

國立交通大學建築研究所

碩士論文

互動設計輔助學習套件
Interactive Design Toolkit



研究生 吳冠穎
指導教授 侯君昊

中華民國九十八年七月

互動設計輔助學習套件

Interactive Design Toolkit

研 究 生：吳冠穎

Student : Kuan-Ying Wu

指導教授：侯君昊

Advisor : June-Hao Hou

國立交通大學

建築研究所

碩士論文



A Thesis

Submitted to Graduate Institute of Architecture

College of Humanities and Social Sciences

National Chiao Tung University

in partial fulfillment of the requirements

for the degree of

Master of Science

in

Architecture

July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

中文摘要

當這些智慧元件以各類形式隱藏於空間中，讓使用者以更加直覺的方式去操作，套用熟知的生活物件融合智慧元件於空間中，使生活的應用並非面對一具更加複雜的機器而是更具情感的活空間。多樣的建築空間開始產生，建築的立面、結構與外部皮層都可以透過可程式化的組件動態改變不同的樣貌與空間經驗，使得建築空間由原本的靜態空間，開始轉變為更加複雜的動態空間。然而現階段的設計者對於這樣的互動空間僅能透過電腦模擬去了解這樣的動態空間是如何變動，並無完整真正適合設計者本身的工具，去實作動態空間的實際了解並實作出模擬用的動態實體模型，設計者往往需要額外學習程式語言與電路來實作，使得智慧空間與互動建築的設計充滿了技術問題，而讓設計者無法容易上手，本研究透過對智慧空間與互動建築的探討，經由了解設計者需要哪些互動的需求，進而提出了讓設計者易於操作的互動設計模組，讓設計者僅需了解如何使用即可實用於目前的空間設計過程中，解決互動空間設計的實作問題，達到引發學習之興趣，並可自行動手製作小型互動設計實體雛形。

關鍵字：智慧空間、互動建築、互動設計、學習套件

Abstract

Traditional definition of architecture has been greatly extended nowadays. Because of the advancement of information and communication technologies and the demand for better living quality, people's interests on smart environments is also increasing. Ubiquitous computing technologies for off-the-desktop interaction applications have been extensively studied for many years. While the mouse and the keyboard have emerged as the predominant input devices, user input in smart environments presents a different set of challenges. While an smart environment is operable by multiple users, numerous sets of devices and ambient events. Smart environment includes physical-digital interactive interfaces, sensing and perceptual technologies, application and service controls, and human and environmental adaptations. These issues make the design of smart environmental much more complex and difficult. Designers not only need to develop the concept, but also to learn programming and welding circuit. Those technique problems make learning interactive design of smart environment difficult and disturbing. According to the existing issues mentioned above, the motivation for this research is to challenge the question: How can we learn interactive design of interactive architecture just alter or enhance a function of a smart environment by manipulating interactive components with ease, if not effortless. The main goal of this research is to propose a physical rapid prototyping toolkit for interactive environments — Interactive Design Toolkit (IDT). The IDT is to support learning how to design and prototyping of the interactive system in a smart environment, using easy-to-assemble interactive objects as the building blocks. The toolkit is a set of objects and each object is a functional device with a number of I/O, sensors and parts, for instance, photocells, analog buttons, servo actuator etc. Each object performs minimal function and when objects are composed together they work as a system. The process of assembling objects is very similar to toy bricks and flow-controlled programming. This framework allows designers and researchers to easy learn the concept of electric elements inner those bricks and quickly prototype physical user interface and conduct experiments in a smart environment for different contexts.

Keywords : smart environment, interactive architecture, interactive design, toolkit

感 謝

非常感謝君昊老師於碩士期間研究及思想的啓發

這段時間讓我有很大的自由尋找對自己有意義的研究方向

並再次感謝老師給於我極大的支持，能參與各種專案與課程，從事實作開發與教學經驗的獲取，讓我在這幾年成長許多，並能銜接之後的人生規劃

也感謝Aleppo於期間各方面的支持與啓蒙

感謝李華老師於專業角度給予意見

邱浩修與唐玄輝兩位老師於口試給予的寶貴意見深深受用

感謝HCI小組的文禮、Oreo、偉皓、玠佑、Mary

那時北美館的合作是最好的一次合作經驗，也成就我們對互動的熱愛

特別感謝Mary於這期間陪伴與支持

以及未來木天寮互動雜工作室的合作

也感謝碩士在學階段給予幫助的許多人，聖軒、麻糬、珮蓓、姿汝、穎正、交大

跨媒材創作團隊，我從你們身上學到很多

以及關心我何時畢業的朋友，Nikee、小W、Tea、gloria、書安

我終於可以畢業了

感謝OpenLab.Taipei及DesignLab的聖博、鴻旗、Suno、Lex、小乖、Denny等人

給予及多的機會參與更多的互動活動與分享，讓我了解互動界是有希望的

最後，要感謝我的爸媽與奶奶，謝謝他們容忍我的任性，來追求自己想走的路，

讓我能體會能夠做自己喜愛的事是多美妙的

目錄

第一章	導論	01
1.1	- 研究動機與問題	02
1.2	- 研究目的	03
1.3	- 方法步驟	04
1.3.1	- 案例研究與參與觀察	04
1.3.2	- 雛形系統與實作	04
1.3.3	- 雛形操作評估	05
1.4	- 研究架構與流程	05
第二章	研究背景	06
2.1	- 空間的感知能力	06
2.2	- 空間的回饋能力	09
2.3	- 互動設計工具	12
2.4	- 互動空間案例實作	17
2.5	- 小結	22
第三章	互動設計套件的分析與設計	23
3.1	- 參與式案例探討與分析	25
3.1.1	- 互動設計學習活動參與案例	25
3.1.2	- 互動設計學習套件需求特性	27
3.2	- 互動設計環境探討	29
3.2.1	- MAX/MSP	30
3.2.2	- LEGO Mindstroms NXT	31
3.2.3	- IDT設計套件架構	32
3.3	- 互動控制流程整理與分析	33
3.4	- 互動設計套件設計	36
3.4.1	- 符合互動控制流程組構之元件	38
3.4.2	- 功能性的區分	40
3.4.3	- 改善不同平台操作之困擾	42
3.4.3	- 小結	44
第四章	互動設計套件的實作	45
4.1	- 模組化套件的實體化需求	45
4.1.1	- 單元的訊號	46
4.1.2	- 單元的連結	47
4.2	- 基礎單元之實作	49
4.2.1	- 基本輸入單元	49
4.2.2	- 邏輯單元	52
4.2.3	- 基本輸出單元	55
4.3	- 實例驗證	58
4.4	- 使用測試	64
第五章	結論	73
5.1	- 研究貢獻	73
5.2	- 研究限制與未來研究	75
參考文獻	結論	77

1

導論

人類的生活，是一連串「互動」行為的組成，人與人之間的互動形成了社會活動，人與物件的互動，造就了科技文明的發展，而互動對於人類之重要性，也造成人對於環境與空間有更多的需求與期許。

智慧環境提供人們更多的資訊以及更多的便利，而遍佈式運算(Ubiquitous Computing)與與涵構感知 (Context Awareness)概念的輔助，更增添了這樣的環境能更貼近人們的需求 (Weiser, 1991; Abowd and Mynatt, 2005)，讓智慧空間不再僅透過呆板的控制介面，而是去介面化地，將資訊運算系統以及反應元件隱藏於空間或空間中的物件。當這些智慧元件以各類形式隱藏於空間中，讓使用者以更加直覺的方式去操作，套用熟知的生活物件融合智慧元件於空間中，使生活的應用並非面對一具更加複雜的機器而是更具情感的活空間 (Ishii & Ullmer, 1997; Patten et al., 2001; Ratti et al., 2002; Bonanni et al., 2005; Verschure, 2005)。

空間因為有了運算與獲取資訊的能力，得以智慧化、自動化與多樣化，透過感測器可以了解空間中的溫度、濕度、光線，以及聲音等的變換，使得所構築的空間比傳統建築多了不須使用者操作的自主決策能力，提升生活的適應與變換能力(Chou, 2001, Sakamura, 1999)，也因此，多樣的建築空間開始產生，建築的立面、結構與外部皮層都可以透過程式化的組件動態改變不同的樣貌與空間經驗 (Diller and Scofidio, 2002; Oosterhuis, 2005) 動力機械與互動科技納入了建築本體的建構，使得建築空間由原本的靜態空間，開始轉變為更加複雜的空間，達成了兼具感知能力與空間回饋能力的互動建築(Interactive Architecture)，而如何去學習設計與實作一個互動空間，也造成了跨領域知識整合的必要。

對於互動空間的學習，最重要的是學習如何將環境操作因子對應到數位科技的控制設備，理解真實情況的反應與效果再運用於設計之中，而現階段的建築師或學生在學習設計互動空間時，卻往往需要額外學習程式語言與電路來實作，使得智慧空間與互動建築設計的學習充滿了技術問題，而讓設計者無法容易上手，設計者需要更多的時間專注於學習和處理不熟悉的技術問題，無法有效的通盤了解可能的操作手法，是否能有更適合的工具或媒材來輔助，降低互動建築設計學習的門檻，能幫助互動設計的實作能更簡便。

1.1. 研究脈絡與問題

人與人之間可以透過語言、肢體進行互動，人與物之間則是透過操作行為進行互動，人與人、人與物之間都是存在直接互動的關聯，「互動」對於人類的重要性，也反應於社會關係與科技發展，然而，探究人與空間之間的關係，卻是一種間接的關連，缺乏了實質直接的互動關係。

傳統的建築計畫是一種詳述且包括需要的空間大小、面積範圍、技術需要以及相關的需求，雖然社會與環境的快速發展，但人所居住的空間形態卻與百年前相差無幾，人們希望空間能感知其需求，具有隨時配合人類活動而改變的適應能力。電腦與數位化的崛起，造成人類的日常生活與各種資訊的關聯越來越密不可分，各種生活中不可或缺的數位與資訊設備開始介入人類的生活環境，補足了空間的感知能力，當空間有了智慧，也能開始與人相互作用。在這樣的發展中，智慧環境的發展隨之而生，建築空間與設計發生新的變革，實質空間之中穿插著虛擬的資訊，資訊作為新型態的空間介面之設計元素 (Mitchell, 1996)。當智慧環境被進一步置入操作於建築內部，結合智慧環境的感知，使得建築與人之間的連結將更緊密，例如建築作業系統計畫 (Arch-OS)，整合能源管理系統、通訊網路、環境中使用者的動態與移動感應等各種組件與資訊，透過這些組件及時回饋使用者外，還將空間中的資訊以視覺化的方式重新呈現給使用者 (Anders, 2004)，然而空間本身處於單向被動的接收，尚未與人建立完整的互動。

