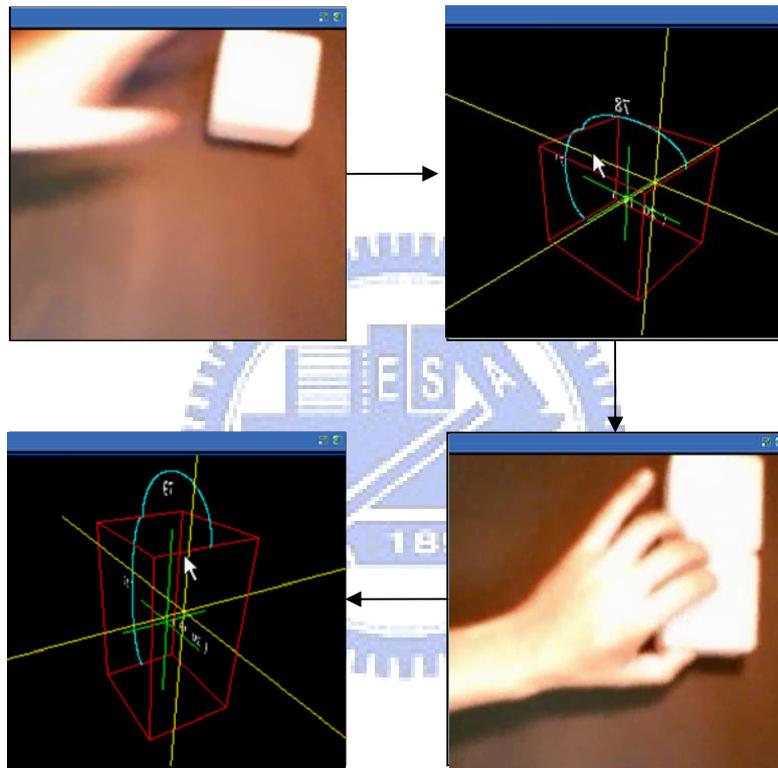


圖37 . 虛擬方塊大小即時辨識流程

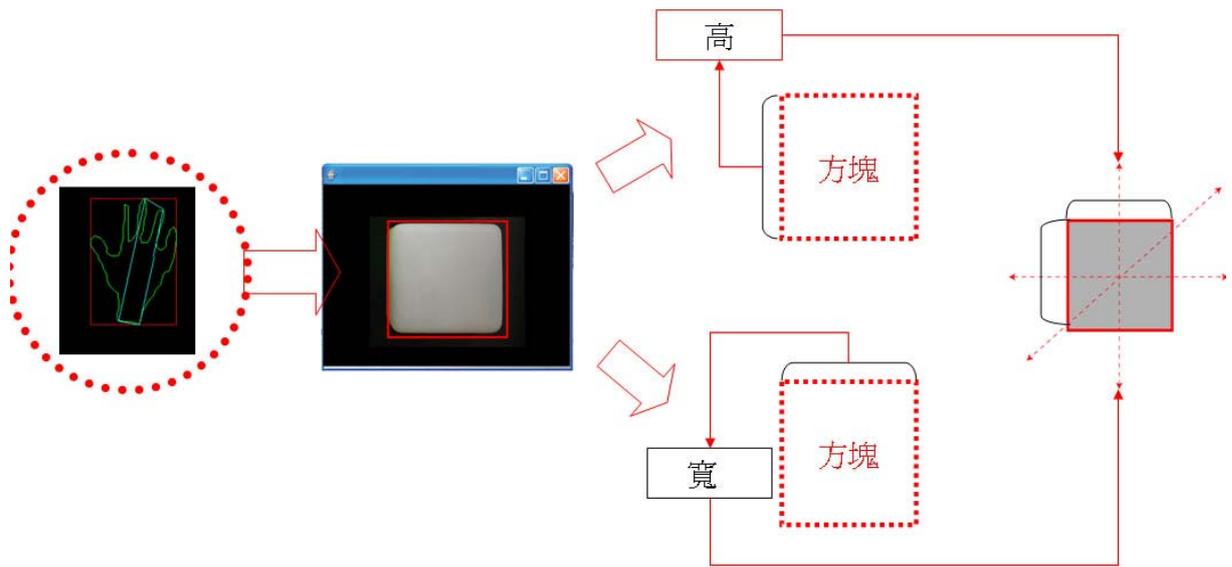


圖38 . 實體方塊測量大小系統圖

(a) 實體模型在webcam裡面可以進行立即的辨識，並將辨識數值傳到虛擬的3D模型，電腦依照此數據可以繪製相對應的3D量體模型。

(b) 在虛擬的環境中，電腦會立即將偵測的數據顯示在虛擬模型(X)與(Y)邊，然而(Z)軸的數據則等待另外一台電腦的SERVER端所要傳遞過來的資料才能進行完整的3D量體繪製。

(c) 第二個實體方塊置入偵測的範圍之內。

(d) 兩個實體量體互相堆疊時在虛擬環境中所呈現的狀態。

方塊大小的測量方式，主要是利用 webcam 去辨識方塊白色部份的數值，也就是實體方塊長與寬的兩個邊緣，再把數值換算成實體方塊的大小。

在辨識的狀態之下，由於都是用手去移動實體方塊，當手跟隨方塊一同進入辨識範圍時，方塊的數值就會暫時的失去準確度，當手移開之後，等待 webcam 重新辨識之後，才會再度恢復準確的數值。

