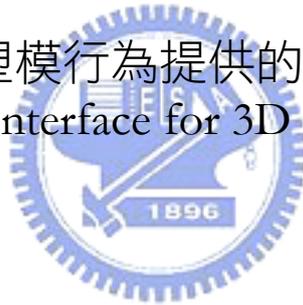


國立交通大學
建築研究所
碩士論文

針對 CAD 概念塑模行為提供的手勢空間輸入介面
A Gestural Spatial Interface for 3D Conceptual Modeling



研究生：黃致傑

指導教授：劉育東 教授

中華民國九十五年七月

針對 CAD 概念塑模行為提供的手勢空間輸入介面
A Gestural Spatial Interface for 3D Conceptual Modeling

研 究 生：黃致傑

Student : Scottie Chih-Chieh Huang

指導教授：劉育東

Advisor : Yu-Tung Liu

國立交通大學
建築研究所
碩士論文

A Thesis
Submitted to the Program in 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 of Science
in

Architecture

July 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

針對 CAD 概念塑模行為提供的手勢空間輸入介面

學生：黃致傑

指導教授：劉育東

國立交通大學
建築研究所碩士班

摘 要

這篇文章描述一個針對建築設計概念設計需求發展的手勢空間輸入介面，以解決傳統 CAD 人機介面 2D 輸入裝置控制 3D 環境的限制，造成指令繁雜和操作困難的問題。該介面提出一個新的架構，整合了設計者操作 CAD 時視覺思考與塑模行為並行的設計行為，並將傳統由滑鼠與鍵盤組成的人機介面取而代之以簡單的手勢控制。並且提供一套空間定位的座標系統讓設計者不需透過轉換座標軸指令的步驟達成 CAD 環境中的空間操作。

本研究探討 CAD 媒材如何提供更直覺地互動控制以符合設計者的需求。在實作上，利用 LED 手套搭配兩支 CCD 攝影機的擷取以感測手勢在空間中的座標位置。以及利用電路設計整合滑鼠和鍵盤在另一隻手套上，將 3D 環境中旋轉、縮放和平移的調整視角行為改裝以手勢控制。

關鍵詞：CAD、手勢、空間輸入裝置、概念塑模

A Gestural Spatial Interface for 3D Conceptual Modeling

Student : Scottie Chih-Chieh Huang

Advisors : Dr. Yu-Tung Liu

Graduate Institute of Architecture
National Chiao Tung University

ABSTRACT

This article presents a gestural spatial interface required by the development of conceptual modeling for Architecture Designer.

This user interface provides a new structure for solving the problems of difficult interface operations and complicated commands due to the application of CAD 2D input device for controlling 3D environment. The interface integrates the design thinking actions of “seeing – moving – seeing” while designers are operating CAD (Schön & Wiggins, 1992). Simple gestures are used to control the operations instead. The interface also provides a spatial positioning method which helps designers to eliminate the commands of converting a coordinate axis.

The study aims to discuss the provision of more intuitively interactive control through CAD so as to fulfil the needs of designers. In the implementation, one of the gloves equipped with two CCD cameras for image capturing is used to sense the motions of hands and positions in 3D. In addition, circuit design integrates with mouse, keyboard and another glove is applied to convert the motions of hands including zoom in / zoom out, movement and rotating to adjust the viewpoint of 3D screen in Maya environment.

Keywords

CAD, spatial input device, gesture, conceptual modeling

誌 謝

我必須先感謝 93 學年度建築研究所設計組放棄報到資格的 3 位同學，沒有你們的幫助我可能無法遞補到數位組備取一的缺，也不會有這本碩士論文的出現。感謝劉育東老師讓我變得更有野心和國際觀，讓交大建築所擁有充裕的學術資源以及來自四面八方跨領域的同儕，激勵我研究的視野。感謝侯君昊老師，在你高度自由以及循循善誘指導方式下，我相當的自在。可以隨著自己的好奇心學習新技術，朝向感興趣的研究方向，而不曾失去焦點。我相當喜歡你的指導，使得我在高度熱忱的心情下度過碩士生涯的第二年。感謝葉李華老師，在建研所開設的課程，帶給我在學術研究之餘，有一個不受限制的平台，可以放鬆心情討論數位時代與人類生活中的應用，激發我的想像。很多好的想法，以及興趣都會在與你討論中閃進腦海中。要感謝簡聖芬老師，給了我許多信心和方向，和你聊研究真的很開心，很喜歡你的 Style。還要感謝唐玄輝老師，非常有邏輯的建議，研究的 3 個重點：邏輯、技術和未來性我會謹記在心。

還要感謝建築所的所有同學們，跟你們聊天和討論中拓展了我許多的想法。陳建同同學，從你身上我看到了一整個積極的人生態度、相當震撼，認識你讓我成長不少。當然還要感謝男哥、豪廷、景順和景明，你們是一整個碩士生活中最常陪我一起吃飯聊天的兄弟，改天還要一起組工作團隊。另外還要感謝文理和小毛在我技術急需資源的時候讓我看到一大片的陽光和草地，我是真心地由衷要感謝你們。因為每當我找你們的同時絕對是我身心俱疲，亂熬夜加上神經匱乏四肢無力的時候，往往你們的一點點方向都帶給我莫大的喜悅。好幾次在跟你們討論解決方案之後，我可以涵笑入睡，這就是人生。我只能說我愛你們，沒有你們從心靈到身體上的陪伴，我遲早變成自閉，埋首於我空蕩蕩的小房間中，沉淪。

還要感謝我的女朋友，在我埋首於工作之中的同時陪我講話，讓我有一顆還算正常的心靈，能夠看看這個世界改變了什麼。我還必須要感謝我自己，真的用了心、用了體力、用了耐心，學了自己感興趣的事情，做了自己願意付出的決定。最後要感謝的是家人，爸爸、媽媽、大姐和二姐(叫我起床上課)，感謝你們給了我兩年，不用煩惱錢，有一個自己的房間，可以安安靜靜地做自己想做的事情。大姐這兩年每天在家裡幫我做了所有我以前該做的事情：倒垃圾、餵多多吃飯、清理貓沙和陪爸媽講話等所有瑣碎的小事情。我都感謝在心頭沒有說出來，真的謝謝你們，讓我可以好好的讀書。

另外還要感謝我北科大以及過去的所有朋友們，我求學路程到目前為止還算順利。並不是我相當優秀，而是有你們的陪伴，志明、沈哲、白爆、等所有的大家，謝謝你們的陪伴，我可能無法說什麼，但是人生有高潮和低潮，就像燉一口好湯一樣，熬過了，會有一片蔚藍的人生等著你們。千萬不要意氣消沉，人一輩子都需要努力的，等忙完了再一起聊聊吧！

獻給你們真誠的感謝。

目 錄

中文提要	i
英文提要	ii
目錄	iii
目錄	iv
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 電腦在建築上的發展	1
1.1.2 概念塑模的發展	1
1.1.3 電腦輔助設計(CAD)的人機介面	1
1.2 研究問題	2
1.2.1 運用電腦操作塑模行為的困難	2
1.2.2 現有的改善尚不夠充足	2
1.2.3 人機互動的問題：知識負擔	2
1.3 研究動機	3
1.4 研究目的	4
1.5 研究步驟	5
1.6 章節架構	6
第二章 相關研究	7
2.1 CAD 的發展脈絡	7
2.2 概念塑模介面	9
第三章 設計	16
3.1 傳統流程	16
3.1.1 設計思考	16
3.1.2 人機互動的操作	16
3.2 介面的問題	18
3.2.1 情境	18
3.2.2 指令的負擔妨礙設計思考的進行	23
3.3 手勢輸入介面	24
3.3.1 “動”的控制	25
3.3.2 “看”的控制	26

第四章	實作	28
	4.1 先期測試	28
	4.1.1 影像辨識	28
	4.1.2 座標位置的應用	28
	4.2 系統規劃	30
	4.2.1 系統架構	30
	4.2.2 運作流程	31
	4.3 空間輸入知覺介面	32
	4.3.1 感知實體空間中的位置座標	32
	4.3.2 感知控制的意念	34
	4.4 手勢輸入工具	36
	4.4.1 空間控制的操作工具	36
	4.4.2 視角控制的操作工具	37
	4.5 虛擬環境	38
第五章	測試	41
	5.1 實驗設計	41
	5.1.1 範圍	42
	5.1.2 對象	42
	5.1.3 測試空間輸入介面的座標控制	42
	5.1.4 測試空間塑模	42
	5.2 結果	43
	5.2.1 形狀	43
	5.2.2 塑型中的思考	43
	5.2.3 滿意的形狀	44
	5.3 討論	44
	5.3.1 光點追蹤的效率	47
	5.3.2 兩台攝影機所追蹤的範圍	47
	5.3.3 空間位置的精準度	47
第六章	結論	48
	6.1 貢獻	48
	6.2 限制	49
	6.3 後續研究	49
	參考文獻	51
	附錄	53
	自傳	55

1. 緒論

1.1 研究背景

1.1.1 電腦在建築上的發展

電腦普遍進入建築設計領域的發展大概是由美國 Autodesk 公司開發的 AutoCAD 軟體開始。這套軟體首先提供了精準的 2D 製圖方法，自 1980 年代以來，改變了全世界建築師事務所的生態—原先的手繪製圖方法。1990 年代，3D 圖像的技術問世，建築設計者藉由 3ds Max 或是 Alias|Wavefront Maya 等繪圖軟體的運用，已經可以解決自由形體複雜的組構問題。Frank'O Gehry 於 1983 年建造出巴賽農那的魚以及 1993 年完工的畢爾包古根漢美術館後，正式宣告電腦圖像的應用已經為建築史定義了新的建築型態。

1.1.2 概念塑模的發展

儘管電腦輔助設計 (CAD) 突破了傳統繪圖很難處理的曲面製作以及組構問題。但隨著處理複雜度越高的形體時，背後操作 CAD 的流程也相對更增繁瑣和複雜。目前，使用電腦輔助設計的工作者普遍應用於設計晚期的組構方法和模擬彩現上的使用。鮮少數的設計者將之使用在設計一開始的階段。大多數的 CAD 使用者在設計的早期階段依然選擇利用黏土、木頭、泡棉或是紙版等傳統的材料發展塑模。即使 CAD 工具在塑模功能上比起實體材料(侷限於材質的特性)來說附有高度自由度的優勢。但是現有 CAD 的人機介面：滑鼠和鍵盤搭配的輸入介面，加上使用起來一堆指令程序和選單的操作，對於概念塑模的使用並不友善。只令設計者增加額外的操作負荷，對於 CAD 帶來的優勢的和資源，並沒有太多幫助。

1.1.3 電腦輔助設計(CAD)的人機介面

Brenda Laurel 定義介面是一個聯繫的表面(contact surface)，反應互動者物理動態中力量與控制的操作關係。在羅拉的著作“Computer as Theatre”，書中論到使用者和電腦是一齊工作且達成共同目標的活躍代理人。介面是努力使這兩個活躍的代理人變得容易協調，並一齊接近該界面設計中應用目標的角色(Laurel, 1991)。

Sutherland於1963年發表的博士論文—Sketchpad，為全世界第一個提出可以讓設計者使用光筆與電腦圖像互動的人機介面。從此，開啟了一段很長的發展針對電腦圖像在設計上的運用，由最早的光筆、滑鼠、搖桿、到虛擬實境(Virtual Reality)介面的應用，設計工具的人機介面(Human Computer Interface)越來越考量到符合直覺和人因工學的操作，並在電腦圖像的發展過程中與設計行為產生非常密切的人機互動(Human Computer Interaction)關係。此後，越來越多的研究者利用手套、聲音或是其他複合式媒體裝置的改良，試圖解決電腦在早期設計階段操作不良的問題。

1.2 研究問題

概念塑模在建築設計過程中，是一個具備活躍創造力的階段。設計者先從大腦思考 3D 形狀的想像，然後實際製作出可觸碰的型體。透過視覺的觀察以及腦中對型體的思考。在此重複的過程中決策出型體衍生的形狀。然後，型體的形狀逐漸成形。但是目前 CAD 系統搭配滑鼠和鍵盤此人機介面組合的現況，對概念塑模工作的操作顯然並不合適，這令設計者困難於使用，因此設計者利用電腦發展概念設計的行為一直不普遍。

1.2.1 運用電腦操作塑模行為的困難

在傳統設計過程中，設計者使用實體材料（諸如：泡棉、木板、寶麗龍等）建構型體。使用者可以快速和直接地使用手達成堆疊、切割、組合等塑造形體的行為。一些在實體空間中輕而易舉的肢體操作行為，透過電腦的取代下，堆疊、切割、組合等塑模行為的操作變得相當的困難。一件操作實體材料垂手就可以達成的動作，在電腦裡卻必須分解成一長串的指令步驟。對於設計者而言，必須消耗了大量的心力規劃指令步驟的操作，同時對於正在發展的塑模工作亦造成了專注力的分散，影響了型體的發展。

1.2.2 現有的改善尚不夠充足

研究發現，運用鍵盤和滑鼠搭配而成的人機介面用來操作概念塑模的工作並不恰當，它更適合於透過像是聲音或手勢等其他複合式的操作方式來協助塑模(Dani, 1997)。因此，一些研究者開發了許多不同類型的介面，以提供更友善的操作模式。如下：

- 3D 滑鼠：針對 3D 圖像三個軸向的控制需求來設計的工具，設計者可以透過滾輪控制 2D 向量的控制，搭配座標軸軸向的切換控制 3D 視角；
- 手寫板：提供筆和紙的輸入方式來作畫的介面；
- LED 手套(MIT Media Lab)：提供手指關節的動作與手指位置的移動控制 2D 方位；
- 紅外線定位裝置(向士賢，2005)：控制手掌表面與紅外線感應器之間高度和角度的變化，用來操作 3D 的虛擬物件；
- 磁性定位裝置(Ascension Technology Corporation)：提供精準的 3D 定位測量功能，該儀器直接搭配在虛擬實境環境中使用；
- “Haptic”裝置：一個機械手臂的筆式裝置，在小範圍的活動下提供精準地空間點的輸入功能；
- Cube mouse (德國國家研究中心的資訊科技部門所研發)：使用者透過推、拉和旋轉的動作操作方塊滑鼠上突出的杆子，控制虛擬物件各軸向的向量。



圖1 操作不同類型的輸入工具：a和b為3D滑鼠 (<http://www.3dconnexion.com/products/3a3.php>)；c為手寫板；d、e和f為LED手套；g為紅外線定位裝置；h為磁性定位裝置 (<http://www.ascension-tech.com/>)；i為“MicroScribe” (http://www.immersion.com/digitizer/products/microscribe_g2.php)；j為Cube mouse (<http://imk.gmd.de/docs/ww/ve>)

草圖階段的行為是一連串工作效率高但又不甚精準的控制動作。這些現存的輸入裝置只個別提供單一功能的圖形介面控制方法，尚缺乏一套整合設計操作流程於一身的人機界面系統，以滿足設計者設計工作流程中的所有操作需求。用來執行草圖階段的行為。

1.2.3 人機互動的問題：知識負擔(cognitive load)

對概念塑模的設計者而言，一個好的介面必須能適切地了解設計者的工作行為 (Quiroga, 2004)。方便設計者詮釋腦中 3D 型體的輪廓直接地想法，可是這個現有的人機介面繁瑣的操作過程尚不足以提供設計者“直接”的操作。

最重要的原因來自於設計者在從事概念塑模時，腦中的思考是具有空間概念的。但受限於現有滑鼠和鍵盤組成的人機介面僅提供 2D 輸入的功能，阻礙了設計者空間性的思考。因而誕生了額外的“知識負擔 (cognitive load)”用以轉換 3D 的空間想法為 2D 的操作控制。因此，本研究真正想提出的疑問是：

“用電腦操作概念塑模一定要花額外的腦筋思考怎麼操作嗎？”

“電腦難道不可以以符合人思考空間型體的方式提供使用者一邊進行思考一邊進行設計？”

“我只想要呈現腦中簡單和直接的想法，一定得經由那麼多的指令步驟來轉換嗎？”

“難道沒有一條**直接的途徑**達成直接塑模的想法嗎？”

1.3 研究動機

電腦在最近這十年中，將空間中的應用需求與人機介面做了概念性的嘗試。繼麻省理工學院媒體實驗室(MIT Media Lab) Ishii 於 1997 年提出的實體位元 (Tangible Bits) 理論後，“House_n” (Tapia, 2003)和“Augment Reality Kitchen” (Lee, 2005)以及卡奈基美崙大學建築系的“Home 2020” (Do, 2005)等研究計畫先後對人機介面結合在空間中的應用提出了各種方式的可能性。



圖2 由左至右分別為實體位元 (Tangible Bits) 理論 (取自Ishii and Ullmer, 1997)、House_n (取自 http://architecture.mit.edu/house_n/) 計畫、Augment Reality Kitchen (取自Lee, 2005)、電影關鍵報告和電影記憶裂痕。

一些以科技為主的電影對於未來工作的場景，描繪了一些供使用者操作虛擬圖像的模式。像是關鍵報告 (Minority Report) 片中瀏覽影像紀錄的手勢輸入介面，以及記憶裂痕 (Paycheck) 片中供 3D 物件編輯的筆式輸入工具以及 3D 成像的介面。這些介面的描述不禁讓我思考是不是有更適當的模式來提供設計行為的操作。

過去，電腦塑模的使用只能成為少數人的專利，絕大部分建築系的學生並不使用電腦做設計。使用電腦做設計的設計者中只有極少數的使用者運用在概念形體的形塑工作上，而其他電腦的使用者只將之運用在建模和模擬的使用。運用電腦在概念設計只有極少數者的原因是由於，設計者必須對該軟體的使用有高度的熟悉，以及熟練的技術能力，否則必沒有辦法達成。然而，這些少數設計者的設計結果都具備了概念塑模階段保留下來豐富曲線線條的特性。

本研究認為，概念塑模的過程具備直接的創作意念以及自由的線條。但是受限於筆式媒介 2D 系統的限制，空間曲線的想法必須被修正以及妥協。電腦媒介在這裡提供了一個自由的平台，主要受限於高技術能力的操作門檻 (Dani, 1997)，一直未能被廣泛的運用。因此，如果操作方法可以變的容易，設計者將有機會利用電腦操作眾多曲面形狀，並在過程中獲得更多造型的靈感，輔助後續設計的發展。

1.4 研究目的

由於現有人機介面 (滑鼠和鍵盤組成的硬體) 有許多功能的限制，造成概念塑模工作時必須負擔大量“操作知識”的負擔。因此，本研究將針對概念塑模的使用需求實做一個新的人機介面，提供設計者適當的操作模式。透過空間座標功能的增加以及手勢的操作方法，縮減操作繁長的步驟。

本介面系統的整合分成兩個成果：

- a. 空間手勢輸入介面：手勢控制動作與電路系統整合成穿帶在使用者身上的手套介面，並且搭配影像輸入系統讀取空間座標資訊。
- b. 虛擬工作場景：建立一個 3D 虛擬環境，利用影像辨識系統以及改裝後的鍵盤和滑鼠裝置的觸發機制，提供使用者以手勢控制概念塑模的工作。

1.5 研究步驟

本研究分成 4 大步驟進行，採取實作的方法研究人機介面與設計行為的關係。藉由手勢輸入介面的設計，提供設計者“直覺”的操作模式。研究步驟如下：

步驟 1 文獻回顧

首先由針對技術上的回顧，回顧現有人機介面針對設計行為的解決方向。

步驟 2 設計

以“seeing- moving- seeing”的概念作為本設計的核心。首先分析現有介面操作的流程，然後將傳統的控制流程整合成在手勢上的操作方法。

步驟 3 技術實作

此步驟為本研究主要的發展過程，為一系列系統開發的流程，首先由軟體的研究開始，然後深入影像的分析以及實體空間中電子電路與手套的實作，最後整合在 Alias Maya 系統中應用。

3-1 影像輸入系統

- 透過 Lua 軟體，熟悉資料庫的製作以及影像資料的運用以及辨識原理。
- 掌握 LED 光源的辨識法則，在環境光源的干擾下偵測 LED 光點穩定的 RGB 數值。
- 使用 Matrox CronosPlus 影像擷取卡的控制，在 Visual C++ 環境下運用 MIL 函式庫，同時讀入兩支 CCD 攝影機的影像資料。

3-2 手勢空間輸入介面

- LED 手套的製作，利用雙色 LED 和磁簧開關的的電路製作手套的控制功能。
- 空間定位試驗，計算兩支 CCD 攝影機光點座標的位置，並導出獲得有效的 Z 軸數值的公式。

3-3 Alias Maya 系統中的整合控制

- 熟悉 Maya 系統利用 Visual C++ 程式外掛(plug-in)的方法，以及學習 Mel 的基本語法。
- 規劃影像讀入系統與 Maya 系統溝通的方法，透過 txt 檔案格式的存取以及 Maya 系統內 expression Edit 的設定達成通訊。
- 改良 Maya 環境內定的視角瀏覽操作模式，藉由機器手臂與電路手套的製作，改良傳統滑鼠的按鈕以及光學感應器的裝置，以提供單手操作的模式。
- 塑模功能的設定，將塑模的指令程序利用 Mel 編輯於 Maya 系統。