而二十一世紀的建築逐漸屏除了生硬的建築計畫，而創造出更可調適、多元、人本，以及反應電子技術支援的游牧社群的需要 (Mitchell, 2003)。如此，建築可以被延伸視為「事件空間」的組合，依據其週期之反覆、時間之改變，與空間而變動，而有所不同的設計

計畫。由於智慧環境的出現，加入了許多資訊化的設備作為空間反應的依據，動力機械與機器人科學也開始被採用於空間的操作中，空間本身的屬性不再只會依照原本設計師原先設計的，會隨著使用者的習性與喜好而改變，使介面與界面的關係已經脫離傳統的思考，當空間的機能須具有多重特性，界與介應須重新定義與設計，若介面或界面有著獨立思考變動的適應能力，則介面與界面的轉變可視為一種互動的變動方式，具有動態彈性與感知能力的互動建築，達成了與人完整的互動關係。

互動建築是近年來逐漸發展的新領域，有越來越多實際建構完成的建築實體具有回饋人類活動的能力，而於教育與研究單位，也紛紛發展具有前瞻力的研究，發展許多互動建築雛形，然而對建築設計師或建築系學生，都需經由一段將當的時間額外學習技術能力，來掌握電子電路、機械結構，以及程式語言之互動工具與知識，方能運用於設計上，此對於設計師而言是相當的挑戰，這樣的一道門檻，也模糊了在學習互動空間設計時，真正該了解的重點，自然無法想像如何操作與如何納入設計，雖然近年來也陸續出現稱之為設計師所開發的互動設計工具，如LEGO系列的MindStorms、Arduino、MAX/MSP等，但亦仍須設計師學習程式語法或電路，才能達成設計師腦中所想要的初步可動設計概念，使一般設計者雖具有空間設計的能力，但卻無法擁有足夠的互動設計工具，來探討所設計的智慧環境如何實際轉換空間屬性。

互動空間設計是門新的研究學科，故勢必需要新的設計方法，來補足傳統建築設計思維與電路控制技術之間的橋樑，需要新的設計工具或媒材發展來輔助概念的學習與驗證，是否可以藉由其他互動領域，為設計者發展一套獨特的學習工具？

1.2. 研究目的

透過智慧環境的感測能力，空間可察覺當中環境的改變，藉以判斷空間中的事件條件，再反應於空間的皮層、結構，以及光線等改變，而本系統的目的便是提出互動設計模組 [Interactive Design Toolkit, IDT] 之系統雛形，作為簡易的互動開發工具，以模組的概念提供設計者不須學習額外的程式與電子電路，讓設計者可專心於設計本身，僅需單純地了解該選用何種輸入與輸出方式，即可方便上手進行互動空間設計，簡化設計互動空間的設計與實作流程，引發學習之興趣，並可自行動手製作小型互動設計實體雛形。

本研究將藉由以互動設計模組的概念，透過分析參與式觀察所得的需求與現行互動領域的借鏡，藉由將抽象思維特定化的方式，設計出用於互動建築設計學習的雛形組件，讓初探互動建築設計之設計者，能透過動手實際操作，藉由黑盒子的方式，僅須知道所需的功​​能來選取所需的可動組件，不須額外了解複雜的機械構造、程式語言，僅需將自己製作的模型套用互動設計模組，即可達成互動機構的建立，期能大幅減少過於繁複的技術知識，讓設計者直接能快速運用於互動設計上。

1.3. 方法與步驟

本研究將實作一設計互動設計模組系統雛形，設計發展過程將分為：

1.3.1. 案例研究與參與式觀察

為實際了解現行於設計互動空間時，所使用的設計工具是否真切適合用於理解與學習相關知識，並能直接取得充足且多樣的經驗作為取樣，藉由實際參與互動空間實作案例以及互動設計相關的教學活動，並藉由參與式觀察法進行資料蒐集與分析，觀察與訪談學習者於初學互動設計時，所面臨之學習問題與困難等各種情況，分析歸納出在學習互動空間設計時，互動設計套件應需解決之問題，再就由探討實際用於互動教學之組件化套件，歸納互動設計套件所應具有的特性。

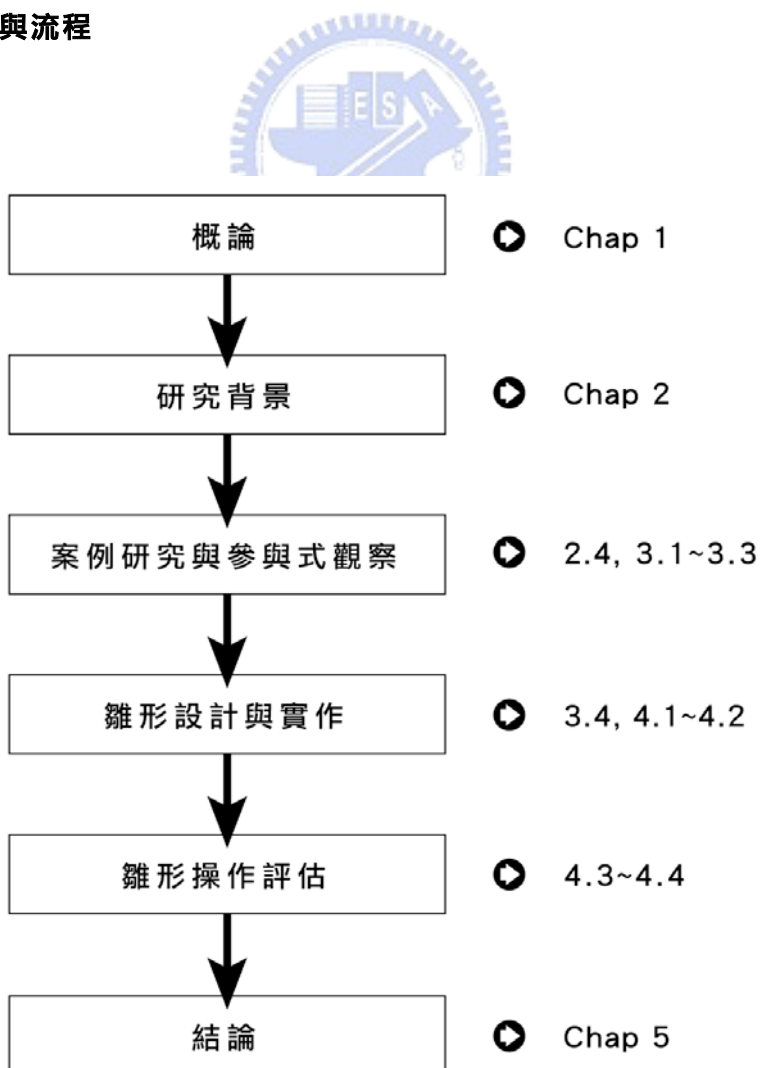
1.3.2. 雛形設計與實作

透過雛形的製作，可以直接映對所提出之研究成果是否能解決探討之問題，將概念進行驗證。分析互動設計流程與過去實作雛形經驗下所需組件之功能需求與連結方式，並依據各種組件的輸出與輸入方式規劃與發展所需設計外觀的形體、機構細部，並選取所需之電子與機械裝置，來設計並實作互動設計套件之雛形系統，於所歸納的基本元件中，挑選適合作為初學互動設計的操作元件，實作可用於驗證連結系統與建構方式的各種元件。

1.3.3. 雛形操作評估

透過實際操作互動建築雛形案例，運用IDT來操作真實案例之雛形，以IDT構成相同成果，驗證是否能作為互動空間設計使用。再透過深入訪談的方式，選擇三位受測者，由無互動設計學習經驗者與一位有經驗者，分別使用IDT作為工具來做比較，另外一味，選擇有互動設計經驗者，直接不以IDT做工具，用傳統方式來設計，來進行設計一互動產品，透過訪談其操作之經驗，實際評估使用IDT套件是否能達到預期之效果，即IDT可以幫助減輕學習的技術門檻，並且快速運用於設計上。

1.4. 研究架構與流程



2

研究背景

建築空間包含了多樣性的環境，除了是居住、工作、也是娛樂的環境，也曾經被稱為居住的機器與生活記憶的場所，也被視為使用者及功能構件所組成的，但也可作為社群交流的環境 (Chiu, 2005)。然而雖然社會與環境快速發展，人所居住的空間形態與百年前卻無太大的變化，空間仍然由柱、樑、牆所構成，但是現今的生活形態已不與以往相似，單一空間的屬性已不再絕對，反而常見同一個空間需要滿足不同的活動性質，開始產生複合式的空間，融合兩種空間屬性於同一空間，以應付使用者於空間中更多的需求。



2.1. 空間的感知能力

在1990年代初期，Weiser提出了遍佈運算 (Ubiquitous Computing) 此一觀念，創造智慧環境能隨時提供人於空間中活動所須之資訊與服務的願景。讓電腦的運算能力與優點由工作桌推向空間各處，開啟了服務跟隨著人走而非以機器為中心的思維。

一個智慧環境是一個擁有許多智慧裝置的小世界，可以持續地讓居住者生活更舒適，而一個智慧或智能環境的定義就是一個獲取或應用環境相關的知識，並且應用到居住者以改善它們在那個環境的經驗 (Cook and Das, 2005)。建築透過資訊與通訊科技的發展，各式各樣的感測器與無線感知傳輸設備，被用於空間中，透過隨處運算 (Ubiquitous Computing)與涵構感知 (Context Awareness)的串連，起居或工作環境可以更具調適能力，來適合支援數位生活與社交生活 (Weiser, 1991; Abowd and Mynatt, 2005)。環境中嵌入許多運算器，並將其用網路串起，以及透過精心設計情境下所運作的資訊，使得許多裝置在最低的成本下進行最佳化的控制。建築本體開始有了感知環境中變化的能力 (Chou, 2001, Sakamura, 1999)，透過感測器可以了解空間中的溫度、濕度、光線，以及聲音等的變換，並透過資訊轉換，顯示為使用者可以了解以及察覺的視覺方式，或是各種不同的燈光、聲音等回饋，使用者更