#### 4.1.4. 虛擬量體訊息回饋裝置

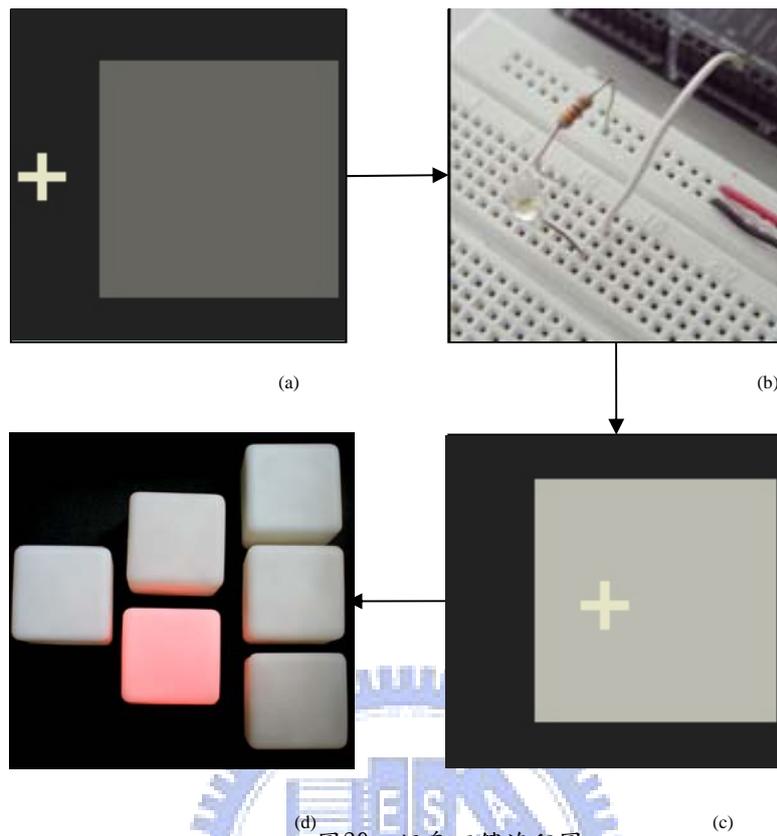


圖39. 訊息回饋流程圖

(a)在系統的設置上，指標藉由滑鼠來控制在虛擬環境上的位置。

(b) 當指標尚未接觸到虛擬方塊上的量體上時，LED是呈現關閉的狀態。

(c) 針對上步驟必須在許多量體中點選特定方塊，此步驟將完成特定虛擬量體對於實體量體的訊息回饋；在Wiring控制Wiring I/O board的架構下，當Webcam偵測到實體方塊並且在Wiring視窗裡顯示出虛擬的量體時，系統開始分析虛擬方塊位置的中心座標，並且依照上一步驟系統所分析出來量體的大小，加以畫出虛擬方塊在畫面上所佔據的範圍。

(d) 這時在當滑鼠經過其中一個虛擬量體範圍時，電腦可以依照虛擬方塊位置辨識的坐標，往回推論與虛擬模型相對應的實體量體；當滑鼠去指定特定虛擬量體時，將會傳送訊號到實體模型中，實體模型接收量體傳送不同的訊息可控制LED燈的開關；這樣可在指定特定虛擬模型的同時，相同3D位置的量體模型會與之相對應，當兩者互相對應的同時，實體量體會發出燈光讓設計者感知到。

在進行虛擬方塊回饋訊息給實體方塊的時後，回饋時產生LED所產生的亮光會影響Webcam R. G. B抓取的範圍，會造成虛擬方塊短暫位置失去準確度；所以在方塊上的色塊

會選擇與亮光色彩有相當差距的，避免辨識上的不準確。

對應虛擬模型 3D 環境裡面的位置與量體大小，利用這樣的 3D 定位與分析模式，可以進行實體與虛擬量體同步的量體的互動堆疊遊戲。

## 4.2 操作與設計

本研究目的是提供一個虛實互動的平台，給與設計者去操作以及建立 3D 模型，幫助他們直接的發展上的概念，並且降低設計者對於複雜的建模介面的負擔；由於建造 3D 模型需要想像的過程，以及製作的過程，在思考的過程上，必需去思考先去思考流程，而非是只是專注於形體本身；訂定設計目地與創作 3D 形體有一連串思考模式轉換的過程，這樣的轉換過程通常是瑣碎的且不完整的，而且與設計過程的關係不大，設計者設計出型體之後，設計者所專注的事情就直接轉換到建立模型的模式，很明顯的，設計的過程與利用繁複的指令輸入型體是完全不同的兩件事。



## 第五章 系統測試

本研究設定了一個實驗，去實驗關於熟練者與生手對於不同 3D 的輸入裝置的適應度，在此實驗的定義，熟練者是一個熟練傳統 3D 介面的使用者；而生手表示他不熟練 3D 介面；本實驗提出一個假說，就是在傳統的 3D 介面上，熟練者的表現會比生手為佳，並不是他所具備的知識超過生手，原因是他熟悉不同的指定可以幫助他去達到最後的目的；如果此直覺式有效率的 Space-Cube 可以消除操作上的鴻溝，那生手的表現應該會與熟練者相當。

### 5.1 實驗的設置

本實驗設置了一個在桌上的 3D 建模環境，包含了一台 PC 與 17 吋銀幕，Wiring 軟體，Wiring I/O board，滑鼠，鍵盤，以及 Space-Cube. 使用者開始於桌前利用 Space-Cube 操作量體模型，當開始堆疊實體方塊時，銀幕上出現虛擬方塊，使用者交相檢視實體與虛擬方塊傳遞的訊息，再加以從新加以編排實體模型。

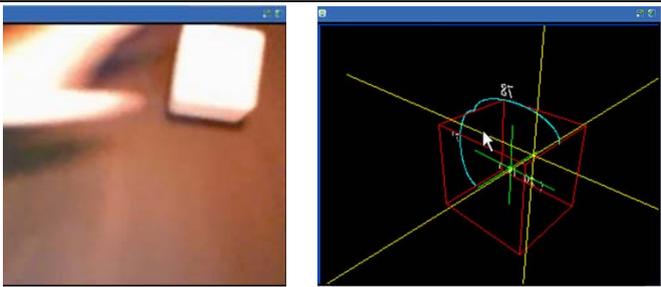
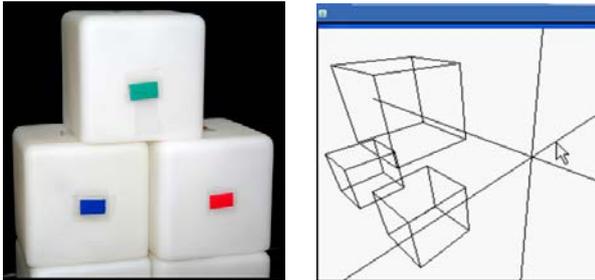
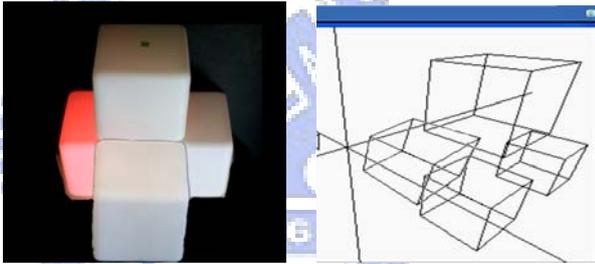
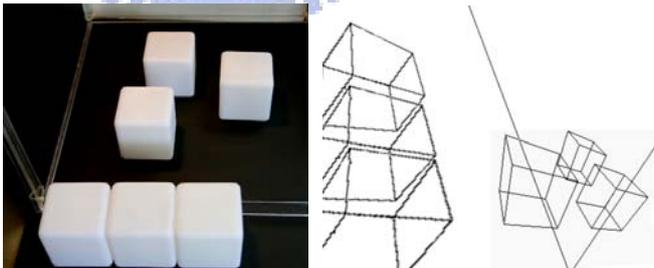
#### 5.1.1 實驗的假設

