

國立交通大學建築研究所

碩士論文

CapX：虛實共存之空間截取裝置

CapX: Co-existing Design Capturing Device

研 究 生 呂凱慈

指 導 教 授 張登文

中華民國九十四年七月

CapX：虛實共存之空間截取裝置

學生：呂凱慈

指導教授：張登文

國立交通大學建築學院建築研究所碩士班

摘 要

個人設計經驗的表達，常在於設計者所經歷之空間的再現與重組。透過電腦運算影響，設計者個人經驗，以及空間之再現與重組，可能有不同的看法。基於此角度，在綜合建築理論家 B.Tschumi 與數位研究者 Y.Kalay，兩者分別對於定義建築（空間，運動和事件）與場所（空間，活動和概念化）的三項元素；進而，推演而成虛實空間，互動性行為和設計活動三項元素，所構成之虛實共存設計。

透過回顧相關研究探討，虛實空間與互動式行為。進而，在觸覺，視覺與聽覺三方面控制裝置，執行訊號輸入給予運算機制，衍生型態或是執行瀏覽互動性行為。延續其不變的原則，是保持使用者的自由度，但個別控制裝置存在，皆有部分的限制。再者，由實虛狀態共存狀態之元素來推演而成，本研究之運算模型——CapX (Capture eXperience) Model。CapX Model 意指截取設計經驗的模型。以使用者為中心之虛實空間，在針對使用者截取動作以及訊號截取裝置下，透過截取行為，進行型態生成的設計。

在實作 CapX 裝置過程中，透過四個實驗：實體媒材與實體空間實驗，實體媒材與虛擬空間實驗，虛擬媒材與實體空間實驗和虛擬媒材與虛擬空間實驗。其分別探討 CapX 之資料結構，並提出系統架構，綜合實作內容，針對 CapX 進行檢討。

關鍵字：虛實共存設計，虛實空間，互動性行為，設計活動，空間經驗。

CapX : Co-existing Design Capturing Device

Student: Kai-Tzu Lu

Advisor: Teng-Wen Chang

Abstract

The Base on the theory of the B.Tschumi and Y.Kalay, this research defines three elements of the co-existing design that includes virtual/physical space, interactive behaviours and design activities. By integrating this model with computational approach, this research proposes a mechanism called CapX to capture the design experiences during the co-existing design process. The co-existing space representation and design activities are mapping into three different types of digital signals and their combination. The digital signals from designer behaviors are captured by interactive devices and computed within CapX model. The implementation of CapX is conducted within four stages of experiments. The data flow as well as system framework are refined based on the experiment result and analysis.

Keyword: co-existing design, virtual/physical space, interactive behaviors and design activities, space experience.

謝 誌

本篇論文主要感謝辛勤指導的張登文教授，由於它的細心教導，讓本人對數位化的建築設計環境，建立了日後發展的觀點。以及交通大學劉育東老師，張基義老師，侯均昊老師及葉李華老師，在這兩年的教導。再者，感謝本人的父母辛苦栽培及支助。最後感謝交通大學的所有同學們的互相切磋，讓彼此在研究的過程，相輔相長。



目 錄

第一章 緒論	
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	3
1.3 研究方法	4
1.4 研究架構	5
第二章 邁向虛實共存設計環境	
2.1 電腦即是媒材	6
2.2 3D 虛擬空間概念	7
2.3 事件加入單一虛擬空間	8
2.4 多數虛擬空間之串聯	9
2.5 落實虛擬空間之嘗試	9
2.6 動態空間型態	10
2.7 邁向互動式虛實共存設計	11
第三章 相關研究	
3.1 虛實共存之呈現	13

3.2	虛實訊號傳遞	16
3.3	小結	23
第四章 理論推演-CapX Model		
4.1	截取行爲	24
4.2	虛擬與實體綜合狀態	25
4.3	CapX Model	30
4.4	CapX 之使用者行爲分析	32
第五章 實作CapX		
5.1	技術評估	40
5.2	虛實狀態實驗	45
5.3	CapX 之系統架構	48
5.4	系統操作	51
5.5	實作檢討	56
第六章 結論與未來研究		
6.1	研究貢獻	58
6.2	研究限制	59
6.3	未來研究	60
參考資料		61



第一章 緒論

1.1 研究動機

設計是無數個人空間經驗的累積，藉由累積空間經驗，再現於實體空間。類似的觀念，就如同建築師Bernard Tschumi曾說過的：“我的假設是建築可以通過三種元素來定義和解析，它們是空間（身體和物質空間的構成），運動（身體在空間中的運動）和事件或者說是使用”。其說明，建築涵構不是指一棟建築和他周圍環境的關係，而是指空間和在空間裏所發生的運動之間的關係。也正是通過對身體運動的各種狀況，及其相應的建築空間進行研究。在此，發現了空間和運動之間的不穩定性和分離性特徵(Tschumi 1987)。另一方面，從電腦運算的方式產生的虛擬空間中，Yehuda Kalay舉出具有相類似的元素組合來定義“場所”。其所提出之場所組成元素為：活動，空間以及概念化(Kalay and Marx 2001, Kalay and Marx 2003)。其二者皆對場所或建築有相類似的定義，無論在虛擬與實體的環境下，分別討論到活動，空間與抽象化的事件，倚賴此三項因素為設計的主體(圖 1)。

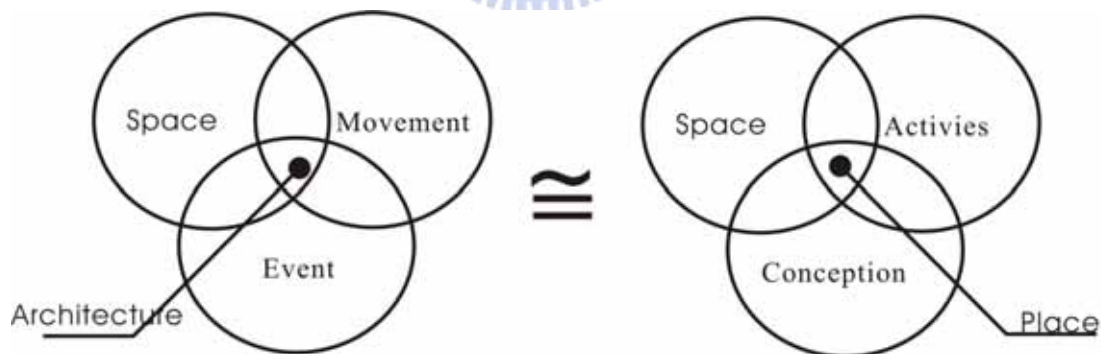


圖 1：左為Tschumi定義建築形成元素，右為Kalay定義場所形成元素。

藉由兩者分別提出對於虛擬與實體定義場所與建築的因子，延續其相似性並進行轉換，在虛實共存設計中，延續活動，空間與抽象化的事件，將Tschumi與Kalay所定義的空間，比照存在的狀態，而衍生為虛擬與實體空間。另外，將兩者提出的運動與活動，依照使用者的動作，轉化為互動式行爲。並且將兩者定義的事件與概念化，類比一般設計

經驗中，設計活動主要是尋找材料資源，並將資源以照設計者概念想法進行變形的設計活動。因以截取空間生成型態為設計目的，故以電腦運算的角度切入，綜合上述，虛實共存設計，其所相互影響元素分別為，虛實的空間，互動性行為和設計活動 (圖 2)。虛實的空間，由視覺可及，以及周圍可碰觸的物件所組成，環繞於設計者。在此，將虛實空間定義為環繞性空間 (Surrounding space)。互動性行為包含由人所能控制的媒材；以及物件與空間產生互動時的動作，其為截取行為(Capturing behaviors)兩部分。最後結合義形成型態為目的的設計活動(Design activities)內容，產生設計經驗。此三項元素的結合，將是本研究所期望給予設計者之虛實共存設計。

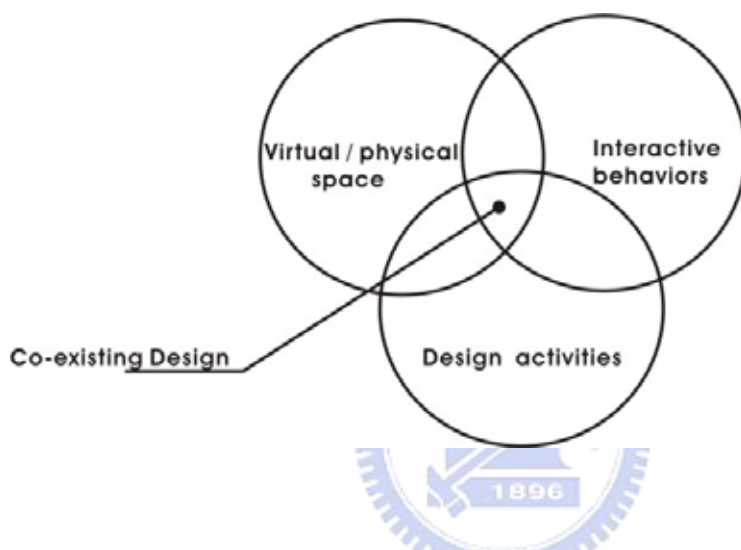


圖 2：研究範圍(虛實空間，互動性行為，設計活動)。

但是在虛實共存設計中，延續活動，空間與抽象化的事件，通過在一個可變的系統，建立起空間和身體運動之間的互動關係，創造出具有虛實互動的空間體驗。在這裏，它可以根據使用者的身體運動和感應，而相應地調整自己的形狀、尺寸和氛圍；同時，這種調整反過來又會影響使用者的行為。也就是說，空間和身體運動合二為一。George Yu 建築師事務所的建築裝置作品 **Blow Up**(Yu 2004)：為南加州建築學院設計的這個裝置品 (圖 3)，其球體材料採用可膨脹的乙烯基塑膠，並且其柔軟彈性的表面上被安裝了觸覺式的電子感測器。採用不同力度和方式觸動其表面時，整個裝置會通過感測器的運作相應地產生一系列持續變化的非線性聲響。這種人的行為與心理反應同空間裝置之間的互動體驗，增加人的好奇心、參與感和合作精神。數位創作環境所提供的無重力與去物質性，以及許多方便的指令工具，讓設計者完全沉浸在形式量體之間的生產與操作中。透過曲線的操作，空間量體完全自垂直水平系統的限制之中解放，以展現數位作品液態與自由的特質。因此，本研究基於環境存在的狀態介於現存實體的環境以及可被運算模擬出來的虛擬空間，進行互動式活動，產生虛實共存的设计經驗。



圖 3：George Yu 建築師事務所的建築裝置作品 Blow Up。

1.2 研究目的

為培養設計者建立空間觀念，常使用案例分析的方式，誘導設計者研究著名建築師之設計作品，從其模型或圖面中解析出設計內涵，進而累積設計者的空間經驗。其中最常見的應用，是倚靠 2D 的圖像，縮小比例模型及實體空間。這些對於立體空間，雖有著一定的刺激，但並不是最直接的紀錄間經驗的方式。然而，在虛擬與現實模糊的狀態，設計者的空間經驗截取，不單只是從現存的資料(文字, 圖片或模型...)，藉由分析建築案例，學習建築設計中所具備的基本需求與步驟。

另者，目前對於空間性探討，從電腦運算角度切入的相關研究對虛擬和實體狀態多加著墨。從五十年代，光筆系統的研發，帶動起互動性數位工具加入設計環境的浪潮。設計者開始以媒材的角度看待電腦，建立起 3D 虛擬空間概念，加入虛擬空間的事件，到近期針對電腦輔助繪圖中，再度思考輔助的定義。設計者接受數位化在設計中追求的是如何虛擬化實體空間，以數位化技術再現“實體空間”。對於虛擬與實體空間的界線，已逐漸模糊。

本研究轉換 Tschumi 與 Kalay 的三元素而為：虛實的空間，互動性行為和設計活動。進一步說明，虛實空間為環繞性空間(Surrounding space)。透過媒材角度，看待互動性行為包含由人所能控制的媒材；以及物件與空間產生互動時的動作，其為截取行為(Capturing behaviors)兩部分。最後結合設計活動(Design activities)的內容，產生設計經驗。然而，此種虛實共存設計元素應該是如何被運算，以及如何被執行及如何呈現，這將是本研究將要探討的方向。在此本研究將“擷取”偏向切斷局部，以及攔截訊號，取得資料，故都以“截取”來表示。基於虛實共存的研究方針，實體互動性的操作適另一項龐大的研究課題，在此篇論文初步先以探討虛擬環境所提供的設計元素，虛實狀態共存的設計進行推論，其所可能產生的設計活動，配合實體的控制媒介，製作虛擬模型，並將模型訊號傳至實體空間。關於實體間型態的生成，礙於機械裝置技術與實作問題，在此階段不予討論。

1.3 研究方法

(1) 相關理論整理及回顧

以虛實共存的初步的概念，進行建築設計案例，研究的整理空間存在元素，以及回顧電腦虛實互動的發展對建築設計的影響，討論設計者對電腦輔助設計的觀念，並依照(1) 虛擬空間呈現，(2)虛實共存空間與(3) 互動性控制裝置。三方向進行虛實共存技術性研究的回顧。

(2) 架構 CapX 理論

本步驟藉由相關研究之分析及從型態生成的方法來推演空間經驗是如何被截取，提出本研究之運算模型——CapX (Capture eXperience) Model。包含：截取行為、環繞性空間和設計活動。

(3) 實作 CapX 系統

實作 CapX 互動式的環境，其步驟為：(1) 技術評估；透過可輔助功能元件中的需求，且普遍性高，程式門檻值和所提供立體環境效果，來評估現在發展的軟硬體技術。(2) CapX 架構；建構 CapX 在使用者同時操作虛擬與實體物件，將訊息傳遞給虛擬與實體

空間，執行瀏覽或變形的動作，引出系統架構訂定基本的操作功能。(3) CapX 之操作性敘述；依照技術評估選擇使用的媒材，配合媒材特性及憑藉設計活動中所產生的直覺式的截取行爲，解釋行爲所傳輸的指令。(4) 使用者介面；讓使用者表示截取式的設計活動的訊息與電腦溝通介面，藉此產生互動的行爲；介面主要接收由外部使用者操作的指令，經由電腦傳遞訊息讓使用者瞭解操作狀態。

(4) 透過案例測試及評估 CapX

爲測試及了解 CapX Model 在設計中的實用性，透過一個實驗性的設計題目的操作，針對系統的操作狀況進行評估其優缺點。並嘗試將虛擬空間的訊號傳到實體間中，了解虛實共存的互動性設計狀態。

1.4 論文架構

- 第一章 簡介；針對研究動機，研究內容以及步驟作基本介紹。
- 第二章 研究背景；描述相關建築設計與電腦輔助設計領域過去，以及相互影響，敘述本研究之研究範圍及研究目的。
- 第三章 相關研究；依照(1)虛擬空間呈現，(2)虛實共存空間與，(3) 互動性控制裝置。三方向進行虛實共存技術性研究的回顧。
- 第四章 理論推演-CapX model ；經由虛擬與真實的狀態交叉分析，推論 CapX model 設計活動以及運算架構。
- 第五章 CapX 系統實作；評估適當電腦軟硬體研究,製作互動式介面，說明使用者介面及數位工具應用行爲。
- 第六章 CapX 案例評估；測試系統原型是否可被執行操作，進行系統評估，瞭解本研究在執行上的可能性以及限制。
- 第七章 結論與未來研究；探討本研究系統是否可滿足初期所假設的狀態，以及其對設計的影響及未來發展方向。

第二章 研究背景:邁向虛實共存設計環境

虛實共存設計議題從電腦輔助發展是有跡可尋。由於電腦輔助發展方向多樣，因此，本研究由人與電腦溝通的介面著手了解。在從數位化媒材裝置角度切入，了解互動式裝置的發展對設計之影響，確定設計和虛實共存的環境之相互關係。以下針對數位化的發展帶給設計的影響分為(1) 電腦即媒材，(2) 3D 虛擬空間概念，(3) 空間事件加入單一虛擬空間，(4) 多數虛擬空間串聯，(5) 電腦輔助建築設計，(6) 動態空間形體和(7) 邁向互動式虛實共存設計，加以進行說明虛實共存的發展背景及方向。

2.1 電腦即媒材

首先，從媒材裝置角度，看待在 60 年代早期，Ivan Sutherland在同一實驗室從事定名為Sketchpad 的研究計畫(Sutherland 1965)，該項計畫將空間資訊，透過互動形式來進行電腦繪圖的工作(圖 5：右)，此時開始了電腦繪圖史上廣泛應用互動式電腦繪圖的起端。在此階段設計者轉換對待電腦的態度，建立起電腦即是媒材的觀念，從三方面切入，(1)空間資訊化，(2)互動性，(3)設計知識再現。空間資訊化，以點、線、面的數字資料記錄儲存，轉化電腦繪圖的空間資訊。1963 年電腦開始具備畫圖的能力，將電腦在繪圖的能力運用建築設計。此時設計者將電腦視為設計媒材的一種項目。並且，互動性的突破性發展，搭配著Douglas Engelbart創造Tool Kit的觀念，提出oN Line System (NLS)，首次出現滑鼠、視訊會議、超文本等，人機互動的起始點(Engelbart 1962)(圖 5：左)。電腦的操縱性提升，讓設計者透過互動性操作簡單的使用，逐漸接受電腦對於設計上的幫助。另外，設計知識再現跟衍生機制，在人工智慧的發展，也應用到建築設計思考中，以及以電腦繪圖的能力來記錄大量建築圖文資料及設計知識，也就是電腦中的建築知識，和形狀文法的智慧型衍生系統，進一步建立電腦輔助設計的基礎。在此一時期，虛擬世界藉由互動性工具及智慧型系統逐漸吸引設計師的注意，但對其可能的呈現及對實體的影響仍未被探討。

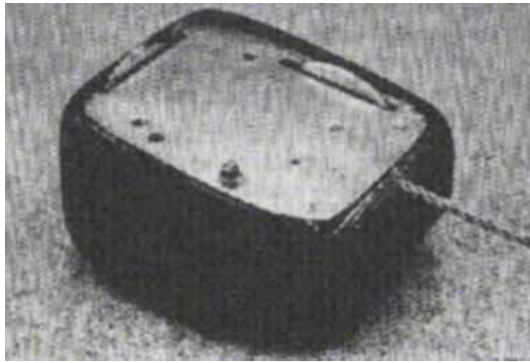


圖 5：互動式裝置左為Douglas Engelbart滑鼠原型，右為Sketchpad 的研究計畫。

2.2 3D 虛擬空間概念

跟隨電腦即是媒材的觀念，在此階段由於 3D 虛擬空間概念的呈現，電腦運算對於空間的表達，以追求模擬真實空間為主。80 年代，由於廉價但功能強勁的微處理器和存儲裝置的出現，使分散式智慧電腦網路和分散式資料庫得以發展，更多的計算機工作由大型中央處理轉移到了CAAD工作站來運行，反應速度大大提高。此時建築設計者，嘗試利用動畫的技術，引入虛擬環境。MIT的Bolt提出“Put -That- There” 系統，將物件以視覺化的呈現在 3D 虛擬空間中，進一步描述“Media room”空間資料管理系統(Spatial Data-Management System, SDMS)的概念(Bolt 1980)(圖 6)。藉此，設計師開始逐步建立虛擬空間的概念，此時只是單純呈現，重現在電腦空間再現。