步驟 4 使用者測試

- 將實作完成的介面供設計者測試，並紀錄操作過程與訪談。
- 分析和討論實做結果對整體研究的貢獻、限制以及後續的改善方向。

1.6 章節架構

本文架構分成6大章節 陳述研究內容：

第一章：闡明研究背景、研究問題、研究動機、研究目的以及研究步驟。

第二章：闡明電腦輔助設計(CAD)過去的發展脈絡以及概念塑模介面的相關研究。

第三章：闡明手勢輸入介面的使用設計。

第四章：闡明實作上各紀書階段的步驟：由先期測試、系統規劃、知覺系統、手勢輸入工具的製作以及最後整合在虛擬環境的過程。

第五章：闡明使用者測試的方法與結果。

第六章：闡明結論、研究貢獻、研究限制和後續研究。



2. 相關研究

本章節介紹電腦繪圖介面系統過去的發展脈絡，並針對近幾年概念塑模需求的 CAD 介面作案列介紹。

2.1 CAD 的發展脈絡

■ A man-machine graphical communication system(Sutherland, 1963)

最早的 CAD 系統是由 Sutherland 於 1963 年的研究開始，在那個年代電腦系統處於剛起步的階段，還無能提及在建築或藝術等跨領域的貢獻。提出該研究的研究者是一位波士頓(Boston)麻省理工學院(MIT)電腦科學學院的博士生—Sutherland，他提出人類可以更直接的模式與電腦溝通，透過圖像介面的應用，突破過去打字輸入和程式編寫的互動方式。使用者可以運用光筆的工具，在平板上模擬書寫的模式以描繪形狀，並透過電腦螢幕顯示出方才繪畫的線條。此系統是由強大的程式運算辨識光筆繪製的座標訊息和軌跡移動，接著轉換成視覺能接收的線條圖形。這個研究實作的程度相當完整，透過此系統的運用，設計者可以以點、圓、弧以及曲線的 2D 線條，描繪出任何形狀，包含人的臉的圖形(圖 3)。透過此介面的發展，電腦開啟了在藝術與創作領域的可能性。

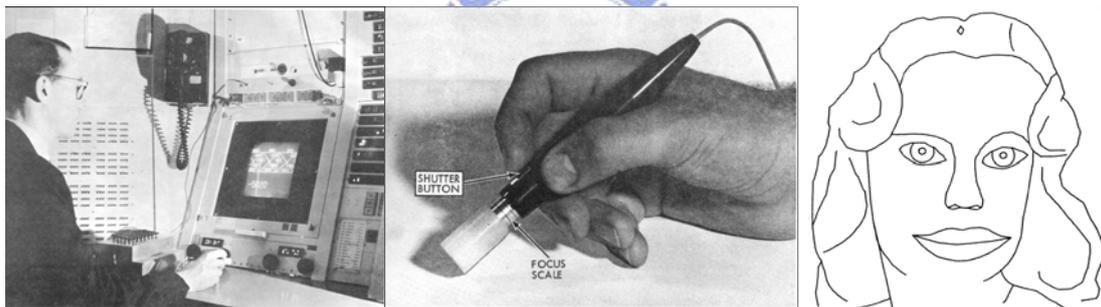


圖 3 由左至右分別為 Sutherland 的 Sketchpad 系統的操作環境、光筆、製圖的成果。

■ Designing solid objects using interactive sketch interpretation (Pugh, 1992)

繼電腦圖像 2D 能力的開啟後，隨之而來的是一股強烈地發展針對電腦圖像 3D 表現的趨勢。在眾多 3D 圖像的研究中，探討許多人類對電腦圖像需求的議題以及傳統繪圖行為與圖像運用的關聯性。David Pugh 為卡奈基美倫大學(CMU)電腦科學學院的研究生，他認為人類視覺上的思考根本於 3D 圖像的內容。因此，繪畫於 2D 畫紙上的草圖圖形，經常具有 3D 的概念，由 3D 透視表現法上可以看得出來。因此，David Pugh 分析幾何物件在等角透視圖的表現所發展一連串視覺型體的規則，然後開發出實體物件的草圖認知系統。該系統可協助設者以等角透視圖的方法畫圖在電腦裡。透過運算，電腦將直接辨識在平面草圖上透視表現法中之立體物件的形狀，最後以 3D 圖像呈現在電腦螢幕中(圖 4)。

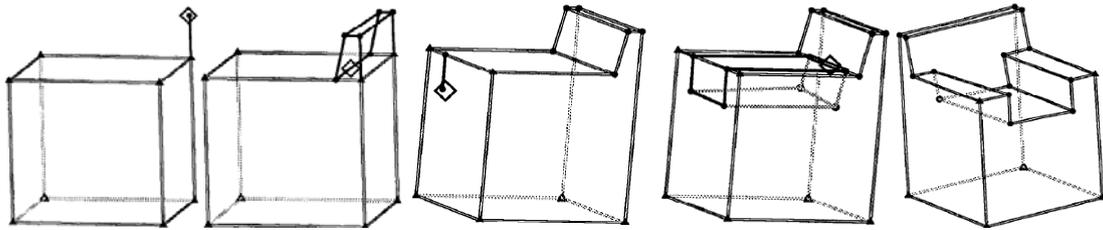


圖 4 David Pugh 的互動草圖系統，有左至右分別為互動的過程。

■ Conceptual design and analysis by sketching (Lipson, 1992)

很多研究嘗試由 2D 草圖的透視表現法中獲得正確的立體形狀的資訊，但是他們發現透過電腦辨識獲得的立體圖形結果並不如設計者實際想法。他們發現設計者所表現的 2D 草圖內容，不僅包含了 3D 型體的資訊，還包含了設計者不精確以及模糊和扭曲的其他雜訊，使得透視表現圖上傳達了多種以上形狀的可能。因此，以色列理工學院 (Israel Institute of Technology) 的 Hod Lipson 作了一個研究，分析 2D 草圖詮釋 3D 型體的過程中，所有表達出的 3D 形狀。並校正出一套可以將草圖線條還原成正確的 3D 形體的草圖工作系統。該系統透過虛擬光筆和光桌工具的提供，設計者將可在光桌上製作草圖。該系統將提供了直接轉譯 2D 草圖內容中的 3D 型體並呈現圖形的能力(圖 5)。

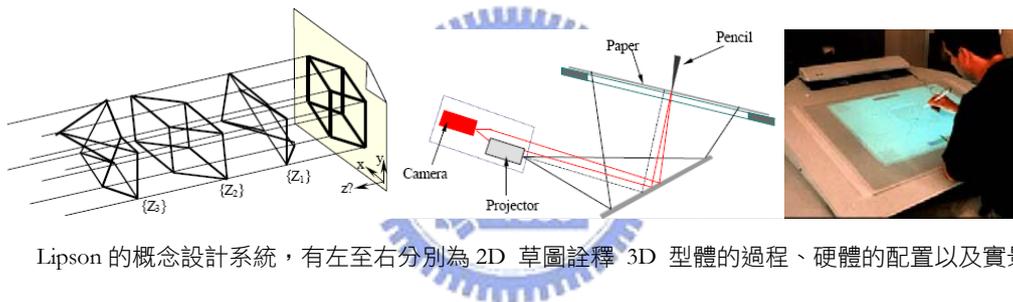


圖 5 Lipson 的概念設計系統，有左至右分別為 2D 草圖詮釋 3D 型體的過程、硬體的配置以及實景。

■ Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design (Igarashi, 1999) & Free-form sketching with variational implicit surfaces (Karpenko, 2002)

電腦 3D 圖像的持續發展逐漸被許多面向的領域引用，包括符合認知行為的繪畫過程的探討、如何展現高度複雜度的型體的性能、及時運算的彩現以及擬真的效能等。但是這些面向的探討仍能侷限在電腦圖像的等角透視與正交的幾何表現內，不允許曲面形狀的應用。於是之後的一些電腦圖像 CAD 系統的發展，逐漸突破過去幾何系統的限制，朝向有效的運用 3D 型體在曲面上的自由發展。像是東京大學的 Takeo Igarashi 提出一套利用 3D 曲面的方式來呈現草圖的操作介面。他利用手寫板提供設計者繪製曲面的線條，在加以立體感的輪廓時，該 2D 線條的型體將像充氣一般的膨脹，成為立體三角結構的曲面表皮。該系統可以容易地應用在像是玩偶一般的填充物體。該計畫的名稱也取自此塑模的特性，稱為“泰迪熊”計劃(圖 6)。同時布朗大學(Brown University)電腦學院的 Olga Karpenko 也提出類似的研究，利用平滑的曲面的表皮，提供設計者以自由的曲面畫出簡單的泡泡形體，再利用泡泡與泡泡之間的組合和編輯，創作自由形體物件，並提供即時彩現的功能(圖 7)。

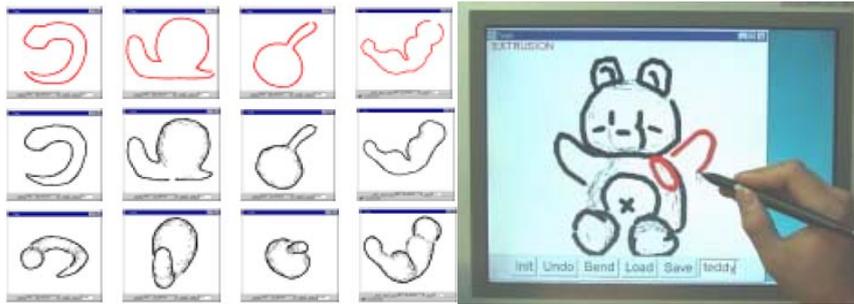


圖 6 Igarashi 製作的 Teddy 系統

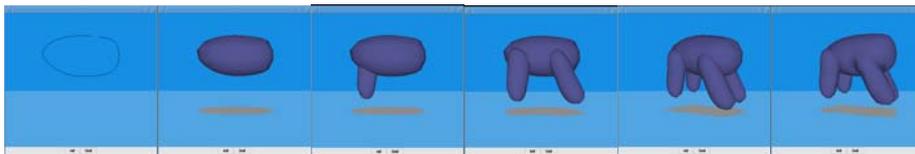


圖 7 Igarashi 製作的曲面草圖系統

這段電腦圖像的發展中，CAD 由原先 2D 線條的性能提升至 3D 的物件的表現。在社行為的輔助也由 2D 草圖的描繪進展到 3D 表現法的轉譯功能。儘管電腦提供虛擬影像，甚至 3D 圖像的呈現，但是在筆式系統輸入的限制下則都限制了操作行為在必須在 2D 的平面下。

這樣的介面對於 2D 線條的繪製是足夠的，但對 3D 形體的塑造卻顯不足。受限於 2D 介面的操作，設計者必須透過座標軸切換的轉換方能補足 3D 世界的控制能力。這樣的特性只提供使用者容易於掌握結構規律的幾何型體，對於自由度高的形體卻將受到正交座標軸的拘束。儘管“泰迪”和“泡泡型體”的案例提供利用筆式系統操作自由型體的案例，但是這樣性能的操作其實相當的勉強。只能在運算上額外增加可以被辨識出 Z 軸向量大小的控制，對於高自由度的控制仍然有限。而且，利用額外輸入 z 軸參數的做法，一點也不符合人對空間感的認知方式。

2.2 概念塑模的介面

■ Designers are two-handed (Gribnau, 1999)

一些研究發現設計者對於型體的感知是立體的，利用 2D 輸入裝置作為發展概念塑模工具的方式，大大地降低設計者開發空間型體的行為能力，對於型體的發展也錯過了被開發的潛力。荷蘭道爾夫科技大學(Delft University of Technology)的 Gribnau 提出使用人類最熟悉的操作部位一手，作為空間輸入的控制介面。提供設計者在捏塑黏土的情境下，使用雙手對型體進行捏塑。該輸入裝置提供兩支橢圓形球狀的操作工具，供使用者雙手分別拿捏住控制點，在虛擬 3D 畫面中模擬撞擊、雕刻和旋轉型體的控制。該研究直接地傳達使用者對於空間，感知上的移動方式。提供設計者在塑模過程中，可以集中

注意力在型體的塑造。該感測裝置提供六向度(6 degree of freedom)的控制功能，使用者可以直接操縱空間中的定位。



圖 8 Gribnau 的雙手互動建模裝置

■ Digital Tape Drawing (Buxton, 2000)

同樣以兩隻手一齊操作塑模的模式還有很多種類，像是 Buxton 的數位紙帶研究。他利用紙被拉長時會自然地被地心引力影響而行成拋物線的原理，運用在汽車外殼的模板設計中。

在物理空間中，製造曲面的形狀是隨手可得的，可是要在電腦環境輸入曲面卻相當的繁瑣。因此該研究利用人類在實體空間控制曲線的形狀的模式，以真實比例中的互動模式，透過紙帶本生感測自身曲線的形狀，輸入至電腦中。提供設計者在空間中透過紙帶擷取空間形狀至電腦的過程中，完成曲面的塑造。

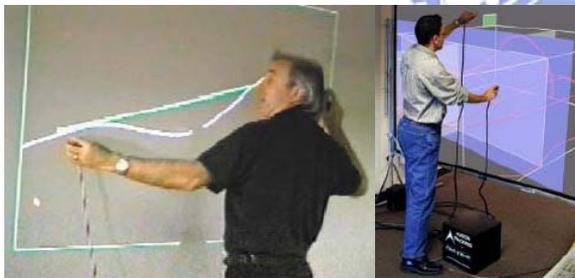


圖 9 Buxton 的數位紙帶建模系統

■ Interactive Form Generation (Schieck, 2001)

現有的輸入裝置限制了設計者可以操作的方式，大部分的 CAD 系統依然是由一隻滑鼠搭配鍵盤所組成的，使用者大概沒有機會了解其他模式的操作方式，可能將帶來什麼特別的好處？因此，英國倫敦學院大學(University College London)的 Ava Schieck 嘗試了利用複合式的輸入裝置來提供設計者在概念塑模上的應用。他的實驗方法非常簡單，利用很多方塊組成的立體表皮作為起始的狀態。透過同時使用左右手兩組滑鼠的操作，提供設計者一隻手控制單一區域的控制，另一隻手可以在其他位置同時控制拉扯的動作。藉由此實驗觀察利用雙手複合式控制型體的方法，能否激發出在視覺上更具備豐富特質的型體。這個實驗同時還與(1)一隻手使用滑鼠的操作、(2)一隻手使用滑鼠以及另一紙手使用鍵盤和、(3)一隻手使用滑鼠以及另一隻手使用 3D 滑鼠，3 種操作方式

的比較。此研究最後發現運用雙手一齊操作件模的效力比起使用單隻手操作滑鼠或者單隻手操作滑鼠而另一隻手搭配其他控制工具的操作上更具備自由控制的可能，在創造型體上也具備更多細膩控制的潛能。



圖 10 Ava Schieck 的複合式輸入模式衍生塑模的系統

■ Tracing the Line of Thought on the Responsive Workbench (Schkolne, 2001)

設計工具功能的不足將造成塑模過程遭受限制，但假若設計工具的性能可以被提升，複合式的設計工具又將面對：設計者在使用上的操作必須負擔認知上的知識負荷問題。因此，Steven Schkolne 在 2001 年提出提出表皮素描(Surface Drawing)系統，用可觸碰的工具 (the Hand and Tangible Tools) 提供給設計者操作概念形體的創造，使用者將穿帶上一隻手部的追蹤裝置，以及搭配數個有形的使用工具。當拿起任一工具時，設計工具的性能將被開啟，搭配手部的移動執行該功能。該系統亦提供了一個虛擬的工作桌面，使用者可以直接拿起桌面上的工具直接作畫和修改模型。透過實際物件和結合手部控制的特性，認知工具以及操作的行為將相當容易被理解。此一系統還有一個缺點，設計者在運用此系統作畫時必須重複的放下和拿起不同意義的工具。背負了虛擬眼鏡、手部追蹤以及笨重的使用工具，在塑模的過程中將阻礙了設計者的自在程度。



圖 11 Steven Schkolne 的 Surface Drawing 系統

■ New Approaches to 3D Gestural Modeling - the 3D SketchMaker Project (Pratini, 2001)

以手部動作為主的操作模式逐漸在眾多複合式輸入裝置的發展中成為了主流之一，像是利用 LED 光學手套、關節動態的手勢控制，具備了控制的優點。手是一個最靈活的身體部位，透過手的控制可以直接地傳達出細膩的控制能力，在現實生活中手經

常不自覺的利用在一比手畫腳地形容事情上。像是運用手來描述外型的外型，以及組合和修改的手勢。位於巴西 University of Brasilia 建築學院的 Edison Pratini 博士 2001 年提出 3D 草圖製造者計畫(The 3D SketchMaker Project)，該計畫利用一套 3D 擷取的系統，提供建築設計者在早期的概念塑模階段使用。設計者可以利用手的比畫來描述 3D 的線條，再透過 3D 線條的執行，長出表皮。此研究企圖打破傳統建築設計過程中必須透過 2D 草圖的發展才能發展 3D 型體的秩序。該研究利用虛擬與實體互動的技術刺激在設計早期階段運用 3D 工具呈現設計概念的設計潛力。該研究亦提出另一個功能：提供設計者運用手抓東西的手勢控制虛擬的物件，提供設計者進行布林(Boolean)運算的指令。但是這個計畫仍然有一些缺點，既定的表皮的長出方式對形體的創意畢竟是有限的方法之一，但是以 3D 塑模作為設計一開始的階段的出發點是相當成功的。

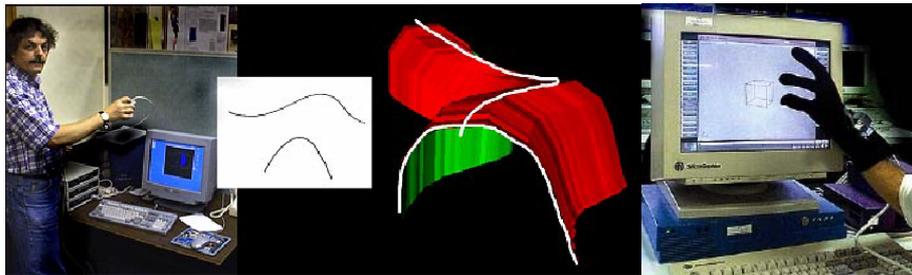


圖 12 Edison Pratini 的 3D SketchMaker 系統

■ Gesture Modelling: Using Video to Capture Freehand Modeling Commands (Gross, 2001)

大部分電腦輔助設計系統使用圖形使用者界面(GUI)操控螢幕視角的呈現以及修改模型。但是以單手使用 2D 滑鼠塑造三度空間中的模型是有限制的。在傳統捏塑模型的方式中，利用雙手，設計者可以自由地捏塑模型；但是利用 CAD 製作模型的方式，並不如傳統自由。美國卡奈基美崙大學(Carnegie Mellon University)的 Mark Gross 教授與喬治亞理工學院的杜宜倫博士作了一項有趣的實驗。他利用影像輸入系統與手勢的設定，簡單的實驗 3D 的手勢輸入介面系統。該系統提供使用者利用手勢的動作，以戳的方式改變一個網狀物件的形狀，還利用手指抓取物件的方式移動和排列物體。此系統是利用虛擬投射及攝影輸入的工具達到與三維模型互動的效果。該系統只使用單支攝影機比對手勢影像的畫質大小就取得了有效的深度資訊，相當的特別。

使用手指動作與空間互動，友善地幫助 CAD 在概念發展階段型塑 3D 模型。利用空間性的感知模式，幫助設計者更直接地操作 3D 模型；這樣自然的方式，對於沒有操作經驗的初學者將有助於學習。在實質空間中透過實質物件的手勢輸入，設計者能以直接的手勢技能與電腦螢幕呈現的物件作互動。比起傳統滑鼠和鍵盤操作輸入的 CAD 系統，更顯得出優越的操作特性。

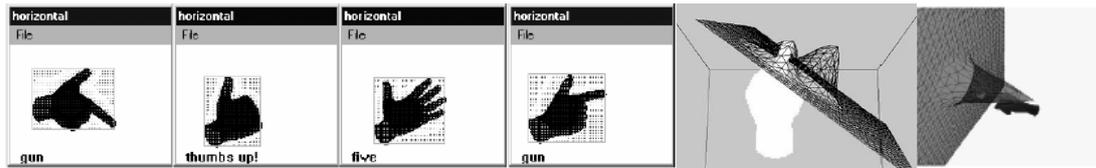


圖 13 Mark Gross 和杜宜倫研發的手勢輸入系統

■ Illuminating Light Clay (Underkoffler, 1999)

美國麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology)媒體實驗室(Media Lab)的光黏土計畫，提供設計者接利用黏土的雕塑來操作地表坡度。經由及時的雷射掃描，3D 模型的影像將投影至黏土表面。設計者經由操作黏土過程中，及時感知地形上各項數據的變化。透過電腦的數據分析，及時獲得具體模型與設計規劃的參考依據。此實驗為及時的模型發展工具，實體模型與虛擬 3D 模型以直接操作之方式進行創作。光黏土 (Illuminating Light Clay) 提供以黏土的操作方法直接的 3D 輸入，呈現地景模擬以輔助設計工作。黏土具備可以直接捏塑的特性，但是精確度卻必須要考量的。

以雷射掃描器掃描黏土表面以生成 3D 地表模型的輸入方式，及時反應垂直於桌面之高度控制，其掃描後生成之 3D 模型應用於地景設計中。光黏土在設計環境中，可作為一種實體與虛擬模型中共同建造方式，提供設計者以手直接塑造概念形體，同時可經由數位影像的生成獲得同步 3D 模擬之空間資訊。