可以透過使用者介面來操作這些空間條件，使得所構築的空間比傳統建築多了時間性與自主性，提升生活的適應與變換能力。

自Ishii於1997年提出可觸碰的位元(Tangible Bits)理論後，探討人、電腦以及資訊的互動中，自然就反應出人類的行為，以及支援人類日常生活中的各項細節，是下一波人機互動科技所要尋求的。遍佈式運算媒體科技致力於電腦桌面以外的應用已行之有年(Abowd and Mynatt, 2000)。而所開始探討的發展，是身處於互動環境空間當中，所進行的真實與數位之間是如何相互互動的 (Winograd, 2001; Streitz et al., 2003)。喬治亞理工學院GVU實驗室研究者Dey及Abowd認為任何可作為描述情境特性的實質要素(entity)都可包含於「涵構」的定義範圍中，其要素包含：「地點、人員身份、活動狀態、實質物件或資訊物件」(Dey and Abowd, 1999; Dourish, 2004)。人與物件在現有空間環境中的動作及關係位置，實質環境的平面配置、溫度，以及人員身分及分布位置。「涵構感知 (Context Awareness)」代表一種廣義的輸入介面模型，輸入的內容可包含隱性與顯性的類型，且幾乎適用於各種應用。「涵構察覺系統」則是一種設置於空間中的運算系統，可感測到使用者在現有空間範圍中各種可能相關利用的環境要素，並回應使用者的需求。

因此，人機界面的互動，由傳統的圖形化界面(graphical user interface)，開始朝向如何結合真實空間與物件的操作方式，MIT媒體實驗室的擴增實境廚房，探討如何提供廚房中一切所需的資訊，但不造成干擾，讓人直接使用日常生活熟悉的廚房操作並結合感測器提供更豐富的資訊，使得訊息處理更加直覺(Lee, 2005)，不須額外精神處理(Fig 2.1)。透過資訊的擴增，如靠近冰箱，會顯示目前冰箱內的內容，不用再額外打開冰箱；或透過直覺的感知，如冷水流出會顯示藍色燈光，熱水則為紅色，使用者不必多透過觸碰來感知水溫。



Fig 2.1. 擴增廚房中的投影與顯示資訊 (1) 冰箱. (2) 調理台. (3) 櫥櫃. (4) 洗手台 (5) 抽屜.

Prante等人的Ambient Agoras研究了在探討未來遍佈式運算結合環室運算介面的可能性 (Prante et al., 2004)，嘗試讓實體元素與建築空間成為一組織內資訊交流、合作與社交的介面，而其中的一個成品Hello. Wall，則是個遠端與本地合作的社交互動實體案例 (Fig 2.2)。它包含了三種不同的互動狀態：周圍(Ambient)、告知(Notification)，以及互動(interaction)，與其鄰近的使用者互動。當使用者的靠近層度不同，牆面的涵構顯示也會有所不同 (Prante et al., 2003)。



Fig 2.2: Hello. Wall與手持設備的互動機制.

而由蘇黎士瑞士聯邦理工大學所發展的ADA智慧空間，透過六角形體所構成的組合式智慧地磚，可以即時地察覺與回饋周遭環境的改變 (Verschure, 2005)。每片地磚皆可對應不同的活動產生不同程度的顏色，並可透過不同的輸入方式來控制群體所反應的變化，例如使用者可以藉由“踢”的動作，改變一直線的地磚顏色來進行團體遊戲，也可記憶所有參訪者所留下的動作、聲音(Fig 2.3)。

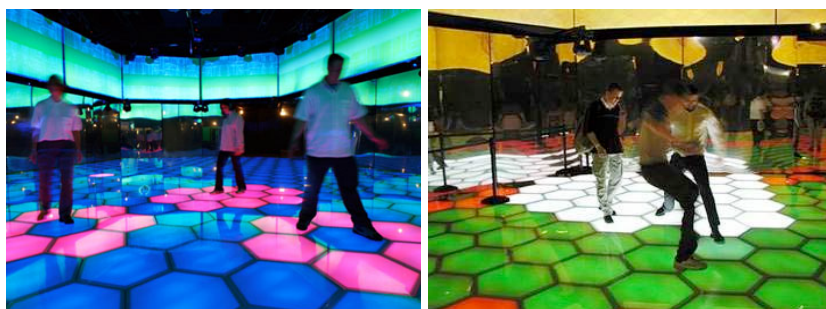


Fig 2.3: Ada Intelligent Room. 使用者可與智慧地磚進行互動遊戲

一個智慧環境應該就像樂高的組合系統，雖然提供了無窮的玩法，但卻十分容易操作，讓使用者經由直覺的操作經驗，卻可得到更多的知識、技能與創造力。

2.2. 空間的回饋能力

建築的發展一直與人和科技有著密不可分的關係，隨著資訊科技的發展，配合資訊技術帶來的技術條件，建築空間與設計將發生新的變革，實質空間之中穿插著虛擬的資訊，資訊作為新型態的空間介面之設計元素 (Mitchell, 1996)。建築的本體被作為科技結合的目標，它們開始扮演全球網路的角色，它們相互連結，與資料庫即時的互動，它們的外貌、形狀，以及內容可以無時無刻的改變，建築將可以變得狂野 (Oosterhuis, 2005)。也因此，建築中的環境將可能變得更多元化，有著更多不同的面貌。

探求智慧住宅的發展，自1960s到1980s之間，智慧住宅追求房屋自動化，1980s~1990s引進資訊系統並且追求智慧化的控制，1995導入遍佈式運算的智慧環境。控制的內容由過去定量的、對於最低能源消耗與使用者最大舒適度的控制，直到近代結合感測技術、運算科技，資訊與溝通技術，以導向更能反應使用者生活模式的自我程式化能力 (Mozer, 1998)，也由中央控制轉移為分散於背景控制。創造更具智慧化的機器不是一個新的想法，但是研究者須持續的追求這個想法，邁向更聰明更有效能的機器 (Nigroponte, 1970)。當建築以有了自我程式化能力，即具有「感知-演算-行動」的能力 (陳上元, 2007)。互動皮層與互動結構也因應了建築物須具有行動，建築的外層-皮層開始能反應環境的變化，建築的支撐-結構開始能夠變動，兩者相互配合下，所形成空間也就能因應空間中的活動感知，有相對應的改變。

互動建築(Interactive Architecture)一詞最早由Nicholas Negroponte於1960年代後期，在解決如何將神經機械學應用於建築空間問題時提出，他提出互動建築是運算能力整合進建築空間或結構下的自然產物，可產生更好的效能、更理性的建築 (Negroponte, 1975)。他還延伸此概念，混合了認知辨識、意象、演變(contextual variation)、意涵的概念與運算結合進建築。Negroponte將建築帶入科技、功能性、運作導向，自從Negroponte的影響後，許多互動建築的案例也漸漸產生，這些案例以靠著電腦可不斷運算的能力以及加入可程式控制的數位模型來對應現實世界以及事件來改變形體。

Peter Cook與Fournier在奧地利的進行的Kunsthau Graz美術館案，透過將傳統的建築立面，轉換成讓電腦控制、不斷改變影像，使得皮層表情變動的方式，讓建築由固定被動著角色，

轉為積極的主動者。這座奧地利美術館的正面仿生造型的建築外殼包覆著藍色半透明壓克力玻璃皮層上，以930個圓形燈管構成的BIX發光裝置，藉由光度強度的不同，以多媒體設計擴增其功能，讓建築有更多不同的面貌(Fig 2.4)，作為建築與城市人群之間的新溝通方式。



Fig 2.4 : 可程式控制的建築皮層，能改變外部照明的圖樣。

dECOi的 AEGIS HYPO-SURFACE，使用氣壓活塞、彈簧，以及金屬表面，透過三角形塊面的角度控制，來達成可變動的建築表面(Liu, 2002)。每一片塊面後面都有個氣壓活塞閥可以透過充氣給予塊面變動，不充氣時則彈簧會負責把塊面回復原來位置，當可以控制每片塊面的角度層度時，透過電腦可以用程式依序控制每一塊的變化層度，可以利用此表面模擬圖片的灰階變化，或是變化花樣(Fig 2.5)，結構相當簡單但需龐大數量電路控制，挑戰生硬的建築物表皮。

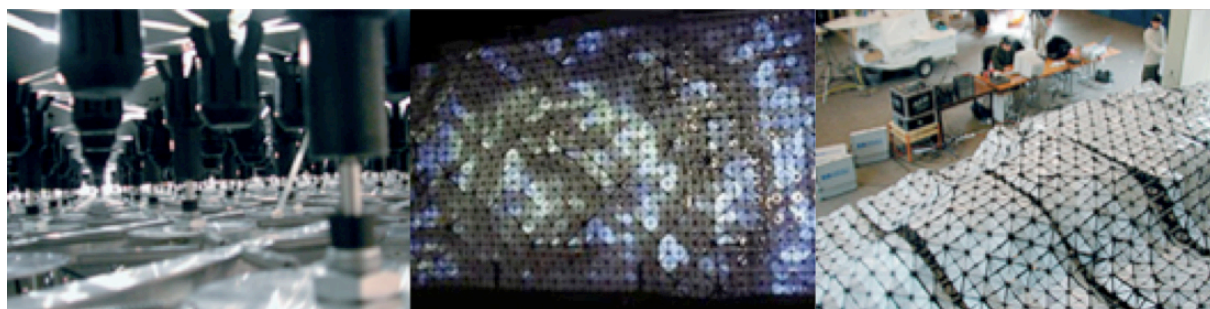


Fig 2.5: 透過一一控制單一表面，來改變表面曲面的圖樣。

科技驅使建築物或是空間以呈現成為可程式化的建築。有許多的研究相繼研究動態結構的機制，利用各式不同結構以及材料來滿足動態建築結構的支撐與變動，如台夫特科技大學 (Technology University Delft) 的超越身體研究實驗室 (Hyberbody Research Group, HRG) 與 ONL 設計工作室發展的肌肉非標準化建築 (Non-Standard Architecture, NSA) 計畫，發展一連串將固定的建築物容器視為身體構造的機構案例，可程式化的建築物藉著收縮與放鬆工業化的肌肉來改變形狀 (Oosterhuis, 2005)。MUSCLE-TRANS-PORTS 為可程式化的建築雛形，可透過收縮與放鬆氣動肌肉，來改變形狀、高度、長度 (Fig 2.6)，使用者可以進入這個交互構件所組成的圍繞空間，透過感測器來改變此建築型的外觀。參訪者藉進入由”肌肉”所組成的感知空間內，空間中的感測器會察覺人們的活動來改變自身的形體。透過參與者於當中的活動作為參數，不斷地改變建築的設計外觀。而之後的肌肉重塑 (Muscle ReConfigured) 則利用充滿氣體的肌肉之剪力壓縮力，來彎曲超合金細條的硬邊緣使其變軟，來構成可程式化的彎曲表面。