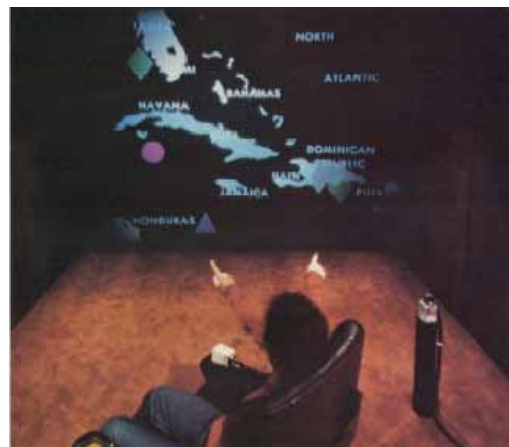
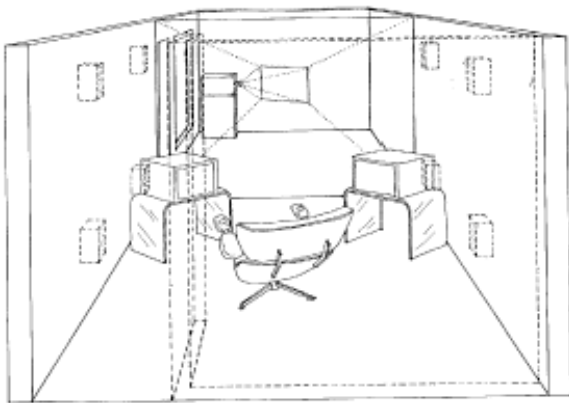


圖 6：“Put -That- There” 系統，視覺化的呈現再 3D 虛擬空間。

2.3 事件加入單一虛擬空間

由於虛擬空間模擬以逐漸成熟，虛擬空間不再只是，再現即有實體空間，而是進一步讓使用者利用互動的方式，將事件加入虛擬空間。其中，美國科幻小說作家William Gibson提出另一個名詞—Cyberspace，它是指可以在世界的範圍內，幾千人同時體驗的電腦虛擬環境。繼立體虛擬空間概念成立之後，加入多人的活動，而產生空間事件。另一個空間事件案例，由Bill Viola運用data space的觀念，將希臘神廟到歌德教堂的歷史性建築紀錄到個人電腦中。Viola 表達此種空間是一種非線性矩陣資訊，並提供人瀏覽的任何方向的自由度(Viola 1988)。提供瀏覽的虛擬空間，不再只是單純模擬，而能將實體的訊號傳入虛擬空間中，此時互動事件直接的影響設計在虛實的狀態。1990年起，電腦在數位影像處理與合成技術日漸成熟，3D studio Max與Maya問世，電腦模擬與動畫能力發展健全。澳洲藝術家Jeffrey Shaw與Dirk Groeneveld開始營造虛擬城市 “The Legible City”，以事先錄好 3D的城市景象，包括街景、街道轉彎、標誌等等，都是以文字與句子構成。如紐約市是以名人所說與城市相關的句子建構，而阿姆斯特丹則是以該城市的歷史為主。作品的設置是將一部腳踏車放在三面投影螢幕中間，手把與踏板都連接上電子感應器，當觀者採動踏板，或轉動手把，便可以感受乘騎腳踏車，悠遊於曼哈頓或城市中閱讀之旅的樂趣(Shaw 1991) (圖 7)。另外，沈浸式的虛擬實境 “The Cave” 於1992年在SIGGRAPH第一次展示，在一個方形小房間裡，觀者戴上立體目鏡(Stereo glasses)，操作 3D滑鼠 (Wand)，即可以即時看到完全由觀者操控的虛擬景象。完全沈浸式的虛擬環境，讓使用者感受到新創的時間與空間。透過互動回饋給使用者的感知，讓虛擬空間的無重力性與去物質性的特質，與實體空間凱使產生區隔，因此設計行為將有別於實體空間的設計。



圖 7：澳洲藝術家Jeffrey Shaw 與Dirk Groeneveld開始營造虛擬城市 “The Legible City”。

2.4 多數虛擬空間之串聯

有別於上述多為單一虛擬空間狀況，另一方面則為多數虛擬空間之串聯。首先，由 2000 年在資訊所出之現數位保存概念，將從設計一開始到建築使用過程的所有資訊逐一保存，資料形成串聯的需求。為了能長期保存及方便瀏覽，於是運用電腦科技將書籍、文字、聲音影像以及圖片等資料予以數位化，配合功能強大的資料庫檢索系統，並透過通訊網路，提供使用者資料搜尋、截取與處理。並且由 1993 年興起的網際網路，將全球的距離完全拉近，以及將全球的知識完全整合，形成所謂的網際空間，更顛覆了建築向來以點、線、面等幾何關係構成的空間概念。產生虛擬設計工作室(Virtual design studio, VDS)，一個沒有牆面間隔的環境，這個環境幫助分享設計的資料及支援互動性，而不受場所及時間的限制(Schnabel, et al. 2001)。在所謂的VDS中，設計者學生在相同發展基地，設計的選擇結合了細部，分析，文字資料等合作資源共用，構建一個高效的建築資訊迴圈利用機制(圖 8)。



圖 8：虛擬設計工作室分享設計的資料及支援互動性，而不受場所及時間的限制。

2.5 落實虛擬空間之嘗試

在 1995 年起，電腦在自由形體的塑造與施作上漸趨成熟，再加上能更逼真呈現建築的虛擬實境技術也更成熟，越來越多想像不到的空間，甚至基地上被建造起來，如Frank Gehry形成所謂虛擬建築或虛擬空間。設計者運用了大量的數位工具來描繪、整合建築量體的外觀形式，充分展現數位工具在雕塑量體的能力。實虛空間的定義及界限也開始磨糊，更直覺性的界面及實體元素已開始和虛擬的網際空間結合，提供更多元化的設計元素。透過網路把所有參與互動的電腦聯結起來。透過網路的聯結與互動訊息的傳遞溝

通，讓分散各地的電腦組成了一個共用的虛擬世界。此時電腦在許多設計科技不再完全地被視為工具，而是進一步成為思考與呈現設計意念與施作方式的媒材。在 1990 年，**Frank Gehry** 用電腦進行巴塞隆納魚的設計時就代表了數位建築的開始，當畢爾包古根漢美術館在 1992 年完工和**Bilbao**美術館 1997 年的完工，真正的看到數位建築的軌道出現。此外，**Peter Eisenman**用電腦所做的圖解分析，表現了建築形體通過變形和嵌套兩種方法，逐步由簡單的巢狀盒子轉變成扭曲的異角集合體。與傳統設計只重視最後的建築形象不同，圖解是對整個發生過程的表現，而且這個過程最後也變成了總體設計的一個部分(圖 9)。建築變形和嵌套設計技法，是經過分析專案要素得出的結果。因此設計革命，結合於數位工具藉由視覺的模擬來描寫空間。在此階段，設計經驗以逐漸改變。

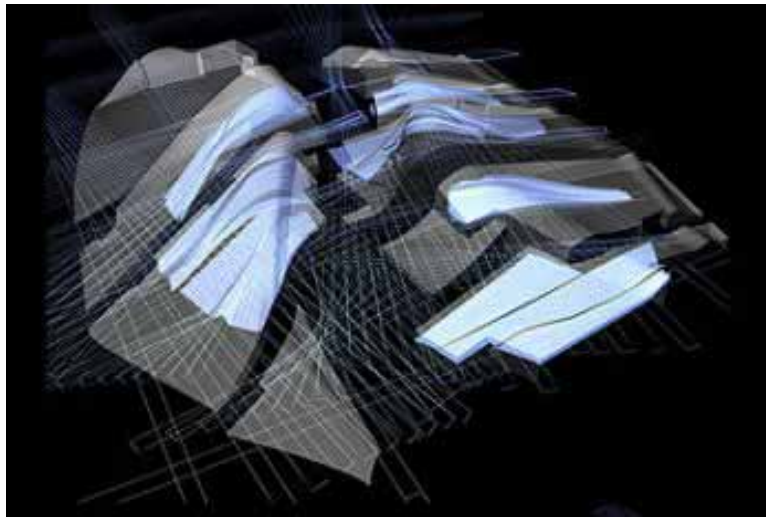


圖 9：Peter Eisenman用電腦所做的圖解分析的設計。

2.6 動態空間型體

在虛擬空間之外，實體空間型體，透過環境與電腦的訊號傳遞方式，走向動態空間型態生成。例如 **Aegis Hyposurface**(圖 10)所製造的動態表面感應裝置，透過音波的概念，讓機械牆面，具有波狀的型變(More, et al. 2002)。此種實體空間型態的互動，讓人機互動成為切實可行的設計運作模式，人對物件或環境產生相互的影響。看待互動式的角度很多元，如人與人，人與環境，人與物件以及人與電腦互動。然而，從電腦運算的角度切入，人機互動介面 (**Human-computer interaction interface**) 各種資訊以可感知的形式(如視覺、聽覺、觸覺等)融合在電腦生成的虛擬環境中。一方面，設計者能夠以人的感知系統、認知系統以及經驗和知識對虛擬環境進行體驗；另一方面， 虛擬環境能

夠理解設計者的行爲（如語音、表情、手勢等），實現與人與電腦之間的互動。人機互動介面所研究的虛實結合，將使用者帶入環繞性空間。此時建築設計上的虛實狀態的模糊性產生。



圖 10： Aegis Hyposurface 機械感應牆面透過聲音訊號自動感應(More, et al. 2002)。

2.7 邁向互動式虛實共存設計

綜合上述之背景，可見空間的定義已由純實體，邁向虛擬及實體共存，而電腦媒材之看法，也逐漸成爲設計之主要影響因素。而互動式虛實共存設計，更包含了立體空間資訊化之呈現，設計經驗以及訊號傳遞等面向。空間資訊化之呈現，由上述以媒材角度下空間資訊改變，提供視覺化的虛擬空間觀念，提供立體的空間資料紀錄，提供再利用與修改的功能。並且，立體空間資訊化之呈現之後，設計經驗在虛實共存模糊狀態下，不再是靜態的呈現與設計結果。設計利用不同媒材及不同階段的設計概念詮釋，透過平面影像拼貼，觀察就可獲得立體空間想像的滿足，視覺是感受空間最主要的感官媒介。如同電影中蒙太奇的手法，是一種動態拼貼呈現，蒙太奇電影試圖藉由視覺觀念解讀影像空間意涵性對於真實空間經驗所造成的差異性，在現實環境中提供了虛構的空間經驗，將存在與不存在的空間體驗交界模糊，電影空間作爲真實空間的再現，由真實環境經驗投射出虛構影像的真實空間。然而，虛擬空間存在相似的經驗，其展現時間與空間的跳接，是點和點的銜接的串連，而存在於三維虛擬環境現象，如(Lu and Chang 2005)所提出的經驗蒙太奇 (Experience Montage) 即爲一例。此種動態性的經驗，提供建築系學生，

透過不斷截取的虛擬與實體空間中學習，獲取屬於自己的空間經驗，並運用在建築設計上刺激想法。然而，在建築設計上設計者可以運用直覺式設計能力，呈現多方面各種空間可能性，此時，設計已經自然的將虛擬的空間經驗，融入設計中。由此可知，虛實空間經驗分享，對於建築設計的學習是重要的體驗步驟。並且藉由訊號的截取與傳遞，將設計者對於外部訊號的反應紀錄並且傳速電腦運算機制，藉由傳遞給予虛擬空間，設計者在此環境下執行瀏覽，截取與重組織設計任務。然而，設計包含了多樣的主題性，由電腦即是媒材的角度出發，看待媒材為一個虛實共存設計與設計者之溝通的管道，其實作及中間可理解的事情，多半利用數位訊號傳遞與立體空間資訊之成現。所以在本研究透過研究媒材，來了解虛實共存設計。



第三章 相關研究

由緒論中所討論相關於虛實共存的设计三個元素，虛擬與實體空間，互動性行為與設計活動。然而設計活動具有多樣性及複雜性，將會在第四章進行理論推演。因此，此章節針對虛擬與實體空間以及互動式行為進行相關研究的回顧。

3.1 虛實共存空間之呈現

虛實共存空間之呈現，以虛擬空間為主。由於電腦媒材的發展，虛擬空間的相關研究分為單一虛擬空間透過視覺錯置產生，立體化虛擬空間以及透過網路連接的多數虛擬空間。透過多面向探討虛擬空間的呈現，進而討論虛實共存空間的相關研究。

3.1.1 單一虛擬空間之立體顯示

單一虛擬空間之立體顯示，為將單一的虛擬空間透過，立體顯示的方式讓使用者更具有真實感。本節舉出相關立體顯示的設備及環境。目前虛擬空間VR相關設備，在瑞士日內瓦大學(University of Geneva)的MIRLab與瑞士聯邦技術學院(Swiss Federal Institute of Technology)的VRLab合作研製的Virtual life network (VLNet)系統(Igor, et al. 1997) (圖 11)，日本京都大學研製的FreeWalk系統(Nakanishi, et al. 1999)，1994年SGL Carbon group以半徑 12 英尺，劇院水平方向 150 度。垂直方向 40 度範圍的球形螢幕，展示基於虛擬現實與投影系統結合劇院式環境供人觀看。1996 年，首位將德國國家訊息技術研究中心(German National Research Center for Information Technology, GMD)設計CyberStage，以 3m x 3m CAVE 伴隨 8 個聲音追蹤器和振音樓版組合而成。



圖 11：Virtual life network (VLNet)系統

3.1.2 多數網路虛擬空間

虛擬空間，藉由網路的串聯，連接起各地的虛擬空間。建築空間在虛擬空間中視覺化的顯示，產生虛擬的溝通環境，其藉由HTML的 2D網頁頁面及VRML的 3D模擬環場，達成與使用者溝通分享的經驗。將 3D資料視覺化成現於參予者，達成直接溝通互動的效果，提供相關於 3D 資訊視覺化的實例{Chang, 2003 #57; Ishida, 2002 #51}(圖 12 左，右)。其有個 2 項相通的特點：一為，使用 2D或 2.5D的虛擬環境，自由的瀏覽與資訊達成互動的操作模式，提高瀏覽者蒐集以及結合溝通的資訊的能力。另一項為 3D環境強調互動式虛擬化溝通過程的重要性；從虛擬環境回饋給使用，並結合影像和搜尋模式。在商業軟體發展模擬系統與全球資訊網路之間的整合與研究之下，進而發展出虛擬實境描述語言(Virtual Reality Modeling Language, VRML)，締造了三度空間在全球資訊網路應用領域的另一個新紀元。如Blacxxun的iCity; Active world(圖 13)。

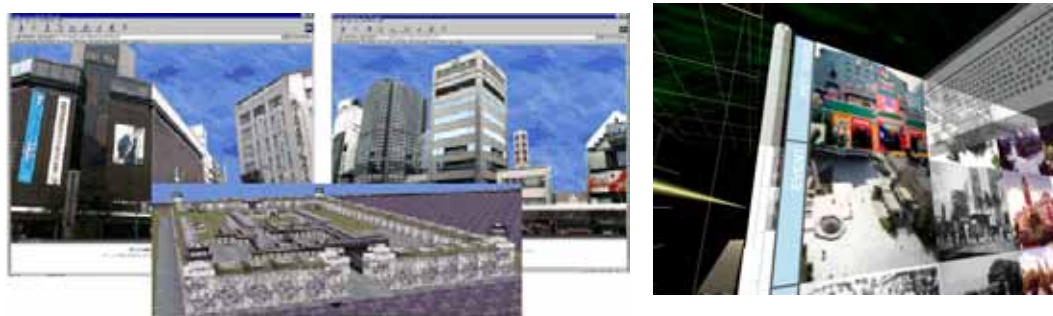


圖 12：左為；Digital Kyoto 線上都市空間瀏覽 (Ishida 2000)，右為；台灣數位建築博物館 (Chang and Lai 2003)。

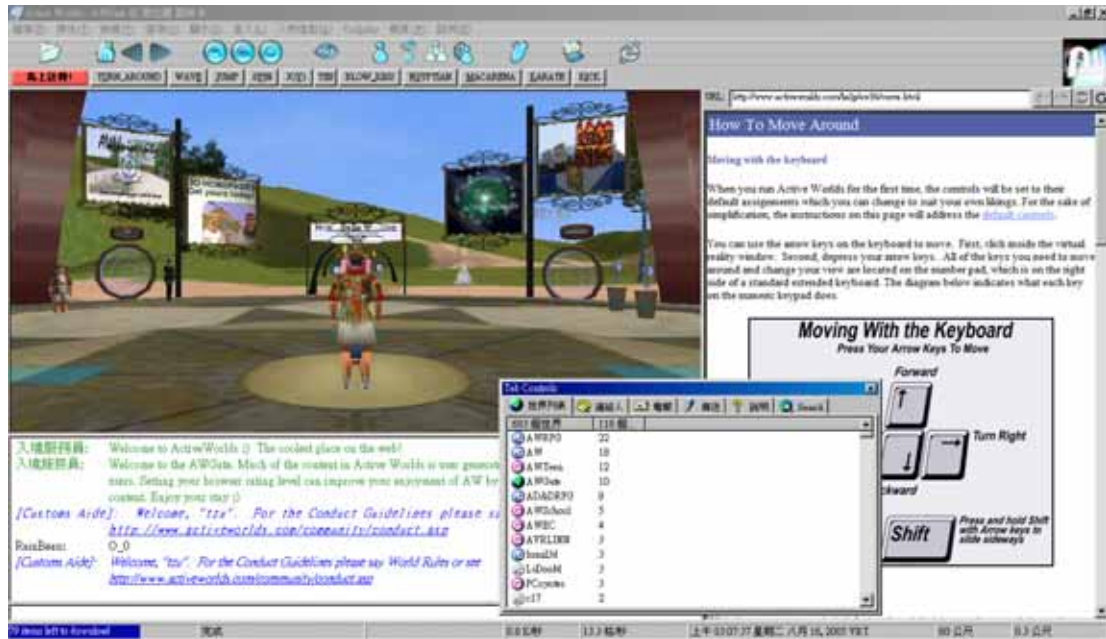


圖 13：VRML線上 3D瀏覽空間 Active world。

3.1.3 虛實共存空間

虛實空間研究中，主要為將周遭實體環境結合虛擬的資訊。初期是將現實環境中結合虛擬資訊的擴增實境系統，把資訊，虛擬物件與實體環境涵構結合，透過顯示器給予使用者環境操作的資訊。在Piekarski研究中就是透過資訊顯示，結合實體環境進行虛擬物件的操作，然而實體空間資訊的傳輸，多半是透過視覺辨識系統接收外部訊號，轉化為虛擬物件資料進行操作 (圖 14)(Piekarski 2004)。