本實驗提出一個假說；熟練者與生手必需於同一操作介面，創造出一個實體的模型，以及一個同步虛擬的模型；而且這實體與虛擬模型必須符合實驗要求的數量與形體，在此前提之下去觀察他們的操作過程與所關注不同環節的程度，並且紀錄加以評估，如果操作者可以順利都完成實驗所要求的目標，那表示 Space-Cube 可以達到直覺性的 3D 操作，可簡化設計者學習 3D 介面的時間。

在此實驗中，並不限制使用滑鼠來幫助實驗進行，原因是熟練者在操作一些簡單的動作例如移動或是點選時，會照他們熟悉的方式去進行操作，這意指了熟練者會照他們平常的流程來操作，進而可以分析他們與生手的不同。

#### 5.1.2 實驗的過程

實驗的過程分成三個階段，每一個階段都是建立模型代表性的過程，第一個階段是使用者必需堆疊出三個量體，並且出現虛擬的模型，第二個階段必須堆疊出一個金字塔，第三各階段給予設計者十分鐘，可以任意堆疊出他們所構思的形體。

	實驗圖像
第一階段	練習操作
	
第二階段	堆疊三個方塊
	
第三階段	金字塔
	
第四階段	任意圖形
	

表格 2. 實驗過程紀錄表

### 5.1.3 實驗的設計

實驗根據受測者對於 3D 建模的熟悉度分組，一組是熟練者，一組是生手，他們都使用 Space-Cube 來當作輸入的工具，剛開始給予他們十分鐘來探索這個機制，進而開始操作三個階段的實驗。

	年齡	背景	專長	3D 繪圖軟體 熟悉度	實體模型 熟悉度
受測者 A	27	建築	建築設計	熟稔	熟稔
受測者 B	26	藝術	雕塑	陌生	熟稔

表格 3. 實驗受測者基本資料表

## 5.2 實驗的結果與討論

共有兩位自願者來參與這個實驗的進行，其中一位有熟練的 3D 模型經驗，另外一位則是這方面的生手，他們的年齡介於 25~30 之間，都具有設計的背景。

### 5.2.1 實驗結果的分析

(a). 電腦環境俱經驗者:

1. 對於操作過程的討論:

Space-Cube 整個系統的操作過程分成幾個階段，第一個階段是先去熟悉整個界面的操作，然後進行虛擬與實體的互動，這時觀察到電腦環境俱經驗者會先去注意到的是虛擬的方塊是如何與實體的方塊互動，熟悉後互動的架構之後，專家開始去摸索虛擬環境的介面，逐一學習如何控制虛擬量體的指令，在熟悉後虛擬環境的控制方式之後，專家開始去檢視實體方塊是否可以與虛擬環境準確的配合互動。

在第二個階段裡面，操作者開始被要求去堆疊三個方塊，專家很快的堆疊了三個模型，然後專家開始去觀察虛擬環境中所提供的數據，他專家感興趣的是這些數值與實體環境中實體量體的對應狀況，會把方塊堆疊成不同相連的量體，讓系統去辨識出不同的量體大小。。

在第三個階段裡面，使用者開始使用方塊堆疊金字塔，在這個階段專家很快發現系統的缺陷，就是隱藏於背後的實體方塊沒辦法顯示於虛擬的環境裡面。

在第四個階段裡面，使用者開始利用較多數量的方塊進行堆疊，自己設計堆疊的造型。

2. 數位與實體環境的比較:

電腦環境俱經驗者認為數位與虛擬的環境各自扮演重要的角色，實體模型可以提供給設計者用手操作的介面，然而虛擬模型卻可以提供虛擬的分析訊息；但是專家認為數位回饋給虛擬的部份不夠直接，只能做單純的量體點選，他認為如果可以改變

實體量體的型態，例如實體表面的材質，或是量體的大小形狀，這樣的互動會變的更為有趣。

### 3. 對於設計過程影響的討論：

電腦環境俱經驗者認為這樣的互動系統可以提供給設計者不同向度的設計輔助訊息，所以設計者可以從不同的角度切入設計初期，更可以在兩種環境中自由切換所想運用的不同媒材，來幫助設計的進行；不會因為媒材的限制而妨礙設計的進行。

#### (b). 3D 環境生手：

##### 1. 對於操作過程的討論

在第一個階段的操作過程中，在 3D 環境生手了解整個互動的模式之後，他會把實驗的操作過程著重於實體方塊的控制方面，會去觀察實體如何去影響虛擬方塊的狀態，但是生手會放較少的專注力與時間於虛擬環境量體的操作，只是大約了解虛擬環境的指令之後就把專注力放到實體的方塊上。

在第二個階段裡面，生手依舊把專注力放在實體的方塊上，他會花比較多的時間去嘗試不同的量體堆疊模式，去檢視虛擬環境是否可以與他所設定的形式配合，對於虛擬環境所提供的數值與功能，生手比較會忽視這些設計上的訊息，只是稍做嘗試就將注意力放回實體方塊上。

在第三個階段裡面，生手覺得 Space-Cube 實體方塊的部份有缺點，原因是連接 wiring i/o aboard 的線會對堆疊造成困擾，因為進行堆疊時，常常調整好位置時，再行堆疊令外一個時，線常常造成另外一個方塊的移動。