Fig 2.6: 參與者可藉由於其中的活動來改變其形體

由這些發展可得知，電腦以及各式的感測器於建築空間所扮演的是越來越重要的角色，相互之間的連結也越來越複雜，整個建築物可說是越來越像一台大型的電腦，而智慧化的環境與居住空間的實現與設計養成也將是不可避免的趨勢。

2.3. 互動設計工具

電腦輔助設計的出現，新的設計媒材已開始改變傳統設計多樣的發展(Liu, 2003)，各種不同的數位設計媒材試圖解決於電腦中執行傳統設計過程的問題，並幫助節省傳統設計過程的時間並更進一步給予設計者新的刺激，如筆式系統提供設計者直接於電腦中繪製與修改2D草圖(Wellner, 1993; Gross, 1996)，而為了設計發展階段需要模型來模擬更精準的設計概念，數位媒材只有提供單純的2D草圖已不敷使用，故虛擬輔助設計幫助了於電腦中直接編修數位模型(Ouyang, 1996)，開始發展出透過電腦系統將經由筆試系統直接於電腦中輸入2D草圖轉換為3D數位模型 (Igarashi, 1999; Bimber, 2000)，以及加入人機互動透過實體模型的改變建構數位模型，或藉由互動界面來控制數位資訊與模型(Anderson, 2000; Ishii, 2004; Rekimoto, 2002; Igarashi, 2005)，Anderson(2000)結合觸碰式互動(tangible interaction)與圖形演繹(graphical interpretation)發展了新的3D建模方式，經由小孩玩樂高(Lego)等積木玩具能容易建構簡單的模型之概念，把幾何模型運算能力放入好玩、可觸及的積木組件中，並透過圖形演繹產生模型的細部，藉這個系統，使用者可以使用簡單的構件來產生3D模型。Ishii(2002)發展的擴增實境都市計畫工作台(Augmented Urban Planning Workbench)，利用擴增實境將草圖的製作、實體模型、電腦模擬等，整合於同一工作環境中，使用者可藉手持攝影機及時導覽實體草模，於投影顯示幕中會顯現對應的虛擬數位模型，還可藉由電腦模擬，動態即時模擬日照陰影與交通流量。

雖然各種空間設計結合新的媒材工具不斷地出現，但大多還是著重於靜態空間的設計，這些新的空間設計媒材雖然持續發展，但卻還是用來解決傳統的建築問題，對於已經漸漸浮現具可感知與回饋能力的新一代建築，也就是本身具備了許多各式各樣的感測器、微處理器、可動構件與通訊功能的互動建築，設計師們也將須開始思考建築與這些元件之間的關係(Mitchell, 2006)。而在這樣的發展下，設計師們也開始引進人機互動的設計工具來進行互動設計，實體運算(Physical Computing)一書提及實體互動技術的基本機制，即於實體空間中藉由各種裝置，包括使用者輸入的硬體設備、擷取並進行邏輯判斷的運算處理、輸出給與使用者感知的訊號處理硬體(O'Sullivan & Igoe, 2004)，因此，一個基本的互動系統設計中，使用了硬體裝置的架設與運算處理的軟體編寫，來構成人與機器互動的核心。而這種機制已長久被用於電子或機械設備上，直至近年軟體工具與硬體設備的普及，逐漸被運用

在設計或藝術領域上，互動設計也因為探究互動性而成為許多發展創意之教育單位所注意的新方向。

互動設計的硬體裝置是由各式各樣的電子元件與規劃好的線路集合為一張電路板或集合。各個元件間經過電路轉換電子訊號與邏輯運作，來完成所設定的特定功能。傳統的電子電路設計，是單純地就所需要功能，選取各種所需的電子元件來組合，然而，僅使用電子元件所製作的裝置，一旦發現問題或新增部份功能就得重新製作印刷電路板，嚴重缺乏彈性。因此，早期的許多互動設計裝置，將許多需要處理訊號的邏輯判斷功能交由電腦中的軟體負責，讓電腦作為所有硬體相互溝通的中介，因此在變更互動設計時，就可以不用大幅去更改裝置的硬體，僅需更改軟體端的判斷即可，但由於電腦的體積過於龐大且耗電與昂貴，故許多的互動硬體，皆紛紛開始使用體積小、省電、便宜的微控制器(microcontroller)作為硬體的運算與處理核心，而這類的處理器也因具有可重複燒錄程式的功能，可以不斷地更新自身的功用。

而最常見的微處理器，如8051、PIC系列等，都為了減少開發上的麻煩，發展出了多功能的開發板與所用的開發軟體程式，設計者僅需在電腦端的編寫晶片專用的程式，就可建構各種不同的互動功能 (Fig. 2-7)。

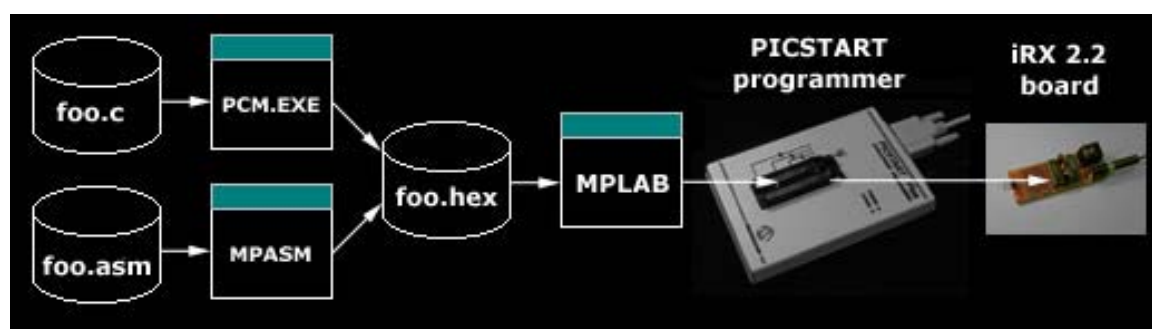


Fig 2.7: MIT發展的PIC互動開發板。

這些互動設計媒材工具，不僅只被工程人員所使用，在互動設計開始被設計與藝術領域廣為發展後，越來越多的非資訊與電子背景的設計者投身這塊領域，然而，這類的開發套件，在軟體端的編寫過於繁雜，必須了解每塊不同的晶片之腳位呼叫、訊號的編碼處理，甚至

必須處理單晶片的記憶體配置，對於非本背景的設計人員難以上手，因此許多的研究也紛紛開始探討如何降低互動設計開發的知識門檻與過程，來符合更多不同領域的設計者使用，如MIT發展的Processing程式語言與後來 Ivrea設計學院發展的Wiring語言與互動板 (Hernado, 2004)，甚至發展至於目前最多教育單位使用的Basic Stamp與Arduino都開始將這些程式模組化 (Fig. 2-8)，透過於電腦中專用的開發介面，讓設計者用簡化過的程式語法來達成以往相當複雜的編寫流程，再更新處理動作到開發板中，讓設計者可以專注於電路實作與互動流程設計，動作製作互動設計的雛形系統。

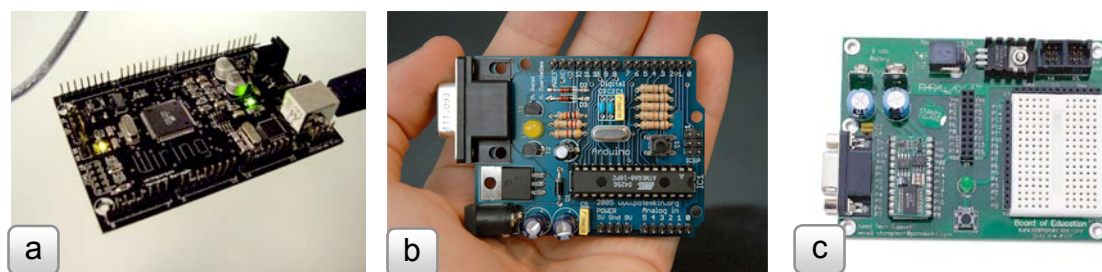


Fig 2.8: 目前廣受設計者喜愛的開發板 (a) Wiring (b) Arduino (c) Basic Stamp。

► MAX/MSP

MAX/MSP是一款專門發展作為音樂、音效與多媒體處理的開發環境，提供了圖形化程式編寫邏輯 (Fig 2.9)，使用者透過安排圖像式物件的邏輯與對應關係，廣泛地被演奏家、作曲家、藝術家運用於聲音、視覺與數位藝術上，由於其抽象式圖像編譯程式的特性，亦被用於互動設計的運用，提供直覺性的邏輯編寫操作。