圖 14：Piekarski 移動式擴增實境系統運用。

另外，虛實空間亦走向，以將環境的涵構加入，透過實體智慧空間感知技術的，在人體的周圍環境中佈置智慧化的技術。探討智慧環境感知技術的三大關鍵領域包括：遍佈式運算(ubiquitous computing)、環境感知(context awareness)、智慧及自然互動作用。如SmartRoom，透過隱藏在牆，天花或桌面等的電子裝置，提供身處於SmartRoom的使用者資訊 (Ishii, et al. 1998)(圖 15)，以及環室智能 (Ambient Intelligent)部分，其建構技術主要包括：遍佈式運算(Ubiquitous Computing)，遍佈式溝通(Ubiquitous Communication)和智慧型使用者介面(Intelligent User Interfaces)。遍佈式運算意指整合美日生活相關家具，衣服，玩具等的微處理器。遍佈式溝通能夠透過無線網路產生溝通，智慧型使用者介面能夠將環室智能環境，透過控制居住和運用自然方法與環境互動如：聲音或手勢和個人化的方式表達與涵構，如(圖 15)。在訊號傳輸方面，藉由Smartroom的原型的案例，可得知訊號傳輸多半藉由觸覺，聽覺以及視覺提供使用者相關資訊。

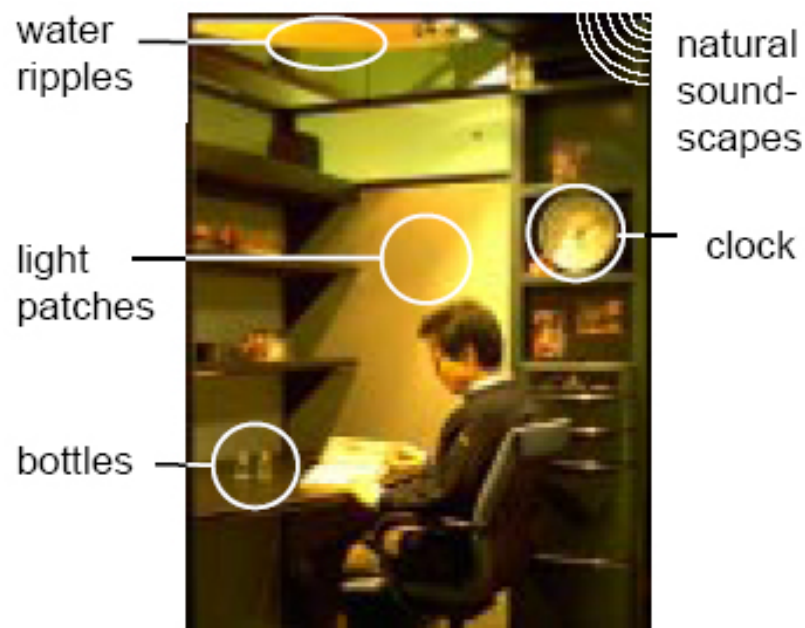


圖 15：SmartRoom 原型

3.2 虛實訊號傳遞

相關虛擬與實體同時存在的研究中，資訊的溝通及影響，為將空間中的實體與虛擬物件顯示之電子訊號，透過媒才進行訊號的截取，而產生人與電腦溝通的橋樑。因此下列將針對虛實共存支訊號截取，互動性截取裝置以及透過訊號截取產生型態的相關研究進行回顧。

3.2.1 虛實共存之訊號截取

虛實共存之訊號截取，透過環境中人所能接收的訊號資訊，發展截取訊號的機制，從上述單純的虛擬環境之呈現至混合性的虛實共存環境，透露了不同的資訊，虛擬空間將人帶入無重力的空間形式，自由的型態可在虛擬空間中生長以及改變，刺激設計者創意。另一方面，虛實共存空間中，將資訊帶入實體可被觸摸的週遭環境，讓資訊變成實體環境的一部分。兩者皆表達的感知包含了虛擬與現實共存的狀態。Chen and Chang將資訊隱藏在環境中，當周圍物件狀態改變時，設計者觸動觸覺開關轉換實體環境的使用狀態，透過虛擬視覺訊號的傳遞，產生視覺與聽覺之溝通(Chen and Chang 2005)(圖 16)。



圖 16：週遭實體環境再狀態改變時，產生虛實共存的互動(Chen and Chang 2005)。

訊號產生使在此種虛實共存狀態下，將使用者所接收的訊號，透過視覺辨識系統的將符號轉成虛擬物件。或是透過環境周圍的實體物件，透過視覺的接收，觸覺的接觸與聽覺的回饋，架構虛實共存狀態連接溝通之要件，而形成隱藏在環境中的互動元件。Jeng 和 Lee的案例將周遭的環境，透過投影的顯示環境狀態，讓資訊即是環境的一部分，透過操作可處碰的物件，進行投射在實體環境中的虛擬空間進行瀏覽(Jeng and Lee 2003)(圖 17)。在案例中可了解訊號的傳遞與接收，在虛擬與互動的狀態，近幾年持續在視覺，觸覺以及聽覺上嘗試，用以構築虛實共存設計。



圖 17：以虛擬資訊構築環境，透過操作可處碰的物件產生空間狀態的改變(Jeng and Lee 2003)。

3.2.2 互動性截取裝置

在互動性截取裝置中，以訊號截取為探討依據，而在上述虛實共存狀態中的常用的訊號種類，知覺性可分為(1) 觸覺性，(2) 視覺性，(3) 聽覺性。在此進一步討論如何透過互動性控制的裝置，將外部的訊號進行截取。下列回顧在近期所提出的相關互動間之裝置研究。

(1) 觸覺性

實體輸入裝置，為了保持在立體虛擬空間表演的自由度，必須擁有所謂六個自由向度輸入裝置，其可有三向位移(x, y, z) 和轉動(θ, ϕ, ψ -分別沿著 x, y, z -產生個別的動作)，而在操作虛擬空間中的立體物件，更是需要硬體支援這些特定移動的模式，在虛擬空間使用者介面將伴隨的多向度互動裝置成長，得以支援更複雜的互動性的對話及組合的操作。簡單的體物件操作在平面介面中的三度空間中瀏覽(ex: Rockin Mouse)；接著研發出六個自由向度輸入裝置像是 flying mice，其可以簡易的提供基本位移，旋轉的三度移動行為。藉由六個自由向度輸入裝置結合電腦給予使用者不同回饋方式的區域，提升虛擬空間瀏覽的控制的便利性。(圖 18)(Lu 2004)。

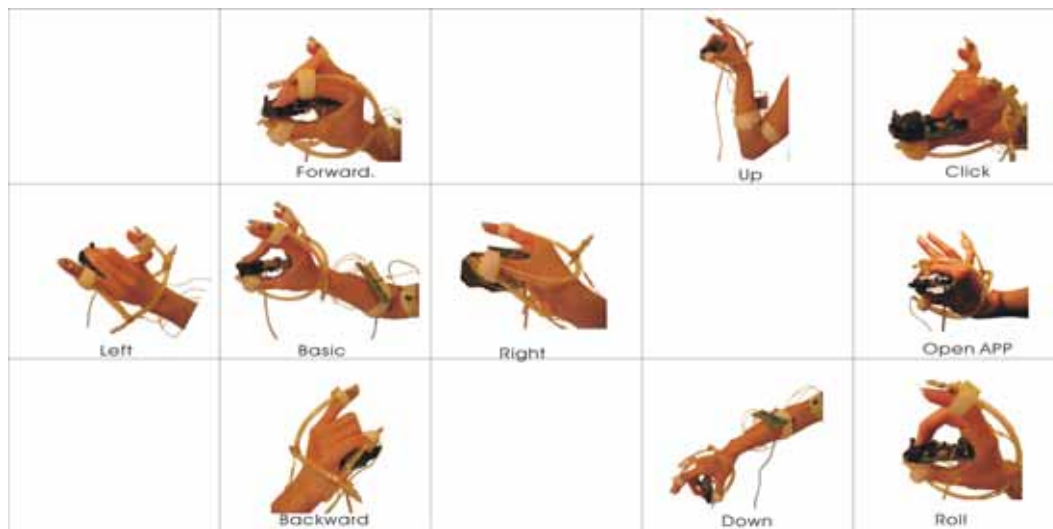


圖 18：透過手部接觸感應器，進行虛擬空間瀏覽(Lu 2004)。

觸覺性控制裝置的回饋，觸覺透過肌膚對外界的刺激相當敏感，同時也從外界收集很多必要的資訊。觸覺控制裝置，多半利用肩膀，手肘，手腕，及手指之間的肌肉牽動感應器來作控制的操縱基本位移和旋轉行為，如數據手套，運用手指的彎曲度及手部的三度空間之移動軌跡資訊，著重直覺式的操作與三度物件環境互動，並且藉由機械裝置對使用者產生力回饋(圖 19)(Lopes and Santos-Victor 2003)，且已具有完整的商業產品開發。有時會搭配頭戴視顯示器(Head-Mounted-Display, HMD)或CAVE儀器讓使用者在沈靜式環境(Immersive Environments)達成操作的模式。



圖 19：左為機械手臂模擬(Lopes and Santos-Victor 2003)，右為力回饋裝置。

(2) 視覺性

視覺性互動訊號之回饋，以視覺化呈現為主，和虛擬空間之呈現有許多雷同，其在輸入方式才有所差異性。視覺性控制裝置，透過視覺可以接收外界的表像資訊，如感知物體的形狀、色彩、材料、多少、光線的強弱等等。不斷的接收著外界的視覺資訊。視覺控制裝置，利用視覺辨認(**computer vision**)，以攝影機趕測器探測物件位置，程式設計出所要執行的任務，追蹤三度空間中人類手勢，臉部表情或顏色等，輸入電腦比對執行設定操控在虛擬或實際環境中的指令驅動。當虛擬環境日漸複雜的同時，手部的基本互動也逐漸複雜化。直覺式手勢在於手勢符號表達，清楚的知道關於物件與物件一般相關位置的互動關係，在互動式的虛擬空間中，輸入裝置應提供能直接感測並執行操作虛擬物件及動態改變視點來進行活動(**Gross and Kemp 2001**)(圖 20)。對於運用現實物件的複製虛擬空間瀏覽，運用手勢經過辨識系統，直接輸入數位空間中所創造出的立體資訊物件。現實空間操作可提供互動指令給予電腦運算地點位址轉換的互動，並且可以在閱覽資訊同時記錄所經過的空間，配置，位置等圖像，的一種瀏覽三度空間的綜合裝置被廣泛應用在不同的領域，如人機介面、虛擬實境和辨識系統等。並且使用者街收視覺上圖像式的回饋，便可了解電腦運作的狀態，在進行下一步動作的互動。

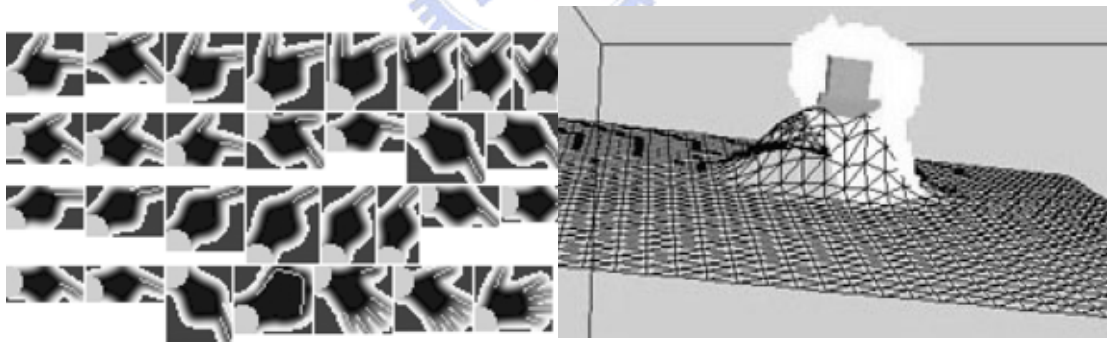


圖 20：視覺辨識，手勢型態追蹤進行控制訊號的輸入(**Gross and Kemp 2001**)。

(3) 聽覺性

聽覺性互動裝置，其回饋方式和部分視覺性裝置差異性小，因此，差異點在於輸入方式，及聽覺性回饋通常以圖像式與聲音為主。而聽覺性控制裝置，由於自然界聲音的存在，造就聽覺系統，人類語言交流需要聽覺的輔助，因此語言的應用就鍛煉了人類的聽覺。而聽覺的控制系統，透過多媒體感應

器，接收外部聲音或是數位鍵盤的midi輸入，改變實體或是虛擬空間的物件位置，透過midi鍵盤的輸入移動虛擬空間物件(Bly, et al. 1993)(圖 21)。或是利用分析聲音，以視覺化的方式回饋聲音的頻率與場域，將互動的經驗以視覺與聲音作為互動的元素(Fallman, et al. 2003) (圖 22)。

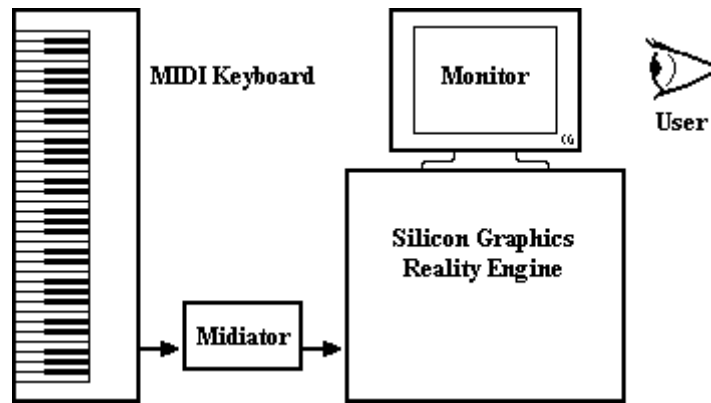


圖 21：midi 鍵盤輸入聲音訊號移動虛擬物件(Bly, et al. 1993)。

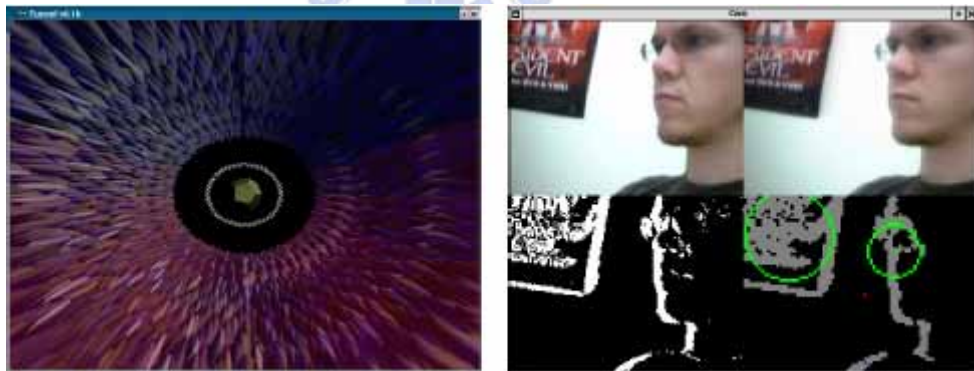


圖 22：以圖像化的效果與聲音作互動回饋給使用者(Fallman, et al. 2003)。

3.2.3 截取訊號衍生空間型態

截取行為產生，藉由搜尋瀏覽模式產生互動式性駕馭在使用者主動操縱之下，電腦提供即時性回饋，將會有效率的執行使用者的主動性互動行為。截取行為的意義使用者介面是利用物理空間的形象表示，在視覺化的使用介面對於邏輯的、直覺性、圖像式等要點是掌握控制介面的基本要素。Bermudez在cyberPRINT專案中(圖 23)，在身體裝上電子感應器，將身體運動的狀態轉化為訊號傳入電腦中，經由運算生成虛擬空間型態，電腦

以輔助的角色接收設計者主動的行為輸入，將身體韻律的數據進行空間型態的運算 (Bermudez, et al. 2002)。



圖 23：cyberPRINT 透過截取身體運動的訊號，產生虛擬空間(Bermudez, et al. 2002)。

另一方面，截取行為與操縱的輸入裝置之互相影響，已改變了人的使用性，例如PIP筆式系統(圖 24：左)建構仍從傳統筆紙的使用圖像的描繪。從其隱含意義，筆代表“握”和“寫”，紙傳達“顯示”的回饋。相同的使用狀態轉換數位化輸入裝置，在於使用圖像式介面中，以“滑鼠或光筆”和“螢幕”取代了紙跟筆，進而瞭解其個別代表 I/O 的裝置，進而給予使用者視覺回饋，但其仍保留著“握”的使用狀態，來執行瀏覽與溝通的行為。然而，帶入立體介面的觀念中，將有機會讓人思考“握”的行為模式，亦可透過使用者身上的訊號感測器通過導線控制輸入系統。(Poupyrev, et al. 1998, Szalavari and Gervautz 1997)。或是運用 2D素描產生虛擬空間模型，即時截取使用者思考轉換成三維資訊的Space pen (Jung, et al. 2001)(圖 24：右)。



圖 24：左為 PIP 筆式控制系統(Poupyrev, et al. 1998, Szalavari and Gervautz 1997)，右為 Space pen 將 2D 資訊轉為 3D (Jung, et al. 2001)。

3.3 小結

虛擬空間呈現多重方向，本研究討論以組合空間生成幾何造型為主。在設計中每一個步驟都需要憑藉設計者選擇及設定的動作，且運用幾何資料作搜尋和配對的動作，而再現建築空間。然而，虛實共存的環繞性空間，存在於多重媒材與設計者本身的互動。互動模式必須具有自然且直覺反應的可能性。再者，存在虛擬實境與真實的環境中的物件本身，與使用者的互動與自然的行為下的互動模式相比較，虛實共存的互動，是非常複雜的且受一定的限制，且必須藉由電腦系統計算而得到。基於實作訊號截取裝置之立場，觸覺性與視覺性具有較多數相關虛實共存狀態存在，並有完整的控制裝置研究。

透過觸覺，視覺與聽覺三方面控制裝置，輸入訊號給予運算機制，衍生型態或是執行瀏覽動作。其不變的原則，是保持使用者的自由度，但個別控制裝置存在，皆有部分的限制。因此，訊號截取裝置，皆同時運用觸覺，視覺與聽覺三項特性，搭配輸入指令。在推演發展截取(Capturing)空間型態經驗來生成(Generation)概念模型的行為準則。再加上介面與數位化的資料，形成設計表現的工具，提供了一種可能的途徑讓設計師在這個系統中試驗和開拓他們的思考。