在第四個階段裡面，生手自行設計形體。

##### 2. 數位與實體環境的比較：

3D 環境生手則是認為在此實驗中，實體與虛擬環境的角色有主從之分，他認為利用實體可以直接控制虛擬環境裡面的量體很有趣，不過他認為實體量體還是比較重要，因為實體環境可以提供給手直接的操控介面，數位的環境只提供輔助的資訊給設計者，但是這些訊息並不够精準與多元性，所以並不能一時改變設計者的決策。

##### 3. 對於設計過程影響的討論：

3D 環境生手則是認為如果設計者不熟悉虛擬環境的控制方式時，則很難去使用它與實體的空間互動；這套系統可以利用實體方塊進行簡單的指令操控虛擬方塊，這樣的方式可以讓不熟悉 3D 環境的設計者可以取得虛擬環境所提供的分析資訊，可以幫助設計者對於虛擬環境比較熟悉，不會有生疏的感覺，有助於設計的進行。

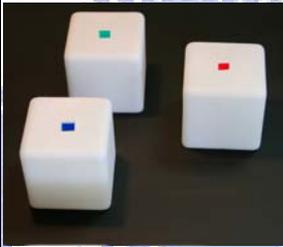
本實驗藉由錄影的方式來記錄實驗的進行，藉此可以分析出他們所操作的時間與經過的流程；在整體方面，使用者會花較多的時間去思考如何操作他們所想要做的形體，其次則是操作的步驟；在熟悉者的部份，他們會花較多時間在於觀察電腦介面的指令如何操作，所以整體操作步驟變的較為瑣碎，反覆的操作過程會使整體的流程變的有重複性；在生手的部份，他們會較為專注於實體方塊，與熟悉者不同的是，他們先會專注實體方塊的使用方式，而非虛擬的介面，除非在操作的過程中遇到困難，才會轉而去操作虛擬的介面與指令，可是這樣摸索虛擬介面的過程浪費了較多的時間；整體來說使用 Space-Cube 會使設計這比較容易專注於在實體模型本身，並且使繁瑣的指令簡單化，由於同時有虛擬與實體兩個界面，不同背景的受測者會有不同專注的部份，但是他們完成的時間是相去不遠的。

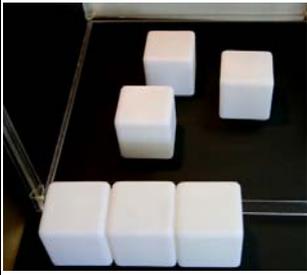
操過過程分析表	受測者	3D 環境生手
系統操作過程		
實體方塊	項目：	難易選項
	移動	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	旋轉	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	辨識	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	堆疊	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
虛擬環境	項目：	
	遠近	<input type="checkbox"/> 簡易 <input checked="" type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	旋轉	<input type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input checked="" type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	辨識	<input type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input checked="" type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
系統操作困難度		
實體方塊	項目：	
	第一階段	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	第二階段	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	第三階段	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	第四階段	<input type="checkbox"/> 簡易 <input checked="" type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
虛擬環境	項目：	
	第一階段	<input type="checkbox"/> 簡易 <input checked="" type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	第二階段	<input type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input checked="" type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	第三階段	<input type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input checked="" type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
第四階段		

表格 4. 3D 環境生手操作過程階段分析表

操過過程分析表	受測者	電腦環境俱經驗者
系統操作過程		
實體方塊	項目：	難易選項
	移動	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	旋轉	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	辨識	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	堆疊	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
虛擬環境	項目：	
	遠近	<input type="checkbox"/> 簡易 <input checked="" type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	旋轉	<input type="checkbox"/> 簡易 <input checked="" type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	辨識	<input type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input checked="" type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	指定	<input type="checkbox"/> 簡易 <input checked="" type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
系統操作困難度		
	項目：	
實體方塊	第一階段	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	第二階段	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	第三階段	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	第四階段	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	項目：	
虛擬環境	第一階段	<input type="checkbox"/> 簡易 <input checked="" type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	第二階段	<input checked="" type="checkbox"/> 簡易 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	第三階段	<input type="checkbox"/> 簡易 <input checked="" type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難
	第四階段	<input type="checkbox"/> 簡易 <input checked="" type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 偏難 <input type="checkbox"/> 困難

表格 5. 電腦環境俱經驗者操作過程階段分析表

實驗成果		完成成果	意見
階段 1 練習操作	A. 生手		看到實驗桌上的裝置與繁多的設備，覺得此實驗必定是一個複雜且難操作的裝置，花了不少時間去熟悉與了解操作的過程。
	B. 熟練者		注意到虛擬環境與實體方塊由一個互動的裝置連接著，經由 webcam 來辨識，操作的過程中，步驟與互動的方式比想像中複雜。
階段 2 堆疊三個方塊	A. 生手		堆疊的過程中，實體方塊會直接控制虛擬方塊的位置，但是不夠穩定，會出現不夠準確的狀況。
	B. 熟練者		堆疊三各方塊時，發現虛擬環境控制介面的功能可以去檢視方塊的分析訊息，可以快速的進行簡單的測量。 ，
階段 3 金字塔	A. 生手		再這個階段，發現如果實體方塊的兩面都隱藏於其他方塊之後，虛擬方塊會不能正常的顯現出來。

	B. 熟練者		虛實回饋的裝置是有趣的，可以指定虛擬方塊去對應實體的，設計的過程有了雙向的溝通。
階段 4 任意圖形	A. 生手		辨識的範圍受到 webcam 的侷限，堆疊的過程有時必須閃避區分辨識範圍的框架，對實驗產生一定的影響。
	B. 熟練者		堆疊的過程有一定的難度，尤其在方塊不互相遮掩的狀況下效果最佳。