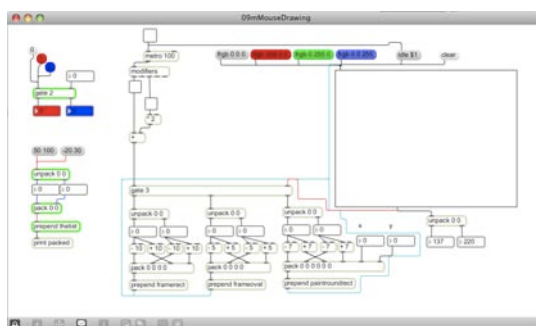


Fig 2.9: MAX/MSP的圖像式開發環境

► PROCESSING

Processing針對以視覺呈現為主的應用，提供簡易的程式環境，著重於動畫、互動與即時回饋等功能（Fig. 2-10）。開發設計者的初衷是讓創作者能利用程式碼快速描繪(sketch)腦中的想法，隨著過去幾年的積極推廣與開發，Processing已經不僅止於「草案」的描繪，它已被大量採用於進階的實務應用上。原本只是針對藝術家與設計師所創造的 Java 延伸套件，現在已經進化成為大型專案經常採用的快速原型與完整解決方案，包括裝置藝術、動畫、舞台、以及複雜的資料視覺化應用，廣泛地用於互動設計雛形系統的視覺與邏輯控制。



Fig 2.9: Processing的程式開發環境界面

► Basic Stamp

Basic Stamp是套早期用於機器人控制與電子系統控制的硬體開發套件，由於有完整硬體開發板與開發環境，以及豐富的周邊硬體設備支援（Fig 2.11），亦被廣泛使用於互動設計的雛形系統開發上，但由於開發板的價格較高，一般學習者與設計者逐漸開始尋求更低廉的開發套件。



Fig 2.11: 各種不同版本的Basic Stamp開發板

► Arduino

Arduino是近年來相當受歡迎之基於開放授權的互動開發套件（Fig 2.12），強調了讓設計者、藝術家能更快上手數位互動技術。由於低成本的硬體開發板、包裝簡化的硬體開發程式語法與開發平台、以及開放平台的資源，Arduino已經於互動設計領域中扮演主流工具的角色，大量地用於數位藝術、裝置、實體運算雛形系統。常與Processing或MAX/MSP合用於互動設計案例，負責實體端的環境感知接收與控制，將資訊傳送至電腦中處理。

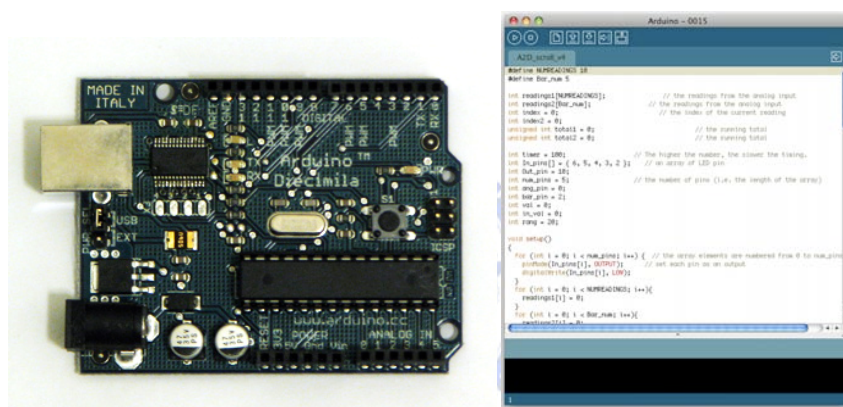


Fig 2.12: Arduino的硬體開發版與開發介面

基於這些開發套件的普及，也有一系列的研究與產品，開始發展與其搭配的電子套件，將這些直接製作成模組，開發者只需選購這些製作好的配件，可以免去自行焊接的過程，例如iStuff提出將日常物件結合運算能力，探討各種運用的可能性；而Phidgets (Greenberg & Fitchett, 2001) 發展了一系列電子套件的周邊，可以讓開發者自行選用，降低電路實作的門檻，使其整合發展更複雜的電子套件。

在互動設計的學習上，由於各種領域發展的工具不斷地改良，旨在於養成開發者的基礎，雖大幅降低學習的門檻，然對於獨立完成一互動系統，熟悉開發工具與訓練跨媒體整合能力，仍須投入大量的學習時間。

2.4. 互動空間實作案例

隨著空間的多樣性開始藉由科技的進入而轉變，上述描述的互動建築與智慧空間的案例在國際間陸續展開更多的研究與發展，而近年國內也開始關注數位居家的議題，交通大學建築所也在2004年起規劃人機互動（HCI）領域，並開始成立人機互動小組研究空間與科技之間的相關議題，並學習各類能運用在互動設計領域上的開發工具與相關產品，並開始進行許多空間互動的實作，試圖探討科技的介入，能否增進更多人與空間之間，實體物件與心理層面的連結。本文於此列舉出作者所實際參與的案例，作為先前研究之探討，針對空間互動的實作與架構進行說明。

► 北美館明日建築展

交大建築所於2007/2/14至2007/4/22在臺北美術館所舉辦之展覽，探討實體與虛擬，以及互動與空間等議題，透過數位化的建築方式呈現，包含了電腦輔助製造設計（CAD/CAM）、虛擬實境（VR）、人機互動各領域所研究製作的成果。當中結合科技技術、創新概念之下的互動空間，呈現多樣性的未來空間使用經驗：

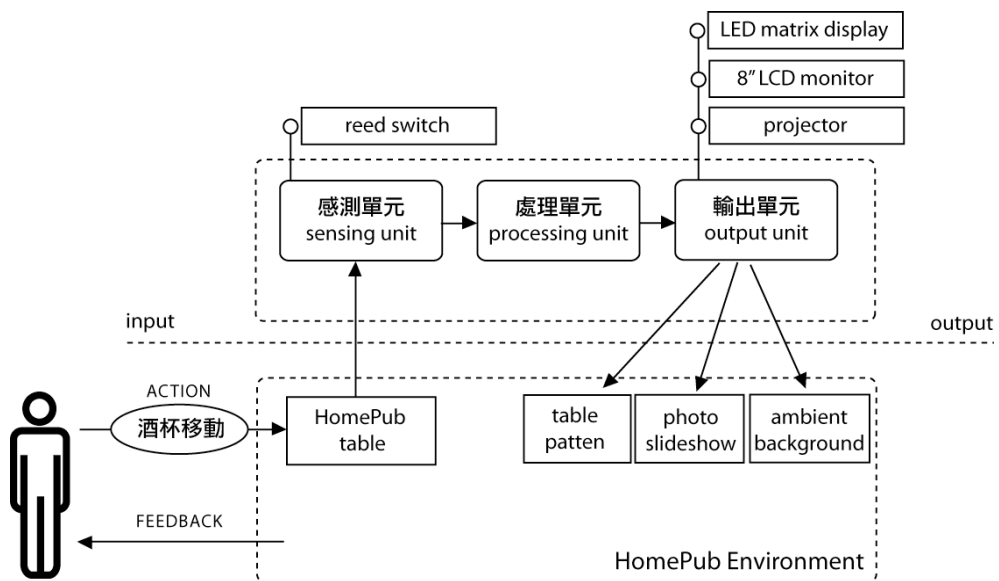
- (1) 時光HOME PUB：家的空間藉由此系統的輔助能反映家人間的情感，並適時的給予回饋，家人間也可透過此系統中的像框即時做視覺、聽覺、及觸覺上的親密的對談。且藉由桌面上的時光杯印反應出不同時空背景的人所牽引出來的回憶，而酒杯的移動，更可刺激使用者對家人情感的思念（Fig. 2.13）。讓未來生活的空間能與使用者做自然的溝通，也藉此裝置提升家人、朋友間維繫情感的凝聚力量。且當一人獨自在家的情況下，此空間更可適時的給予視覺化情感的回饋以減緩思念家人、朋友的不適感。而此空間更可減緩未來生活所害怕發生的疏離感。



Fig 2.13: HomePub的實際操作畫面。

此案例強調透過人熟悉的操作經驗，將物件的使用經驗直接結合虛擬資訊的操作，使得資訊的展現與控制能更隨心所欲，並結合記憶與情感的操作，試圖將冰冷的數位像框與介面操作重新設計為私人心靈充電站。

[實作架構]



當使用者操作裝有磁鐵的酒杯，透過磁簧開關陣列判斷其位置，經過運算後，轉換LED杯墊該顯示的位置，並決定是否轉換數位相框中的內容，以及投影背景顯示。

Table 2-1. 時光HomePub操作物件之屬性與設計邏輯

物件	單元屬性	設計邏輯
磁簧陣列	輸入	感知自然操作行為控制的酒杯位置
電腦主機	邏輯處理	判斷輸入訊號，將實體酒杯位置與虛擬杯印位置相比對，控制輸出裝置的內容
LED矩陣	輸出	顯示實體酒杯位置 / 酒吧模式的情境燈光
投影機	輸出	投射虛擬酒杯杯印 / 酒吧模式的情境背景
數位相框	輸出	顯示相對應於虛擬酒杯杯印的照片內容

- (2) 無線空間：探討人在空間的活動是否可被空間感知，而這些活動又如何影響空間。此案例為全展區的串連，透過無線感測網絡，來訪者所配戴的特製項鍊，不僅可用來在參訪之初拍攝個人剪影，還記錄了參訪各展區所佇留之歷經時間，且當進入各單一展區，會直接影響該展區的照明，顯示所配戴項鍊之色光，當觀賞完整個展區後，更可利用此項鍊列印整個參訪過程的專屬明信片，其上有著個展區的組合背景，會根據來訪者的各區參訪時間不同而有不同大小，並會結合初時所照之剪影與日期做為紀念（Fig 2.14）。