第四章 理論推演 - CapX Model

由緒論中所討論之虛實共存之設計三個元素，虛擬與實體空間，互動性行為與設計活動，在本章節進行理論推演。進而提出本研究之運算模型——CapX (Capture eXperience) Model。由實虛狀態共存狀態之元素來推演，以使用者為中心之虛實空間，在針對使用者截取動作以及訊號截取裝置，透過截取行為，而進行型態生成的設計。其生成的條件為(1) 截取行為，(2) 虛實空間和(3) 設計活動，此三方面產生互動為CapX Model 的主要內容，並在各自章節一一介紹。提出一綜合上述發展可存在的狀態，可同時操控虛擬與實體媒材，影響虛實共存空間，同時接收到直接與間接的視覺訊息回饋。然而，憑藉截取經驗所接收訊息方式不同，進而影響設計活動；包括：(1)空間的瀏覽的活動，(2)截取空間的活動，(3)整理空間資料的活動和(4)最後概念型態的生成。透過電腦運算的方式，經由分析上述四項設計活動的使用者需求，架構CapX基本可被運算的功能元件。

4.1 截取行為

截取行為，為推演發展截取(Capturing)空間型態經驗，生成(Generation)概念模型的行為準則。一般來說，構成行為的基本因素為在一定的空間中，配合一定的事件所產生的目的性模式。在本研究中，目的即為在藉由媒材以截取空間經驗為主，之空間形態生成。空間意指視覺可及，及周圍可碰觸的物件所組成的虛實空間。因此，截取行為是存在於物件與空間產生互動時的動作。由第三章之回顧，媒材近期發展的三個方向，可得知近期研究在知覺性中的聽覺性，視覺性與觸覺性方面有較多數的討論。關於截取行為有多種操作的可能性，本研究由訊號來發展的截取行為依(1) 快門(Shutter)，(2) 點選(Pick)，(3) 抓取(Grasp)，(4) 紀錄(Record)四項截取行為作為例子，進行虛實共存設計的推演。

回顧訊號截取裝置在知覺性中的視覺性，觸覺性與聽覺性，進行截取行為的分析。在視覺方面，人透過眼睛所接收到圖像，文字，物件的回饋，產生立體感及顏色的辨別或明暗，透過象徵性的動作可瞭解自我與他人的行為意義，進而產生互動性；具有快門之

意。觸覺方面，則多半是以身體碰觸，感受到外界形體，大小，溫度，目前多半以手部碰觸的感知的部位，並可直接產生互動性反應；具有點選與抓取暗示性意義；點選屬於手指部分的一個拾起的動作，具有選擇的意味，在此為觸覺部分的行為，抓取偏向抓取之意。聽覺多半是接收器角色，透過聲音接收外部訊息，將其紀錄再由其他肢體進行互動性行為，例如將聽見訊息轉為言語溝通或是，其本身無法直接影響外部環境；具有紀錄為訊息儲存的涵義。

從訊號傳遞的方式來描述四項截取行為。快門：利用視覺辨認，以攝影機趕測器探測物件位置，程式設計出所要執行的任務，追蹤三度空間中手勢、物件以及影像擷取，將圖像變成數位資料。點選與抓取：實體輸入裝置，為了保持在立體虛擬空間表演的自由度，必須擁有所謂六個自由向度輸入裝置，多半利用肩膀，手肘，手腕，及手指之間的牽動感應器來作控制的操縱基本位移和旋轉行為。紀錄：紀錄透過多媒體感應器，接收外部訊號變化以及輸入參數，改變實體或是虛擬空間的物件位置（表 1）。

表格一：截取行為摘要

知覺性	截取行為	訊號內容
視覺	快門 (Shutter)	利用視覺辨認，模擬眼睛接收到圖像，文字，物件，透過影像擷取，將圖像變成數位資料。
觸覺	點選 (Pick)	六個自由向度輸入裝置，手指上拾起的動作，具有選擇的意味。
	抓取 (Grasp)	手腕，及手指之間的感應器操縱基本位移和旋轉行為，手部抓取之意。
聽覺	紀錄 (Record)	紀錄透過多媒體感應器，接收外部訊號變化，輸入參數，具有紀錄為訊息儲存的涵義。

4.2 虛擬與實體綜合狀態

為了解虛實共存，首先要降低可能改變的因子，因此，將虛擬與實體以媒材與空間分為四個狀態：(1) 實體媒材影響實體空間的互動，(2) 實體媒材影響虛擬空間的互動，(3) 虛擬媒材影響實體空間的互動，(4) 虛擬媒材影響虛擬空間的互動。分別描述其互動的方式並進行推演。描述的內容分為：虛實狀態，是以人為中心的可見範圍，包括周圍所存在的幾何物件，截取行為，是透過 4.1 節所描述的動作，表達使用者在運用媒材所產生的截取動作。與空間型態，是在互動的操縱下所可能呈現的空間型態結果。

4.2.1 實體媒材影響實體空間

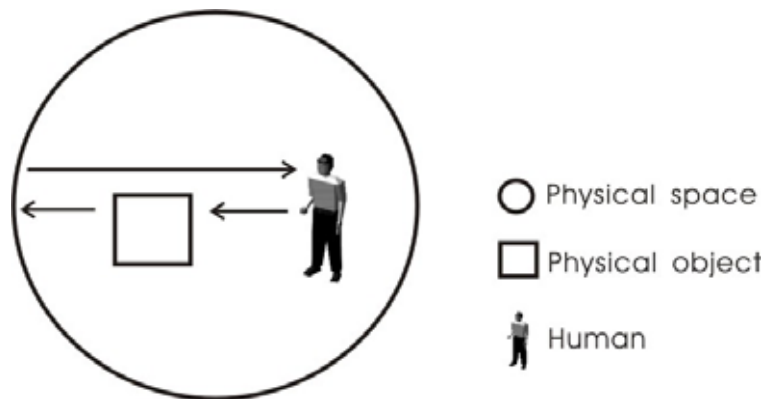


圖 25：實體媒材影響實體空間之訊息傳遞。

1. 虛實狀態

本狀態為實體媒材與實體空間(圖 25)，再透過操縱可被碰觸的實體物件，影響實體環境。其透過直覺式操縱，可立即地得到型態的回饋，透過操縱物件材料所擁有的特性，可立即得到不同型態之回饋。例如Lego mindstorm積木系列，藉由基本元件組合得到型態；型態生成雖會受限於基本原型的種類，但組裝拆解容易，轉換型態快速。黏土模型，藉由材料容易變形的特性，以揉捏或雕刻的型塑方式，造型自由度大，多為自由曲線。紙版模型，需要裁切，卡接或粘合的動作，來生成模型，空間造型多樣。

2. 截取行爲

實體媒材與實體空間中使用者之截取行爲，在生成型態在設計過程如下列描述：快門，多半是發生在初期案例分析，以相機擷取二維的影像，作為分析。點選是在做模型過程中，對所要生成的型態做選擇性的取捨動作。抓取是確定物件元素，動手組合或型塑，紀錄是將設計過程紀錄，並將影像，文字，模型等建成檔案。

3. 空間型態

實體媒材與實體空間狀態下，所形成之空間型態的特性，在設計過程中多半是屬於小比例的概念模型，直到最後空間型態被建構出來。型態的產生是透過複

合性的材料組和，可模擬全尺度的真實空間型，設計在不斷型態操作中產生。

4.2.2 實體媒材影響虛擬空間

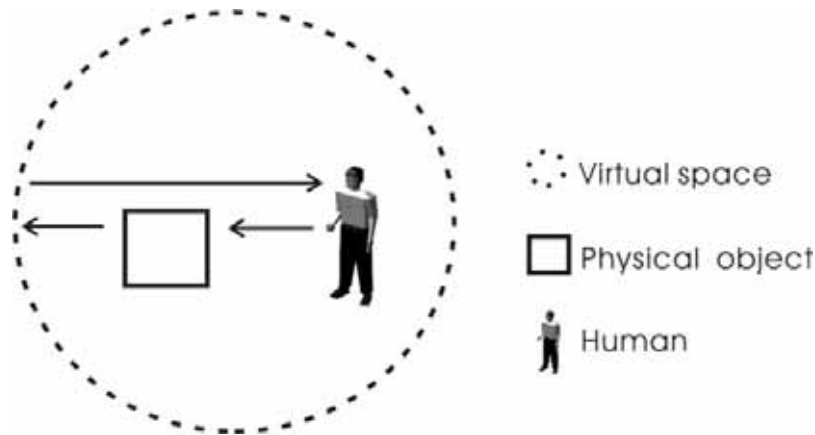


圖 26：實體媒材影響虛擬空間之訊息傳遞。

1. 虛實狀態

本狀態為實體媒材與虛擬空間(圖 26)，透過操作實體物件，傳遞電子訊號給運算系統，經由運算改變周圍的虛擬空間型態。目前可被操作的實體物件，大部分由傳統設計工具所轉換而來，如繪畫，透過數位筆或數位板傳遞指令。或是可觸碰系統(Tangible system)以透過桌子與感應物件來輸入訊息，造成空間型態的改變。

2. 截取行爲

實體媒材與虛擬空間中使用者截取行爲如下列描述：快門顯示型態改變的訊號，經過視覺轉譯成操作實體的輸入裝置訊號。點選實體工具透過使用者作點選的操作，點選訊息傳輸至虛擬空間中；如數位筆或數據手套控制環場的虛擬空間。在此抓取為點選的行爲衍生，在點選同時持續移動，產生虛擬空間的位移或變形。紀錄為使用者操作行爲所輸入之指令訊號，以及虛擬空間變形之參數。

3. 型態生成

實體媒材與虛擬空間型態的轉換，在透過操縱虛擬空間，立即回饋給使用者。因無重力狀態存在於虛擬空間，故空間形成限制降低，給予使用者不同尺度且多樣性的空間型態，可能是人所無法想像的真實空間狀態。

4.2.3 虛擬媒材影響實體空間

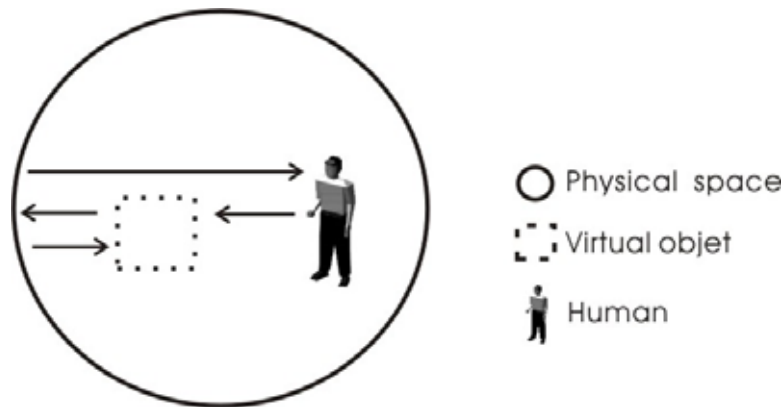


圖 27：虛擬媒材影響實體空間之訊號傳遞。

1. 虛實狀態

本狀態為虛擬媒材與實體空間(圖 27)，其是以虛擬物件傳遞訊息給予實體環境改變空間型態狀態。透過辨識系統；分辨所截取的訊號與指令的配對，執行指令的輸入，控制實體機械裝置，如Aegis hypo-surface，截取空間聲音與動作轉換為電腦控制的機械構造，讓機械結構產生空間變形。

2. 截取行為

虛擬媒材與實體空間中之截取行為如下列描述：快門為電子感應器截取外部聲音與影像。點選為選取感應器所取得的數據。抓取為實體機械裝置抓取數據轉為變形參數，進行外部空間型態的變形。紀錄為紀錄下聲音與影像以及轉換參數值。

3. 型態生成

虛擬媒材與實體空間形態的生成如 hypo-surface，並無直接形態的紀錄，但

可得到的實體空間型體，其受限於機械裝置的範圍。目前最大的是一面牆壁的大小。其一個環場的實體環境製作，需要較大的成本，才能給予使用者空間經驗的回饋。

4.2.4 虛擬媒材影響虛擬空間

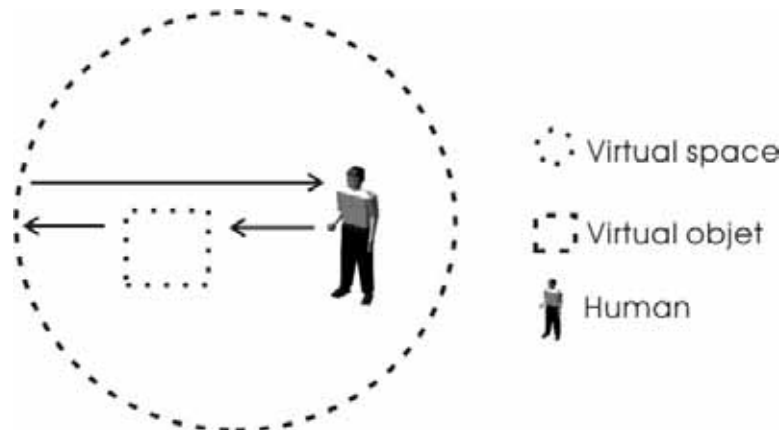


圖 28：虛擬媒材影響虛擬空間之訊號傳遞。

1. 虛實狀態

本狀態虛擬媒材與虛擬空間，虛擬物件意指人無須經過實體的物件，運用身體或聲音即可傳遞訊息，並給予電腦運算，再將訊息傳遞給環繞性的虛擬環境，藉由互動改變空間型態，給予視覺回饋。例如透過電腦視覺(Computer vision)技術，運用手勢，臉部表情，身體動作，輸入訊息給予電腦，再運算出新的空間型態(圖 28)。

2. 截取行爲

虛擬媒材與虛擬空間之截取行爲如下列描述：快門為電子感應器解取外部聲音與影像，點選與抓取機制，相似於實體物件的操作，但此時偏向一種象徵性的操作方式，透過實體物件裝置，依照辨識手勢或聲音做指令的配對產生操作訊號，傳遞至虛擬空間變形參數。紀錄則是紀錄包含外部聲音與影像資訊，空間型態參數，配對規則。

3. 型態生成

虛擬媒材與虛擬空間型態生成，擁有型態變形的自由度，及多樣性型態回饋，及降低硬體裝置操作指令複雜度。但受限於虛擬物件的訊號配對，人與環境所給予的參數，配對的規則機制有所限制，讓控制屬性的虛擬物件具有操作上的限制。

4.3 CapX Model

將媒材和空間分別以虛擬與實體狀態進行分析，下列將結合上述虛實狀態形成 CapX Model，並且針對虛實共存狀態中發展所需之設計活動與 CapX 元件。

1.1.1

4.3.1 CapX Model 之虛實共存狀態

將 4.2 討論虛擬與實體綜合狀態，發展虛實共存的 CapX Model。使用者是必須同時操作虛擬與實體物件，將訊息傳遞給虛擬空間，作瀏覽或變形的動作(如圖 29)。其保留上述的虛實組合，虛擬空間的生成的自由度，而實體指令的複雜性輸入與虛擬的便利性的控制物件，提出一種綜合虛擬與實體的狀態。

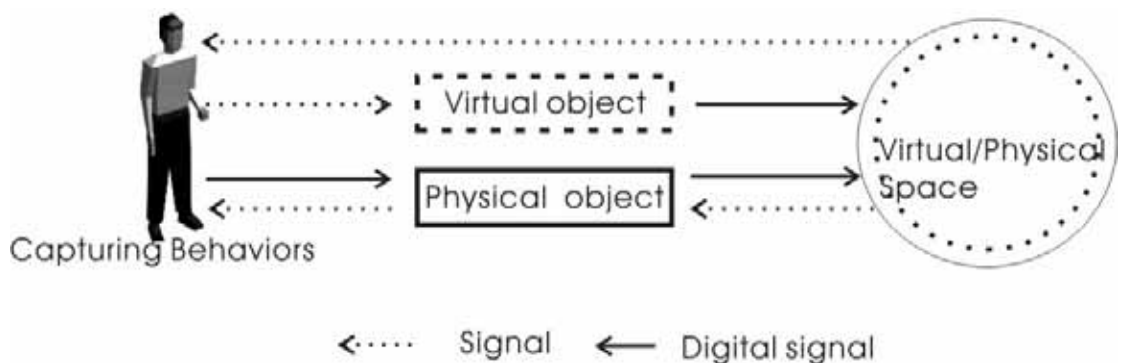


圖 29：CapX 虛實共存狀態下，人與空間，物件之間的互動訊息。

從截取行為四點來描述此一虛實共存空間：快門為電子感應器截取外部聲音與影像，並截取實體的輸入裝置訊號。點選是選取感應器取得的數據，與實體工具透過使用者作點選的操作，點選訊息傳輸至虛擬空間中。抓取是接收選擇訊號後持續移動，產生虛擬空間的位移或變形。紀錄為紀錄包含外部聲音與影像資訊，裝置物件輸入指令訊號，空間

型態參數，配對規則。而最後再將空間變形視覺訊號回傳，其分兩種視覺回饋狀態：(1) 直接傳輸與(2) 間接傳輸回饋給使用者。直接傳輸是透過環場投影的虛擬空間，回饋給使用者。間接傳輸是將空間變形的資料傳給輸入裝置，而使用者可沈浸在虛擬環繞性空間中，全尺度的空間經驗，與手中輸入裝置，產生虛擬空間互動，並可同時在虛擬空間，實體裝置與虛擬裝置中互相跳躍性的來回觀察與修改操作。

1.1.2

4.3.2 CapX 元件

在提出CapX Model之下，本章節進一步探討相關虛實共存設計的截取，生成概念模型的設計活動。類比一般設計經驗，設計活動主要是尋找材料資源，再將資源以照設計者概念想法進行變形，其可分為四部分：(1) 空間的瀏覽活動(Sliding navigation)，(2) 立體空間的截取活動(Capturing space)，(3)空間資料整理的活動(3D atlas)，(4) 概念型態的生成(Generating form)(圖 30)。這些並無固定的程序，而這四個部分在來自不同的使用順序排列組合，隨設計者在空間型態生成過程中，保有操作及變形的自由度。