表格 8. 實驗成果分析比較表

## 第六章 結論與後續研究

### 6.1 結論

藉由觀察與分析使用者操作此裝置的過程，發現 3D 環境生手與電腦環境俱經驗者對這套系統的反應不盡相同，生手對於裝置的接受度比俱經驗者較低，而且對系統熟悉所須的時間需要較長的時間，藉由問卷針對每個細項的評比，發現生手對於虛擬的介面，或是實體方塊去影響虛擬方塊的過程，都比熟悉者較難進入狀況；討論其原因，系統的操作方式還是脫離不了利用滑鼠與鍵盤的操作模式，系統也有旋轉或是遠近的功能，發現系統的介面與操作的流程都是需要被學習的，熟悉者本來就對於 3D 的環境較為熟悉，所以可以比較快的進入狀況，雖然系統的介面比傳統的 3D 介面簡單，但是生手還是必須去熟析 3D 環境的運作模式，才可以去控制系統的操作過程。

對於模型堆疊使用介面來說，這個系統可以提供不同的操作模式，使用 Space-Cube，使用者可以專注於他們手上的方塊以及他們對於設計的想法與過程，而非專注於軟體的指令與選單；Space-Cube 更可以改變 3D 設計者從抽象的指令到自然手的操作模式的過程，並且使 3D 模型塑造的過程直覺化；但是此裝置主要的缺點是他缺少修改細部的精細度，只適合規則的量體；如果要達到不規則形體的互動，則必須在規則量體的六面裝置上感應器，但是這個裝置並不適合裝上任何感應器，因為在六個面上裝置是個更加複雜的過程，原因是必須去選擇以及增加適當的互動硬體，並且要創造一個轉換的機制給予不同的功能來使用。

兩位操作者開始討論 Space-Cube 在本質上對於設計的意義，發現這個裝置是一個過於特定的機制，特別設計給予特定的建立模型的模式，而且與現今量產的工具的不同點是滑鼠與鍵盤是普及的工具，並且可以應用到不同的模式下；但是一般建立模型介面通常是設計給一般的輸入裝置使用，然而 Space-Cube 是設計給與較為特定的設計操作模式；雖然滑鼠與鍵盤是一個非常好切換模式的工具，但是於這點去比較這兩種工具是不公平的。

### 6.2 研究貢獻

本論文呈現了一個以實體與虛擬互動為基礎的 3D 的輸入裝置，並且此裝置具有能力可以使用手與裝置互動，此裝置並且提高了設計者對於 3D 模型塑造(3D modeling)的直覺性，更降低了設計者在操作不同媒材上的複雜度。

本實驗提出 Space-Cube 可以簡化去製作 3D 量體的過程，這些過程應該是給設計者更多空間去想像以及評估這些形體，而並不是被許多繁複的操作過程打斷。徒手製做草模型 (study model) 是一個直覺的互動方式提供給設計者去把概念具體化；在本研究中不論是 3D 環境生手或是 3D 環境的熟悉者，都可以運用此 Space-Cube 系統來與複雜的電腦介面進行溝通，雖然要操作的這個；設計者在操作實體方塊的同時就已經可以了解如何去使虛擬的方塊動作，並且虛擬的方塊也提供了及時的實體模型分析訊息；當設計者在觀看虛擬的方塊同時，也可以進行使用者所指定之方塊的即時的點選，藉由點選虛擬方塊的同時可以讓實體方塊可以有反應；這樣系統的虛實環境相互控制變的更加直覺性，不需要經由設計者再次轉換或是從新建立實體與數位模型。

Space-Cube 的目的就是降低設計者在繪製 3D 量體時對於思考的複雜度，使用手可觸碰的實體方塊，就可以操控虛擬的方塊設計上的量體堆疊；用來繪製 3D 模型所需要的 3D 介面，都可以在短時間裡面就可以被操作，並且可以即時的繪製出虛擬的模型。

Space-Cube 對於量體堆疊的影響是直接的，當設計者利用電腦來輔助設計的過程中，經常必須花費很多時間來學習如何操作建立模型或是繪製圖面的軟體，這些過程常常與設計者去了解空間的比例關係是相違背的；原因是在虛擬的空間中，設計者無法用手與眼睛配合去了解模型量體在三度空間的存在感，這樣更不能去了解量體之間的比例關係，所以電腦輔助設計反而變成設計者的一種限制；在實際的空間裡面，量體的比例與大小都被必須要從新被建立於虛擬的環境中，這樣才可以進行量化的分析，所以兩種模式是互相抵觸的；這樣對於建築設計的好處是幫助設計者可以跳過數位與虛擬兩種環境的角色切換，可以很快的切換主從的關係，當設計者需要從不同觀點來觀察空間時，可以即時的進行操作，並且可以得到另外一種媒材的輔助，得到另外不同的分析訊息進而幫助設計者做出對於設計上的判斷。

### 6.3 研究限制

使用 Space-Cube，在觀感的角度來說，對於製作虛擬與實體模型來說都是一個被限制的方法，使用者只能用手與此單一裝置互動，然而他卻可以幫助使用者去很快的解決特定的程序；在另外一方面來說，使用滑鼠與鍵盤，有更高的自由度來執行工作，但是過多的動作指令，只會更加的消耗時間，這兩者都提供了部分對於 3D 模型的形塑的需求，但是卻未能夠被整合在一起。

本實驗是一個建立於視覺辨識架構下的系統，Space-Cube 利用 Jmyron 的架構下 webcam 去進行量體三度空間位置的判別，這樣的方式是藉由不同的色塊給與 webcam 判別，但是進行必須設置在光線亮度以及色溫固定的環境底下，否則電腦則無法準確判別

量體的位置；所以必須先經由測試與調整才可以使系統正常的運作。

視覺辨識的缺點就是在進行方塊辨識時，webcam 本身不具有穿透物質辨識的能力，所以在進行量體的過程中，有時方塊與方塊會互相干擾，造成系統辨識的不準確，系統只能顯示出兩面 webcam 可辨識的面向，隱藏於方塊之後的方塊會沒辦法辨識，所以在三度的呈現上如果是過度複雜的量體組成，就會出現沒辦法顯示隱藏於後面的方塊。

由於現在系統所選用的硬體只是一般市面上最普通的裝備，例如此次實驗所用的 webcam 只是一般用來傳輸低解析度的網路攝影機，所以整個系統的效率比較低落，不能夠達到即時的互動效果。精準度是此系統裡面所缺乏的一環，由於硬體與程式部分整合起來的效果不夠準確，導致實際操作時，虛擬的模型與實體模型的互動有接近半秒鐘的延遲，而且位置的精準度也不夠高，有時方塊大小數值呈現會不夠穩定。