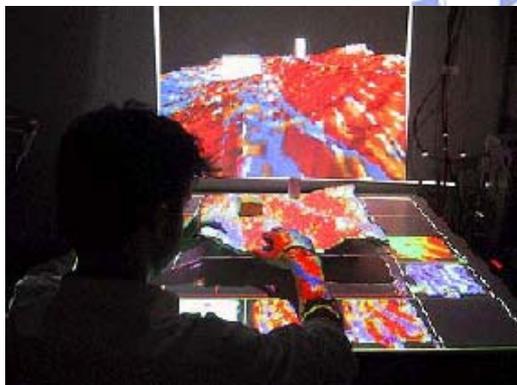


圖 14 MIT 研發的光黏土系統

■ An Approach to 3D Digital Design Free Hand Form Generation (Diniz, 2003)

空間輸入介面種類繁多，但經常必須穿帶一堆工具在身上才能運用，因此顯得相當的不方便，而且在操作過程中必須遭到操作流程中斷的設計思考，因此英國倫敦學院大學(University College London) Bartlett School of Graduate 虛擬環境研究室的成員 Nancy Diniz 提出一個完全不需要穿帶任何有線或有形機具的操作系統。使用者利用兩隻手拿著兩支 LED 燈泡在空間中移動，透過兩支 LED 燈泡的點代表線段剖面的塑模方式生成表皮形體。設計者可以自由地在第一時間將腦中的想法描繪出來。Nancy 認為概念塑模是

設計者將腦中想法詮釋在現實中最直接的過程，設計者腦中的3D概念必須可以直接的表現出來才能傳達出設計最真實的想法。因此，此裝置提供了以下4點優點：(1)不被打擾和有形的工具，(2) 提供無負荷的徒手畫圖方法，(3)以互動的方式作畫在3D環境，(4)最後還能將塑模的結果讀入任何3D軟體進行晚期發展的編輯。



圖 15 Nancy 研發的手勢塑模系統

■ Virtual DesignWorks: designing 3D CAD models via haptic interaction (Liu, 2003)

“Haptic”是一個已開發的 3D 輸入介面，但是大部分應用在將現成實體空間中的物件轉換成虛擬 3D 物件的功能上。位於 Belfast 皇后大學(Queen’s University)的研究者 Xiaodong Liu 嘗試了利用“Haptic”裝置來發展概念塑模的應用。他利用“Haptic”靈活的空間定位性能來對表皮進行推拉和拖曳的功能。但是此裝置的開發其實是相當有限制的，由於“Haptic”的活動範圍並不大，因此移動的軌跡是有該機械裝置的死角。所以並不適當於勝任直接的控制工具，但是該裝置卻可提供相當精準的定位優勢。

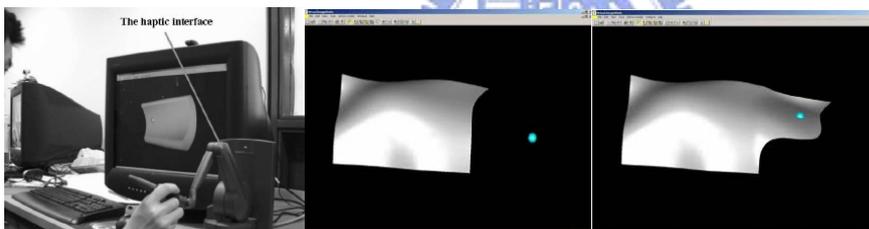


圖 16 Xiaodong Liu 利用“Haptic”開發的虛擬工作系統

■ Two-step 3-dimensional sketching tool for new product development (Akgunduz & Yu, 2004)

加拿大 Concordia University 機械暨工業工程學院的研究者 Ali Akgunduz 利用虛擬實境眼鏡與數據手套組合的虛擬工具，開發一套概念塑模的工具。目的在提供工業設計者可以容易的製作表皮的曲面。他利用數據手套上紀錄手指關節點的控制作為滿足曲面操作的依據，直接在空間中“塗抹”出虛擬的表皮。該系統亦提供了利用手關節點的活動來衍生出球體，作為設計創作的依據。該研究整合在虛擬成像的環境將有助於設計者觀察和檢視 3D 草模的成像結果，以提供有益於設計者思考精確的資源。

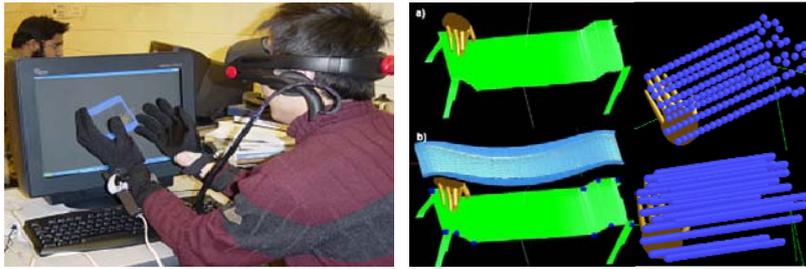


圖 17 Akgunduz 利用數據手套開發的草圖工具

■ iSphere: A Proximity-based 3D Input Interface (Lee, 2005)

美國麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology)媒體實驗室(Media Lab)涵構覺察運算組(Context Aware Computing Group)的博士生李佳勳認為設計本身是一個創造型體的過程，電腦的角色應該提供設計者直接的操作一些想法的控制。因此他設計一個十二面體的介面，可以簡單的提供設計者直接對該“iSphere”介面加以“壓”和“拉起”的動作。該研究提供設計者很直覺的就知道該如何使用這個介面，而不需要額外的思考如何使用。在最後測試結果，比起傳統介面指令和選單的操作模式，該介面有效的提供使用者思考的順暢，而且可以快速的塑造出簡單的自由形體。但是該介面唯一的缺點，還無法塑造複雜度高的形體。除此外是相當直接的塑模工具。

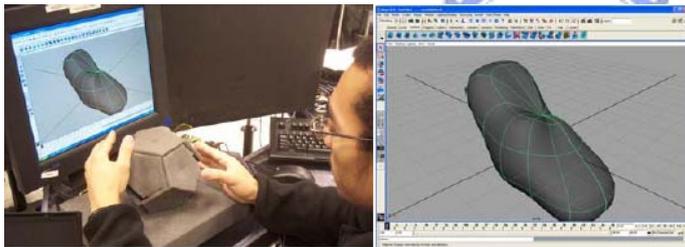


圖 18 李佳勳製作的“iSphere”－概念塑模的 3D 輸入介面

上描述的案例為近幾年設計者對於發展概念型體利用互動的方式整合在電腦介面的方法。上述的例子大多數提出由手勢動作搭配不同形式的感測，作為衍生型體的依據。對塑模工作而言，塑模行為與手具備親密的作用關係，設計者依賴手高過其他身體部位的控制以進行塑模行為。由於塑模過程是一段精確度高以及細膩控制的創作過程，手輕巧的控制能力適得以掌握住這項任務。因此在絕大部份的研究中分別應用了捏黏土、擠壓、戳東西或是拉線等概念提供塑模平台。但是相對低，沒有任何一項塑形的模式可以萬全的涵蓋。卡耐基美侖大學的手勢塑模系統(Gross, 2001)以及英國倫敦學院的徒手形體衍生系統(Diniz, 2003)利用影像辨識的技術作為手勢活動的偵測，相較於其他的感應裝置獲得更靈活的活動性能的特性。

3. 設計

3.1 傳統流程

3.1.1 設計思考

設計是一連串“看動看”(seeing- moving- seeing)的行為(Schön and Wiggins, 1992)。設計者首先透過視覺的參考，思考型體與認知中的關係。考量實際物件與腦中預期物件的比對中，決策出修正的方向，最後對型體執行修正的行為。這個過程將一再地執行，直到設計者對設計成果滿意為止。

本研究採取字面上引用“看動看”的概念，並非試圖由認知的角度討論，只是利用類比的觀點解釋人機互動的操作上控制行為的分類：

- 看的行為：由整體到細節的觀察、把一件形狀看起來像“什麼”以及把一件形狀看成“什麼”的行為。在一個設計發展的過程中，設計者花費大部分的時間在觀察形體，思考形狀的發展以及考量修正後的形狀是否符合預期的想像。
- 動的行為：這類行為像是凹進去一點、凸出來一點、平滑一點、往右邊再多加一點點等修改型體的行為。發展型體的行為是以嘗試性的試探方法，抱持調整的心態來發展。這類的操作行為主要對一個空間性的位置做一些微的調整，以增加一些量體的形狀來塑造形體。



圖 19 設計思考與人機介面的對應關係

3.1.2 人機互動的操作

使用電腦從事概念設計不外乎將“動看動”的設計行為，轉換成 CAD 環境中“動看動”的指令操作而已。這樣的轉換對於設計本質沒有太大的影響。但是，在設計者實際操作人機介面的互動中，電腦的硬體介面與軟體介面的溝通方式卻導致指令的執行必須分解成多個程序的操作，造成複雜的操作流程。

現有的系統存在一個既定的操作流程，設計者首先透過手來控制人機介面(鍵盤和滑鼠)，來控制視窗中圖形介面的選單操作行為。再藉由選單與游標的控制執行塑模的行為。因此，利用電腦進行塑模行為之前，設計者必須分別通過人機介面與圖形介面兩種介面的控制步驟：

- 人機界面的控制：

傳統人機介面 (稱之為輸入裝置)，由 2D 向量控制的滑鼠和鍵盤所組成。滑鼠的角色負責控制游標的座標，以選擇在選單和工具列中的指令。以及當塑模或視角指令執行時，搭配滑鼠上的按鍵，方可進行向量數值的控制。鍵盤提供按鈕的控制，可以執行數值的輸入，以及像是“Control”或“Alt”鍵在某些指令下可搭配滑鼠的控制一齊操作。現有的人機介面最多提供 2D 向量的控制尚缺乏 3D 控制的支援。提供的操作方式如下：

人機介面	滑鼠左鍵	滑鼠中鍵	滑鼠右鍵	滑鼠 2D 位置	鍵盤按鍵
手的控制方法	利用手指點一下	利用手指點一下	利用手指點一下	用手掌握住滑鼠用手腕和手軸推動	利用手指點一下

表 1 傳統 CAD 人機介面中手的控制方法

- 圖形介面的控制：

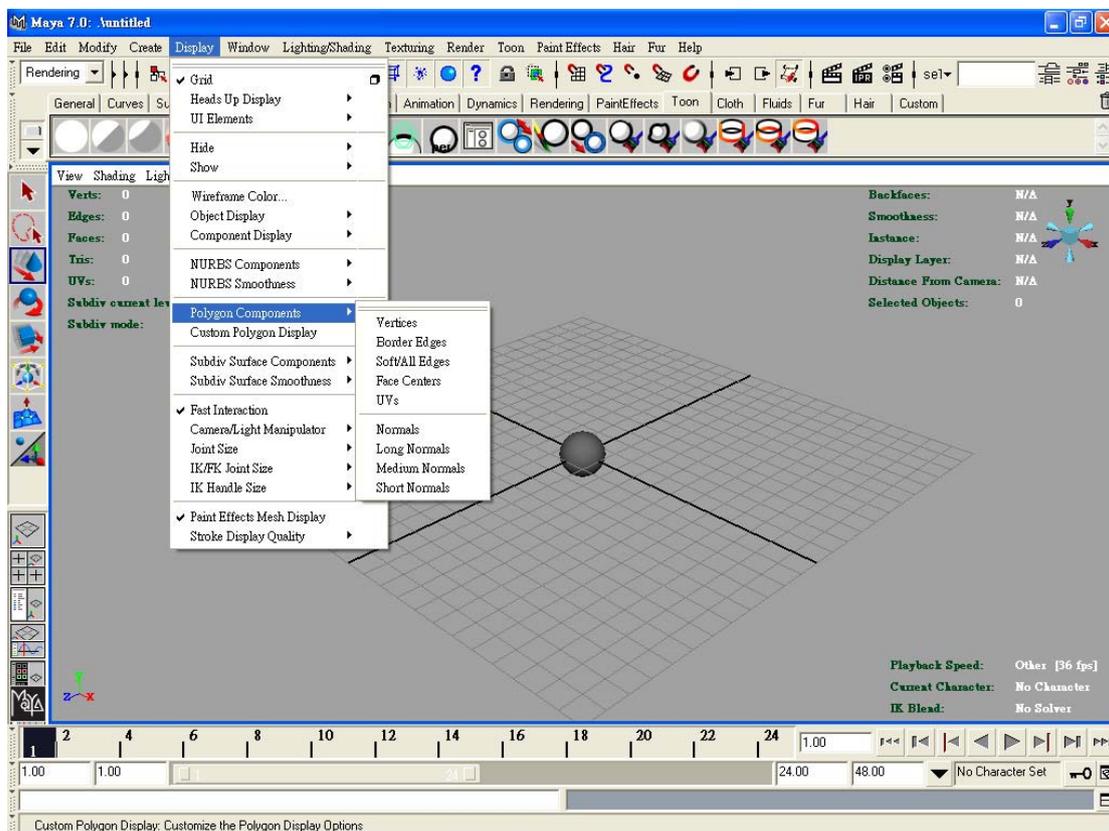


圖 19 Maya 3D 環境中的圖形介面以及選單和工具列

CAD 現有的圖形介面由一般的功能表選單和圖示工具列所組成，還包含了虛擬 3D 模擬的視窗。表單和工具列的操作都必須透過滑鼠的游標來點選以執行。因此，圖形介面的控制不外乎移動游標到圖示上做出點選的動作。提供的操作方式如下：

圖形介面	工具列	選單
控制方法	將滑鼠游標移至工具列的位置→點選工具列中所找的圖示	將滑鼠游標移至選單→點選主選單→在浮出的副選單中點選所找的圖示

表 2 CAD 圖形介面中選單和工具列的控制方法

3.2 介面的問題

3.2.1 情境

藉由以上指令程序所達成的操作系統並不足以滿足設計者的設計需求。程序性的流程並不等於人腦思考的方式。而且，設計過程中的行為，實際上並沒有一個指令可以完全的包含。其中最嚴重的問題是：概念塑模是設計者對於形體空間感知的詮釋，但是現有介面並未提供任何一種空間的輸入方式提供設計者使用。該限制迫使空間操作的行為必須被分解成瑣碎的執行過程，以單一座標軸分別拖曳的控制方式、平面座標的控制搭配座標系統切換的控制方式或是以數值輸入座標軸數值的方式等，以達成(x, y, z)三向度的控制行為。

如圖 20，描述一個情境。一名設計者利用 CAD 執行概念塑模的過程中。他預期對型體的形狀做一些塑型的動作，但是鑑於傳統的圖形介面和人機介面並沒有空間輸入的功能。因此，他必須思考如何將一個空間位置的控制分解成相同意思的指令程序來達成—Cognitive load(見圖 20)。於是他將(x, y, z)的空間位置分解成(x, y, z)三個指令的控制分別輸入以達成。但是對設計者而言，空間感的表達是我們描述型體時最直接的形容方式，並不需要被刻意分開思考。但是，受限在傳統 CAD 介面的設定，設計者必須增加額外的“Cognitive load”作為整合“指令操作”與“設計思考”中產生落差部分的銜接，這個部分對設計者發展概念塑模行為造成流程上的阻礙。

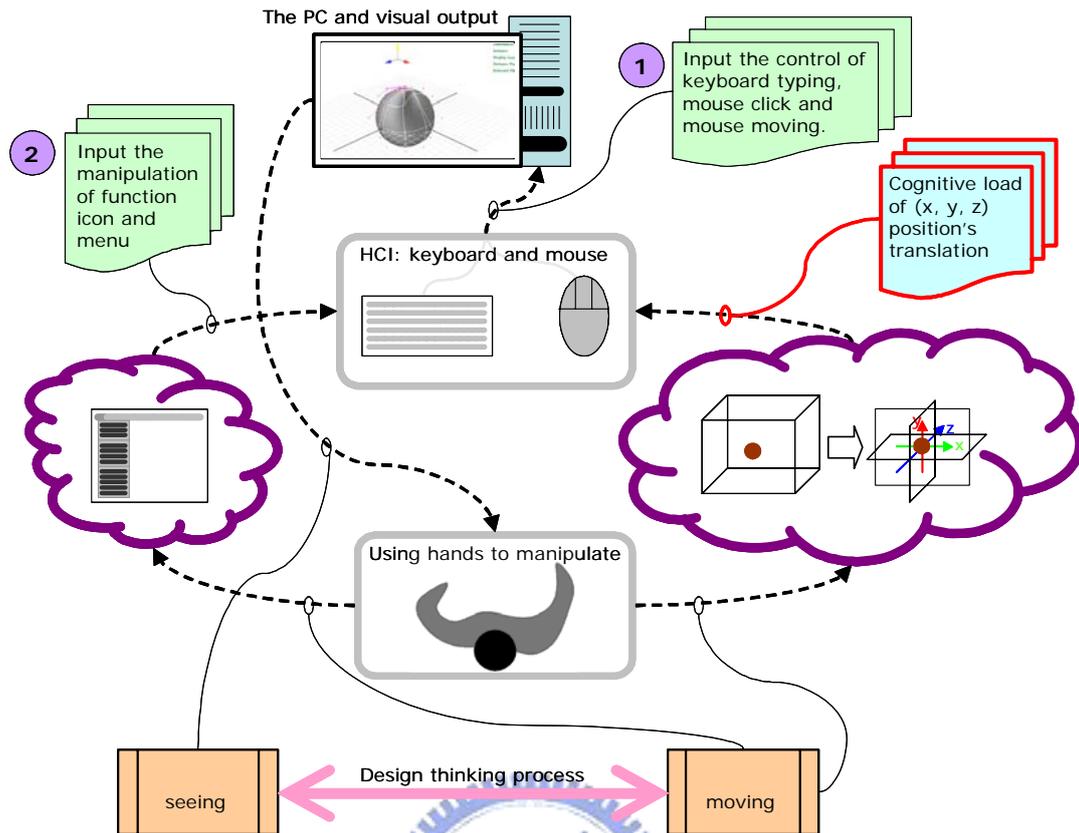
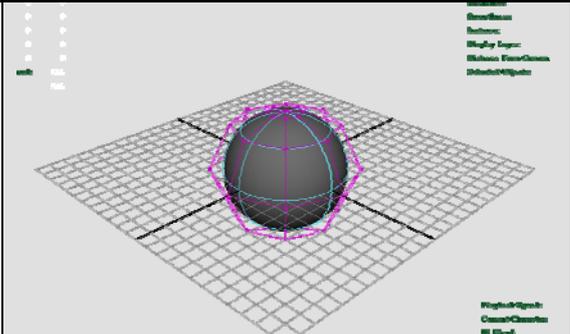
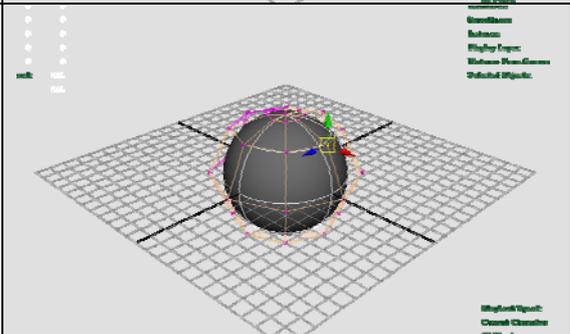
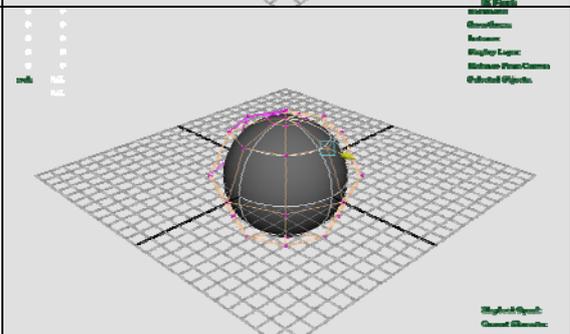
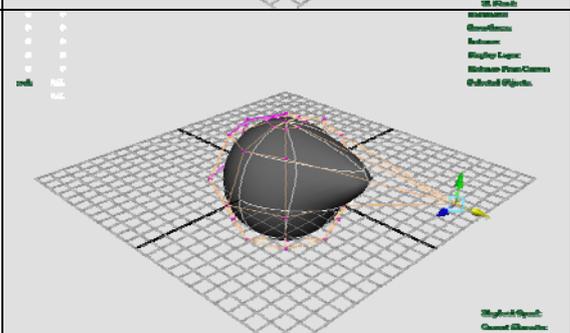
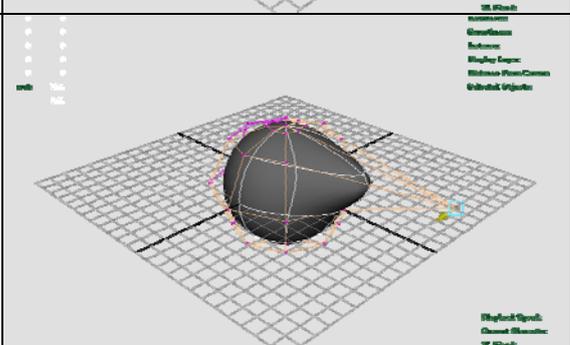