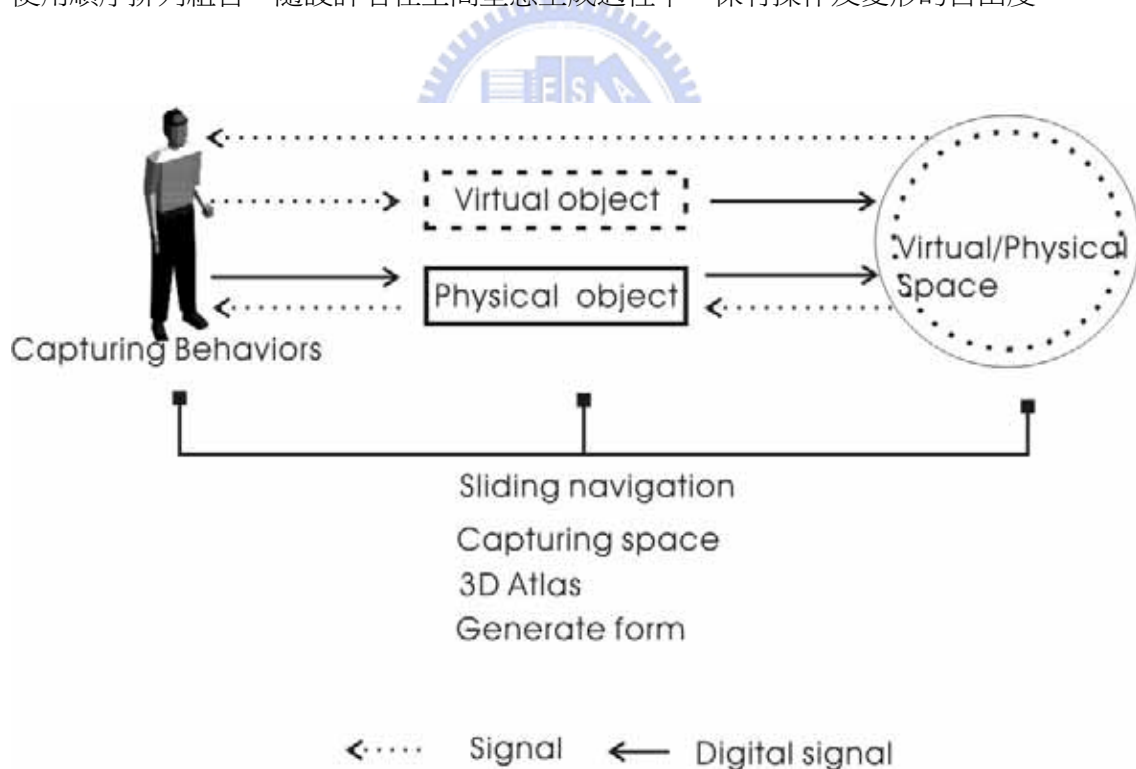


圖 30：虛實共存的狀態下，CapX發生的設計四項設計活動。

由虛實共存狀態與設計活動，建構 CapX 元件分為截取行為，3D 虛擬空間，虛實物件的輸入與輸出等四大部分。截取行為是使用者給予快門，點選，抓取，紀錄操作行為。3D 虛擬空間以設計活動為主要內容，並且綜合外部環境訊息與內部虛擬環境操作的機制，回饋給予使用者相關型態組合的可能性。虛實物件的輸入與輸出是一種事件持續發生而生成的動作，在連續的操縱狀態之中轉化訊息成立體幾何圖形。輸入與輸出則分別包含三項知覺性訊息，分別為視覺，聽覺，觸覺，接收使用者經過介面所傳遞的訊息(圖 31)。使用者藉由截取行為，同時操作虛擬與實體物件，將訊息傳遞給虛擬空間，執行設計活動需求，再將回饋訊息輸出給使用者。

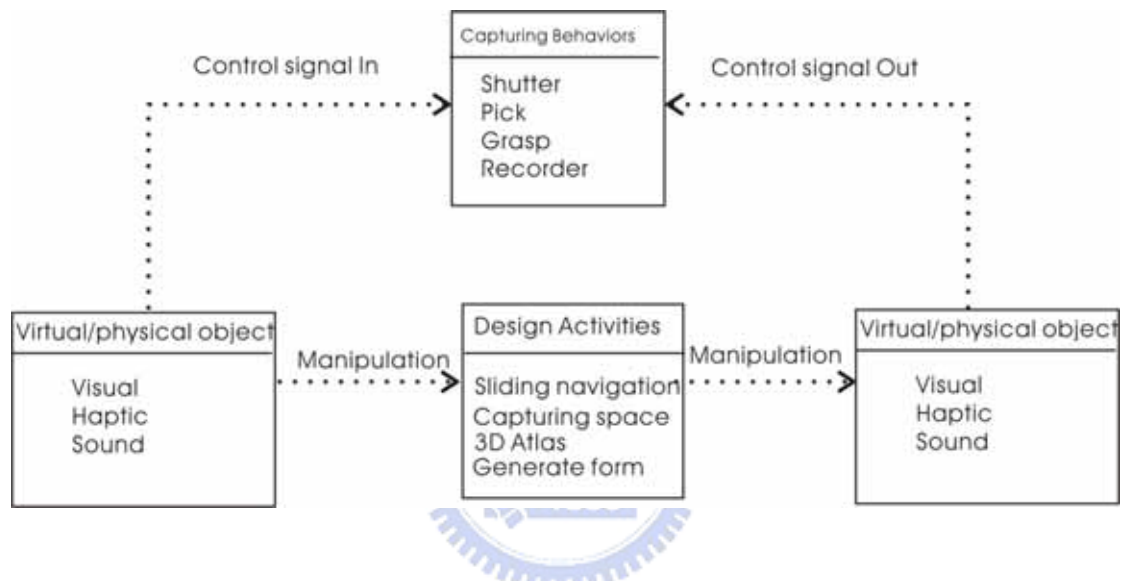


圖 31：CapX 輸入-處理-輸出的基礎架構。

4.4 CapX 之使用者行為分析

下面將針對四項設計活動，以互動條件中的截取行為加以詳述。並且，分別依照四項活動當中行為需求，進行推演各個設計活動，所需要的媒材。媒材在此種任務下，所包含內容為四部分(1) 截取行為，以及控制物件，(2) 立體式虛擬空間內容；瞭解立體式虛擬空間組成的元素，以及各個空間連結的方式，(3) 訊號的控制；有效操縱和控制互動的技術，將控制指令輸入電腦運算，以及視覺化的呈現，(4) 操作方式；使用者在視覺化的使用介面，邏輯性操作方式；利用物理的，空間的或形象表示。

4.4.1 空間的 Sliding 瀏覽活動(Sliding Navigation)

空間經驗回饋是透過截取行為，操作模擬視覺的移動以進行空間瀏覽。然而，瀏覽數個虛擬空間，倚靠的是各個瀏覽虛擬空間所擁有的獨特性，各個使用者擁有自己虛擬空間存放與人分享及溝通的資料。Sliding 狀態是在短時間內獲得多數空間經驗的刺激。其圖像式的 3D 虛擬環境介面，可保有 2D 的介面，多層次的溝通要件，即便在虛擬空間互相跳躍狀況下，使用者從單一空間進入另一個主題空間，也不會中斷思緒，持續保持同步的空間經驗分享(圖 32)。

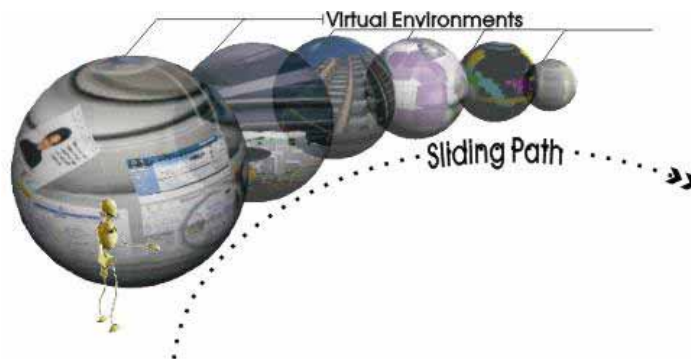


圖 32：連續瀏覽數個虛擬空間，產生跳躍式軌跡。

1. 截取行為

快門是視覺的截取虛擬空間，點選與抓取機制，是一種符號象徵性的操作方式，透過實體物件裝置，依照空間的暗示性，做指令的配對產生操作訊號，傳遞至虛擬空間變形參數。紀錄是紀錄操作的過程。

2. 操作方式

瀏覽動作模擬於人在現實空間中遊走，並以超連結方式與另一個不同屬性的虛擬空間作連結。而經過數個虛擬空間的超連結，一連串虛擬空間的瀏覽就像幻燈片的圖像式記憶，不斷地在回顧顯現。從第一個到第 N 個虛擬空間的過程，以累積 $S1+S2+...+Sn$ 方式來表示，在不同的空間場景中不斷的轉換，彷彿同時有瀏覽多組的幻燈片式，的跳躍性組合，屆時將會產生一條跳躍式軌跡(Sliding path)的紀錄。處於瀏覽過程中，使用者可在連續跨越數個虛擬空間中來回穿梭(圖 32)。

3. 立體式虛擬空間內容

為達到空間的瀏覽活動，其立體式虛擬空間內容，可包含環境與物件兩部分；環境是一個互動式的模擬環境，其由一個大型的資料庫，資料庫中存有每一個虛擬物件的基本屬性、動作、聲音、行為等等的資料，以及虛擬世界的原始設定：如背景、控制臺、視窗等等。物件，是以立體的方式呈現出實體空間中的形態。此外，虛擬物件更重要的是，具有現實環境中的特質。換句話說，其必須根據實體空間中的本質，與使用者達成互動式的溝通；進而由具有不同的隱喻性質的立體元件，組成虛擬環境，如告示版、平臺、柱子等所建立而成。另者，利用圖像式的立體物件，目的是來引導使用者認識環境，且可以同時進行在虛擬環境中瀏覽的行走行為。所以立體辨識物件符號，可能是具象的符號或是抽象的表達，來構成置放資訊的位置，方便使用者瀏覽。

4. 訊號的控制

空間的瀏覽的活動時空間之間相互連接方式，是當使用者存在於一個 IP 位置上，搜尋另一個立體資訊空間時，透過所有鄰近之使用者 IP 將此訊息詢問傳遞出去。讓最初發出訊息的使用者，判斷是否願意交換連接，選擇是否進入他人的線上立體空間平臺。故使用者必須瞭解連接與被連接者之 IP，以及連接使用者名稱等資訊。網路連接包含了單一資料庫與多個資料庫，使用者在虛擬空間中的瀏覽，與虛擬空間及其中的物體進行互動。多個資料庫存在不同埠的主機端，成為分散式虛擬空間，其將不同的局部虛擬空間通過網路連結，以構造大範圍的虛擬環境，支援各區域的使用者同時進入虛擬環境，並與之進行互動。而多人共用的虛擬空間，強調人對虛擬空間的體驗，使用者在虛擬空間中的行為，是彼此相互獨立的。

4.4.2 截取立體空間的活動(Capturing 3D Space)

在瀏覽過程中，利用複製的方式，截取虛擬物件，來紀錄空間經驗給予的刺激。因為，空間經驗是難以被描述，本研究嘗試複製個人對瀏覽虛擬空間經驗的記憶，內容可以是

一些事件（事件記憶）、一些資料、原則和概念（語義記憶）或是一些處理事物的步驟（程式記憶）。而在本研究中是將在瀏覽數個虛擬空間中，短期選擇性記憶紀錄下來，成為攜帶式記憶的串聯，轉換成個人的經驗，成為攜帶式記憶的資料、原則和概念，而尤其是具體的利用文字，影像，圖片和模型具體的視覺化回饋(圖 33)。

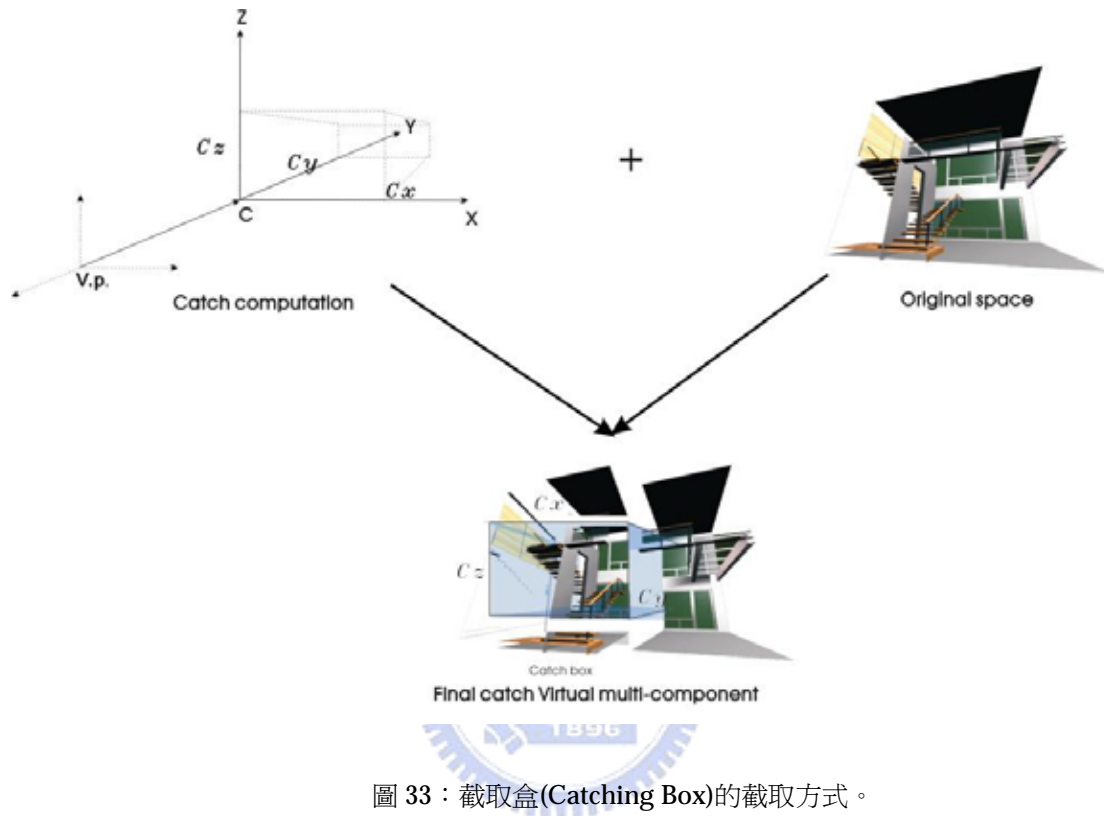


圖 33：截取盒(Catching Box)的截取方式。

1. 截取行為

快門為顯示型體改變的訊號，經過視覺轉譯成操作實體的輸入裝置訊號。點選為實體工具透過使用者作點選的操作，點選訊息傳輸至虛擬空間中。抓取是將訊號範圍內的虛擬空間複製。紀錄是紀錄複製的虛擬物件以及空間組織方式。

2. 操作方式

下載各種格式的資料，運用一個截取盒(Catching box)的概念；設定所需要的虛擬空間範圍(圖 29)，以視點為基點延伸，在希望截取的空間面定中心點 C 及 X, Y, Z 基準軸，在決定截深度分別訂出 Cx, Cy, Cz 為最後儲存的範圍如圖：藉由截取盒的觀景窗象徵性，觀看選擇虛擬空間的內容。

3. 立體式虛擬空間內容

在截取立體空間的活動中，使用者不斷的在虛擬空間抓取選擇式的攜帶記憶片段，產生截取的動作。所被截取的虛擬空間片段，以虛擬空間作為基數，不斷的資訊物件累加，在隱含式的截取行為，複製瀏覽虛擬空間。如背景、控制臺、視窗等等。物件是以立體的方式呈現出原本的形態，具有不同的隱喻性質的立體元件組成虛擬環境，利用圖像式的立體物件，目的是來引導使用者認識環境，辨識物件符號的象徵可能是具象的象徵或是抽象的表達，構成置放資訊的地方，讓使用者對虛擬空間產生截去動作。

4. 訊號的控制

訊號控制持續在空間的瀏覽的活動，截取立體空間的活動，整理空間資料的活動，以及概念型態的生成中作訊號的輸出。控制的訊號：利用肩膀、手肘、手腕、及手指之間感應器，來控制的操縱基本位移和旋轉的瀏覽行為，例如數據手套，倚靠手指的彎曲度及手部的三度空間之移動軌跡資訊，著重直覺式的操作與 3D 物件環境互動，而電腦視覺辨識是利用攝影機感應器探測物件位置，透過程式設計出所要執行的任務，追蹤 3 度空間中人類手勢，臉部表情或顏色等，辨別配對的指令任務，輸入電腦配對，執行設定操控在虛擬或實際環境中的指令驅動。

4.4.3 整理空間資料的活動(3D Atlas)

整理空間資料活動是一個存取資料的階段，將文字，圖像，影片和模型等資料，將這些攜帶式記憶資料帶入規則，以時間與虛擬空間作為排列圖文的基準，在此提出一個概念的圖示表達(圖 34)，其在時間與空間為基準下，還具有其他可能呈現的模式。

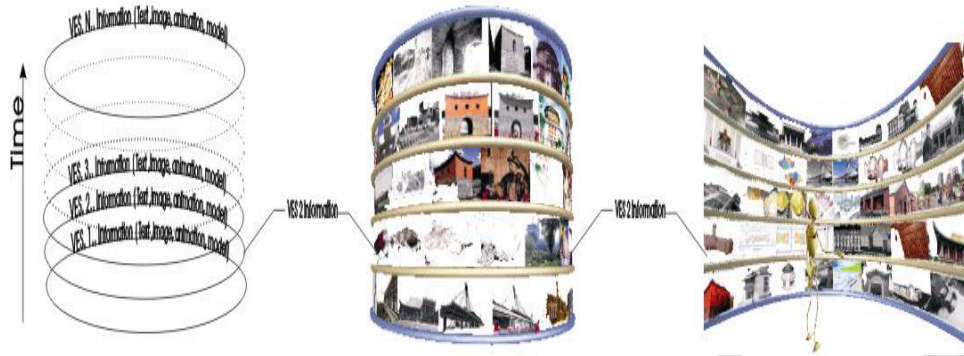


圖 34：以時間軸為虛擬空間累積資料的分類示意圖。

1. 截取行為

快門，是一個人視覺的瀏覽。點選跟抓取是選擇被截取下來的資料。。紀錄是以建檔的影像，文字，模型等資料。

2. 操作方式

經由使用者截取的立體物件資料，做分類儲存的動作。依照瀏覽的時間軸向 Y 軸累積，個別的虛擬空間所擷取下來的空間片段資料，憑藉一個截取盒為一個擷取單位排列，為成一個環狀的資料圈。使用者欲在將資料重行取出，進行再一次截取後瀏覽，如(圖 34)右方，進入資料環軸心進行挑選，而各個截取盒將在重新釋放。

3. 立體式虛擬空間內容

立體式虛擬空間內容主要用來顯示和維持符號，截取這些符號為內部需要的介面，則是隱藏在其內部象徵中的資訊，轉換成可以使用的表面形式。環境所透露的資訊越多，心理所需要維持的資訊越少。從人類心理衡量的尺度象徵中，整理空間資料的活動，從瞭解圖形，結合了定量的數字資訊，以及定性的圖畫資訊，將抽象難以說明的數字關係轉換成視覺性，容易一目瞭然的圖樣。適當的資訊要能協助組織與搜尋，存在於資訊為基礎的現代科技生活裡。

4. 訊號的控制

顯示裝置訊號，掌握空間氛圍的重要性，當人處於環狀的資料圈時，運用基本的投影機表達之外，立體顯像或沈浸式環境可讓虛擬環境達到良好的效果，但其所需要的花費較高。

4.4.4 概念型態的生成(Generating Form)