由於 Space-Cube 系統虛擬回饋到實體方塊，用的方法是以 LED 的亮光來表現回饋的狀態，但是系統 webcam 是以判讀方塊的顏色來進行，當回饋機制啟動時，LED 產生的亮光有時會影響 Webcam 的判讀，造成短暫的位置失準。

## 6.4 後續研究

在未來的研究裡，預期可以去結合數位與傳統這兩種媒材的概念，可以利用不同的指定來配合量體堆疊，虛擬出更加精緻的虛擬模型，例如堆疊出一台汽車的基本量體，指令會在虛擬模型上模擬出汽車較為精細的細部或是模擬出不同材質；藉由這樣的方式可以幫助設計者去檢視設計初期的設計流程對於設計後期的影響。

在本研究中，發現 Webcam 的視覺辨識效果效能還是有限，尤其是隱藏於其他方塊後面的方塊並不能被正確的辨識出來，而且 webcam 視覺辨識需要嚴密的設定與穩定的環境光源才可以準確的進行；在未來的研究裡，希望可以克服光學辨識的缺點，可以利用無線電波的方式來進行定位，例如 RFID 或是其他相關的技術，可以使辨識的過程不被阻礙。

就如設計者在使用的過程中所發現系統的缺點，連接 wiring i/o aboard 到 Space-cube 的線常常會影響到堆疊的動作，方塊如果比較多的話常常會互相的干擾；所以在未來的研究中，希望可以利用無線技術，這樣實驗的進行過程中，實體方塊就可以進行自由度更高的互動。

## 參考文獻

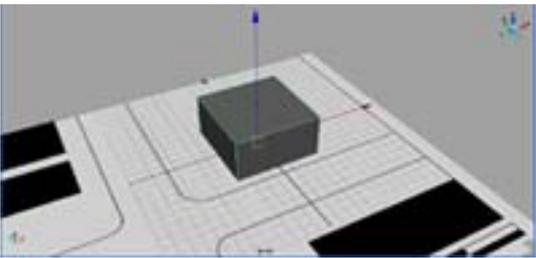
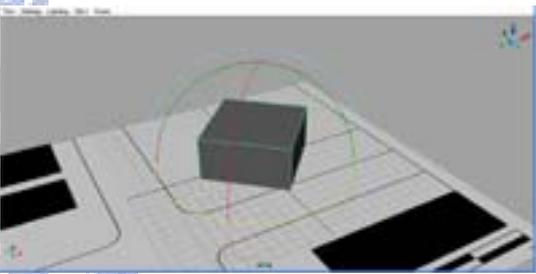
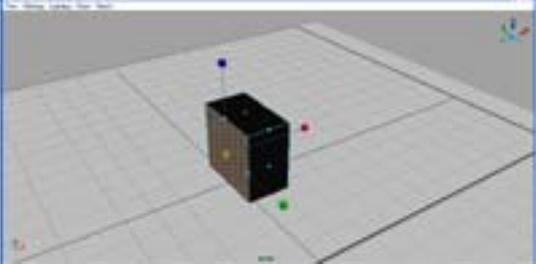
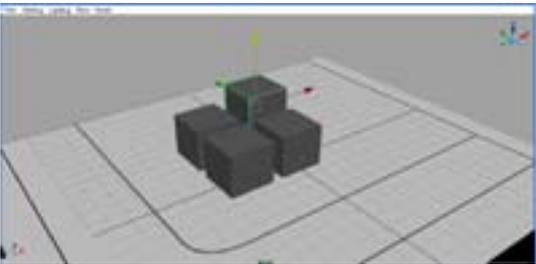
- ASANOWICZ, Alexander. 2005. Information at Early Design Stages.
- Ashcraft, M. H.(ed.). 2001. Cognition, Third Edition, Prentice-Hall,Englewood Cliffs,NJ.
- Ben Fry and Casey Reas. 2001. Processing[Beta]. [Online]. Available: <http://processing.org/>
- Bruegmann,R. 1987,Chicago architecture, 1872-1922:birth of metropolis,Art Institute of Chicago, Prestel –Verlag.
- Chang, C.-T. 2005. Some phenomena of touch in study model. Computer Aided Architecture Design in Asia(CAADRIA) .
- Chia-Hsun Jackie Lee, Yuchang Hu, Ted Selker. 2003. iSphere: A Free-Hand 3D Modeling Interface.
- Cheng Y.-W. 1995. Linking the Virtual to Reality: CAD & Physical Modeling
- D. Anderson, James L. Frankel, Joe Marks, Aseem Agarwala, Paul Beardsley, Jessica Hodgins, Darren Leigh, Kathy Ryall, Eddie Sullivan, Jonathan S. Yedidia. 2000. Tangible Interaction + Graphical Interpretation: A New Approach to 3D Modeling
- D. Herbert. 1993. Architectural study drawings: Applications of CAD systems
- D. Reznick, E. Moshkovich, and J. Canny. 1999. Building a Universal Part Manipulator, Distributed Manipulation, Bohringer and Choset, Editors, Kluwer Academic Press, Dordrecht,the Netherlands .
- DeVries, M. and H. Wagter. 1990. A CAAD Model for use in Early Design Phases.
- Ehud Sharlin, Yuichi Itoh1, Benjamin Watson, Yoshifumi Kitamura1,Steve Sutphen, Lili Liu, Fumio Kishino1. 2002. Spatial Tangible User Interfacesfor Cognitive Assessment and Training.
- Foley , J. D. 1987. Interfaces for Advanced Computing.
- G. Conti, G. Ucelli, Raffaele De Amicis. 2000. JCAD-VR: Java Collaborative Architectural Design Tool in Virtual Reality.
- Goldstein, E. B. (ed.). 2002. Senstation and Perception: 6th Edition, Wadsworth Publishing, Pacific Grovem, CA.
- Hernando Barragán. Wiring. 2003. [Online]. Available: <http://wiring.uniandes.edu.co/>
- Hiroshi Ishii and Brygg Ullmer. 1999. MediaBlocks: tangible interfaces for online media.
- Josh Nimoy, Federico Joselevich Puiggrós , Andrew Allenson , Danny Rozin , Shawn Van Every , Gabe Dunne , Max Oh , Onno Baudouin. 2001 . Myron Webcamxtra. [Online]. Available: <http://webcamxtra.sourceforge.net/>
- Krueger, Myron. 1991. Artificial Reality II. Addison-Wesley Professional.
- K. MacLean, S. Snibbe, and G. Levin. 2000. Tagged Handles: Merging Discrete and Continuous Manual Control.
- Levin, Golan and Lieberman, Zachary. 2003. Messa di Voce. Interactive installation.