圖 20 傳統 CAD 的操作模式中設計者的設計思考與實際操作的流程關係。標 1 為使用鍵盤和滑鼠的點選、打字和移動的控制行為；標 2 為控制選單和工具列以及游標位置的控制行為；右上方紅框所視為設計者的 Cognitive load，轉換空間位置(x, y, z)各向度的操作行為。

一個設計的過程中並不宜有太多無關設計本質的媒材負擔，以轉移了設計行為的注意力(Senagala, 2003)。利用 CAD 從事設計無可厚非存在設計以外的程序：(1)用手控制鍵盤和用滑鼠點選、瀏覽和按鍵的操作。以及(2)操作圖形介面中選單和圖示工具列的操作。因此，當設計者 CAD 發展概念塑模時，會發展出以下“動”和“看”兩種類型的程序：

- “動” 的程序

在設計過程中，任何塑造以及衍生型體的動作都必須要執行空間向度的移動。設計者首先對視覺可參考的型體思考可能塑造的輪廓。再利用堆疊或捏塑的概念發展型體。因此，設計者首先會在腦中大概思考幾個方案，然後採取一個塑模的指令作為開始。在實際操作中，設計者首先將產生一個量體，然後採取堆疊或是捏塑的空間操作指令逐漸地修改型體，進行設計。下列流程為在捏塑型體的行為中採用“移動”的指令操作所產生的程序：

1		<p>移動滑鼠游標至  圖示的位置，然後點選滑鼠左鍵至該圖示上。</p>
2		<p>移動滑鼠游標去選擇欲控制球體表面的控制點，然後點選左鍵至該位置上。代表 x、y 和 z 軸向的控制圖示隨即浮現。</p>
3		<p>移動滑鼠游標至代表 x、y 和 z 軸向的控制圖示的 x 軸向上方，然後滑鼠左鍵按住 x 軸圖示不動、持續向右移動，球體的表面將隨著滑鼠的移動而變形。</p>
4		<p>移動 x 軸向量至符合理想的位置時，即可放開滑鼠左鍵。這時球體表面的形狀將停止隨著滑鼠移動而改變。</p>
5		<p>移動滑鼠游標至代表 x、y 和 z 軸向的控制圖示的 y 軸向上方，然後滑鼠左鍵按住 y 軸圖示不動、持續向左移動，球體的表面將隨著滑鼠的移動而變形。</p>

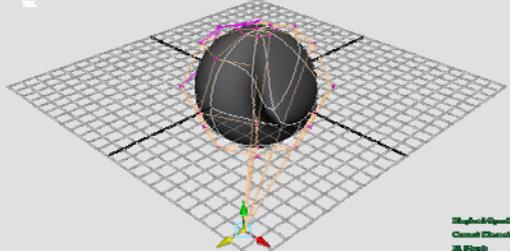
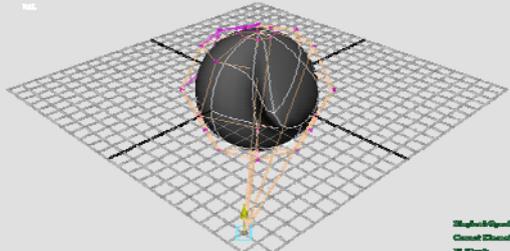
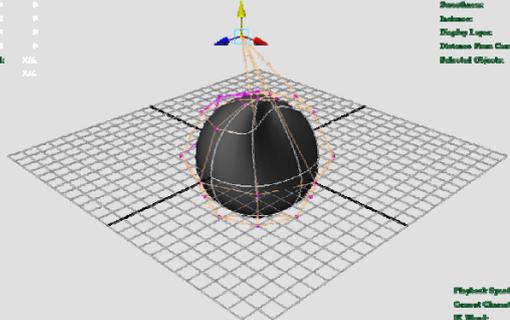
6		<p>移動 y 軸向量至符合理想的位置時，即可放開滑鼠左鍵。這時球體表面的形狀將停止隨著滑鼠移動而改變。</p>
7		<p>移動滑鼠游標至代表 x、y 和 z 軸向的控制圖示的 z 軸向上方，然後滑鼠左鍵按住 z 軸圖示不動、持續向左移動，球體的表面將隨著滑鼠的移動而變形。</p>
8		<p>移動 z 軸向量至符合理想的位置時，即可放開滑鼠左鍵。這時球體表面的形狀將停止隨著滑鼠移動而改變。即完成 x、y 和 z 三個向度加起來的空間位置移動。</p>

表 3 在傳統 CAD 系統中控制一個球體達成空間位置移“動”行為的操作流程

在此操作過程中(表 3)，移動滑鼠游標至代表(x, y, z)軸向的控制圖示，以及操作向量的行為分別操作了三次。對於設計者而言，在實際空間中一次能操作完成的行為，在 CAD 裡卻必須重複二遍。個別分散的操作方式不僅讓操作的時間被拉長，而且分散了設計者第一時間對於空間位置掌握的方向感。

- “看”的程序

看的指令在 CAD 環境裡可以分成旋轉、平移和縮放三種指令的控制。設計者在執行此指令的過程，必須先停止其他塑模的行為。全心地使用雙手：左手使用鍵盤，右手使用滑鼠，一齊控制視角的調整。以下分別描述(1)旋轉、(2)平移和(3)縮放三種視角調整的操作程序：

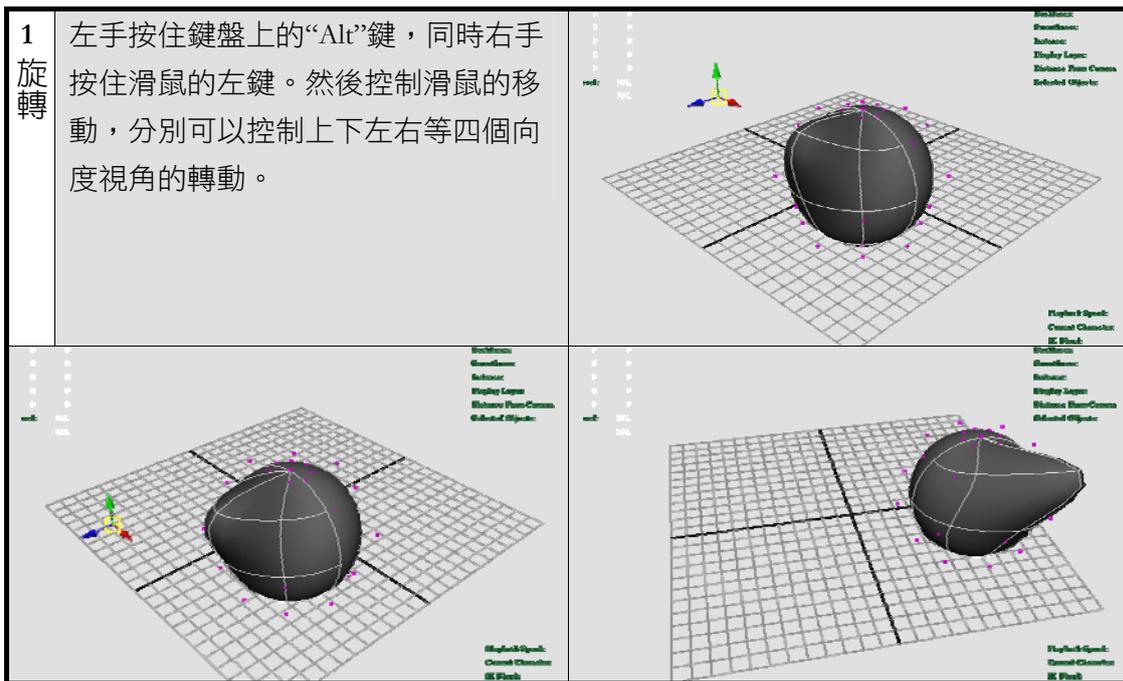


表 4 在傳統 CAD 系統中控制一個球體達成視角控制—“看”旋轉行為的操作流程

旋轉的功能在設計的過程相當的重視，由於概念塑模的對象是一立體的物件，單一面向的呈現並不足以描述物件整體的形狀。因此，透過不同面向的視覺參考，設計者在設計過程中可以具體地了解物件形狀(表 4)。

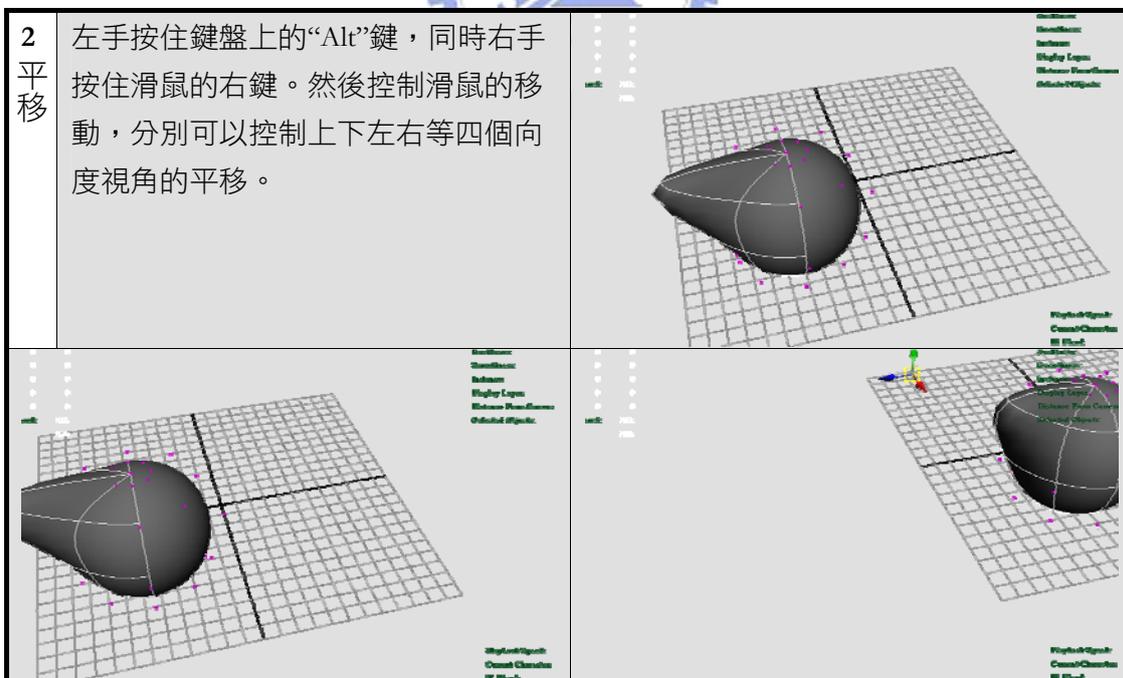


表 5 在傳統 CAD 系統中控制一個球體達成視角控制—“看”平移行為的操作流程

平移功能的操作在設計的過程中使用在調整視窗的功用上，設計者利用平移的功能，可將預期看見的物件或部位調整至該視窗的中間。通常，當一個轉動或縮放的指令執行之後，該指令將直接的被運用，調整視窗至設計者關切的位置(表 5)。

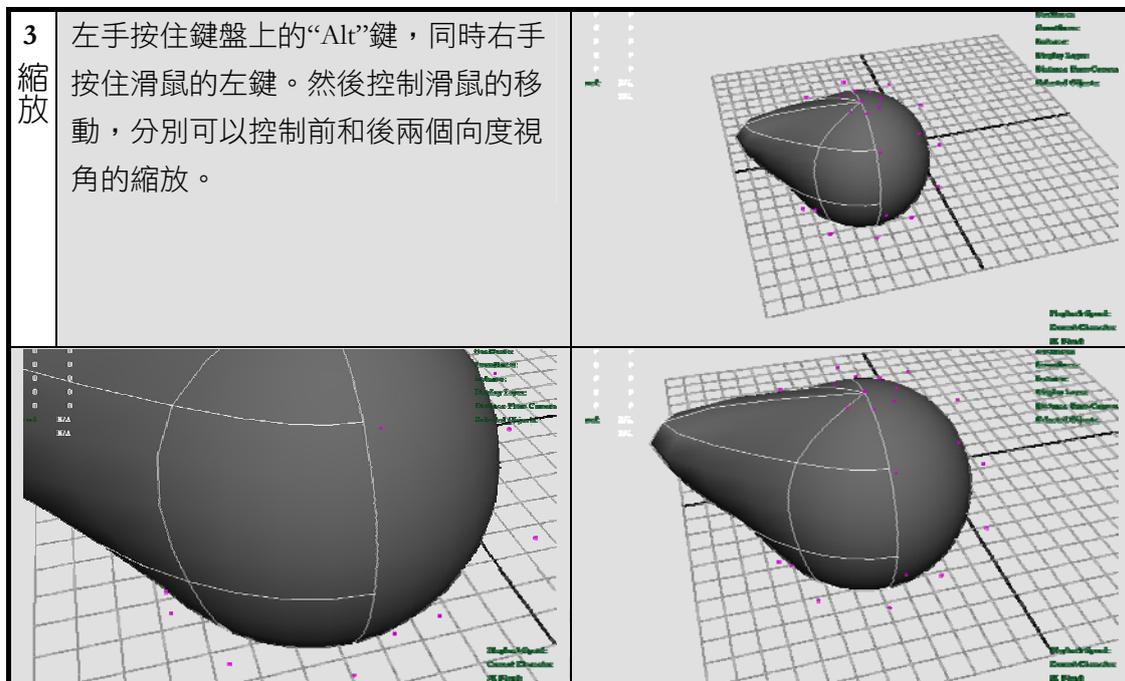


表 6 在傳統 CAD 系統中控制一個球體達成視角控制—“看”縮放行為的操作流程

該指令在設計過程中被直接地運用在觀察細部與整體關係的思考。設計者在修改型體後都將思考該細部修正後與型體整體的形狀是否適當，然後對該型體做放大和縮小的操作(表 6)。

3.2.2 指令的負擔妨礙設計思考的進行(Foley, 1987)

設計操作的過程包含了設計思考、“Cognitive load”一轉換設計行為至指令操作、操作人機介面以及看到衍生出的形體的過程。這個過程可以比喻成一件設計思考至達成塑模目的的競賽。當操作介面的行為：知識負擔以及操作人機介面的過程愈容易達成時，則代表了該介面提供愈直接的操作方法。反之，介面的操作行為愈繁雜，代表該介面阻礙設計思考前進的速度。因此，將傳統人機介面繁長的操作程序整合，以設計出一個新的操作流程，將有助於促進設計的進行，提升操作的直接性。

然而，現有CAD介面與塑型互動的行為並不理想。一般設計者並不擅長利用鍵盤和指令的操作發展形體(Foley, 1987)。對設計者而言，設計操作是一件相當單純的控制過程，在實體空間中只要提供一塊黏土，設計者就有辦法在捏塑的過程中發展形體。對電腦而言，在圖形介面中其實早已存在了所有編輯形體以及塑造型體所需的功能。但是這些可用的指令在未被整理前都零星的分布在介面中。設計者使用時必須花費“知識負擔”以整合這些瑣碎的操作功能，成為一條秩序的操作步驟。這個整理零星指令功能成為可用的操作步驟的行為在本研究中定義為知識負擔(Cognitive load)，它迫切需要被程度上

的簡化，否則在設計過程中將不間斷地干擾設計者的設計行為。

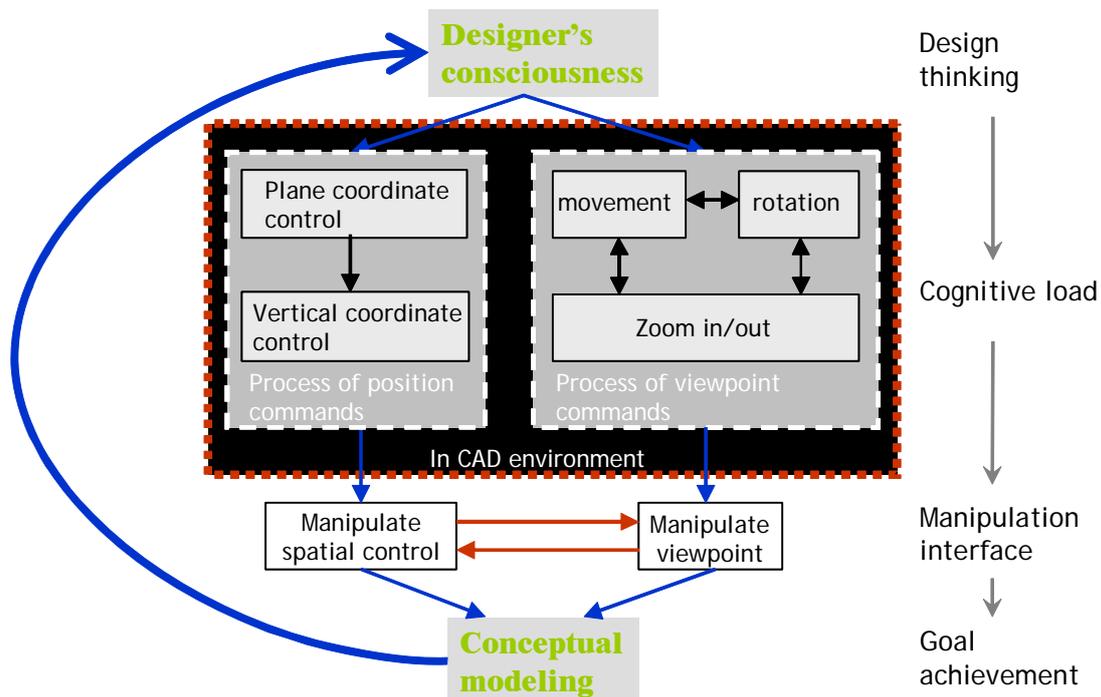


圖 21 傳統 CAD 的操作模式中的流程，知識負擔介在設計者思考與執行操作行為中間，不間斷的干擾設計者必須花費大量的腦力在運作知識負擔的步驟。

3.3 手勢輸入介面

手是人類最靈活的肢體部位，也是人類最直接地輔助表達工具。在人與人的溝通之中，人常不由自主地比出手勢，以協助表達方向、形狀或是動態的表現。在傳統電腦人機介面中是利用手的概念，控制滑鼠和鍵盤的按鈕和位置移動的操作。但是這類的操作方式並不直接，它是間接地利用手去控制另一個物件的表面，並藉助其他裝置的移動以偵測出有效的控制訊息。這個方式並沒有利用到手本身擅長於特質、形狀或是動態的表達，喪失了手先天靈巧的長處。因此，本研究設計一介面整合手勢的動作，並運用手本質的控制方法規劃一套與 CAD 塑模行為溝通的頻道。利用手天性中直接與直覺意念的控制，直接控制設計。

手的特性

手的移動是相當直覺地，一般人不需要刻意的規範手就能亦在的控制。必須前進多少後退多少以及上下左右又分別必須移動多少。自然地擺動手部，靈巧地運用手指的控制以描繪出一個空間曲線，是相當直覺部過的事情。傳統塑模行為，設計者在用手捏塑黏土的過程中是不自覺地控制中達成的。一個空間型體的成行透過手的運用輕輕地推擠逐漸成型。設計者並不需特別考慮手指在空間中如何位移的思考，對移動的本質來說，手天生就被賦予可以靈活控制的本能。

手指的結構是由 5 跟指頭以及多個靈活的關節所組成的，在日常生活中，5 跟指頭就經常組成不同形狀的手勢，在人際溝通中表達不同的意義。像是全世界共通的猜拳遊戲就將手勢組成的剪刀、石頭和布 3 種具體的物件，以容易記憶的手勢做出代表不同意義的形狀。透過手勢的表現，提供非常容易記憶的符號。手勢同時還具備相當普及和容易學習的特性。通常比一個手勢並不困難，觀察一個手勢的符號也相當地容易，並且容易迅速的記憶並且模仿，上手使用。而且一隻手可以比的手勢其碼超過 10 種以上的變化。



利用關節的活動來做出手勢是手非常擅長的特性。因此本介面的設計取決於手勢的特性，針對設計行為中“動”和“看”的操作方法，分別設計出左右手的操作模式：

3.3.1 “動”的控制

傳統“動”的控制模式是由手握住滑鼠以執行移動和從事點選的控制行為。缺點是滑鼠介面的控制能力限制在 2D 向量的使用。因此，設計者在從事空間位置的活動時，一次只能移動一個座標向量的大小。完整操作一個空間活動的流程，在透過滑鼠控制以擊移動指標的位置，最後點選座標軸圖示拖拉向量大小這樣的操作執行了三次，才分別控制了將 x、y 和 z 的向量，達成空間位移的行為。

如果 x、y 和 z 三次向量的控制操作可以被整合在一起，一齊操作。操作空間行為的流程將變得相當的省力。設計者可以在設計的過程中直接控制空間座標的移動，而免去圖形介面游標的選擇程序以及大量指令負擔的問題。提供直接地空間位移行為。