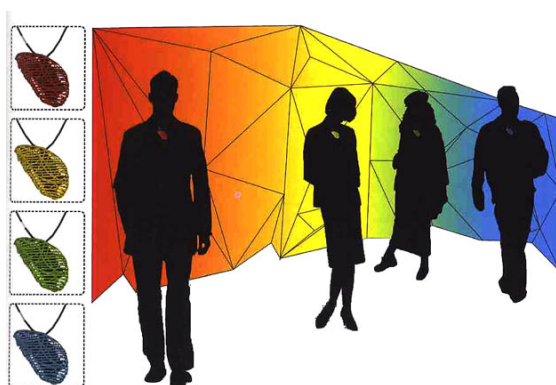
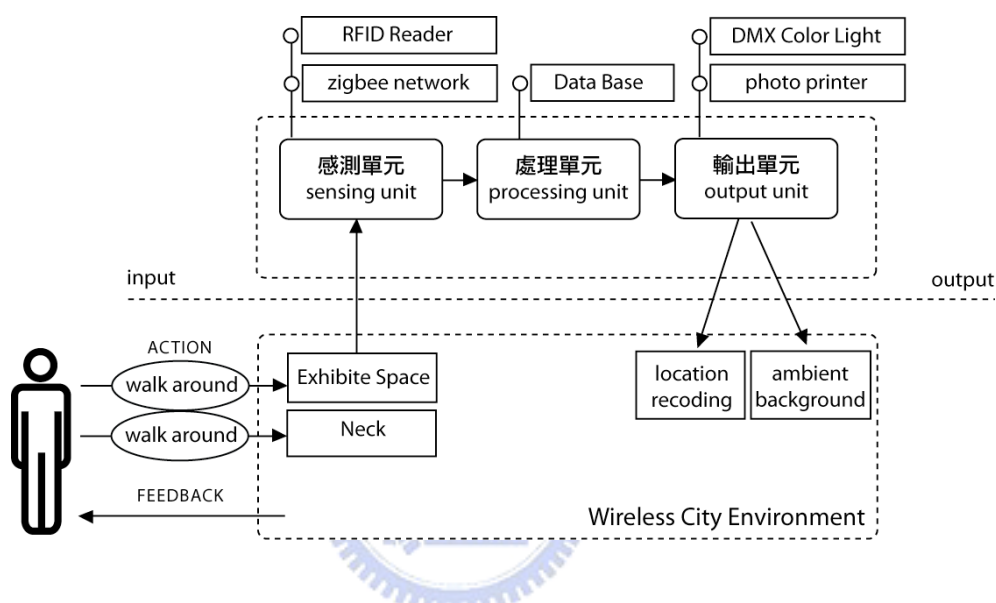


Fig 2.14: 無線空間的特製項鍊與示意圖。

無線空間將使用者的位置當做資訊的輸入，讓空間感知人群暢遊其中的路線與時間，改變空間的色彩來回饋不同的參與情形，並進一步將該參觀者的資訊轉變為明信片，將虛擬的紀錄擴增至實體空間瀏覽經驗中。

[實作架構]



使用者身上所配戴的項鍊中，同時放置Zigbee發送器與RFID Tag，透過Zigbee無線感測網路來隨時追蹤使用者的位置，並隨時計算每個參觀點的停滯時間，以記錄於資料庫中，此外透過利用RFID來操控登入主機與列印主機，一方面利用其身分辨識的特性，另一方面採用一次感應即可的操作方式，免去使用鍵盤滑鼠之較繁複的操作介面，加強整體系統的親和力，並於最後列印結合個人影像與參訪資訊的個人化明信片。

Table 2-2. 無線空間操作物件之屬性與設計邏輯

物件	單元屬性	設計邏輯
項鍊(Zigbee)	輸入	感知使用者所在位置 / 身分辨識
項鍊(RFID Tag)	輸入	作為操作系統的觸發 / 身分辨識
電腦主機	邏輯處理	顯示參觀狀況 / 照片拍攝 / 列印輸出控制
資料庫主機	邏輯處理	隨時記錄使用者位置、時間、狀況
印表機	輸出	輸出參觀記錄與個人剪影之明信片
電腦燈	輸出	顯示相對應配戴項鍊之環境色

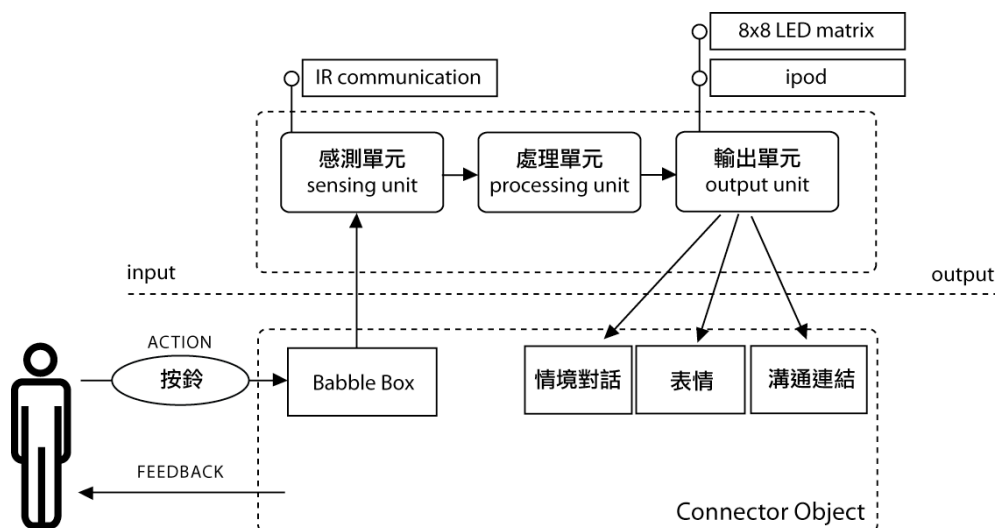
► 交大跨媒體團隊德國科隆展～建築所作品：連接子 (Connector)

交大建築所、應藝所、音樂所三所受德國科隆文化局之邀，前往科隆市德意志橋內展出的數位藝術展，試圖將不一樣的文化視野帶入在長達300公尺的空間中，而其一之子作品即為建築所設計之連結子，為了善用此特殊的橋內狹長空間，採用了單車作為操作因子，透過單車特有的車鈴鐺，重新包裝人使用單車時的經驗，車鈴鐺常作單車客當做警示或打招呼的工具，故於單車上加裝一個盒子 (Babble Box)，當鈴鐺按下時，會主動替使用者打招呼並顯示表情 (Fig 2.15)，而若對向有來車，接收到招呼資訊，也會自動回應並顯示表情，試圖幫漸漸不會相互打招呼的現代人，把日漸淡薄的人際關係重新找回連結。



Fig 2.15: 裝設於腳踏車上的Babble Box。

[實作架構]



透過裝設有開關的單車鈴鐺，透過直覺的觸發，啟動Babble Box的紅外線訊號傳送，控制ipod切換對應的招呼曲目，並同時顯示LED表情；另一方面，若對向同時有來車，則對方接收到該車發送的紅外線訊息，則會透過對應ipod曲目與LED表情來回應。

Table 2-3. 連結子操作物件之屬性與設計邏輯

物件	單元屬性	設計邏輯
鈴鐺	輸入	結合開關，作為事件觸發的起點
紅外線發送	輸出	作為直線性無限傳訊，代替使用者打招呼使用，並具編碼性
紅外線接收	輸入	接收另一台裝置盒所發送的訊息
微處理單晶片	邏輯處理	隨時記錄使用者位置、時間、狀況
iPod	輸出	切換情境的對話，扮演招呼代理者的發聲
LED矩陣	輸出	顯示相對情境的招呼表情

2.5. 小結

智慧環境的出現，也讓更多的運算科技與感測技術整合於空間中，遍佈式運算與互動建築等議題也著重了處理人、空間、物件之間的連結與互動，也因此近年漸漸出現許多互動設計的工具，開始探討建構新型態的空間，然而對於設計者而言，於現階段要獨立建構一互動空間，需要相當多元的技術能力與經驗，因此若有符合設計時所需的操作工具，可幫助簡單了解如何利用感測器擷取空間中的元素，如何將這些元素轉變為操作變因，回饋於影響空間的變化，對於在空間互動設計的學習，以及對大型互動空間的規劃，相信是有所幫助的。

3

互動設計套件的分析與設計

現今互動設計所使用的一些開發設計工具，讓設計者可以透過學習，運用在自己的設計之中，使設計更具有運算與功能性。然而，在學習的過程中，這些的設計工具依然有所不足。初學互動設計的設計者雖然能快速發想出具創意與發展潛力之互動設計概念，也能經由帶領，規劃出簡單的功能與互動流程，然而，雖然使用了簡易化的開發工具，但對於如何進一步規劃電路與程式邏輯，甚至實際製作，卻仍需付出相當的時間深入去學習各種電路知識以及程式撰寫。

在一完整的互動設計經驗中，設計者會先於腦海中構思抽象式的設計概念，經過一連串的討論與整理，將較模糊的抽象概念轉變為功能性與組織性的具象邏輯，明白構思的設計具有怎樣的互動模式與功用，接著依著邏輯規劃，再規劃實作所需採用的組件與程式流程，進一步透過實驗與經驗，選用電路與材料來實作出互動雛形系統。在Fig 3.1中可以看出，從設計概念發想到實際電子電路製作的雛形系統特定化的流程中，可以分作設計與實作兩個階段，在透過參與式觀察的過程中，發現相當多的設計者可能擁有足夠的能力完成設計階段的工作，卻無法自行順利地進行至實作階段，需要另外有人輔助規劃，選取適當對應的設備與操作方法。反之，能快速完成實作階段的理工背景者，卻往往對於如何將成品的設計抽象化感到棘手。本論文之互動設計套件 (IDT) 的目標即希望能扮演一黑盒子的概念，讓設計者自由發想好設計概念，再適當地規劃好邏輯，就可以透過將邏輯置換為IDT組件的動作，快速地完成雛形系統，減少花費於理解電路配置與程式撰寫的時間。