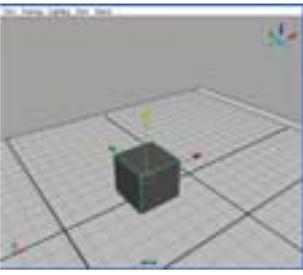
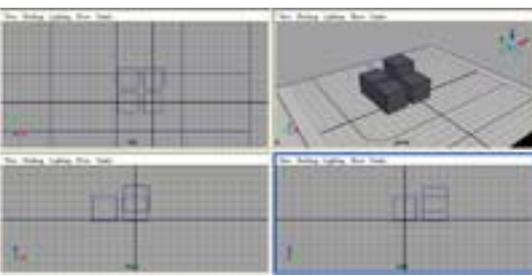
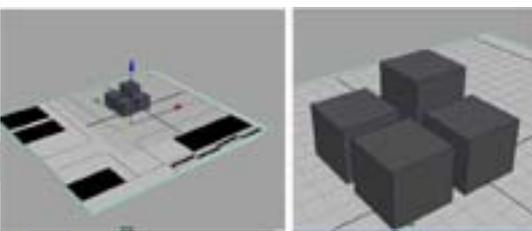
- Liu, Y-T. 1999. The representing capacity of physical models and digital models. Computer Aided Architecture Design in Asia(CAADRIA).
- LEGO Group. 1999. LEGO Digital Designer . [Online]. Available: <http://ldd.lego.com/>
- Mackay, Wendy. 1998. Augmented Reality: Linking real and virtual worlds, Proceedings of ACM AVI.
- Matthew G. Gorbet, Maggie Orth, Hiroshi Ishii. 1998. Triangles: Tangible Interface for Manipulation and Exploration of Digital Information Topography
- Markus Eng, Ken Caramata, Ellen YI-Luen Do, Mark D. Gross. 2004. Flexm: Designing A Physical Construction Kit for 3D Modeling.
- Ouyang, M. (ed.). 1996. The Technical Nucleus and Future Develop of Virtual reality, Institute of Information & Comoputing Machinery, Taipei, ROC.
- Oxman , R.: 2000, Desgin media for the cognitive designer. Automation in Construction.
- P.-H.Won. 2001. The comparision between visual thinking using computer and conventional media in the concept generation stages of design.
- R. Aish and P. Noakes. 1984. Architecture without numbers -CAAD based on a 3D modeling system.
- Regenbrecht, H., Donath, D., Kruijff, E., Seichter, H., Beetz, J. 1993. VRAM -A Virtual Reality Aided Modeller. Education in Computer Aided Architecture Design In Europe(eCADDe).
- Rowe, P.G.(ed.). 1987. Design Thinking, The MIT Press.
- Tamotsu Murakami, Naomasa Nakajima. 1994. Direct and intuitive Input Device for 3-D Shape Deformation.
- Wong, W. C. H. & Will, B. F. 1996. An Analysis of Using a Digital 3D Sundial as a Design and Decision Support Tool.
- Wickens, C. D. and Hollands, J. G.(eds.). 2000. Engineering Psycholology and Human Performance.
- Yoshifumi Kitamura, Yuichi Itoh, Fumio Kishino. 2004.Real-time 3D Interaction with ActiveCube

## 附錄(A) 個案分析的過程

本個案分析分成兩組不同的媒材應用在設計的過程中不同的操作過程，兩組測試過程如下：

### 測試一：數位媒材組

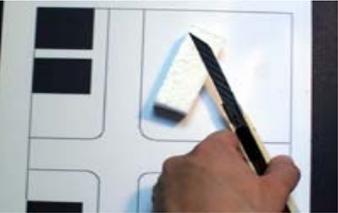
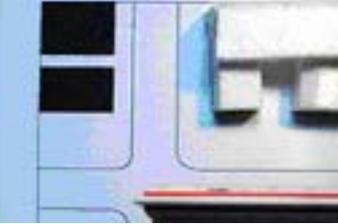
設計 步驟	動作		圖
	移動	利用滑鼠中鍵控制視窗中物件的 X, Y, Z 位置	
	旋轉	利用滑鼠左鍵與鍵盤 Ctrl 去旋轉物件	
	切割	利用指令 boolean 或是直接去編寫物件大小數值	
	堆疊	利用 duplicate 加上 move 的指令可以複製相同的物件並且加以組合	