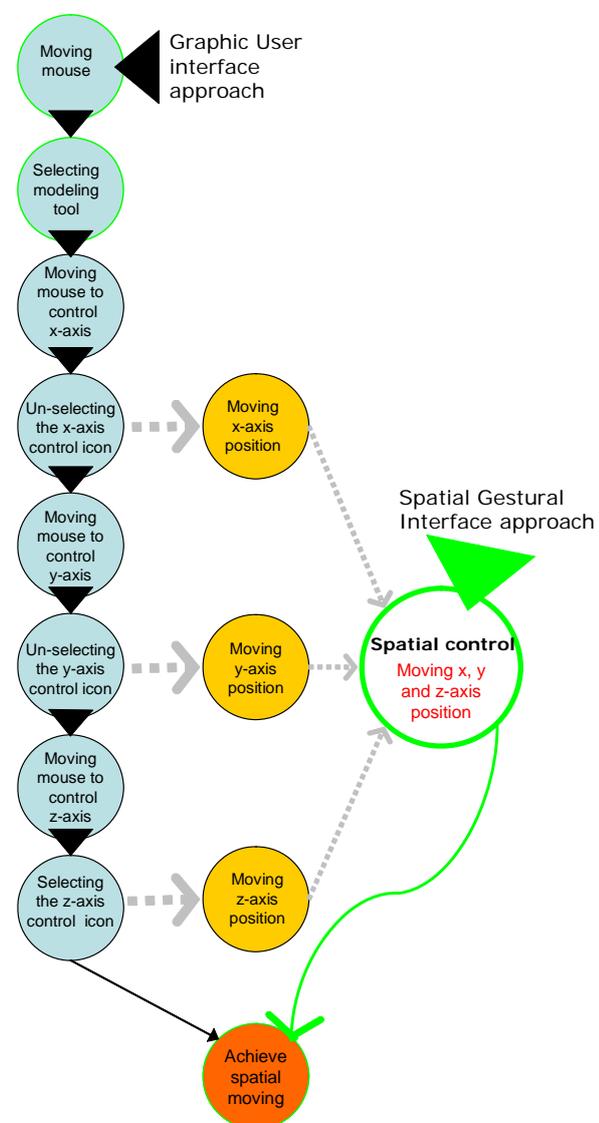


圖 22 將傳統 CAD 的操作流程中 x、y 和 z 三次向量的控制功能整合成一件空間控制行為，將可以省略圖形介面的操作步驟，使之直接達成目的。

因此，本操作模式的設計利用食指在空間中移動的控制模式，整合 x、y 和 z 的向量控制。以及提供(1)大拇指碰到食指的手勢和(2)四隻手指頭皆與拇指分離的兩種手勢，

分別代表點選和瀏覽的兩種控制。在此模式下，設計者將可直接和快速地的操作空間行為，並且完全地避免在圖形介面的圖示控制的操作流程。

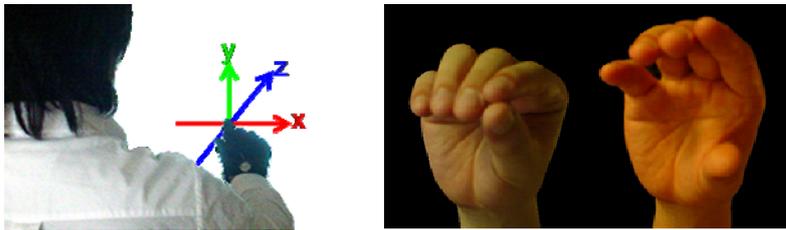


圖 23 設計者利用右手控制空間中位置以及選取的形為。左圖為設計者利用手指位置的移動控制空間位置；右圖為將食指與拇指靠近時表示選取的形為。

3.3.2 “看”的控制

看的控制指令是由旋轉、平移和縮放三種指令的交替控制而搭配成的。一個完整的視角調整流程一定包含在此三種指令的操作內。在 Maya 環境裡，傳統介面操作的方式是利用左手按住“Alt”鍵，同時右手按住滑鼠上的按鈕來達成指令的執行，方始移動滑鼠以控制視角的位置。按住滑鼠按鈕的動作，左中右鍵分別代表旋轉，縮放和平移的控制。即使 Maya 在視角瀏覽的操作上提供捷徑的操作技巧，但是該操作模式存在的缺點是：操作視角控制的流程必須中止任何塑模的行為。同時，兩隻手必須一齊運用的狀況下才能操作的特性（特定在 Maya 介面的捷徑）厄止了一邊進行塑模行為，同時一邊瀏覽視角的可能性。該限制使得設計者操作空間控制的行為，無法隨意地利用視角瀏覽的指令。必須先終止指令的操作，才可以調整視角。

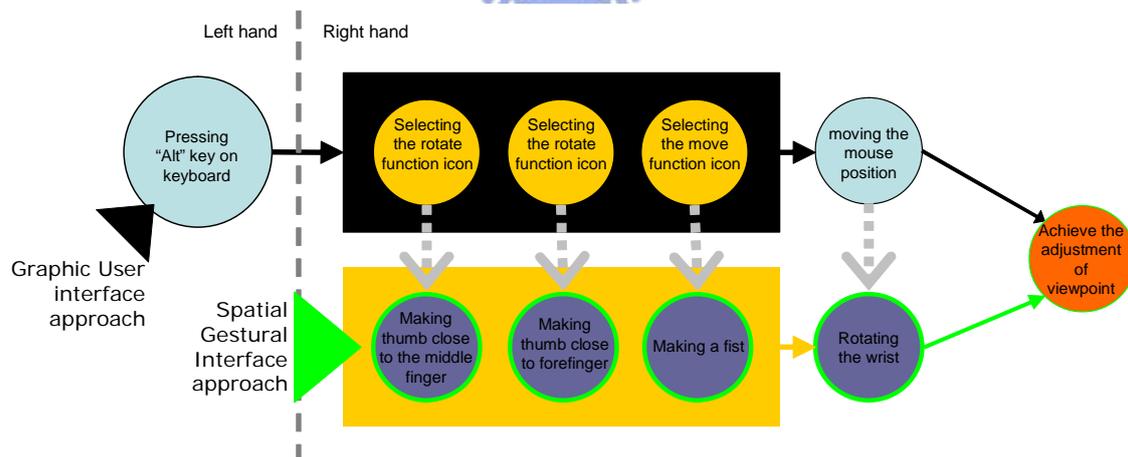


圖 24 設計者利用左手的控制取代原先必須使用共同兩手的視角瀏覽行為。亮綠線示為新的途徑，設計者利用單手手勢搭配手腕的轉動即可直接達成視角的控制。

因此本操作模式企圖設計一個能與塑模行為同時搭配的工作模式。該模式的規劃是將一種手勢地比畫來代表一種指令的使用。而視角位置的操作，則是利用手腕關節的轉動進行控制。利用手腕上下左右的轉動的控制，以及(1)手掌握拳、(2)拇指與中指相碰和

(3) 拇指與食指相碰的三種手勢分別可以直接執行旋轉、平移和縮放三種的指令。設計者以一隻手調整視角控制的行為，同時空出一隻手可以進空間塑模的行為。

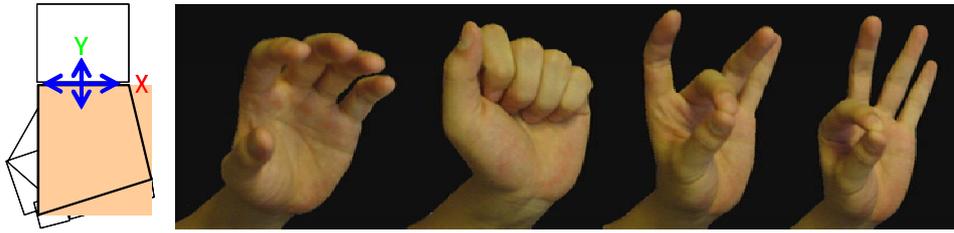


圖 24 設計者利用左手的手腕控制以及手勢決定視角瀏覽行為。圖左為手腕的控制部位；圖右為 3 種不同的手勢狀況分別用來控制旋轉，縮放和平移的控制。

該模式提供一個雙手可以依其工作的手勢輸入介面，以提供設計者突破傳統指令步驟的控制方法，快速地用手勢操作指令以兩隻手並行的操作模式，讓設計者可以在“看”與“動”的互動工作中更流暢。設計者利用此模式將可以無所顧忌的在任意需要瀏覽型體視角的時候，利用左手進行瀏覽視角的行為，此模式提供設計者並行的方式利用手勢控制動和看的行為，不需要遭受知識負擔的阻礙，直接的傳達設計塑模的行為。



4. 實作

本章節延續第三章節的手勢輸入系統的規劃結果，這裡實際製作出一完整的系統。該手勢輸入系統是一套完整的軟硬體系統，由影像擷取、空間資訊讀入、手勢使用者介的發展以及最後在 3D 虛擬環境的應用過程。

4.1 先期測試

本步驟使用 Lua 程式語言，運用幾個現成的模組：讀入網路攝影機的影像、寫視窗的功能和 2D 畫圖的功能，測試影像辨識技術。提供設計者可以使用 LED 發光體作為畫筆，在空間中作畫的 2D 草圖介面。

本實驗分成兩個階段發展，首先將攝影機擷取的數據整齊的放置在 2D 的陣列之中，測試實體空間發光體的特徵，然後，配合實體空間的控制，2D 圖像隨之反應一些互動的草圖行為。

4.1.1 影像辨識

讀入單張影像

該實驗所使用的網路攝影機解析度為 320*480，在一般的個人電腦和 USB 的連結就可以正常作業的環境。影像的讀入是依據每一個 pixel 的 2D 陣列位置存放在 Lua 環境內的新陣列，並且將依序儲存 RBG 的數值。

辨識 RGB 值並依造陣列的位置讀取座標位置

該實驗設定在背景陰暗的環境內提供設計者以發光二極體(LED)再空間以移動軌跡的方式作畫，因此檢視 LED 光點有效的 RGB 值，然後以符合條件的方法追蹤光點以取得陣列中的座標值。

4.1.2 座標位置的應用

應用光點位置畫 2D 草圖

將光點的座標位置儲放成一元陣列，再將 Lua 內建的 draw_line 功能利用該陣列的數值畫連續線。設計者在空間中及時活動光點的行為將可以繪製出 2D 圖像的連續線，此功能提供設計者在空間畫出不秩序的草圖線條。



圖 25 應用光點位置畫 2D 草圖

修改物件的比例

將連續線的座標陣列取出，並將所有數值全部乘以欲縮放的百分比值，再依原順序存放回該陣列中，整個物件的比例將直接縮放。

應用光點移動物件

先將一個線段物件陣列內的數值修改，改成以原點為物件中心點的描述。將光點座標位置的數值加上修改後的物件陣列，即可以達成物件隨著光點置而移動的控制。



圖 26 應用光點位置應用再物件的平移功能

利用網路攝影機與 Lua 軟體的搭配的互動草圖介面，簡單的運用 RGB 數值辨識光點顏色的方法，以及將追蹤光點的座標數值應用在草圖上。但是這個系統在許多部份還是有限制的，在影像擷取的速度大約只能 1/sec，畫面的解析度還有有硬體上的限制，圖像部分還無法支援 3D 的應用。因此，針對開發實體與虛擬空間的互動上還不能滿足空間輸入、3D 圖像的輸出的需求下。下個階段針對概念塑模行為需要的基本條件實質規劃一套滿足該功能的系統。

4.2 系統規劃

4.2.1 系統架構

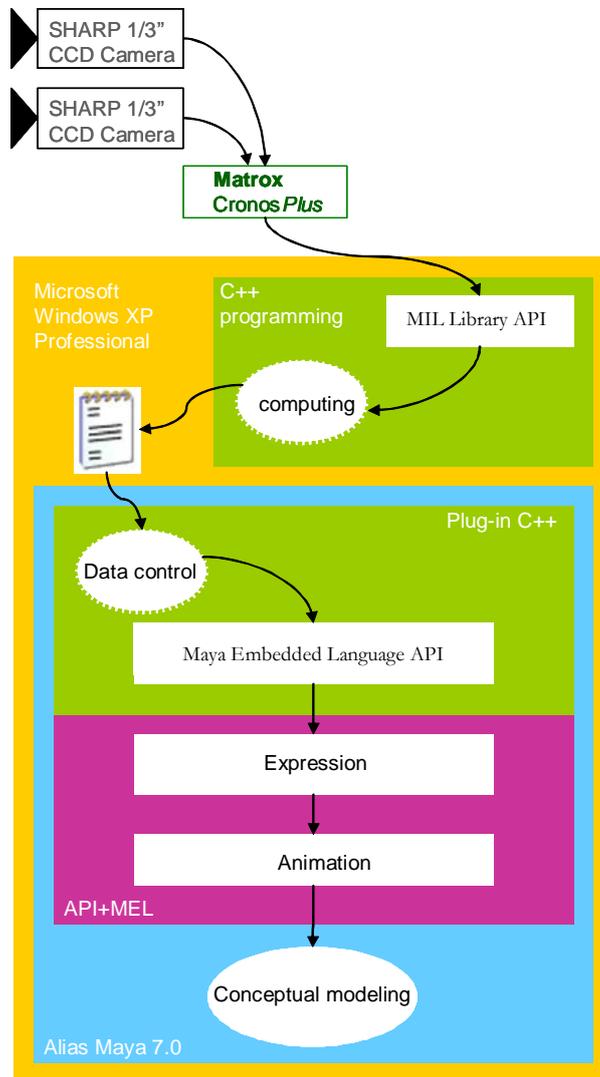


圖 27 軟體系統的流程圖

本空間資訊系統提供使用者運用肢體的活動控制。利用影像輸入系統，同時讀入兩台攝影機在空間中偵測使用者活動的資訊，並且透過程式的控制，將獲得資訊的結果運用在 Alias Maya 軟體中的 3D 環境中提供概念塑模的行為。在整個系統架構中的程式部分，主要使用 C++ 語言在 Visual C++ 環境裡進行編寫。

整體運作的流程中使用了一些現有的軟體以及程式的功能元件，包括：加拿大 Matrox 公司開發的 CronosPlus 影像擷取卡的驅動元件－Matrox Image Library(MIL)、Alias Maya 軟體以及跟軟體的內嵌式程式語言－Maya Embedded Language(MEL)、Visual C++ 6.0 程式的編寫環境以及 Microsoft Windows XP Professional。

使用的現成硬體需包括了：CCD 攝影機*2、加拿大 Matrox 公司開發的 CronosPlus 影像擷取卡、一般個人電腦一台。自製開發的硬體設備包含了：自製電路手套一對以、改裝的滑鼠、改裝的鍵盤以及自製的手臂支架，以提供使用者穿戴在身上。

此資訊系統分成兩個子系統，第一個系統是影像讀入系統，該系統負責讀入使用者在空間中活動的資訊，然後判斷使用者的操作用意，將之存放成 txt 檔案中。第二個部分則是將第一個系統存放資訊的 txt 檔案讀入，將此資訊運用在 Alias Maya 中的塑型功用上。兩個系統為各自獨立運作的系統，因此透過 txt 檔案的存取作為兩者之間的互通原理。

4.2.2 運作流程

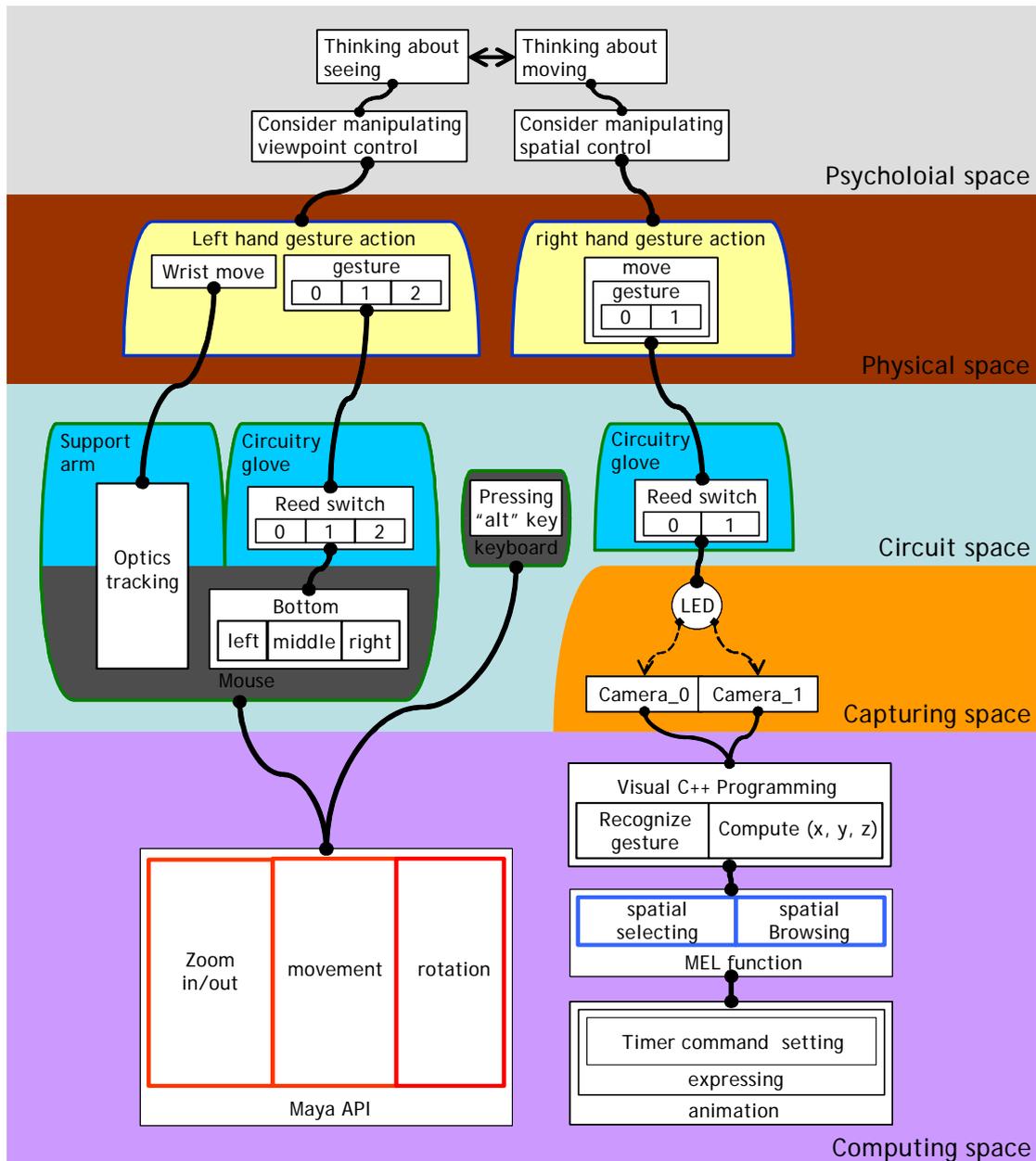


圖 28 軟體系統的流程圖

該系統提供一個由實體空間的操作以控制虛擬環境的流程。更精確的來說，設計者利用電腦進行設計行為是一個由心智空間、物理空間、電路空間、運算空間、到虛擬環境的流程。因此，圖 28 完整描述一個設計者利用手勢輸入介面的流程，首先設計者在腦中思考塑模的行為，藉由手的動作表現塑模的意圖，然後穿戴在手上的電路系統將傳遞訊號至電腦系統中，執行程式的運算，最後在 Maya 環境中作視覺的呈現。該流程中能夠被設計者理解的思考流程是由心智空間中的設計思考、透過物理空間的操作、到虛擬空間呈現的過程。而必須被技術解決的訊號傳遞流程是從手勢作出動作後，電路系統的辨識以及影像讀入系統和程式運算中的控制流程。兩者在這裡一齊被整合以解決。

本架構是由數個不同性質但功能完整的元件所組成的，透過元件之間的連結關係得以運作。人機介面—手套 扮演主要整合的角色，穿戴在設計者的手上，整合由設計思考的行為至在虛擬環境中的控制。圖 28 各空間中具體的運作功能如下：

- a. 心智空間：設計者在心智中對塑模行為的思考，並對於“seeing”和“moving”的操作方法進行計劃。
- b. 物理空間：設計者將心智中的設計思考行為表達在實體空間中，透過戴上電路手套以及機器支架的手，表達出“seeing”和“moving”的操作動作。
- c. 電子空間：兩隻手套分別安置感應手勢動作的電路設定，手勢的改變將觸發磁簧感應器，影響運算空間讀入的參數訊息。
- d. 運算空間：在運算空間中偵測使用者手勢行為的參數，透過數學運算的應用在 Visual C++環境產生有意義的 3D 資訊。
- e. 虛擬空間：透過電子空間的感應以及運算空間中的訊息執行於 Maya 環境中，直接呈現 3D 圖像，最後透過視覺的思考，又從回到設計者的心智空間中繼續發展設計。

4.3 空間輸入的知覺系統

介面提供使用者一個與電腦溝通的平台，提供一個操作的方法以及傳遞出訊息。傳統電腦的介面提供設計者空間塑模的需求始終尚缺乏。設計者受限在 2D 輸入的介面限制下，必須負擔大量的指令操作從事 2D 視窗中的程序操作。設計者最重視的空間操作行為，在 2D 介面的限制下，必須轉換成各向度的操作以分開達成。這個流程與設計者的直覺並不符合，因此，設計過程中，人類心智空間中產生了 Cognitive load，為了轉換 3D 空間行為成 2D 指令操作的步驟。該負擔造成了設計者設計過程的障礙，干擾了設計行為的運作。因此，本空間輸入系統的發展實際提出兩個功能以改善 Cognitive loads 的問題：(1)感知空間位置，以及在該系統中提供(2)直覺地點選操作方法。