概念型態的生成為概念模型的生成活動。將虛擬物件資料重新釋放，進行重組，將不同經驗的空間結合產生新的型態型態。

1. 截取行爲

快門為電子感應器解取外部聲音與影像，並擷取實體的輸入裝置訊號。點選為選取感應器取得的數據，與實體工具透過使用者作點選的操作，點選訊息傳輸至虛擬空間中。抓取是接收選擇訊號後持續移動，產生虛擬空間的位移或變形。紀錄是紀錄包含外部聲音與影像資訊，裝置物件輸入指令訊號，空間型態參數，配對規則。

2. 操作方式

重組的方式很多，例如將虛擬立體物件使用者以堆疊進行空間的行的組合，加入布林運算(Boolean)將不同虛擬世界所擷取下來的立體物件資料更緊密的結合，轉換材質，設計者依照著概念與解取下來的虛擬物件互動，生成型態模型。或是進一步人工智慧機制加入，將被由整理過的空間資料，挑出所需要結合各個不同來源的立體虛擬物件，讓電腦去判別所擷取的資料相似性，進行型態組合的變形。

3. 立體式虛擬空間內容

透過介面來讓使用者知道電腦所表達的訊息；其操作是利用物理的，空間的或形象表示，在視覺化的使用介面對於邏輯的，直覺性，圖像式等要點是掌

握控制界面的基本要素。主要爲了方便直接操作及簡單學習，對於運用現實物件的複製虛擬空間瀏覽，直接輸入數位空間中所創造出的立體資訊物件。實體空間操作可提供互動指令給予電腦運做地點位址轉換的互動，並且在閱覽資訊同時記錄所經過的空間，配置，位置等圖像，屬於一種重組三度空間的綜合裝置。

4. 訊號的控制

利用手部或身體，牽動感應器來作控制的操縱基本位移和旋轉的瀏覽行爲，執行概念型態的生成時，基本位移，旋轉和比例的介面操作功能，還能依照使用者需求，外加其他操作，如繪圖功能；變形功能或自動演算功能等，不需與系統同時產生，可視需求增加或移除。



第五章 實作 CapX

在 CapX 互動式的環境中，環境的狀態存在於必須同時操作虛擬與實體物件，並改變虛擬空間型態。其設計活動包括：瀏覽空間的活動，截取空間的活動，整理空間資料的活動和最後概念型態的生成。實作 CapX 互動環境之步驟為：

1. 截取行為技術評估：可以輔助功能元件中的需求，且普遍性高，程式門檻值，利用所提供立體環境效果，來評估現在發展的軟硬體技術。
2. 虛實狀態實驗：綜合虛擬於實體狀態，分別進行實作的試驗，用以了解在個別的狀態下所需要的適當媒材。
3. CapX 架構：建構 CapX 在使用者同時操作虛擬與實體物件，將訊息傳遞給虛擬空間，執行瀏覽或變形的動作，引出系統架構訂定基本的操作功能。
4. 系統操作：依照技術評估選擇使用的媒材，配合媒材特性及憑藉設計活動中所產生的直覺式的擷取行為，解釋行為所傳輸的指令。以及讓使用者傳達設計活動的訊息與電腦溝通介面，接收由使用者操作的指令，經由電腦傳遞訊息讓使用者瞭解操作狀態。
5. 實作檢討：實際操作 CapX 執行設計，並針對其是否與推論中，所提出之設計活動相符合，檢驗其使用性與回饋給予使用者虛實感知的程度。

5.1 技術評估

由於 CapX 仍為一開發中系統，且介面之直覺式操作為主要重點，因此本研究以現有市面上已開發的軟，硬體為主要對象，進行技術評估，其可分為三種分析方向：(1) 3D 虛擬空間平臺：分析可建構立體虛擬環境之軟體平臺，(2) 互動式輸入裝置：關於截取的互動設備，(3) 輸出裝置：關於視覺顯示方法。針對提出的軟，硬體設備與功能需求進

行分析，選擇實作設備項目。由這三個方向，評估市面上已開發純熟的軟，硬體如下：

5.1.1 3D 虛擬空間平臺

立體環境回饋給人不同瀏覽行為模式，虛擬空間平台必須在 2D 與 3D 介面中需要多層次來成為溝通的要件，利用仿效 3D 實體環境帶入虛擬空間中；各個空間管理者，利用虛擬元件的構成，創造自己空間的獨特性，以視覺化的資料進行分享。利用 3D 模型建構軟體：如 3D studio Max, Maya，建構所需的虛擬場景。利用虛擬軟體的編輯等功能，給予不同的物件不同的特性，甚至結合特定的裝置達到不同層次的互動效果。

然而，建構 3D 虛擬空間的平臺種類多樣，如：Active world，Flatland，MUSE，Eno，Qest3D，Macromedia Director 和 Virtools 等。在此，以建立虛擬空間的便利性，虛擬空間模型的精緻度，及相關連接硬體裝置擴充性，作為主要選擇考量。Active world，Flatland 架構在網頁瀏覽器之下，普遍性高，但空間以 2D 貼圖示意，缺乏真實感。MUSE 是平行網頁瀏覽器的立體環境，直接從建模軟體 3D studio Max 輸出成立體空間元件。Eno，Qest3D，則是普遍性較低，學習限制高。Macromedia Director 和 Virtools，則可分別針對 2D 與 3D 環境建造，並可在瀏覽器下執行或直接生成 windows 的執行檔，便利性佳。故本研究取較加便利性的 3D 虛擬空間平臺 Macromedia Director, Virtools 和獨立 3D 環境 MUSE 進行評估。三個已開發的互動式立體虛擬空間作分析，其皆擁有各自開發 SDK，提供修改的可能性，本段落最後會以 CapX Model 之推論，進行評估的初步總結，決定開發所需的軟體。

針對 Director, Virtools 和 MUSE 三種虛擬空間平臺，依照前述之建立空間模型的便利性，虛擬空間模型的精緻度再加上擴充性與相關連接硬體裝置擴充性，評估基本需求是否滿足和程式撰寫上的難易度，作為選擇考量條件。在此，功能性(Functional)的基本需求包括：幾何模型建造，物件位移，基本狀態設定，辨識系統，網路搜尋和資料檢查，各個平臺擁有其強，弱項。各自平臺所支援的程式語言(Programming)進階門檻。圖樣化(Graphic)的精緻度以彩現的效果為評判標準。衍生性(Extension)是以它能擴充的軟體元件性能為評估標準，還有其配合的硬體擴充性。皆以 1-5 個等級來區別（表 2）。

表格二：整合平台技術評估。

Evaluate conditions Platform	Functional	Programming	Graphic	Extension	Total
Macromedia Director	5	5	3	4	17
Virtools	5	3	3	5	16
MUSE	2	4	4	1	11

將本研究所提出的四項設計活動，(1) 空間的 **Sliding** 瀏覽活動，(2) 截取立體空間的活動，(3) 整理空間資料的活動，(4) 概念型態的生成。作為下階段軟體技術評估條件，其是否可以滿足截取的行為所運用的四項要素：快門(S)，點選(P)，抓取(G)和紀錄(R)進行評比。經由下列表 3；可以瞭解 **Macromedia Director** 是最適合的支援 **CapX Model** 的軟體。

表格三：整合平台針對設計活動與截取行為進行評估。

Design activities Platform	Sliding navigation	Capturing 3D virtual space	3D Atlas	Generate form
Macromedia Director	P, G	P, G, S, R	P, G	P, G
Virtools	P, G	P, G, R	P, G	P, G
MUSE	P			P

5.1.2 互動式輸入裝置

CapX 中的互動式輸入裝置，主要以視覺、觸覺為主。透過觸覺數位手套或 SmartNav 視覺追蹤，是針對外部使用者的訊息，經由操作實體物件將訊息傳入電腦中，對運算機制下指令。滑鼠、搖桿操作 3D 物件更是需要硬體支援這些特定移動的模式如 3D mouse，Cube mouse，其在使用者介面將伴隨的多向度互動裝置成長，得以支援更複雜的互動性的對話及組合的操作，相容性高。其中數位手套種類很多種，移除力回饋的性能，如 P5 data glove(Essential Reality Inc.)；其保有在三度空間控制的自由度，且將會降低成本及提高相容性。此外，利用攝影機的視覺追蹤輸入裝置，如 SmartNav(Eye Control Technologies, Inc.)，其保有操縱自由度，且降低人體上的裝置的阻礙。故本研究各個互動輸入裝置：(1) 基本的滑鼠、搖桿，(2) P5 data glove，(3) SmartNav 進行分析 CapX 的輸入裝置。

針對 3D Mouse/joystick, P5 data Glove 和 SmartNav 三種輸入裝置，以操作建模的便利性以及相關連接軟體擴充性，評估基本需求是否滿足和程式撰寫上的難易度，作為選擇考量條件。在此，功能性(Functional)的基本需求包括：輸入裝置使用的便利性。各自平臺所支援的程式語言(Programming)進階門檻。圖樣化(Graphic)的是以製作圖樣的便利性為主。衍生性(Extension)是以它能擴充的操作方式以及可配合軟體元件為評估標準（表 4）。皆以 1-5 個等級來區別。

表格四：輸入裝置技術評估

Evaluate conditions Input device	Functional	Programming	Graphic	Extension	Total
3D Mouse/joystick	5	5	5	5	20
P5 data Glove	5	4	4	4	17
SmartNav	5	3	2	1	11

另外，本研究所提出的設計活動中四項活動，(1) 空間的 Sliding 瀏覽活動，(2) 截取立體空間的活動，(3) 整理空間資料的活動，(4) 概念型態的生成。作為下階段輸入裝置技術評估條件，其是否可以滿足截取的行為所運用的四項要素：快門(S)，點選(P)，抓取(G)和紀錄(R)進行評比。經由下列表格：可以瞭解 3D Mouse/joystick 和 P5 data Glove 是相當適合的輸入裝置，但 3D Mouse/joystick 偏向在 2D 空間使用，所以本研究將支援 CapX Model 的互動裝置，綜合其特性 P5 data Glove 為主，3D Mouse/joystick 為輔的輸入裝置，並保留視覺追蹤的部分，因為它可提供外部實體環境的視覺回饋，這是其他輸入裝置無法達成的效果（表 5）。

表格五：輸入裝置針對設計活動與截取行為進行評估

Design activities Input device	Sliding navigation	Capturing 3D virtual space	3D atlas	Generate form
3D Mouse/joystick	P	P, G	P, G, R	P, G, R
P5 data Glove	P	P, G	P, G, R	P, G, R
SmartNav	S			P, G

5.1.3 輸出裝置

CapX 中的輸出裝置，主要以視覺為主。將現有的聲音、影像、繪圖、文字、等技術加

入系統中呈現。在第三章所提出的多種輸出方式，本研究將以顯示裝置分為 VR Cave 三面立體顯示，從桌上型到三面投影皆要配合立體眼鏡使用；半球顯示器 (Hemispherical display)，半球面狀的視覺變形立體顯示，透過一支單槍投影機顯示；及頭盔顯示器 (Head mounted display)，三項輸出裝置進行技術評估。

針對頭盔顯示器 (Head mounted display)，半球顯示器 (Hemispherical display) 和 VR Cave 三種顯示裝置，以照操作建模的便利性以及相關連接軟，硬體擴充性，評估基本需求是否滿足和程式撰寫上的難易度，作為選擇考量條件。在此，功能性 (Functional) 的基本需求包括：輸出裝置進行基本瀏覽以及建模之操作便利性。各自平臺所支援的程式語言 (Programming) 進階門檻。圖樣化 (Graphic) 的是以真實性。延生性 (Extension) 是以它能擴充的操作方式以及可配合軟體元件為評估標準，皆以 1-5 個等級來區別 (表 6)。

表格六：環繞性空間技術評估

Evaluate conditions Output device	Functional	Programming	Graphic	Extension	Grasp
Head mounted display	5	2	4	4	15
Hemispherical display	5	5	4	5	19
VR Cave	5	2	5	1	13

將本研究所提出的設計活動中四項活動，(1) 空間的 Sliding 瀏覽活動，(2) 截取立體空間的活動，(3) 整理空間資料的活動，(4) 概念型態的生成。作為下階段輸入裝置技術評估條件，其是否可以滿足截取的行為所運用的四項要素：快門(S)，點選(P)，抓取(G)和紀錄(R)進行評比。經由下列表格：頭盔顯示器 (Head mounted display)，半球顯示器 (Hemispherical display) 和 VR Cave 三種顯示裝置，頭盔顯示器，半球顯示器和 VR Cave 顯示效果，皆可滿足需求，但頭盔顯示器和 VR Cave 所需要的附屬配備較多，故本研究選擇半球顯示器之顯示原理，透過視覺變形，達到顯示的效果，支援 CapX Model 的互動裝置(表 7)。

表格七：環繞性空間針對設計活動與截取行為進行評估

Design activities Output device	Sliding navigation	Capturing 3D virtual space	3D atlas	Generate form
Head mounted display	S, P, G, R	S, P, G, R	P, G	P, G
Hemispherical display	S, P, G, R	S, P, G, R	P, G	P, G
VR Cave	S, P, G, R	S, P, G, R	P, G	P, G

5.1.4 小結

由 CapX 設計活動進行操作，(1)空間 Sliding 的瀏覽活動，(2)截取空間的活動，(3)整理空間資料的活動和(4)概念型態的生成。每個設計活動中，所運用不同的設計媒材，進行設計任務的執行，以及其包含 4.1 章節之截取行為：快門(S)，點選(P)，抓取(G)和紀錄(R)皆有不同的組合應用，詳細配對如表 8。

表格八：數位工具與截取行為之間的應用配對。

Design activities Digital media	Sliding navigation	Capturing virtual space	3D 3D atlas	Generate form
Capturing Behaviours	S	S, R	P, G, R	P, G, R
P5 Data glove			⊙	⊙
Joystick	⊙		⊙	⊙
SmartNav		⊙		
LCD	⊙	⊙	⊙	⊙
Web Cam		⊙		
Projector	⊙	⊙	⊙	⊙
Teleo Board				⊙

5.2 虛實狀態實驗

為了解上述實作 CapX 所適當應用的媒材，首先要降低變因。因此，跟隨者 4.2 章節所區分，虛擬與實體的四個狀態：(1) 實體媒材與實體空間實驗，(2) 實體媒材與虛擬空間實驗，(3) 虛擬媒材與實體空間實驗，(4) 虛擬媒材與虛擬空間實驗。分別描述其應用媒材與互動的方式。

5.2.1 實體媒材與實體空間實驗

此為實體媒材與實體空間中的型態實驗：音樂積木。試驗是透過可觸碰的實體積木單元，以及積木內部的音樂機制，轉換建構型態的依據。音樂資料，藉由麥克風將聲音錄製電子晶片中，以錄音開關來擷取需要之音樂訊號單元。進而，是將音樂的資料的輸出利用音效擴大機，給予設計者旋律組合的訊號和音效開關主要是將錄音晶片中音樂模式訊號傳播出來，給予設計者直接聲音訊號的刺激。回饋給設計者實體型態與聽覺的回饋。

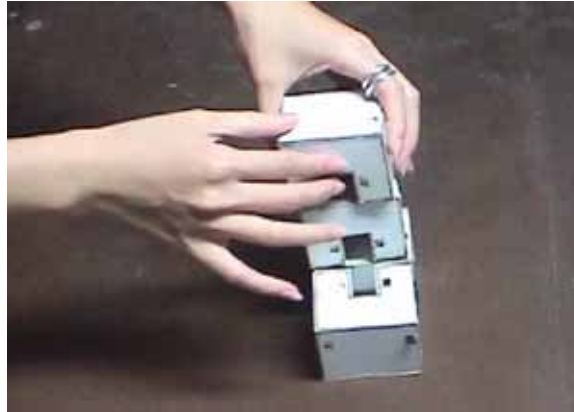


圖 35：實體媒材與實體空間實驗，實體電子式媒材，透過設計者組合實體型態。

5.2.2 實體媒材與虛擬空間實驗

實體媒材與虛擬空間實驗，透過實體媒材，控制MUSE虛擬空間平台中虛擬攝影機位置，給予使用者在進行瀏覽動作時的依據(圖 36)。利用水銀開關及輕觸開關結合JoyToKey軟體，製造手部操作的六個自由向度輸入裝置。手部主要活動範圍分為三區：手臂、手腕、及手指；其動作分別為旋轉，擺動及按壓。產生了三向度位移與旋轉，開啓應用程式及點選控制指令，用以操控瀏覽環場的 3D 投影環境。而水銀開關配合JoyToKey使用，是將鍵盤上指令輸入裝置中，使其可同時輸入三個以上的指令(前，後，左，右等) 讓電腦執行計算的工作。模擬人類行走動作時所具有同時執行行走，轉彎，跳躍等動作的可能性。另則，製作VR環境的實驗，相同的輸入方法，透過Director作為虛擬空間平台，執行瀏覽，立體效果佳，但裝置設備過於龐大無法融入實體環境內容。



圖 36：實體媒材與虛擬空間實驗，六個自由向度之實體物件操縱虛擬空間瀏覽。

5.2.3 虛擬媒材與實體空間實驗

虛擬媒材與實體空間的實驗，是透過聲音頻率震動，啟動感應器，將訊號傳入實體空間中的物件，再此實驗中以訊號傳入燈泡為例。設計者無須裝戴實體裝置，進行輸入訊號，其是透過感應器接收外部環境狀態改變，傳入電子晶片中，進而改變實體狀態。



圖 37：虛擬媒材與實體空間實驗，透過接收聲音頻率，改變實體狀態。

5.2.4 虛擬媒材與虛擬空間實驗

虛擬媒材與虛擬空間實驗，是無須透過碰觸實體輸入裝置，進行虛擬空間狀態的改變。再此實驗是 Director 製作虛擬空間平台，並藉由網路攝影機截取外部影像訊息，將實體環境資訊輸入電腦中，並且進行辨識。在決定辨識主體之後，便可依照設計者改變行為的改變，進而更改虛擬空間中的物件位置。