	黏接	虛擬環境裡面只需標出相對位置就會固定	
	視角切換	四個視窗可以切換，或是也可以同時瀏覽	
	遠近	利用滑鼠右鍵與鍵盤Ctrl去旋轉物件	

表格 7. 數位媒材組操作過程表

測試二:傳統媒材組

設計 步驟	動作		實體模型
	移動	利用手指移動	
	旋轉	利用手指旋轉	

	切割	利用刀片切割	
	堆疊	利用量體支撐另外一個。	
	拿取	選取其中的一個量體	
	度量	利用比例尺測量量體長寬高	

表格 8. 傳統媒材組操作過程表



## 附錄(B)軟體介面

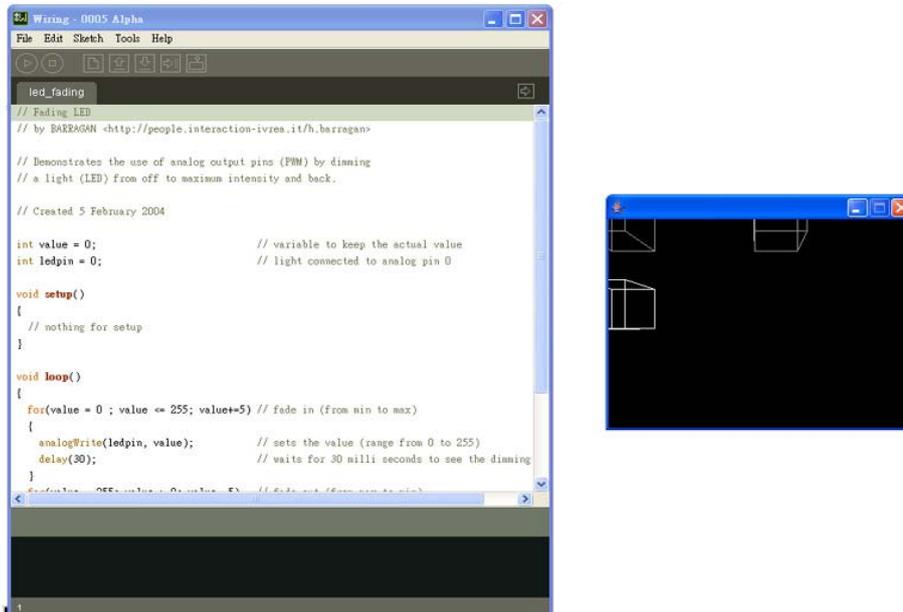
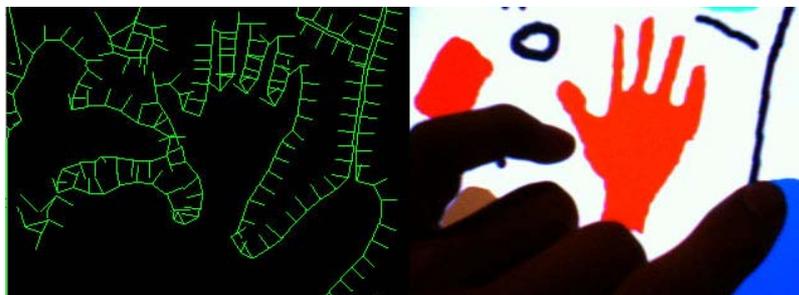


圖 40. Wiring 介面

Wiring 是一個建立於 Processing 架構底下的程式語言；基本上 Processing 是一個程式語言的環境給予設計者去編輯影像，動畫以及聲音，他被學生，藝術家，建築師，設計者來使用，他被創造用來教導以影像為基礎的程式語言；Wiring 不同於 Processing 是一個電子電路板以及程式語言的環境，專門用來探索電子藝術及可觸及式的媒體 (tangible media)，用電子學來教導與學習電腦程式與原型，Wiring 闡明了用程式來控制電子元件與硬體的領域，是需要用實體互動設計(physical interaction design) 以及可觸及式的媒體來探討的。



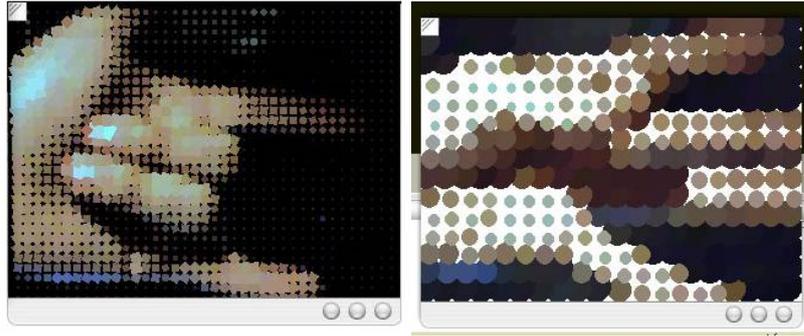


圖 41. JMyron 的視覺辨識系統

Myron 是一個跨平台以及開放原始資料的電腦影像擷取程式，主要是以 C++ 為核心的整合而成的高階語言系統，這個程式提供給 Processing 當做外掛程式，如果是提供給 Macromedia Director 則叫做 WebCamXtra，這個研究主要的目標是進行電腦視覺辨識上的發展，提供給新媒體的教育以及用於藝術方面的創作。



## 附錄(C)硬體介面

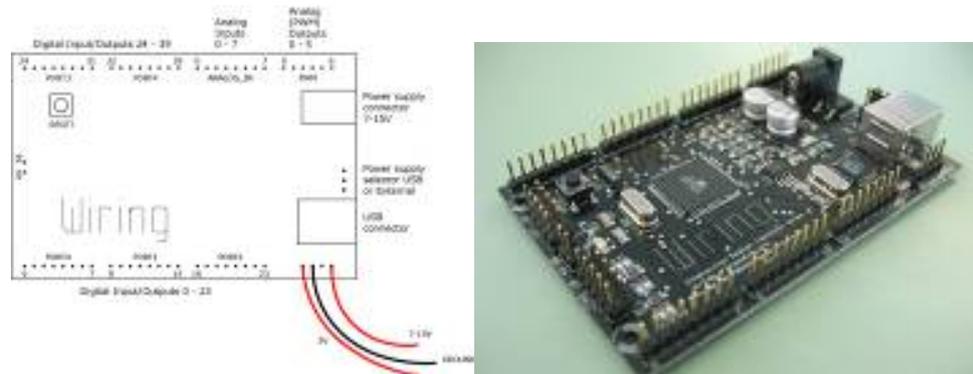


圖 42. Wiring I/O board

Space-Cube是由壓克力所構成的，使用雷射切割去製作這個正方形體；在正方體與電腦的連結藉由Wiring I/O board，Wiring I/O board是由Hernando Barragán的團隊所開發的，這個Wiring I/O board是一個小型的電路板(circuit board)，其中裡面包含了一個像郵票大小的微電腦控制器，Wiring I/O board可以藉由USB cable直接連結電腦，電腦辨識出Wiring I/O board就可以直接讀取以及傳送資料，Wiring的程式經過編寫之後，可以傳送到Wiring I/O board裡面，此時可以命令Wiring I/O board對外部的裝置做出不同的控制，外部裝置的訊號也可以藉由Wiring I/O board傳回電腦裡面，藉此控制程式做出不同的控制。

電腦可以在Wiring程式的環境底下，藉由Wiring I/O board去控制感應器(sensors)以及促動器(actuators)，感應器使電腦從環境擷取所需的訊息如溫度、光線、距離等；而促動器則可以藉由電路板的控制可以進行實體的動作，例如LED、電動馬達等；在方塊的內部裝置了控制LED的電路板，LED可以接受來自電腦Wiring的程式語言訊號，藉此控制開與關。