4.3.1 感知實體空間中的位置座標

由於電腦圖像並非真實的空間狀態，是由位元的運算所構成的，並不具備反應物理空間狀態的能力。而人類是實體空間中的物體，透過實際的肢體行為與視覺思考進行塑

模創作。因此，此系統是利用影像輸入的方式，使得電腦得知實體空間中的資訊，並且透過兩台攝影機的輸入來得隻空間位置的訊息。運作程序首先(a)讀入實體空間資訊，然後(b)計算出空間的座標位置。

a. 讀入實體空間資訊

由於單隻攝影機所讀入的空間資訊是有限制的，因此本系統透過 CoronosPlus 影像擷取卡的得以同時讀入兩台 CCD 攝影機的資訊，得以更有效的掌握實體空間中的訊息。在軟體部分，透過 Visual C++ 6.0 的環境裡，運用現有的 MIL 模組，編寫同時讀入兩台 CCD 攝影機的程序以及影像辨識 LED 光點的平面座標的功能。該系統提供設計者穿戴上自製的 LED 手套，藉由手套上食指部位的發光來擷取 2D 的座標位置。

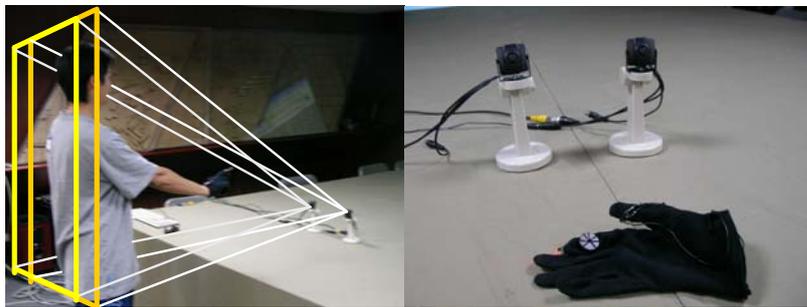


圖 28 LED 手套與 CCD 攝影機提供使用者操作的模式，利用 LED 手套以及兩隻 CCD 攝影機同時擷取亮點的座標資訊。

b. 計算空間座標位置

本功能為實際提供兩隻攝影機視覺資訊的讀入，以及辨識光點與數學方程式的運算。轉換 2 隻攝影機取得的 2D 座標資訊成為 3D 的空間資訊。本空間座標的偵測原理是由人眼立體視覺的概念而來。因此，兩台 CCD 攝影機以 5.5 cm 的間距擺放。透過影像辨識求得單張影像 LED 光點的平面座標位置，透過建立一套由兩支攝影機求得的平面座標位置 x 向度的間距與深度關係的方程式(圖 29)，即能獲得 LED 光點在 3D 空間中的座標位置。

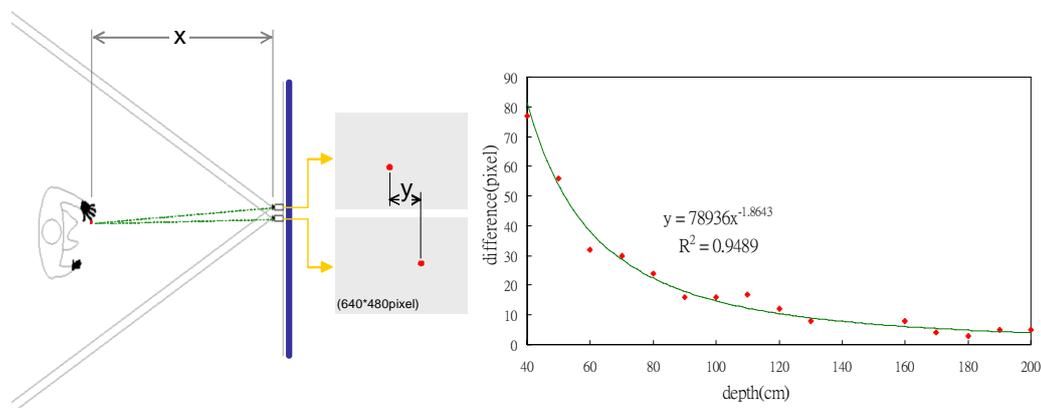


圖 29 LED 兩光點的間距與深度關係的方程式

因此，該介面提供了空間輸入的功能，直接將實體空間中光點的空間位置轉換成(x, y, z)參數的數值。使用該介面相當的簡單，只需要穿戴起 LED 手套，在面對兩隻 CCD 攝影機的面前，開始任意地移動手指的位置，光點的空間位置就會具體的呈現在該介面上(圖 30)。該介面是利用 MIL 函式庫的視窗功能所寫出來的，左右的影像分別為 CCD 攝影機左右兩台所擷取到的畫面，在擷取到光點座標的位置會出現紅色的十字方框，(x, y, z)參數的數值將呈現在左上方。

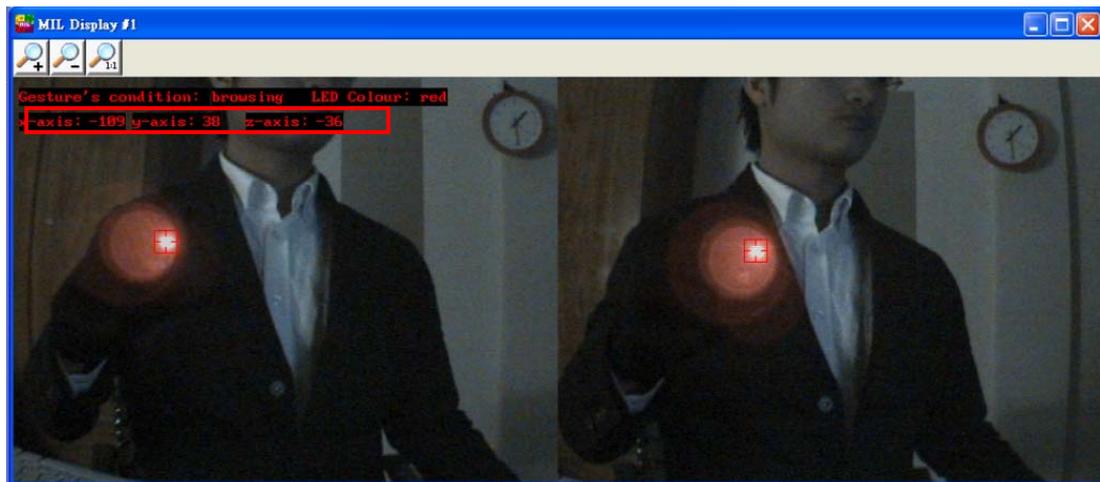


圖 30 感知空間位置系統的運作狀況

4.3.2 感知控制的意念

意念是感知中最深層的想法，最直接的表達。肢體通常對一些行為有很直接詮釋方法。因此，此系統利用手勢表達的意思設定一套點選和瀏覽的方法。利用手勢中食指和大拇指表現出用力得靠近彼此的動作設定成點選的行為，除此以外的姿勢全部設定成瀏覽的行為。此控制方法直接整合在影像輸入系統當中，運用彩色 CCD 攝影機讀入 RGB 資訊的原理，辨識亮點的顏色資訊。因此，本手勢訊號的設定利用紅色和綠色兩種顏色的 LED 光亮作為區隔。運用在手套的電路切換設計中，該影像輸入系統在擷取空間位置的同時，一起辨識光點的顏色，將可以直接獲得手勢的動作狀態。

因此，該介面提供使用者在空間中活動的同時，任意的改變手勢點選的動作，透果影像辨識的結果，將獲得現在手勢的狀態，呈現在左上角。手勢一共有兩種設定，當拇指與食指靠近的時候，LED 會呈現光暈較大的紅色光澤；當拇指與食指分開的時候，LED 會呈現光暈較小的綠色光澤。透過 RGB 的辨識，手勢的點選或是瀏覽的狀態將被電腦獲得。

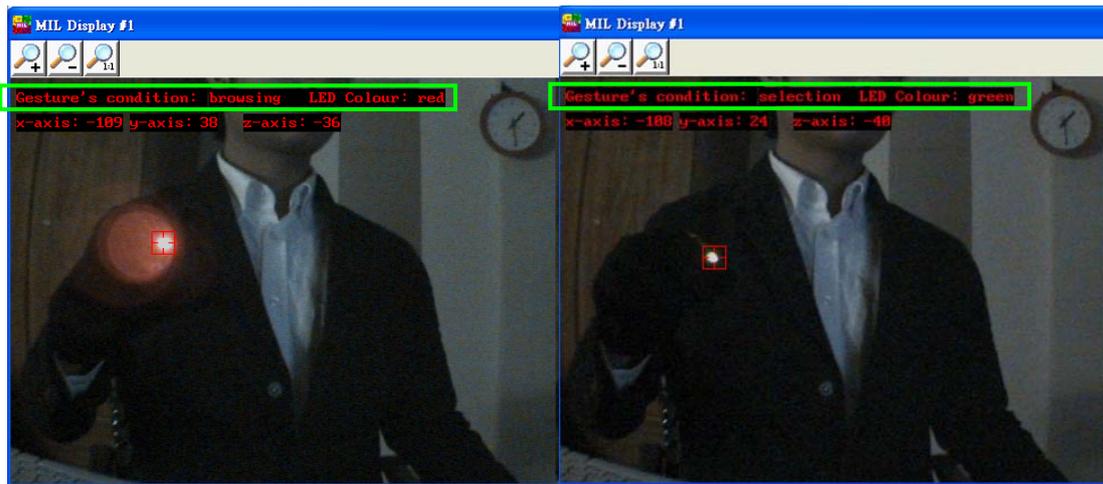


圖 30 感知手勢狀態系統的運作狀況，左為瀏覽狀態，右為點選狀態。

傳統電腦人機介面所提供的模式中，設計者必須由手控制滑鼠移動游標的位置，先後操縱 x 、 y 和 z 軸向量的位移，這些步驟在傳遞控制的過程經過了大腦、手、輸入裝置、電腦等 4 個程序，同時還必須負擔 x 、 y 和 z 三次軸向的控制。此新增的手勢空間輸入介面較直接的提供控制行為。設計者透過大腦到手的控制，直接可以到達電腦的控制，只需要通過 3 個過程，而且空間位置輸入的方式不必再透過座標軸控制的行為所分解，而造成空間操作行為的中斷，可以利用手勢直接地達成空間位移的控制。比起傳統的介面控制，使用更簡短的步驟達成目的(圖 31)。

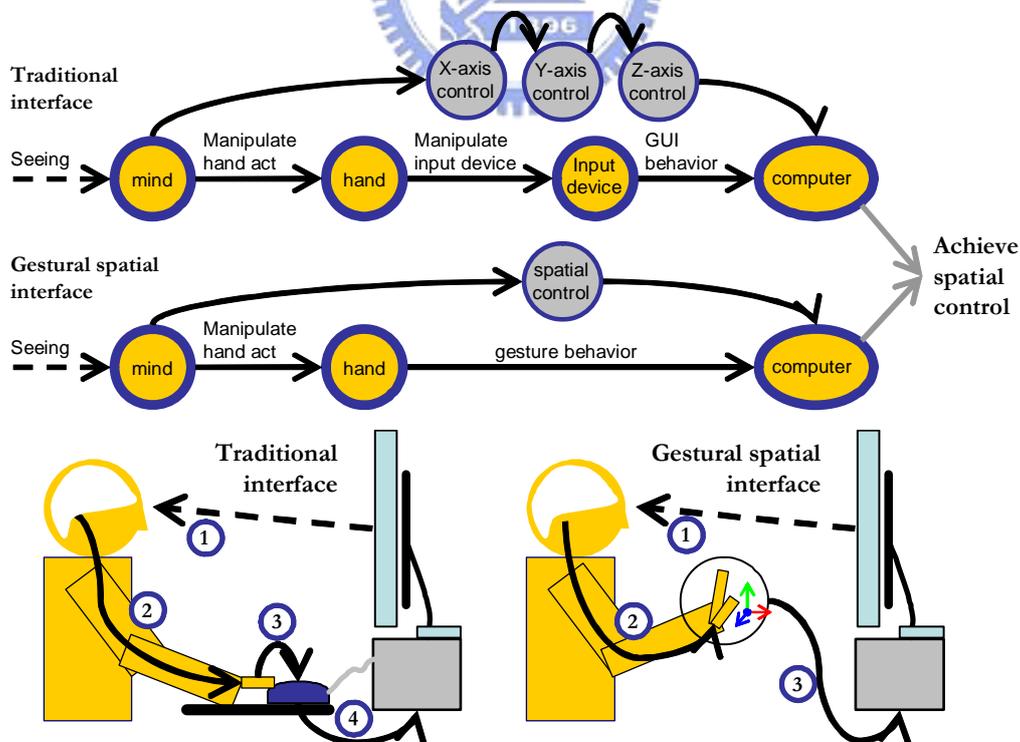


圖 31 達成空間空控制行為的流程圖。設計者使用此空間輸入系統比起傳統的介面，可以以更簡短的程序擱成空間控制的操作。

4.4 手勢輸入工具

手勢輸入工具是一個穿戴在手上的工具，附著於手的表面，透過手勢的動作以及手部關節的活動作為控制的方法。以下針對左手和右手分別製作出不同功能的控制行為和目的。右手負責控制空間中行為的控制，左手負責操作視角控制的操作。

4.4.1 空間控制的操作工具

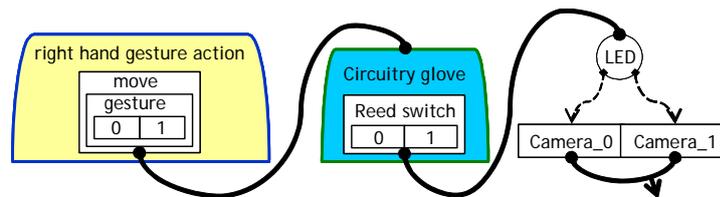


圖 32 空間位置操作功能的右手手套運作系統，透過與空間輸入系統的搭配，提供空間游標以及點選的控制功能。

本系統提供設計者一個可以穿帶在 5 隻手指上的手套，手套上包含了一組開關的設定，提供手勢操作點選和瀏覽的指定。透過開關的觸動，將改變手套上 LED 發光的顏色。該手套提供給設計者的右手穿戴，提供給空間行為的操作功能。此手套的控制搭配空間輸入系統使用，設計者面對兩隻 CCD 攝影機運用手套上的 LED 光點與空間輸入系統互動，得以偵測出 3D 座標(圖 32)。點選和瀏覽的控制透過拇指與食指相當接近時的狀況作為感應的原則。因此，在手套的製作上將磁簧開關以及磁鐵分別過定在食指和拇指上。當手勢做出點選的姿勢時將可觸動磁環開關與磁鐵的感應，立即改變 LED 的顏色，並同時的在空間中進行空間座標的控制。



圖 33 手勢表現點選的姿勢時，食指與拇指的關係，以及 LED 燈泡的改變。

當手勢作出點選樣式的同時，手指上食指與拇指的關係將顯得相當的靠近(圖 33)。此種靠近的方式並非完全貼近彼此，而只是一種快要接近的狀況。因此，該手套的感測器採用磁簧繼電器的特性：不需要完全接觸到磁鐵，只需要磁鐵接近磁簧繼電器，就可以觸動開關的感應。在電路系統上，使用雙色 LED 燈泡對應磁簧繼電器的兩種電路。當繼電器被時鐵觸動時 LED 燈泡就亮起綠燈，否則 LED 燈泡隨時保持紅燈的顏色。

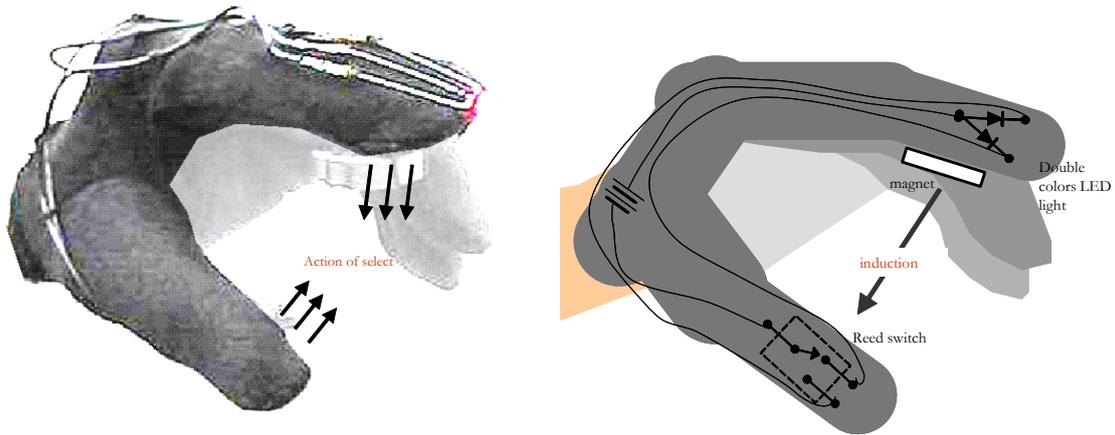


圖 34 手勢表現點選狀態時的電路設定表示

4.4.2 視角控制的操作工具

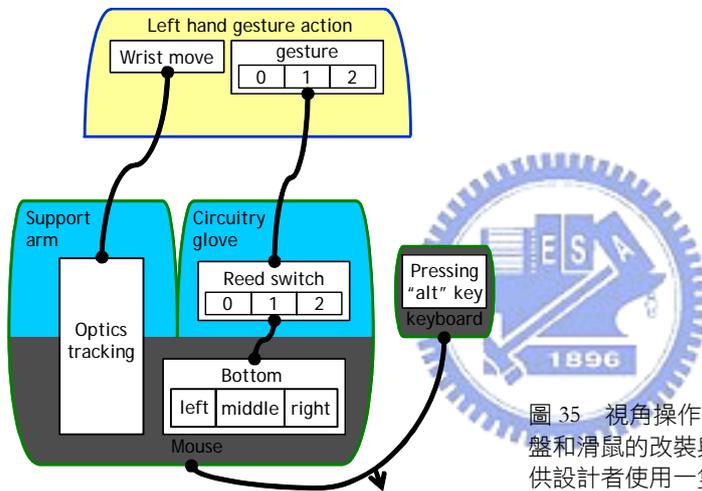


圖 35 視角操作功能的左手手套運作系統，透過鍵盤和滑鼠的改裝與手勢和手腕轉動的行為整合，提供設計者使用一隻手獨立達成視角控制的操作。

本系統定義用使用一隻手的控制取代原先 Maya 設定中滑鼠和鍵盤同時操作的方式。此手套負責控制視角控制的行為，然而在 Maya 環境視角瀏覽的控制有三種，分別為旋轉(“alt”鍵+滑鼠左鍵+游標的控制)、平移(“alt”鍵+滑鼠中鍵+游標的控制)和縮放(“alt”鍵+滑鼠右鍵+游標的控制)。傳統的操作設定必須包含了鍵盤和滑鼠的使用，而本手勢介面將利用手勢的決定搭配手腕的轉動控制，以取代傳統的控制方式。因此，該工具的製作改裝了滑鼠的按鍵方式和紅外線感測器的感測位置。並利用麵包板將鍵盤的按鍵改以電路通電等硬體的組裝以達成。



圖 36 手勢形狀與磁簧開關與磁鐵安置於手套上的關係。

手勢控制的部分，利用手掌握拳、食指和拇指相碰以及食指和中指相碰的 3 種手勢分別表示旋轉、平移和縮放的指令。也是利用磁簧開關以及磁鐵作為電路系統上的設定。首先分析三種手勢執行時手掌與手指的關係，然後運用磁體與磁簧開關的感應原理將磁鐵分別安置於手套的大拇指間以及小拇指間的上方；而磁簧開關則分別安置於食指、中指以及手掌上。透過手勢動作的狀態，將分別觸發 3 個磁簧開關。



圖 37 利用支架和電路的整合將滑鼠改裝，並安置在手腕上方；同時將“alt”鍵的感應線路接在麵包板上。

本裝置亦提供一人工支架撐起滑鼠的內部的紅外線感應裝置，使之可以漂浮在手部腕關節的正上方，得以直接偵測到手腕上下左右四個方向的轉動，取代原先必須握住滑鼠控制移動的模式。並且將滑鼠按鍵的觸發方式連接上 3 種手勢的觸發控制，也就是利用手勢分別控制滑鼠的左中右鍵。同時，為了保持鍵盤上“alt”鍵的持續按住的狀態，以共同執行旋轉、平移和縮放指令控制。將“alt”鍵的感應線路接在麵包板上，使之持續保持通電。

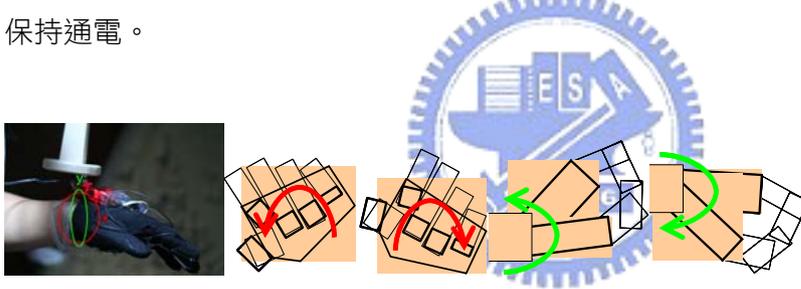


圖 38 手腕關節的控制方式

因此，使用者將可以透過手勢和腕部活動的方式取代原來的控制模式。以上手勢人機介面的設定完成之後，只要動動手和指頭就可以直接操作空間的位置，該介面提供設計者一套完整的輸入行為模式沒有任何技術性的操作難度。