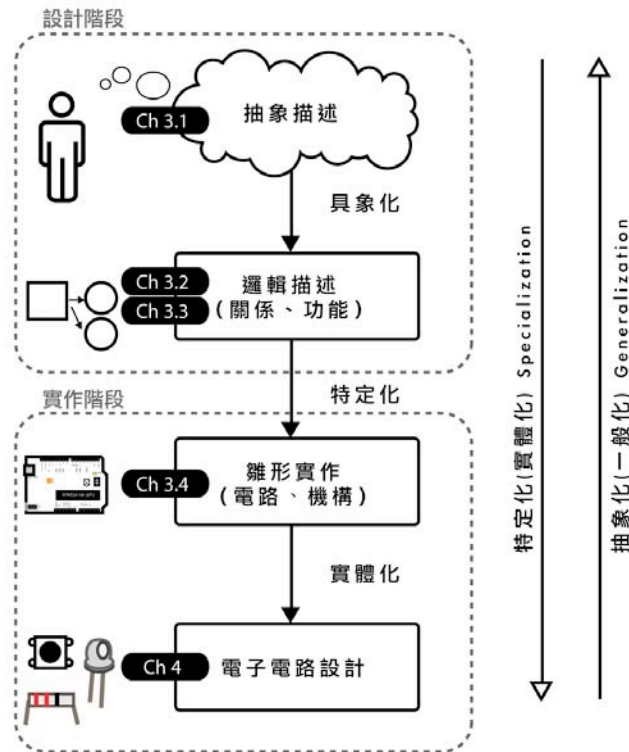


Figure 3.1. 互動設計開發的過程中，設計者如何由發想至實作。

在本章中，將依Fig 3.1的流程，逐步解決如何轉化，作為IDT的設計依據。將先針對透過參與式的觀察，了解設計者在使用現行的互動設計工具時所遭遇的問題，並以此歸納出較適合設計者使用之互動設計工具之特性。藉由挑選分析比較抽象化互動設計工具之功能優劣，推導本研究所發展之互動設計套件的功能性準則，再分析互動設計成品的控制流程，探討所需元件的功能與連結方式，實際設計出配合互動空間設計的操作套件。

3.1. 參與式案例探討與分析

為了解設計者在學習互動設計工具時，真切的需求與問題，來歸納出互動套件所應具有的特性，需要於實際學習過程中，讓設計者透過操作，來反應設計概念與實際製作的落差，以及接觸跨領域訓練的心得。故本研究選擇參與式的方式，實際透過教學活動，直接與受測者進行討論與互動，藉觀察與訪談取得本研究所需的學習者問題與需求。

3.1.1. 互動設計學習活動參與案例

本研究透過參與下列互動教學訓練課程 (Table 3-1)，實際擔任教學工作，使用現今最常用於互動設計學習課程之Arduino或Basic Stamp開發板，進行基礎的互動設計課程教學，針對互動設計學習生手進行訪談與觀察，由中透過學員的反應與學習狀況推論出本節初步探討問題。（*註 本研究將互動設計學習生手，定義為「不具備運算與電路背景之設計與非設計界人士/學員」。）

Table 3-1. 互動教學訓練課程參照表

活動名稱	時間與地點	主要性質	參與人員背景	生手比例 % (生手數/總人數)	擔綱角色
國際創新設計與數位涵構研習營	2007.9.26~2007.10.5 雲林科技大學	將數位互動技術結合工業設計領域，重新組構與定義設計產品的性質與成果。	台、日、韓、加四國設計相關大學之大學與研究所學生，主為工業設計、視覺傳達設計與設計運算背景。	80.0% (36/45)	互動課程講師，負責教導三小時互動入門課程，並於工作營期間擔任技術指導與支援。
Michael Fox互動建築工作營	2008.3.15~2008.3.17 交通大學	介紹Basic Stamp開發板及基礎相關電子知識，了解各種互動結構與案例，並實作互動結構成品。	國內建築相關科系研究生，以及設計相關科系學員。	66.7% (10/15)	工作營助教，擔任工作營前預先課程教學，教導Basic Stamp使用與相關電子知識。
數位美學與互動設計課程	2008.4.8~2008.4.22 交通大學	介紹實體運算的相關知識，並使用Arduino開發板	建築所數位美學與互動設計修課學員，主要為建	71.4% (5/7)	實作單元助教，負責教導三堂課，合計

		進行實作的電子知識演練與學習。	築所學員與一位電子所學生。		共6小時互動時做課程，並於期末專案給予諮詢與支援。
玩趣工作坊	2008.6.30~2008.7.4 交通大學	介紹數位藝術當中的數位技術，並透過跨領域與跨年齡的人員合作，實作互動數位藝術成品。	介紹數位藝術當中的數位技術，並透過跨領域與跨年齡的人員合作，實作互動數位藝術成品。	63.2% (43/68)	工作營應援講師，擔任工作營實體運算課程助教與分組創作對輔，帶領跨領域整合與溝通。

由於此類學習活動多要是由設計相關學院或推廣單位所舉辦，主要參與對象大部分為設計或藝術領域開始接觸互動設計的生手，並無任何相關的電子知識或程式撰寫能力，且對於互動設計領域尚未熟悉，故此研究針對於這類背景的初學者，綜合輔助研究案例中的觀察與訪談，常見以下問題：

- (1) 心理因素～對於不熟悉領域的擔憂：此類問題常見於設計領域，如工業設計、建築設計等學生，初接觸電路設計或程式設計者，常有「焊電路似乎很危險」、「電路跟程式一定都很難，我一定學不會的」之類的意見，常在學習之前，看到繁複的實體電路或密密麻麻的程式碼就先放棄學習的信心，故應讓初學者先免除必須直接面對不同領域細節的壓力。
- (2) 學習因素～電路與程式設計的門檻：儘管跨越心理因素，面對互動開發的學習，儘管現行已有的互動開發套件能幫助學習者更快進入實體互動設計的階段，免去自行動手焊接互動開發版與處理底層單晶片語言的繁複步驟，但光接觸感測器，就得更進一步的電路連接、訊號處理等，更不用說實體電路與軟體介面的整合，卻需要許多電子電路與程式語言的知識，對於初學者而言，容易失去學習的重心，故應著重感測器特性的學習，而非其電路。
- (3) 需求與目的：學習者通常有目的導向及興趣導向兩類，目的導向之學習者，僅想要了解互動設計如何使用於設計中，而另一類學習者，才會希望能徹底了解不同領域的相關技術細節，故應先讓學習者快速了解實體互動的可能性和訊號的溝通方式，能快速透過互動設計運用於設計中為主軸；其次才應該是其中的技術細節，

但也須提供一定的可能讓學習者了解其中的原理，並可能進一步將自己的想法擴充。

3.1.2. 互動設計學習套件需求特性

「我想做出一個會隨我舞動的生物體，會像水母般的舞動」

多數初學互動設計的設計者，在互動設計專案製作發想時，初期都會以較意象或抽象的描述方式，來表示其設計概念。然而在學習互動設計，開始著手發展設計的過程中，第一步會面臨的問題就是將敘述性的抽象表達，轉化為具系統性的架構關係與功能定義，也就是定義互動流程與互動機制 (Fig 3.2)。

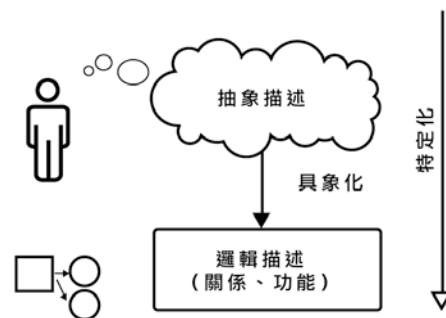


Figure 3.2. 如何將抽象語彙或意象轉換成一清楚的相互關係，為最初所要解決的問題。

在進行一個完整的互動開發過程中，必須包含產品概念發展、系統架構設計，接著必須對於其功能自行測試連接電路、程式撰寫，再就外觀與機構發展，才能完成產品的雛形系統 (Fig 3.3)。



Figure 3.3. 互動設計開發流程，對於初學者而言，有太多需要克服的問題。

然而，經由觀察與訪談的過程中，這些學習者反應雖然使用現行的互動開發套件能幫助他們更快進入實體互動設計，往往對於他們而言，僅需一些基本的功能來實現他們的設計，例如：發光、轉動、觸發等等，但不易上手的電路往往造成對於互動開發的學習產生恐懼，並影響原本設計的結果必須配合不熟悉的電路，無法於設計初期就能完全掌握這項設計媒材。

對應這些學習問題，在過去參與教學的過程中，嘗試了先不講解電路，僅介紹元件的特性，再讓學習者直接使用製作完成的成品，則對於基礎知識的了解會易於由基礎電路講解開始的學習者。若進一步於透過教導的過程中，經由抽象化圖示來簡化複雜電路，來教導電路的功用與概念，則設計背景的學員，對於此圖像式的學習方式能更快比其餘生手學習者了解，甚至開始產生興趣者，夠再進一步改變部分電路元件進行操作。

因此對應上一小節所提出之三點學習問題，並綜合於參與過程中所觀察與試驗的部分教學經驗，歸納提供設計者在學習互動設計時，互動設計學習套件應具備的基本特性，應是：

- (1) 簡化使用者學習問題，由使用中學習必要的基本知識。
- (2) 透過抽象化方式，隱藏過於複雜的電路細節，讓操作學習由大概念起頭。
- (3) 連結方式需簡單，提供未來讓使用者自行連結與組裝。

3.2. 互動設計環境探討

「我想做出一個會隨我舞動的生物體，會像水母般的舞動」，再次端看上一節所提到的抽象描述，經過邏輯性地規劃後，將概念落實，並思考該設計的流程與功能，所需的互動流程可能轉變成「水母會根據我的位置不同，會揮動不同的觸手，當我面相對哪邊，朝向我的那邊觸手要舉起」，輸入的抽象環境因子為使用者的位置，當中經過一連串的邏輯判斷，輸出則為水母的觸手機構。

當空間要滿足主動與使用者反應時，必須具有感知與活動能力，因而會需要各種不同的輸入與輸出之構件，隱藏於空間物件之中，來作為環境反應使用，而在進行互動設計的過程時，會對設計的概念之功能、系統架構、材質、構件與設計物本身之定位等再進行切割分析，然後去選擇所適合的輸入參數，透過設計過的運算、包裝，將結果輸出產生滿足所設想的情境。

為了設計出具有感知能力的空間或物件，學習互動設計由必許熟習電子元件與電路的構成或程式方法，才能理解如何建構並選用適合的元件來滿足互動感知能力，而在技術的學習輔助上，可分為兩種性質，一種是常見於理工科電子電路教學上，藉由軟體模擬各式電子元件的連結，學習者必須由電子元件的基礎去理解，再藉由自己於軟體端將線路連結，來驗證所有的電路連結正確性，將所有硬體端的功能放入軟體中模擬（Fig 3.4a），如PSpice、IsSpice專門用於模擬電路實習之軟體等，但技術層面過高，學習者需受相當的電子電路訓練。另一種為已廣泛用於互動設計實習與教學的使用，由抽象式的模組來包裝複雜的技術層面，藉由軟體橋接硬體，軟體端的邏輯接收由硬體端傳送的訊號，並能反向控制硬體（Fig 3.4b），這樣的操作方式，使用者能透過僅了解訊號傳遞，而不需細知硬體端的內部構造來操作其思考，較適合設計者學習，也已廣泛用於設計界使用。