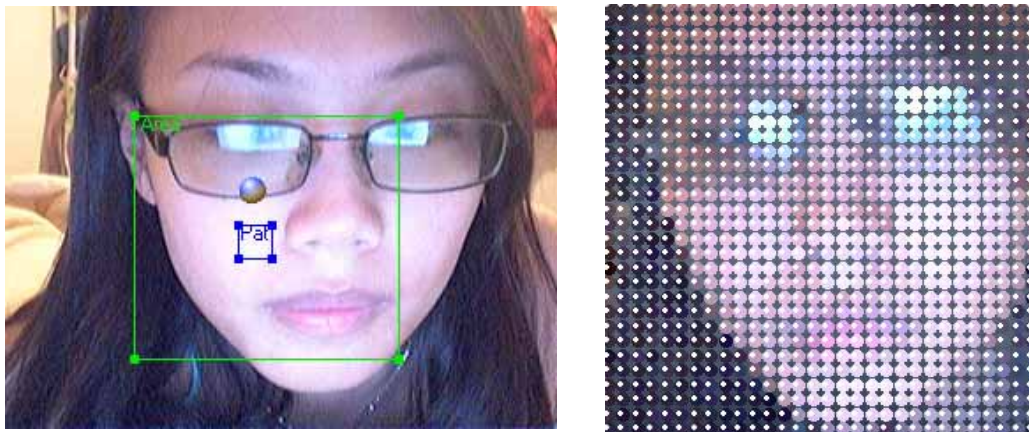


圖 38：虛擬媒材與虛擬空間實驗，透過視覺辨識改變虛擬空間狀態。

5.3 CapX 之系統架構

CapX系統架構針對 4.3.5 提出之CapX元件進行其資料關聯性描述，其包含資料型態，3D虛擬空間，輸入與輸出裝置，操作方式四部份(圖 32)。

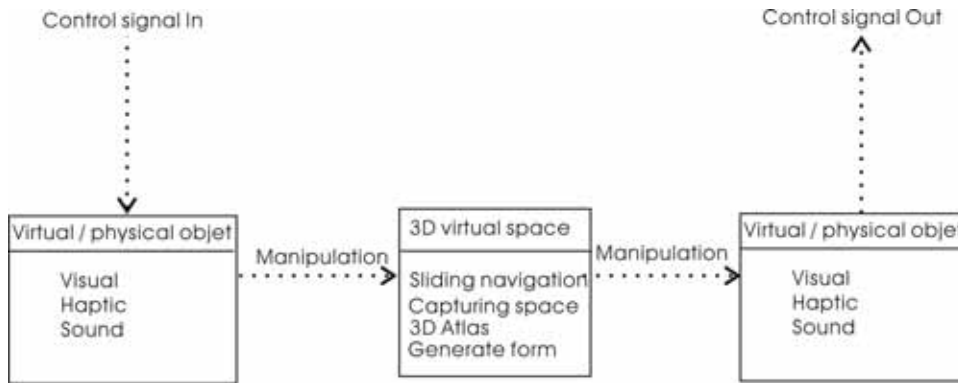


圖 32：CapX 元件

5.3.1 資料型態

因為CapX系統目前位於研發階段，故資料型態尚仍有不完全之處，初步將資料型態分為輸入輸出裝置，3D環境及操作方式。輸入及輸出包含視覺性與觸覺性兩部分資料型態。3D環境，為建立瀏覽 3D環境，其包含幾何物件的製造，物件位移，空間位置，原始狀態，以及網路連接。操作方式是接收輸入及輸出裝置後，針對 3D環境進行操作指令，其包含平面繪圖，偵測物件，排列物件，操作紀錄，物件邊界及選擇物件，下面章節皆有相關性描述(圖 39)。

INPUT / Physical DEVICE	3D Environment		Manipulate	
<i>Visual</i>	Create geometry	Search	Draw	Edge
Video FPS	Geometry type	Connect IP	Line type	Num
Video Type	Geometry Num	Connect time	Color	Point position
Video position	Geometry URL	Connect username	Line Position	Point Array
Video size	Geometry textual	Sign in	Collection object	Select
Video color	Geometry position	Username	Object Num	Num
<i>Haptic</i>	Transformation	IP	Loading + Address path	Geometry
ID	Translation	Sign out	Saving address path	Position
Finger Num	Rotation	Username	Object type	Next position
Sensitive	Scale	IP	Object position	
Signal array	Space		Arrange	
	URL		Num	
	Orientation		Put position	
	Geometry count		Type	
	Initial		Address	
	State		Recorder	
	World		Name	
	Clear		File Path	
			Time	

圖 39：CapX 資料型態內容

5.3.2 立體式虛擬環境內容

CapX 3D 虛擬環境，是綜合外部環境訊息，與內部虛擬環境操作的機制，回饋給予使用者相關型態組合的可能性(圖 39)。其資料內容為：(1) 原始狀態(Initial) 為虛擬空間的基本座標系統：客觀的提供一定原始座標給予使用者相同的權限功能性，在立體的虛擬環境中，瀏覽者常容易迷失方向或是地點，其可引導使用者回歸到原始座標。(2) 搜尋空間(Search)：是虛擬空間連接轉換虛擬空間，再將截取的虛擬空間，依照瀏覽時間及原始空間位置儲存下來；所以立體辨識物件符號的象徵，可能是具象的象徵或是抽象的表達，構成置放資料的地方，方便使用者直覺式瀏覽。(3) 空間位置(Space)：所在的物件名稱，物件位置，空間位置等資料。

5.3.3 操控方式

操控方式包含：辨識系統(Recognition system)，衍生(Generator)，基本操作(Manipulation)，檢查(Check) (圖 39)。辨識系統：輸入的訊號轉為可被閱讀的數位訊息；如聲音的類比訊號數位元化以及影像訊號RGB。選擇物件(Select)：對虛擬物件作偵測，轉換為發生事件的角色。衍生：接收外部視覺，聽覺，觸覺訊號，設定演化規則，進行型態的演化。物件邊緣(Edge)：物件在虛擬空間位置。基本操作：3D物件作位移，旋轉，才可在虛擬空間中執行空間的瀏覽的活動；具有讓使用者自由的轉換視點及利用縮放鏡頭來切換人體尺度。建立幾何型態(Create geometry)：存在於虛擬場景的建立，是由具有不同的隱喻性質的立體元件，組成虛擬環境；如告示版，平臺，柱子等利用圖像式的立體物件，目的是來引導使用者認識環境，且同時在虛擬空間進行瀏覽。再者，跟隨著視覺化的性質可以更容易改變模型的材質，加上豐富的材質庫的資源更能立即給予設計者即時且多變的設計建議回饋。檢查：不斷測試儲存的虛擬物件資料，並可做進一步的挑選工作，傳輸給操作介面。偵測物件(Collection object)：立體物件的複製與偵測物件狀態和紀錄物件資料。操作紀錄(Recorder)：紀錄虛擬物件，名稱，路徑。

5.3.4 訊號的控制

訊號的控制分為輸出跟輸入。其是一種事件持續發生而生成的動作，提供了連續傳遞事件的功能，本身能即刻轉化訊息成立體幾何圖形，它能相互的使用視覺與大腦的內部轉換，在連續的操縱狀態之中。分為輸入與輸出部分。輸入：包含三部分外部經驗訊息，

分別為視覺,聽覺,觸覺,主要是接收使用者經過介面所傳遞的訊息;輸入:視覺(Vision)部分;主要將環境影像輸入電腦,所以外部資訊包括了影像位置、影像RGB和FPS值等。聽覺;觸覺;敏感度,及其所配合的指令動作,擁有一個能觸碰,旋轉的實質物件機會,再結合物件影像執行功能,來傳達修改操作時物件之狀態。這個數位式系統能紀錄操作事件,不斷提供執行修改和回復的功能。輸出;使用者操作的訊息經由內部功能及系統控制的結果,反應環場的投影設備所提供出的沈浸式環境。將影像透過投影顯示器,考慮條件包括解析度和RGB顏色等。型塑機械(Forming machine);接收虛擬訊號改變實體裝置(圖 39)。

5.3.5 CapX 資料傳輸

綜合上述CapX元件資料內容,進一步,依照元件截取行爲,3D虛擬空間,虛實物件的輸入與輸出四部分描述CapX資料的傳輸(圖 40);使用者給予Shutter, Pick, Grasp, Record截取行爲。經由視覺(Vision system)的輸入觸覺裝置(Input device)接收使用者介面所傳遞3D虛擬空間的訊息。3D虛擬空間,由網格(3D grid world)架構訂定基本的功能,作為瀏覽基本定位,並且經由使用者介面(User interface system)與操作介面(Operate interface),給予不同權限進行操作,將接收控制訊號(Control signal)接受衍生(Generator),辨識系統(Recognition system),與基本位移操作(Manipulate),綜合外部環境訊息與內部虛擬環境操作的機制,回饋給予使用者相關型態組合的可能性。輸出裝置經由視覺的環繞式投影(Surrounding projector),及接收虛擬訊號輸出至實體型塑的機械裝置(Forming machine)。

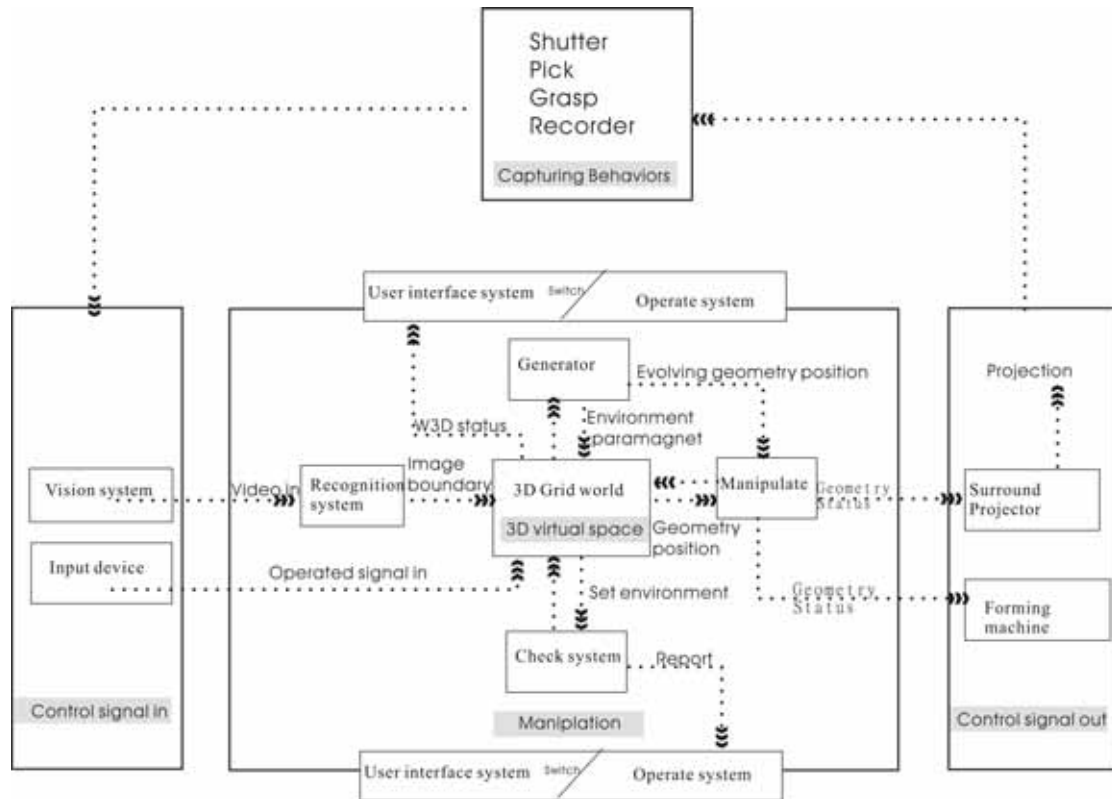


圖 40：CapX 資料架構。

5.4 系統操作

根據CapX Model的理論推演的四項設計活動，(1)空間Sliding瀏覽的活動，(2)截取空間的活動，(3)整理空間資料的活動和(4)概念型態的生成與技術評估所選擇之適當媒材，包含P5 數位手套，搖桿， LCD，投影機，網路攝影機，Teleo介面卡，建立CapX操作空間(圖 41)。下列以空間瀏覽，模型操作，訊號傳輸進行CapX之操作性描述。

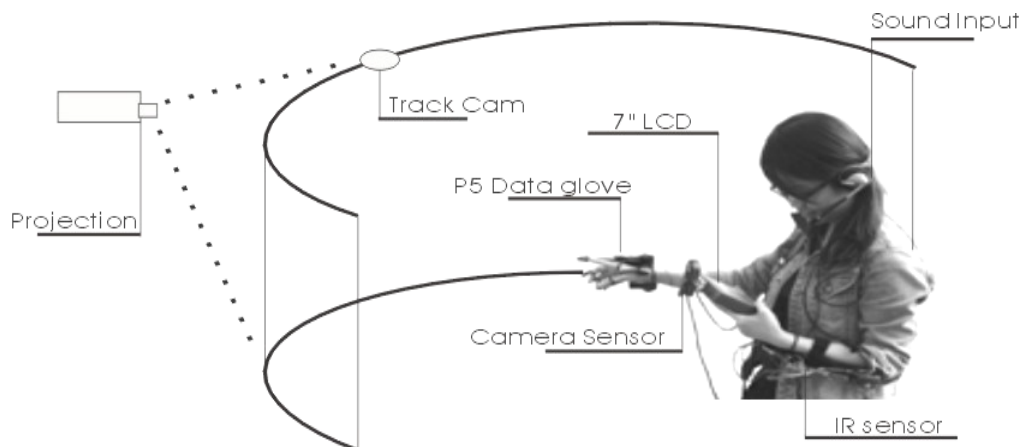


圖 41：CapX 互動式設計環境。

5.4.1 操作虛擬空間

進行 CapX 之虛實空間瀏覽之操作，使用者可藉由自由的三度虛擬空間，模擬人行走的狀態。其將水銀開關裝置在手指部位，當左右與前後傾斜約 30 度，便啟動水銀感應器，透過軟體將訊號轉為鍵盤訊號，模擬人在虛擬空間中瀏覽(圖 42)。並且，在空間截取活動中，透過視覺的互動詮釋截取行為中的快門。運用出現虛擬截取盒，為框選的範圍，選擇投影在環境中的虛擬空間，選擇局部空間角落進行虛擬模型的截取。



圖 42：將搖桿訊號透過感應器與 JOYTOKEY 軟體轉至手部操作。

進行 CapX 之操作，透過 P5 數位手套以及銅片接通感應電流配合搖桿，執行整理空間資料的活動和概念型態的生成。P5 數位手套偵測食指彎曲，執行點選的截取行為以及在概念型態的生成的設計活動中。P5 數位手套透過紅外線追蹤的訊號控制，判斷點選後的虛擬模型移動的狀態。接者是，握拳或是正常手勢中向後張開的姿勢，執行數位模型的比例縮放的指令，詮釋截取行為中抓取。再者透過水銀開關在透過手腕部位的旋轉動作，執行模型左右選轉指令(圖 43)。

Normal	Zoom In	Right	Move

圖 43：控制 P5 數位手套進行模型位移。

5.4.2 訊號傳輸

CapX將虛擬空間訊號傳輸，以操縱方式分為輸入訊號(P5 數位手套，搖桿)，綜合式訊號(LCD，手部搖桿訊號，網路攝影機)及輸出訊號(Teleo介面卡，投影機)為三部分。虛擬空間將視覺訊號分別輸出至環場空間與控制物件的顯示器上，並且同時接收，操作(Manipulation)和辨識(Recognition)兩項功能的訊號，改變虛擬空間位置，虛擬物件狀態。使用者透過虛擬空間顯示的狀態，進行輸入操作(圖 44)。下列針對此三部分訊號進行描述。

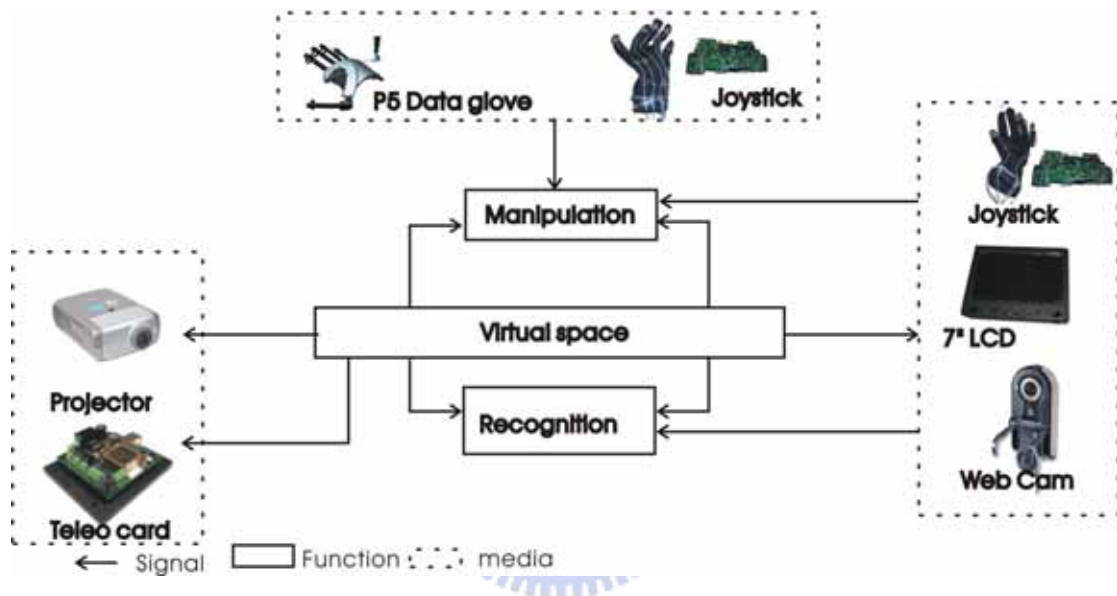


圖 44：整合數位化工具，訊號傳輸。

單純輸入訊號包含 P5 數位手套，手部搖桿訊號。透過軟體將搖桿訊號轉為鍵盤訊號，控制虛擬空間瀏覽(Key : L, R, F, B)，以及虛擬物件位移選轉(Key :TR, TL)，縮放(Key : I, O)，以及 Catching Box 的產生(Key : G)，物件位移(Key : T)與截取狀態轉換(Key : C)，設計活動的介面轉換(Key : P, N)。結合 P5 數位手套結合的訊號，藉由光纖感應手部彎曲狀態，進行點選要移動的虛擬物件，以抓取的概念，將選擇的虛擬模型，透過紅外線感應器偵測手部位置，輸入位移以訊號，傳入操作功能中。結合兩者指令操作進行虛擬物件重組。綜合訊號包含 LCD，手部搖桿訊號，網路攝影機。LCD 顯示相關虛擬空間瀏覽的資訊，並藉由網路攝影機，截取外部實體空間狀態影像，使用者透過手部搖桿訊號，釋放截取盒的訊息，以及截取行為。

輸出訊號，包含投影機與Teleo介面卡。透影機接收影像訊號，Teleo介面卡則是將虛擬空間中，網格三角面變形位置(Vector(X, Y, Z))資料透過Teleo介面卡，將訊號藉由電壓傳出。例如：將LED排列為立體矩陣，將網面變形的訊號傳入矩陣中，即可產生初略的型態。但LED矩陣訊號呈現方式，非本研究著重的部分，故以假設狀態呈現。最後，這連續的操作設計過程是一直不斷給予瞬間的訊號接收，伴隨著訊號即時在虛擬與真實的世界生成立體造型的建議(圖 45)。