4.5 虛擬環境

在 Maya 環境中，視角瀏覽的平移、縮放和旋轉的功能是 Maya 環境中現有的設定。因此，改裝現有的介面設備，成為手勢輸入的方法直接可以達成原先的視角控制行為。但是擷取空間定位的功能以及感測手勢點選的功能必須自行開發，Maya 環境中並未具備。必須自行製作新的指令功能在 Maya 環境內，才得以整合空間控制的行為在 Maya 環境中，以及時動態的運作中呈現。

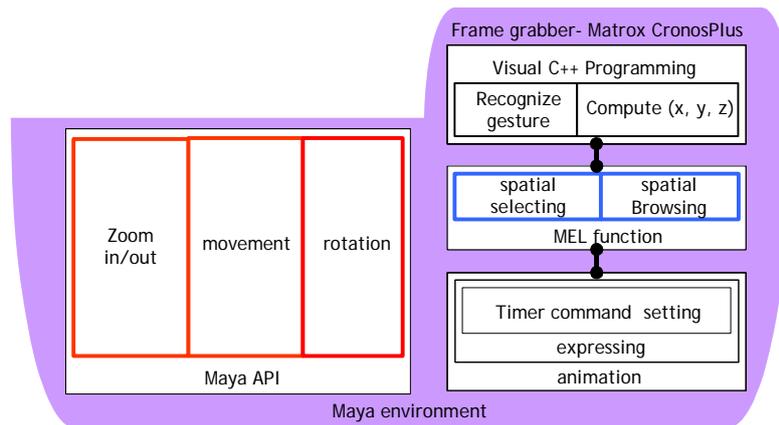


圖 39 Maya 環境中視角控制以及空間操作的運作設定

檔案媒介

在空間輸入的能力是由影像輸入系統獲得的，與 Maya 環境並沒有關聯。為了在 Maya 環境可以達成空間的互動能力，空間資訊的傳遞必須扮演即時並行的運作角色，以協助達成影像輸入系統傳遞空間資訊至 Maya 環境中應用。因此，此系統透過 txt 檔案的中介功能，提供在影像輸入系統以及 Maya 系統得以即時傳遞空間數值。

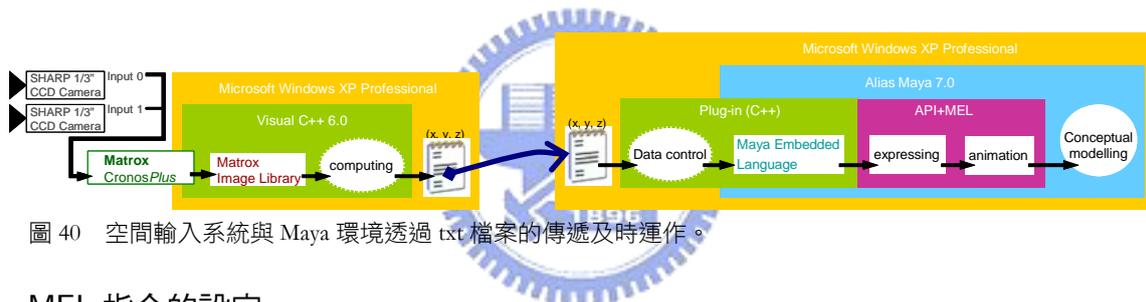


圖 40 空間輸入系統與 Maya 環境透過 txt 檔案的傳遞及時運作。

MEL 指令的設定

在 Maya 環境中需要設定一個執行空間讀入功能的指令，該功能具備讀入空間座標數值，然後將取得的數值應用在 Maya 環境中產生模型功能的能力。因此，首先在 Maya 環境中增加一個新的指令，可以讀取手勢在空間中的座標位置，該指令應用獲得的座標位置在 Maya 環境中畫上一個簡單的球體，代表相對於實體空間中的座標位置。使用 Maya 環境中支援利用 Mel 語言在 C 語言中寫入外掛功能的方法製作，讀取手勢在空間的位置，然後執行製作球體的指令，將座標位置應用在球體的定位上。該球體產生的意義為，立即的反應設計者手勢在空間中的位置以簡單的塑造球體呈現出手勢的位置。

```

double x;
double y;
double z;

FILE *fptr;
fptr=fopen("c:\\position.txt", "rb");
fread(&x, sizeof(double), 1, fptr);
fread(&y, sizeof(double), 1, fptr);
fread(&z, sizeof(double), 1, fptr);
fclose(fptr);

MGlobal::executeCommand( MString( "sphere -pivot " ) + x + " " + y + " " + z + " -radius " + "4" +
" -axis 0 1 0 -heightRatio " + "0" );

```

圖 41 運用 C 語言外掛在 Maya 環境中製作一個讀取空間位置以產生球體的功能

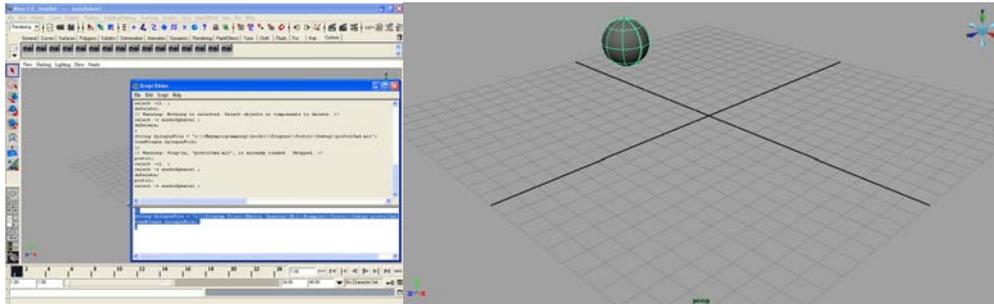


圖 42 在 Maya 視窗中外掛“製作空間球體”指令，並可以在視窗中運作。

Expression 的編輯

由於工具列中的指令是固定的，必須透過點許的操作才能執行一次，本功能預期製作出及時的執行方式，因此必須設定 Expression 的設定，賦予自動化的執行。首先將時間軸設定當時間走到 2 的時候，該指令就會執行一次。配合時間軸隨機反覆運作的執行，因此，空間座標位置的可以及時運作。提空設計者及時工作的呈現環境來逕行塑模行為。

```

$a = `getAttr time1.outTime`;
if($a==2)
posts1;

```

圖 43 在 Maya 環境中的視窗編輯 Expression，將 post1 指令隨著時間軸不斷執行。

5. 測試

5.1 實驗設定

這個空間輸入裝置，它提供設計者站在大螢幕前利用手在物理空間中的位置控制 Maya 環境中游標的空間位置。以及利用簡單的手勢操作視角的控制以及點選和瀏覽的功能，除此之外使用方式就像一般打開 Maya 環境，在該 3D 視窗內執行 3D 環境中的控制行為。

該實驗使用的塑模方法相當單純，利用球體的堆疊來產生形體。此實驗並未考慮使用更為複雜的塑模方式是有原因的，由於該研究的重點在提供設計者一個空間行為的連結，也是本研究認為在設計過程中，使用電腦超作空行為時最大的負擔—cognitive load。因此，此使用者測試採取最簡單的塑模方法，使用空間中球的堆疊呈現設計者的概念。藉此觀察空間位置與使用者表達的操作過程中，空間控制的互動行為。

5.1.1 範圍

在交通大學建築研究所的 HA105 教室裡架設手勢輸入的空間介面，運用的硬體設備包含：一台桌上型電腦，Matrox CronosPlus 擷取卡(裝置在電腦裡)，一台單槍投影機 (HA105 教室現有安裝好的設備)，互動手套以及兩台攝影機擺放在教室的桌上。

四面正方的空間，四個面向皆有窗簾，故將窗簾拉上可以完全的杜絕其他光源的干擾，相當符合本研究的設定。攝影機面對的前方，有寬敞的空間供受測者以站立的姿勢活動。本介面的操作中會將環境的光源關閉，在受測過程中將採取全程的錄影紀錄，並且在受測結束後向受測者訪談。



圖 44 測試地點(圖左)以及環境設置的狀況，由右上至右下分別為：投影機、攝影機、連接線和鍵盤與麵包板的設定。

5.1.2 對象

受測者挑選的原則是對於空間設計中的概念設計有經驗者，曾經用 3D 繪圖軟體進行設計者。本實驗挑選兩類受測者，一位為 3D 繪圖軟體非常熟練的熟手，另一位為使用過 3D 軟體但是並不熟練的生手。兩位受測者的資料如下：

- 受測者 A：建築研究所的學生，過去使用 Maya 有 3 年以上的經驗，對該軟體的熟悉度堪稱為熟練，是一位專業的建築設計者。
- 受測者 B：建築研究所的學生，接觸 Maya 的時間不長，操作上較為生疏，在該實驗中定義為生手，過去受過 7 年以上的美術訓練，是一位藝術創作者。

5.1.3 測試空間輸入介面的座標控制

受測者先帶上手套練習（食指和拇指靠近的動作），嘗試點選功能的控制方式。以掌握 LED 燈光顏色切換的方法。首先開啟空間輸入介面的視窗，移動手指上 LED 的位置，並觀察視窗中隨之改變的位置數值。使用者先盯著螢幕確定影像擷取的範圍，然後在此範圍中練習上下左右前後的移動，以及觀看座標位置隨者活動對應的數據。



圖 45 任務一，受測者練習使用手套感測空間的位置

5.1.4 測試空間塑模

打開 Maya 介面讓受測者利用手勢上的 LED 訊號作畫，藉此，使用者在其中感覺手部動作控制空間塑模的感覺，以及體驗用手控制 3D 位置的塑模經驗。大約 1 分鐘後，受測者必須任意操作一個有主題的形狀，這個創作時間以兩分鐘為限，設計者在繪畫的過程中，對型體的發展滿意即可停止。



圖 46 任務二，兩位受測者分別利用手勢介面進行簡單的概念塑模

5.2 結果

5.2.1 形狀

在形狀的發展過程中，大致可以發現幾種重要的現象。點與點的相連，設計者在塑型的行為當中，利用點與點相連的方式逐漸點出具體的形狀，對於設計者而言，相當高度地依賴手部的感覺。在製作型的過程中，受測者 A 首先利用手在空間中企圖寫一個“nan”的字樣。一開始執行的第一筆畫相當直接，但是畫出具體形狀之後，設計者的行為開始改變，轉以修飾和修正型體的的行為，以些微地調整方式增加圓點，慢慢地修飾形體整體的形狀。像是當受測者 A 發現“nan”字中的“a”形狀不夠像“a”形狀時，受測者 A 開始在“a”的周圍強調 “a”形狀的特質，而形成較為複雜的線條。

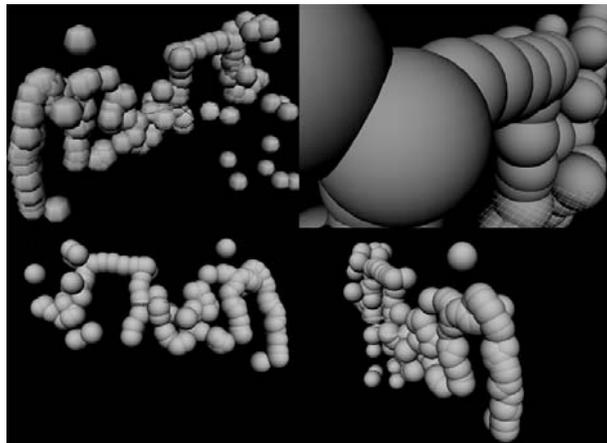


圖 47 受測者 A 的塑模結果

5.2.2 塑型中的思考

其實受測者 A 在畫圖前就相當明確的決定要畫出“nan”字樣的圖形。因此，發展的過程偏向平面的線條變化。整個圖形控制少了強調深度向量變化的特性。而受測者 B 較具想像力，一開始的想法是畫一隻棒棒糖，於是，她先畫了一隻棒子，然後添增上一片螺旋形狀的物體，接著，她企圖劃一隻狗的頭。從概念型體的圖形來看，在棒棒糖圖型的右邊開始描繪狗的臉。由於控制過程的偏差，使得狗臉圖形的形狀並不以預期的相同。因此，該受測者將錯就錯，持續執行它對型體的發展和想像，在一些地方添增一些球體後，即完成形狀。

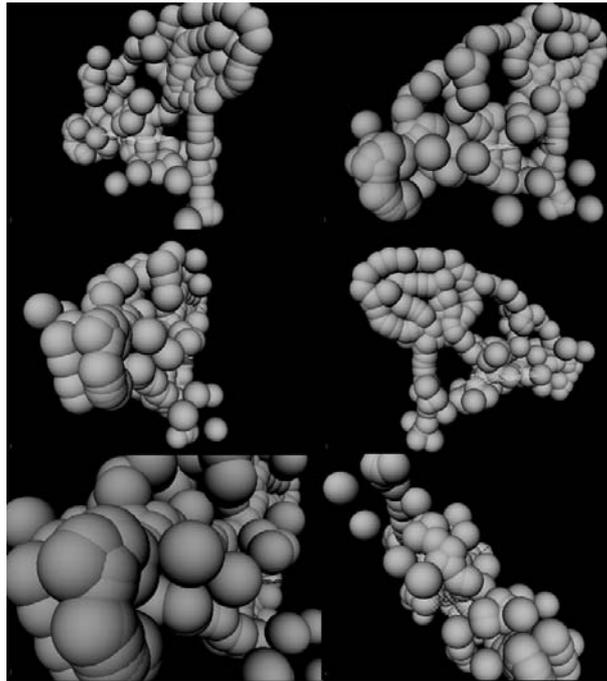


圖 48 受測者 B 的塑模結果

5.2.3 滿意的形狀

設計者通常設計前的想法與最後設計結果之間存在偌大的差異，這也是為什麼設計者必須利用草圖的行為嘗試一些抽象概念中存在的型體可能性。設計者往往藉由草圖行為的發展，發現其他可能的方案以及更具潛力的方法。但是在修改型體以及塑造形體的過程中，不可能出現用無止盡的發展，而有一個飽和的呈現。因此，本測試中最後 A 設計者心中“nan”的字樣與實際畫出的型體不盡相同，而且有些不像。但是當設計者會在修改和補強行為盡量描述後即停止，而保留成品移動過程所形成的具體線條。而設計者並不會太在意這些多餘於的線條，因為這些線條事實上提供設計者發展型體的可能樣式，這些視覺參考的樣式協助設計者得以思考其他的可能。受測者 B 也是相同的，打從一開始，畫出了相當成功的棒棒糖型體。但是之後發展狗臉圖形卻不如預期。但設計並不因此中止，依循現有形狀具備的潛力，繼續發展下去。而將整個形體整合成一件協調而附有豐富造型的型體，然後中止。整體來說，這兩件概念塑模的設計相當的自如。以天馬行空的方式不受拘束。設計者相當容易地在發展過程中找出或看到具發展潛力的形狀，而繼續發展下去。短短兩分鐘的時間發展多個球體所組成的概念形體。比起傳統 CAD 人機介面的模式，該模式提供了一個流暢地模式，提供創意的生產和發想。

5.3 討論

傳統 CAD 軟體的操作經驗中，困難於發展創造階段的型體，這是礙於傳統製作型體的方法太過於秩序以及幾何性的思考觀念。而概念塑模的工作恰巧必須在發展型體過程中提供直接的塑造決定，以直接的將腦中想法拋出進行創造。因此該手勢空間介面在此兩者之間正好扮演橋樑的角色，提供設計者直接進行塑模行為的平台，免去過去操作

傳統介面產生的 cognitive load 負擔。利用手指的移動塑造立體圓球的塑模方式，提供設計者在 Maya 環境以堆疊立體球體的方式創造型體。

本研究的問題是改善傳統介面中平面座標系統不足以控制空間座標系統而產生的 cognitive load 的問題，此問題的解決辦法是提供一套新的流程，以解決空間座標系統在執行時的轉換程序。因此，在實驗的設定中，使用立體球體的產生定點來表示使用者控制塑型過程中的空間控制行為，利用點與點之間的連貫堆疊產生出型體的輪廓。圓球的產生是表達空間位置最單純的表現，不像方型或矩形的幾何物件具備幾何特性而容易誤導幾何堆疊中平型與水平契合的視覺暗示。本研究採取球型物件得以更具自由的移動，提供設計者任意的繪畫，像是使用立體的墨水點畫圖。

該介面的繪圖特性將可以塑造出抽象的大象或是人物的線條以及表現出概念的曲面輪廓(圖 49)，這些線條都是利用 Maya 現有 3D 建模指令所創造出的，但是過去利用傳統 CAD 介面時，大概很難這樣地創造型體。還有更多可能是影藏在此型體背後的可能性，後續將開發此介面的空間功能在更為高級的塑型指令上。以此最簡單的立體球體為例子，後續應用在 curve、surface 等曲面塑型指令上，將有機會獲得更突出的創造可能。

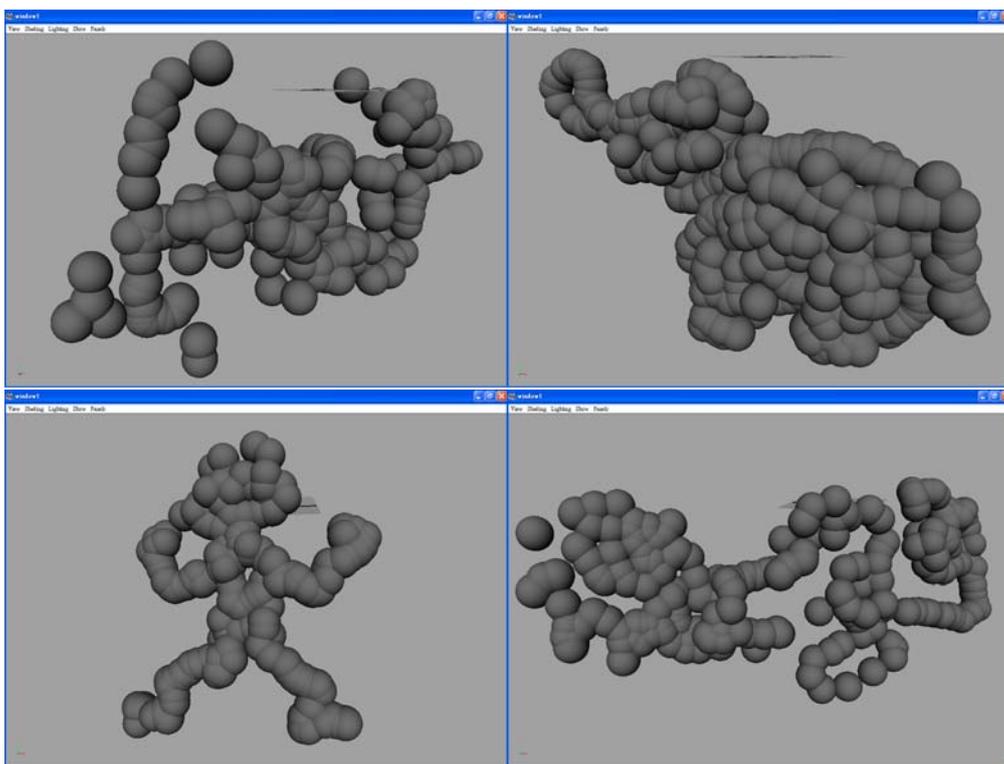


圖 49 Maya 環境中利用空間手勢介面塑型的結果

本介面的使用功能與已開發的輸入裝置－3D digitizer(Immersion MicroScribe® products)的 3D 測量功能非常相似。該輸入裝置，提供一隻立體筆桿的輸入工具，提供使用者利用筆尖的定位點將空間中座標的數值傳入電腦中，一般常利用此裝置在現有的物品數位建檔的需求上，很少利用在塑模發展的應用。本空間手勢輸入介面雖然空間讀入的功能與 3D digitizer 的功能相似，但是影像輸入系統還提供了影像辨識功能以及手勢控制的辨識，在精準度上雖沒有 3D digitizer 此以機械裝置為計算的測量工具來的精確，

但是此以影像為基礎的輸入裝置，可以提供大範圍的肢體活動以及光學原理的偵測，後續的研究開發還提供可以同時讀入多個空間位置數值位置的可能性。與 3D digitizer 相較之下，具備更豐富的使用範圍以及不依賴機械裝置在偵測過程中轉動和摩擦的干擾，而可以較自由的活動，在未來的開發，也提供了偵測多個光點以及搭配其他影像資訊的應用可以開發的潛力。

在塑模動畫的設定中，本介面提供了一個平均時間生產單一型體的功能，使得此塑模行為的進行得以連續不斷的運作。這些 Maya 軟體中時間軸以及塑模指令執行的設定，還具備多種可能的開發潛力，可以將時間軸的執行速度與空間行為在產生互動，或是將執行的塑型物件與空間控制產生關係，都可能因應出不同模式的產生不同的控制目的。本介面後續將可以利用此塑型行為與空間行為的關係製作出雕刻或其他的工作模式的開發，

受測者對於該介面的使用，多對於空間位置用手控制的方式感到相當的新鮮。由於之前除了傳統滑鼠和鍵盤的工具以外，並未嘗試過任何其他模式的輸入方法。對於在很短的時間以內就利用手位置的移動畫出如此多不同定位的球體物件感到相當快速。對這些受測者來說過去使用 CAD 的經驗相當地麻煩，產生一件型體必須花費大量的時間。因此，在很短的時間內利用電腦畫出概念塑模的行為，對他們來說都是一次相當迅速的操作經驗。該介面在概念塑模行為的使用上，適當地提供直接表現想法的新模式，避免了傳統介面攏長指令的程序。

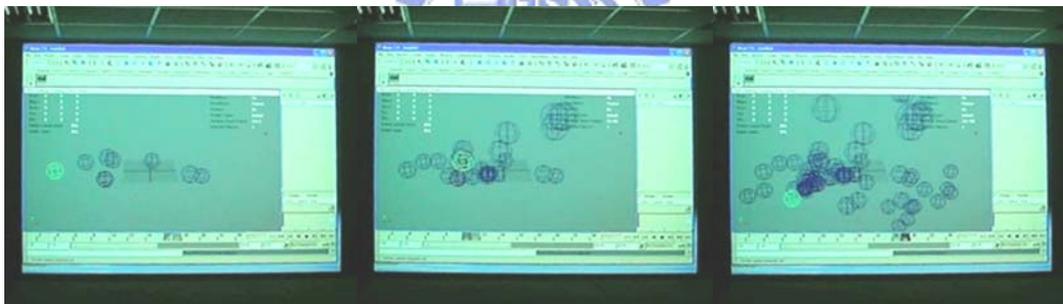


圖 50 受測者使用該介面時的狀況

此手勢輸入介面提出了一種新的模式，提供設計者概念設計的運作，也影響了概念設計的結果。受測者使用過本手勢空間輸入介面後，均對該介面的使用模式感到興趣，在完全不需要教導的情況下，就自行使用來作畫，描繪空間型體。這些受測者均表示，將來如果有一個上市的產品他們非常想要擁有一套。在測試的過程中，可以發現設計者概念階段的想法是相當的無限，可以突然的描述文字，甚至連棒棒糖以及狗的臉部這類充滿想像力的立體型狀都得以發展。透過此介面的使用是，展現出高度的想像空間。受測者表明過去在使用其他媒材發展概念設計的想法，並沒有辦法這麼地天真且充滿想像。傳統利用雕刻、黏土、紙板等過程中，實際生產一個形狀的過程相當的吃力，無像此介面提供的模式，只需要動動手，形狀就可以被描述出來。經過統計，該受測者受測所使用的塑模程序假如透過幾種傳統介面的操作，最少必須消耗 8 個操作步驟，本介面只需花費 2 個步驟。利用本介面在此塑模方法中確實比起傳統介面節省不少步驟。

介面		操作過程	步驟數量
傳統 CAD 介面	拖曳座標向量的方法	移動游標點選產生球體的功能的圖示→移動游標點選球體→移動游標至 x 軸圖示→拖曳 x 軸向量→移動游標至 y 軸圖示→拖曳 y 軸向量→移動游標至 z 軸圖示→拖曳 z 軸向量→重複此程序	8
	數值輸入方式的方法	移動游標點選產生球體的功能的圖示→移動游標至 x 軸座標輸入工具列→鍵入數值→鍵入輸入鍵→移動游標至 y 軸座標輸入工具列→鍵入數值→鍵入輸入鍵→移動游標至 z 軸座標輸入工具列→鍵入數值→鍵入輸入鍵→重複此程序	12
手勢空間介面		移動手部控制球體的位置→點選決定位置→重複此程序	2

表 7 傳統 CAD 介面與手勢輸入介面塑造球體物件的流程比較

5.3.1 光點追蹤的效率

由於 Matrox CronosPlus 同時擷取兩台 CCD 攝影機的速度本身有限制，搭配 Maya 環境中 Animation 的執行。運作中最快的效率僅能維持 0.8/sec 的速度。因此，設計者在操作球體移動的行為並不流暢，球體和球體運作中會出現片段的間隔。

5.3.2 兩台攝影機所追蹤的範圍

一般規格的 CCD 攝影機僅提供 640*480 的像素。因此，追蹤亮點的距離太遠將無法擷取到有效的座標資訊，而距離 CCD 設影機太近，則可以擷取有效的空間範圍又過於小。因此，CCD 攝影機提供設計者活動的範圍，必須受限於解析度，而無法太廣。

5.3.3 空間位置的精準度

由於光點座標的擷取，考量了本實驗運用不同 LED 顏色分別代表的不同訊號控制的設定。因此，本實驗中的 CCD 攝影機並未加上濾鏡的過濾光源，而直接讀取原始的影像資訊來辨識光點。因此，光點的精準度將受到環境光源的干擾。其實，該限制是可能被改善的。

6. 結論

本研究針對概念塑模的設計行為與 CAD 使用的操作關係發展一套符合設計者工作的模式，經過使用者的測試以及討論之後，使用者認為比起傳統介面的操作方式，該介面讓發展概念塑模的行為更容易。本研究發現過去 3D 使用者介面的開發以及研究者的研究背景，都未能切身的具備設計者工作需求的知識，僅在技術導向的開發上酌墨。雖然在研究在功能上均提供了空間控制和塑型行為的功能，但是在後續的發展以及塑型上限制在簡單的 3D 輪廓或是雜亂章法的草圖形體。而本介面整合空間操作行為以及視覺參考行為的設計，在設計發展中提供連續的設計方法，讓細節型塑以及整體的發展有一套較完整的操作模式。

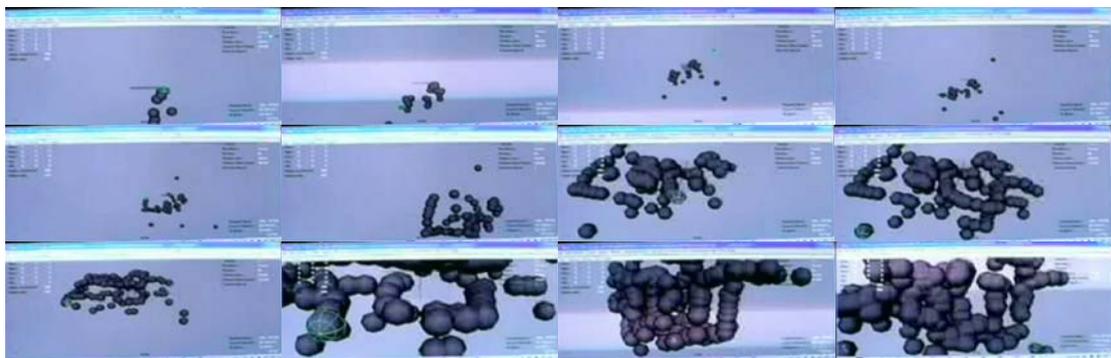


圖 51 手勢空間輸入介面視角瀏覽與空間塑模控制並行的設計過程

本研究立足在建築設計者概念設計的行為，利用現有已開發的技術，設計一空間手勢的輸入介面。透過影像的擷取讀入空間行為以及手勢的控制，提供設計者利用一套有效的手勢控制模式從事設計。

空間輸入系統為本研究的主要設計，除此以外本手勢還提供視角控制的模式。視角控制系統能讓設計者一邊從事空間輸入行為時同時控制視角的控制。在過去 CAD 環境中，CAD 指令的操作只允許線性的指令執行程序，並無法做到同時控制兩種以上的指令。本研究基於設計過程是視覺的參考以及形體的塑造兩種行為並行的行為，企圖突破傳統單一指令行為的限制，提供設計者一個具有塑型控制與視角瀏覽控制並重的環境。

6.1 貢獻

CAD 軟體提供設計者可以運用更有利的工作平台解決設計問題，該工具長久以來提供了既定的操作方式，使得設計者並未思考到 CAD 的其他可能，或是已經將之定義成為工具性的角色。如今，數位互動的技術已經相當的成熟與多元，但是礙於技術門檻以及知識背景的關係，並未在兩者之間成功地搭起一座橋樑。本研究便是在設計者設計操作的行為與電腦 CAD 系統之間扮演溝通的角色，提供設計者以最簡單和最接近設計概念階段在意的空間感知的表現作為與電腦 CAD 中塑型行為溝通的方法，使用者並不需要刻意的轉換設計知識成為操作的語言與繪圖行為進行溝通。

本手勢輸入介面所採用的只是現有技術當中相當平凡的影像辨識，以及現有滑鼠與鍵盤的設備，並未涉及高技術的應用，透過改裝以及組合所呈現出的效果對設計者的使用卻相當震撼。該介面提供手指與 CAD 互動的工作環境，可以任意的呈現想法，相較於原本機械化的執行過程，大幅提升對設計者創作時的可能賦予的價值。在使用者測試中，受測者的反應“使用該介面，迅速的操作以及流暢的工作流程，讓我在很短的時間中，可以創造出大量的概念模型，這在傳統塑模中未能獲得的經驗”。省略了控制圖形介面的步驟，直接用手動作的控制，非常利於學習使用。

手勢空間輸入介面已經為空間擷取行為以及 CAD 環境之間提出了的工作平台，未來對於更多功能的加入可以基礎於本研究的成果持續發展。後續還可以搭配快速成形機 (RP) 的運用，迅速地成型實體形體，提供設計者一套數位設計的工作流程。整個介面由便宜的一般裝置所搭配出來的，因此總共只花費約新台幣 1200 元的價格，比起一般專業的空間輸入設備，動輒十幾萬的價格便宜了許多。後續大量量產的開發以及普及化的使用，執行可能性都相當有利。

6.2 限制

由於本研究由本研究者獨立製作完成過去為純建築背景對於 C 語言，以及 Maya 環境 MEL 腳本的使用並不熟悉。因此，該研究實作的目的僅以雛型(Prototype)為主，各方面效能的執行尚有許多改進的空間。本系統實際達成正常運作的程度。視角操作的左手工具，由於手腕的偵測還不是理想，並由於本研究手部控制的概念目的僅是傳達視角控制的行為可以以一隻手全權操作的可能性，後續將有更適合的感應器可以取代之，以更符合手部的控制，因此，使用者測試並未使用。至於影像辨識以及影像擷取的運作，其實都還有精準度和效能的限制，也提供給後續技術方面也更有有效的改善空間。

6.3 後續研究

後續希望可以改善現有的影像辨識演算法，提供可以在正常光源的環境下執行該介面並獲得更即時的執行效能和精準值。在整體環境的設定希望可以結合現有的 VR 環境，將 Maya 環境中新增攝影機的設定將可整合成立體視覺呈現，提供更強大功能的模擬環境。另一個方向可以將此裝置定義為簡單的桌上型虛擬環境系統，設計工作中不需要刻意的架設環境即可使用。在設計結果的應用上，後續希望可以整合在自由形體類型的設計過程中，在設計中使用手勢比對實體模型中快速的生產具有空間尺度的形體。在環境規劃的應用可以使用在植栽以及空間中點景的模擬，快速的規劃空間尺度以及標記。

該介面在未來可以深入在 CAD/CAM 的應用上，討論電腦輔助設計層面的角色，本介面的開發已經具體的達成 CAD 的草圖階段有利於概念發展的輔助，後續在建築設計流程的中期和晚期，該如何精確的調整草圖型體的形狀至實際尺寸的校正方法，以及

在曲面型的的形狀發展出來後，如何提供一套有效的運算系統，將之結構的狀況自動化解決，並能直接搭配 RP 的使用，以及雷射切割機的製作，接式後續建築領域的可以繼續發展的方向。

未來可以探討電腦與設計者之間的關係，電腦可能不再是工具性的角色，它是可以賦予人工智能的，如何在設計者運用電腦工作的過程，透過電腦的提醒或是參與設計，激發設計者工作時的思考。透過紀錄、資料庫系統、智能的機制，電腦可以像是另一顆人類的頭腦一齊同設計者完成設計。



參考文獻

英文文獻

- Diniz, N.: 2003, An approach on 3D digital design: free hand form generation, MSc thesis, UCL, London.
- Fatah gen. Schieck.: 2001, Interactive Form Creation: Exploring the creation and manipulation of free form through the use of interactive multiple input interface, MSc thesis, UCL, London.
- Gribnau, M., and Hennessey, J.: 1999, Designers are Two-handed, Asian Design 1999, Tokyo, Japan.
- Gross M. and A. Kemp, 2001.: Gesture Modeling: Using Video to Capture Freehand Modeling Commands, CAAD Futures 2001, Eindhoven, The Netherlands.
- Huang, C.C.: 2006, An Approach to 3D Conceptual Modeling: Using Spatial Input Device, ASCAAD 2006, UAE
- Igarashi et al., 1999, Teddy: A sketching interface for 3D freeform design, SIGGRAPH 1999, Los Angeles
- Jenkins, D. L. and Martin, R. R.: 1993, The importance of free-hand sketching in conceptual design: Automatic sketch input, ASME 1993, Albuquerque.
- Jacobs, S. P.: 1991, The CAD Design Studio: 3D modeling as a fundamental design skill. McGraw-Hill 1991, New York.
- Kato, O., Iwase, H., Yoshida, M. and Tanahshi, J.: 1982, Interactive Hand-Drawn Diagram Input System, FRIP 1982, Las Vegas, Nevada
- Karpenko, O., Hughes, J. F. and Raskar, R.: 2002, Free-form sketching with variational implicit surfaces, Eurographics, Saarbrücken, Germany.
- Lee, C.H., Hu, Y., Selker, T.: 2005, iSphere: a Proximity-based 3D Input Interface, proceedings of CAAD Futures 2005, Vienna, Austria.
- Lee, C.H.: 2005, Spatial User Interfaces: Augmenting Human Sensibilities in a Domestic Kitchen, MS thesis, MIT, Boston
- Lipson, H. and Shpitalni, M.: 1997, Conceptual design and analysis by sketching, AIDAM 1997.
- Laurel, B.: 1991, Computer as Theatre, New York, Addison-Wesley Publishing Company.
- Pratini, E.: 2001, New Approaches to 3D Gestural Modeling - the 3D SketchMaker Project, eCAADe 2001, Otaniemi, Finland.
- Pugh, D.: 1992, Designing solid objects using interactive sketch interpretation, Computer Graphics Symposium on Interactive 3D Graphics 1992, 25(2):117-126.
- Senagala, M.: 2003, Postspatial Architectures: The Emergence of Time-like Parametric Worlds, paper published in Cultura Digital y Diferenciacion, Proceedings of the SIGRADI International Conference, Rosario, Argentina, pp. 375-382. ISBN: 987-9459-51-2.
- Sutherland van E.: 1963, Sketchpad: A man-machine graphical communication system, In AFIPS Spring Joint Computer Conference, pages 329--346, 1963.

- Schkolne, S. and Schröder, P.: 2001, Tracing the Line of Thought on the Responsive Workbench, Cast2001, Newark
- Zelevnik, R. C., Herndon, K. P. and Hughes, J. F.: 1996, Sketch: An Interface for Sketching 3D Scenes, SIGGRAPH 1996, ACM, Vol. 30, No. 4, pp. 163 – 170.

中文文獻

- 吳彥良, 3D 反光球在 VR CAVE 中的互動, 交通大學建築研究所碩士班論文, 民國 93 年
- 李佳勳, “互動式媒體”以感官多模式探討數位設計環境中人機互動介面設計與應用實例, 成功大學建築研究所碩士班論文, 民國 91 年
- 張粧亭, 觸覺在概念模型中的幾個現象, 交通大學建築研究所碩士班論文, 民國 94 年
- 向士賢, 使用手部動態輸入裝置操控虛擬空間中的 3D 設計物件, 交通大學建築研究所碩士班論文, 民國 94 年
- 呂凱磁, CapX : 虛實共存之空間截取裝置, 交通大學建築研究所碩士班論文, 民國 94 年

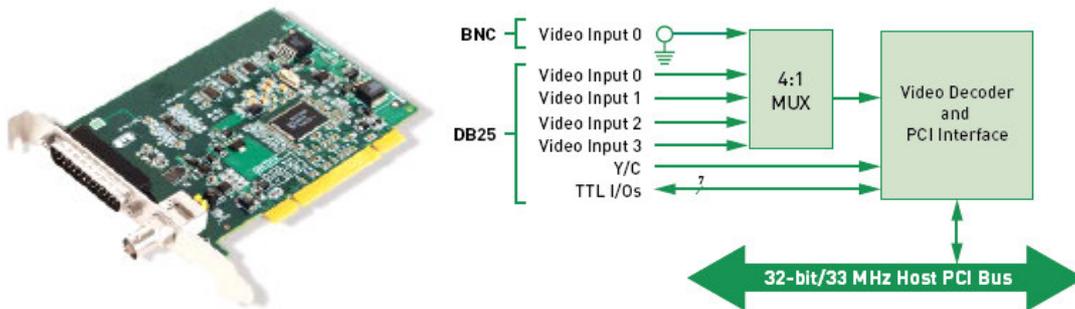
參考網頁

- Gesture Recognition Homepage: <http://www.cybernet.com/~ccohen/>
- Direct X: <http://www.microsoft.com/directxDirectXHome/>
- Space Mouse: <http://www.3dconnexion.com/spacemouseplus.htm/>
- Microscribe: http://www.immersion.com/digitizer/products/microscribe_g2.php/
- Matrox: <http://www.matrox.com/imaging/products/cronosplus/home.cfm/>
- Inition: Innovative Graphics Solutions: <http://www.inition.co.uk/inition/InitionPriceList.htm/>
- Ascension Technology Corporation: <http://www.ascension-tech.com/>
- Cyber Glove: <http://www.vrsolutions.com.au/vrsproducts.htm/>
- 3D mouse: <http://www.3dconnexion.com/products/3a3.php/>
- Flock of Birds: <http://www.ascension-tech.com/>
- MicroScribe: http://www.immersion.com/digitizer/products/microscribe_g2.php/
- Cube mouse: <http://imk.gmd.de/docs/ww/ve/>
- Mark D. Gross in ASCAAD2006 speech:
<http://code.arc.cmu.edu/~ellendo/0.ascaad/0.default.html>
- House_n project: http://architecture.mit.edu/house_n/
- Augment Reality kitchen project: <http://web.media.mit.edu/~jackylee/kitchen.htm/>
- Home 2020 project: <http://code.arc.cmu.edu/lab/html/projects.html/>

附 錄

Matrox CronosPlus

Ultra low-cost frame grabber for standard analog monochrome or color video acquisition.



Key features

- video capture board for PCI form factor
- captures from NTSC, PAL, RS-170 and CCIR video sources
- connect up to 4 CVBS or 1 Y/C input(s)
- trigger input
- 7 TTL auxiliary I/Os
- 32-bit/33MHz PCI-bus master
- available software is sold separately and includes Matrox Imaging Library (MIL) /ActiveMIL, MIL-Lite/ActiveMIL-Lite
- support for Microsoft® Windows® 2000 and Windows® XP
- third-party support for Linux

Acquisition

- analog composite (CVBS) or Y/C NTSC/PAL
- analog RS-170/CCIR
- automatic gain control (AGC)
- BGR32 packed, RGB24 packed, YUV422 packed and MONO8 pixel formats
- Opto trigger input (sync. to video)
- 7 TTL auxiliary inputs and outputs
- connect up to 4 CVBS or 1 Y/C

Formatting

- input cropping (ROI capture)
- vertical/horizontal flip

- arbitrary downscaling to 1/64th of a field

Host interface

- 32-bit/33 MHz PCI bus master
- interrupts for start and end of field, frame and sequence capture
- universal 32-bit card edge connector

Connectors

- 1 BNC connector for composite video input
- DB25 for TTL I/Os, 4 composite video inputs, Y/C input and trigger

Dimensions and environmental information

- 213.7 cm L x 9.1 cm H (5.4" x 3.6")
- operating temperature: 0° C to 55° C (32° F to 131° F)
- relative humidity: up to 95% (non-condensing)
- FCC/CE class B
- RoHS-compliant

資料來源：http://www.matrox.com/imaging/products/frame_grabbers.cfm



自 傳

西元 1982 年出生於台北，魔羯座 O 型。從小對於樂高、拼圖以及組合形式的玩具深感興趣。父親從事建築業，因此，在高職選填志願時不幸步入了建築科。在高職畢業時即對 AutoCAD 軟體的操作相當熟練，然後在台北科大讀書的期間對於電腦繪圖在設計上應用的議題感到高度興趣。在建築設計過程中大量的應用電腦輔助從事設計操作。北科大畢業那年相當幸運地考取交通大學建築研究所，才開始接觸建築設計以外，電腦科學相關的課程。在修業期間對於程式設計的課程感到高度熱忱，故碩士論文以實作為主的方向著手研究。碩士論文花費相當大部分的力氣在解決技術上的問題，另一部分在探討設計者操作介面過程中的設計思考問題。算是利用新學：程式設計 解決過去使用 CAD 操作設計時的疑惑。



在專業上對建築設計、舞台劇場設計、CAD、HCI、影像辨識、單晶片控制等技術，均相當地感興趣而且有基礎的學習經驗。對於 AutoCAD、3ds Max、Alias Maya、Photoshop、Premeire、Visual C++、Lua Programming 等軟體熟悉。一般興趣有籃球、壘球、桌球、羽球以及唱歌、吉他和戲劇表演等。學經歷如下：

- 民族國小 June 1994
- 敦化國中 June 1997
- 大安高工 建築科 June 2000
- 台北科技大學 建築系 June 2004
- 交通大學 建築研究所 July 2006

E-Mail : Scottie.c.c.huang@gmail.com

歡迎任何人對我的研究或是其他感到興趣者，主動寫 e-mail 與我討論，請不用猶豫喔，謝謝。