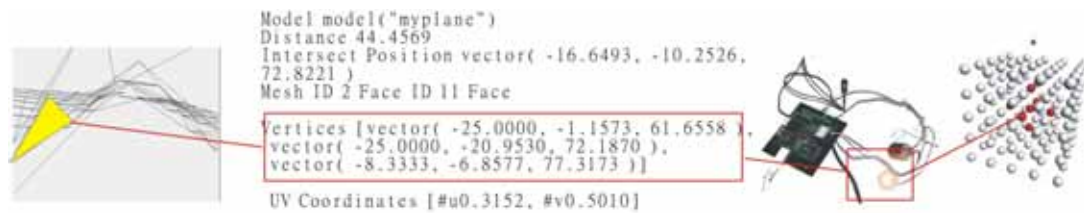


圖 45：網格三角面位置傳入 Teleo 介面卡。

5.4.3 圖像式使用者介面

將虛擬空間分為兩種狀態，最簡便之方法是由單一環境多重視點呈現，因此本研究將 CapX 執行畫面中分為環繞式視點與控制視點，故此執行 Director 程式畫面解析度為 1600*600，分別輸入解析度 800*600 畫面，存放於投影機畫面與 LCD。根據 CapX 的理論推演的四項設計活動，(1)空間的 Sliding 瀏覽的活動，(2)截取空間的活動，(3)整理空間資料的活動和(4)概念型態的生成，進行使用者介面介紹。

1. 空間 Sliding 瀏覽介面

空間 Sliding 瀏覽介面，分為瀏覽介面與資訊介面分別釋放影像於投影機與 LCD。瀏覽介面具有基本的網格系統，提供使用者選擇空間資料，將相關基地資料的虛擬物件置入，虛擬空間環境，透過操作 LCD 上的感應器進行瀏覽，並將瀏覽位置顯示 2D 介面使用者位置上。資訊介面中包含，空間資料，資本資料存放，操作與活動狀態轉換功能並可透過鳥瞰角度，追蹤 Target 確定使用者位置以及空間狀態(圖 46)。

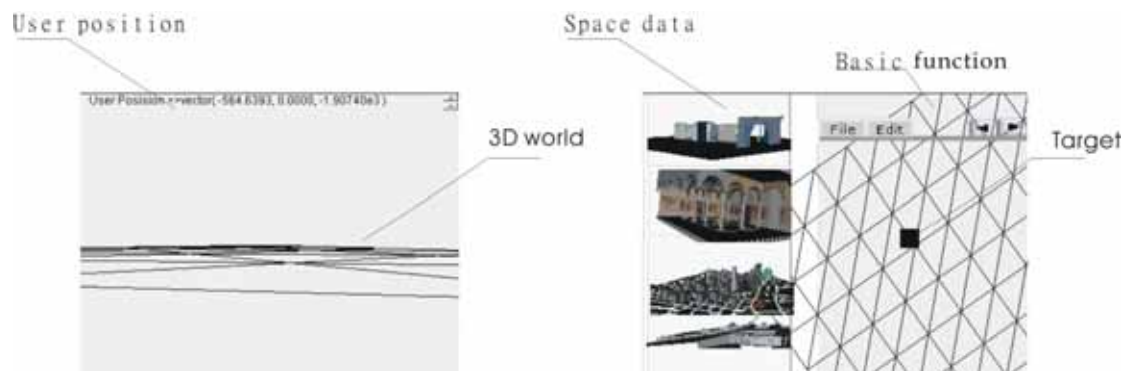


圖 46：瀏覽介面與資訊介面，將訊號個別輸入環繞性視點(左)，控制視點(右)。

2. 截取空間介面

截取空間介面是延續上節的瀏覽介面，並以外部訊號控制截取盒偵測碰撞的空間物件，並將其複製於整理資料的環境中。然而，進行局部空間的選取，是透過網路攝影機（Web cam）截取投影機投射出的影像，置放入截取（Catching）的介面區塊，讓使用者決定空間局部狀態。將偵測虛擬物件，模型名稱，位置(X, Y, Z) 資訊置入info的文字欄位(圖 47)。

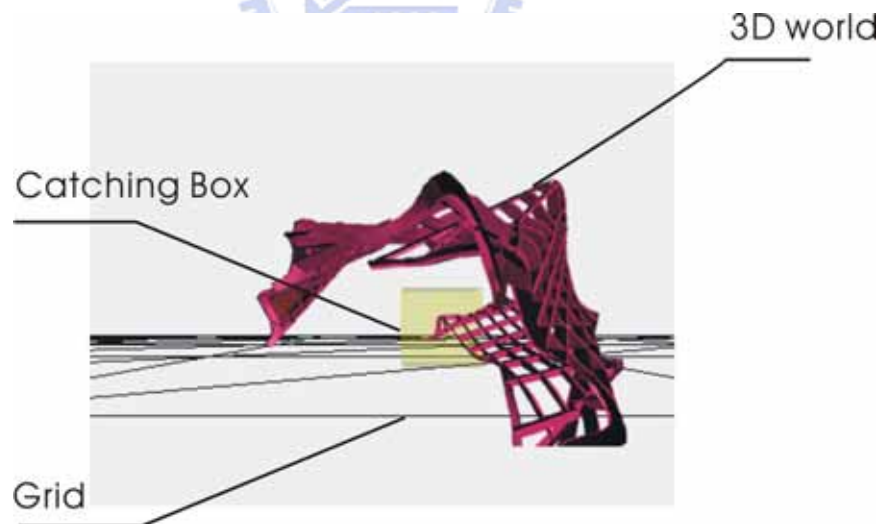


圖 47：移動截取盒在環繞性視點中進行空間截取。

3. 空間資料介面

介面分為立體圖文集(3D Atlas)和焦距(Focus)。3D Atlas是將透過截取盒選

擇截取的虛擬物件，依照時間瀏覽的個別複製於Director的 3D格式(W3D)環境中，如下圖左。選擇的同時，Focus提供暫時瀏覽的功能，提供移動與旋轉模型，了解截取的空間狀態(圖 48)。

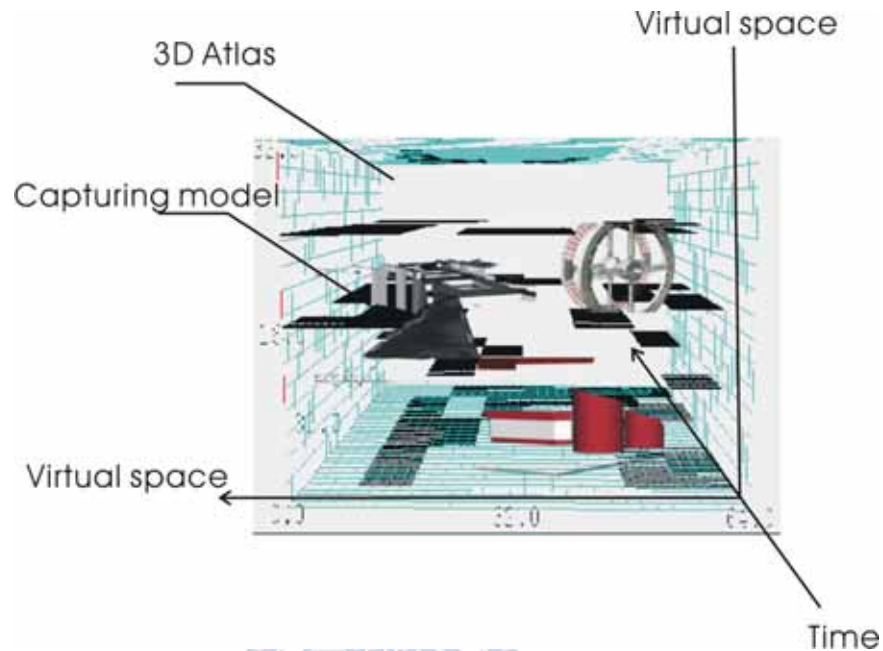


圖 48：保存截取資料，以時間軸與虛擬空間作為網面的分割基數。

4. 型態生成介面

介面主要包含組合模型(Composition model)，型塑(Forming)與資料欄(Info)。Composition Model 將圖像資料中的虛擬物件，進行瀏覽，並且針對虛擬物件，作位移(X, Y, Z)，旋轉(X, Y, Z)的重組。Forming 環境提供基本的網格進行，進行概念模型的型塑空間，將變形物件置入 Composition Model 環境中，並與選擇的空間資料結合。Info 提供網格變形的資訊，如變形面數，位置和角度等。

5.5 實作檢討

藉由實作案例，本節測試 CapX 實作之系統，並對應第四章之設計活動。CapX 的實作檢討，是舉出在實作過程中，跟隨設計活動所發生的實作困難及限制。包含下列五點：

1. 截取活動中的截取盒功能，主要是利用框選，選取局部虛擬空間，進行截取。因此虛擬空間必須視晚整備切割，但 Director 無法針對模型進行 Boolean，故無法以照截取盒完整切割截取模型。
2. 桌上型 CapX 空間，設計者使用頻率較高，容易產生疲倦感。
3. 外部動態載入 W3D 虛擬空間，會造成瀏覽速度降低，影響數位工具的互動性。
4. 模型元件的分割的細緻度，會影響截取元件的大小，空間中物件的數目越多，對設計所能提供的資源越多，但對程式的執行會造成負擔，兩者是相互衝突的。
5. 網路連接的 Director Multiuser Server 3.0 版本，僅提供資料訊號的傳遞，無法動態的直接複製屬於 Director 格式中立體空間模型物件，故無法執行設計活動中截取盒的行為。

藉由瀏覽相關立體空間，篩選屬於設計者自己所喜好型態，或是相關基地的元件，根據立體空間的回饋，衍生重組的個人化設計。將原本具體熟悉存在於虛擬環境中的事物被分割為片段，在多元設計思考下重組。而這虛實共存的狀態，透過虛擬的空間自由度，讓設計者可在塑模的同時，能讓周遭環境給予身歷其境感受，提供設計者尋找一個直覺式執行“注視”，“思考”和“建模”的動作。並且，環繞性空間工作場域，執行設計活動，在虛擬空間之立體圖像化的感知因子，其呈現效果具有感知模糊性，更可幫助設計者，容易操作立體的空間資訊。但呈現虛實共存，實體空間是另一項重要的實作內容，然而，目前實作是主要是呈現虛擬空間。對於實體空間的概念，偏向於於緒論中所提及之南加大之概念，透過實體機械裝置，配合感應器，讓實體空間型態與設計者有即時的互動。

第六章 結論與未來研究

設計的本質是從個人經驗的再現而產生，從 Tschumi 和 Kalay 所定義設計的元素中得到一個驗證的方向。在從一個電腦運算的角度為起始點，藉由電腦運算的發展，了解設計受電腦運算的影響，逐漸對設計呈現或設計看法，都有相當的改變。有基於此，本研究透過對 Tschumi 和 Kalay 的設計元素推論而得之，虛擬與實體空間，互動性行為與設計活動三元素，探討虛實共存設計。並以邏輯化推論虛實共存設計的模式，在此為 CapX Model，以及 CapX 的電腦運算架構。緊接著，透過實作 CapX 環境，了解虛實共存設計，在電腦運算時候可能有的狀況。CapX 系統再以數位訊號結取為手段，將設計時空間感受轉換為數位訊號，進而提供設計者一種新的設計方式和思考模式，以虛實共存設計為目標，由虛擬環境出發探討設計活動與空間的狀態，期望創造一個藉由操縱虛擬與真實同時存在的型態，能改變設計者獲得和再現個人經驗的方式，進而對數位化設計提出本質改變的可能性。

6.1 研究貢獻

本研究的研究貢獻，可分為以下四部分：

1. 本研究將 Tschumi 和 Kalay 在設計及虛擬世界場域的研究，對應到虛實共存設計之空間架構，並提出一可行之運算平台。
2. 透過 CapX 看待空間的角度，空間不再只是單純的靜止狀態，空間本身已成為複合式的狀態，包含了虛擬與真實，而且其間並不具有清楚的界線。如此，進而改變設計者的空間經驗，進而影響設計在其跟隨著虛實共存的互動關係改變，設計的本質也會相較於現存的設計方式有所不同。
3. CapX 進一步定義虛實共存設計的行為模式，其一開始原屬於概念式的想法，在不斷的推演與實驗下尋找，虛實共存設計被電腦運算的可能方式。而且所提出的 CapX 運算架構，雖然在本研究中運用今日方便操作的媒材，進行實作測試，但

CapX 的架構仍可持續運用在技術提升的明日。

4. 在實作 CapX 當中，進一步了解虛實共存設計，透過訊號的傳遞，空間設計中所定義的空間範圍，將被延生另一空間。因為電子訊號傳遞的距離，可將虛實互動的空間，置放及影響在遠端的空間。因此，透過 CapX 的設計方式，空間的設計亦應有更不同的看法。

6.2 研究限制

CapX 系統為一完整的設計流程推論，企圖讓設計師在進行設計時，提出在虛擬與現實狀態下不同型態的刺激。但 CapX 由於在整合軟硬體數位工具組裝與程式撰寫，尚屬實驗性質，故目前仍有四點限制：

1. 媒材的限制，導致影響設計活動項目。因為設計活動是屬於多樣性的，並且，以照現存的媒材推論，產生四項設計活動，而這些在媒材技術提升的同時，設計活動的項目與內容，將會應可能因此而改變。但本研究著重在操作截取空間生成型態，而未對可能之變化加以探討。
2. 截取行為的定義不夠完整，其是從一般使用者的行為與媒材運用的角度來定義截取行為。然而，相對於人類的行為模式，具有多種延生的可能性，相關的分析不足，故關於截取行為，在本研究指出四例，其仍具有增加的可能性。
3. 設計者的設計活動，會依照社會經驗改變，進而產生延生的可能性。本研究的設計活動，因是依照現在設計者的設計經驗及需求，而提出四種設計活動，其不必然代表設計過程中全部的設計活動。
4. 立體顯示的方式，提高虛實共存的感知性。本研究講求虛擬與實體狀態同時存在，立體顯示方式是呈現虛擬環境的真實感知。但仍須配合實體環境狀態，因此需要能隨時跟著設計者移動，提供輕便性的立體顯示方式。故在實作方面選擇降低真實感，利用環場的投影環境顯示，這項限制為因應研究範圍而抉擇。

6.3 未來研究

由於 CapX 是屬於虛實共存的狀態，故本篇研究方向，由虛擬環境出發，進行設計行為與系統架構推演。未來研究方向，將持續思考本系統如何影響現實環境狀態，透過電流訊號的傳輸，完成週遭空間型態的變形。在操控虛擬環境的同時，週遭實體全尺度空間型態將會跟隨著即時改變。而在衍生型態的機制上，則可以以產生智慧型自動化，透過外部訊號接收，經過規則分析，進而同時改變虛擬與實體模型的型態發展。另者，加入網路的串聯，在引發虛擬環境在建築專業中多人分工及遠端互動，設計工作室和互動式設計的操作模式可以更深入探討。進而，使未來設計者可以透過線上及時性的拼貼討論獲得精準及正確性的建議互動。



參考資料

"P5 Data Glove, Essential Reality Inc."

"SmarNav, Eye Control Technologies, Inc."

Bermudez, J, et al.: 2002, Interfacing Virtual & Physical Spaces through the Body: The cyberPRINT Project, *in, ACADIA*, California, pp: 395-400.

Bly, SA, et al.: 1993, Media Spaces: Bringing People Together in A Video, Audio, and Computing Environment, *in, ACM*, pp: 28 - 46.

Bolt, RA: 1980, "Put-that-there": voice and gesture at the graphics interface., *in, SIGGRAPH*, United States, pp: 262 - 270.

Chen, T-H and Chang, T-W: 2005, Towards an Instant Collaboration Environment: Designing Ambient Interfaces for Social Awareness and Collaboration, *in, CAADRIA*, India, pp: 447-458.

Engelbart, D: 1962, Augmenting Human Intellect, *in, The Augment Papers*.

Fallman, D, et al.: 2003, The Reality Helmet: A Wearable Interactive Experience, *in, SIGGRAPH*, San Diego.

Gross, MD and Kemp, AJ: 2001, Gesture Modelling. Using Video to Capture Freehand Modeling Commands, *in, CAAD Futures*, Eindhoven, pp: 33-46.

Igor, P, et al.: 1997, A Versatile Navigation Interface for Virtual Humans in Collaborative Virtual Environments, *in, Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, ACM Press New York, NY, USA, Lausanne, Switzerland, pp: 45 - 49.

Ishii, H, et al.: 1998, ambientROOM: Integrating Ambient Media with Architectural Space, *in, CHI*, California, pp: 173 - 174.

Jeng, T and Lee, C-H: 2003, iCube: Ubiquitous Media Spaces for Embodied Interaction, *in, CAAD Futures*, Taiwan, pp: 225-234.

Jung, T, et al.: 2001, Space Pen. Annotation and sketching on 3D models on the Internet, *in, CAAD Futures*, Eindhoven, pp: 257-270.

- Kalay, Y and Marx, J: 2001, Architecture and the Internet: Designing Places in Cyberspace, *in, ACADIA*, New York, pp: 230-241.
- Kalay, Y and Marx, J: 2003, Changing the Metaphor: Cyberspace as a Place, *in, CAAD Future*, Taiwan, pp: 18-28.
- Lopes, MC and Santos-Victor, J: 2003, Motor Representations for Hand Gesture Recognition and Imitation, *in, IROS*, Las Vegas.
- Lu, KT: 2004, Navigating 3D Information Space with 6 Degree of Freedom Devices, *in, CAADRRIA*, Korea, pp: 777-786.
- Lu, KT and Chang, TW: 2005, Experience Montage In The Virtual Space, *in, CAADRRIA*, India, pp: 426-435.
- More, G, et al.: 2002, Understanding Spatial Information with Integrated 3D Visual and Aural Design Applications., *in, ACADIA*, California, pp: 333-338.
- Nakanishi, H, et al.: 1999, FreeWalk: A 3D Virtual Space for Casual Meetings, *in, IEEE*, pp: 20-28.
- Piekarski, W: 2004. *Interactive 3D Modelling in Outdoor Augmented Reality Worlds*, University of South Australia.
- Poupyrev, et al.: 1998, Virtual Notepad: Handwriting in Immersive VR, *in, IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, pp: 126-132.
- Schnabel, MA, et al.: 2001, The First Virtual Environment Design Studio, *in, ECAAD*, Helsinki, pp: 394-399.
- Shaw, J: 1991, "The Legible City."
- Sutherland, I: 1965, The Ultimate Display, *in, IFIP*, pp: 506-508.
- Szalavari, Z and Gervautz, M: 1997, The Personal Interaction Panel - a Two-Handed Interface for Augmented Reality, *in, Eurographics*, Hungary, pp: pp. 335-346.
- Tschumi, B: 1987, *Cin gramme folie: le Parc de La Villette, Paris, dix-neuvi me arrondissement*, Princeton University Press.
- Viola, B: 1988, Will There Be Condominiums in Data Space, *Communications*: 61-74.
- Yu, G: 2004, "Blow Up." *A+U*, 150-157.