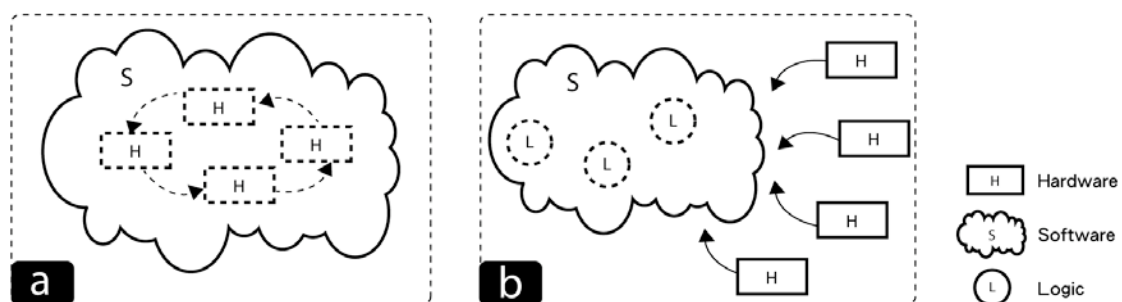


Fig 3.4. (a). 用軟體方式模擬硬體的功能。(b) 藉由軟體的邏輯整合硬體的連結。

由於本研究就空間互動設計之學習作為出發點，故就先前歸納出適合設計者於學習互動設計時的工具應該具備之特性，得到使用抽象式的模組概念能幫助設計者理解元件的功能與使用方式，故在互動設計環境的案例探討上選用MAX/MSP與LEGO MindStorms NXT，此兩者皆已作為正式互動設計課程教學之使用，且發展相當成熟，並皆以透過抽象化的概念進行操作，簡化過多的細節，以下將針對兩者分析其在抽象化特性下，所提供之功能與組件特性，以及對於空間性的互動設計適用性，推導出本研究IDT套件設計的依據。

3.2.1. MAX/MSP

MAX/MSP是一套運用圖型化介面開發邏輯並控制連接電腦之電子裝置訊號的軟體環境，原主要發展使用於數位音樂設備介面 (musical instrument digital interface, MIDI)，但因圖像邏輯化的介面，逐漸演變成可以於軟體介面中控制各種電腦輸入輸出介面的環境，多被運用於即時電子音樂的展演與製作。

- (1) 操作環境：為電腦環境中的操作軟體，透過切換編輯與執行模式，可以即時自由拖拉加入與移動物件，更改組合的邏輯方式，動態產生不同結果。
- (2) 實作概念：其將每個功能切分為各個獨立的模組物件，提供了各種不同特性的單一獨立物件 (Fig 3.5)，透過獨立物件的操作，將物件抽象化，使用者可以不用理會物件是如何構成，只需了解物件本身的功能與輸入、輸出訊號，透過軟體介面中可視的虛擬連線，將物件之間『連結』起來，就等於將一個個物件組合成另一個大物件，沒有一定的主控端，也沒有一定的連結順序，端看單一物件即時的輸出輸入訊號，相互影響整體的呈現結果，甚至可以將輸出的結果回饋當做輸入端訊號使用，可以視為功能導向的組合方式。



Fig 3.5. MAX/MSP多元的各類物件，提供各種不同的功能。

- (3) 限制：由於此套件為軟體端軟體，故必須於電腦端上執行，當中的物件也僅限於虛擬端上的組合，雖然可將裝載此套件的電腦也視為一獨立的單一物件，而電腦端的各種訊號輸入訊號（如Webcam捕捉、聲音輸入、鍵盤滑鼠操作等），以及各種輸出控制（如聲音播放、影像播放等），也皆可看為單一物件的輸入輸出，但若實際連結到實體空間的操作，如燈光控制、馬達驅動等功能，就非單在此套件上做操作而達成之事，且亦必須於套件軟體中，配合外部所連結的實體裝置，做許多的額外處理。

3.2.2. LEGO MINDSTORMS NXTS

LEGO MindStorms NXT（以下簡稱NXT）是樂高公司所生產的第二版本機器人學習套件的，早期是為讓兒童學習邏輯與建構概念，而由於實體化組件的多樣性和簡易使用，並能結合傳統樂高積木的各類組件，進行各種形體的建構，疊加機械動作與感測能力，開始被運用於各種機器人學習與競賽，並使用於可動結構的學習與驗證。

- (1) 操作環境：主要為在實體環境中的組裝，分為控制單元與結構單元。控制單元即為NXT核心中端與其控制的各類感測器，做環境的辨識與機構的運動。
- (2) 實作概念：由於NXT將每個控制零件都作為實體模組化，使用者只要清楚單一零件的功能，以及必須放置的相對應接口（Fig 3.6），例如開關零件接到數位接口，馬達零件得接到類比接口。接著安排NXT對每個零件包裝好的邏輯方塊之順序，來實作NXT的自動控制。由於NXT是透過一控制核心來連結各種專用的感測器，且於其上透過所提供的簡易介面安排邏輯，或電腦端撰寫後傳輸於其上，再進行控制，實作控制的方法可看為主從架構，皆由核心接收與放號訊息，進行組合結構的動作。



a. NXT透過自定的接線規格來與各零件相連



b. 控制零件的連接口

Fig 3.6. NXT核心單元與各種感測器連接

- (3) 限制：雖然使用NXT可進行實體化的互動開發，並有簡單的操作介面來設定流程，但由於NXT的成本過高，無法普遍使用於人數較多的大型教學活動，較適合小班分組的方式。NXT的感測零件接口，受主控端核心的限制，最多同時處理8個感測零件，而且NXT感測零件種類亦較少，且由於徹底模組化，學習者不易了解內部零件，對應市售感測器電子元件，以理解元件性質。再者，在於操作上，使用者無法立即於組裝過程中，即時得知組裝的成果，必須再透過介面的程式安排，才能驅動物件的動作。

3.2.3. IDT套件設計架構

本研究在分析使用抽象式概念模組的套件特性後，根據先前所列設計套件的分析和互動設計學習套件應具備的基本特性，發現MAX/MSP所採用的即時操作物件，最能快速反應讓使用者針對單一物件的功能進行了解，且能立即疊加另一物件，即時透過組件功能做邏輯操作。然卻必須局限於電腦環境的因素，僅能所見及所得，不容易於實體環境中操作，提供實物操作經驗，更無法用於實體設計成品之上。而LEGO雖然提供了於實體環境中組構互動物件的解決辦法，但其主從式的架構，反而造成擴充使用更多組件時，控制接口不足，在設計時也須專門考慮主控核心的放置方法。再者，NXT其成本過高的問題，著實不易於使用在互動教學上做使用，更不利於嘗試製作互動產品開發，而必須先組裝再編寫邏輯的方式，也令操作經驗上，強制分為兩階段，對於初步的學習互動設計，並未完全簡化使用者學習經驗。

本研究分別延續兩者部分特性，及為提供使用者於操作上的直覺與便利，將避免使用者在操作中於實體與虛擬介面做切換，並為了讓使用者能透過實際的操作，來初探實體互動設計的特性，將採用全實體操作介面，Table 3-2整理出本研究IDT的規劃與上述兩者的比較。

Table 3-2. 套件設計規劃比較

	MAX/MSP	LEGO MindStorms NXT	IDT 預期實作規劃
操作環境	虛擬介面	實體介面組裝 虛擬介面設計邏輯	全實體介面
結構方式	功能組合	主從架構	功能組合
實作概念	物件本身為操作介面，可即時地做設定與變更，且物件可自由組裝為提供另一功能之組件。	透過實體的組裝，但需由電腦端預先編寫物件動作	物件本身即操作介面，透過實體的組裝，即時反應不同組裝成果與操作方式。
學習簡化	將物件簡化為最簡單單元，僅需了解功能與連結方式，物件與物件的溝通，只需連結線段，並提供即時反應。	提供快速拔插的實體連結線，並針對零件屬性，提供對應的數位接口與類比接口。	使用統一的連接線與接口，讓使用者僅需了解物件特性，即可快速操作。
隱藏細節	將物件的內部構成包裹成另一個物件。	隱藏複雜的控制電路，提供各零件包裝好的專屬控制邏輯。	物件等於基礎電路，每一個物件皆為基礎學習課題。
分析	僅為虛擬介面中的操作，物件模組的概念不易被實體化。	高成本，不易理解物件中的所使用零件，無法即時反應組裝成果，且物件的邏輯需在虛擬介面中完成，操作與資訊的顯示不夠直覺。	將基本邏輯直接方入實體物件中，使用者透過動手操作能直接做邏輯的組合，並掌握實體互動的概念。

3.3. 互動控制流程整理與分析

整理現今之互動元件案例 (Greenberg & Fitchett, 2001; Ballagas, 2003; Hernado, 2004;)，以及於上一章提及之以往實做案例經驗，分類其機制與複雜度，並透過修改Fox的互動機構控制流程 (Fox, 2001)，歸納為本論文所要依循的五種基本實體空間的互動控制系統架構，並於每種分類提出該流程所需互動元件種類，以利推導出IDT所需互動元件：

(1) 直接控制 (DIRECT CONTROL)

透過裝置本身直接去影響環境，並未透過其他環境因素作為輸出參數 (Fig 3.7)。例如常見的燈光、電風扇等，藉由裝置本身獨立，可直接對其操控，並立即反應的控制方式分類為此，並將此種類視為單一輸出控制元件。



Fig 3.7. 直接控制種類是裝置自身直接控制。

(2) 間接控制 (IN-DIRECT CONTROL)

在此分類中，環境的反應狀態是透過感測器的回饋，此一基本的控制系統是透過感測器由開始捕捉外在的變化，透過感測器傳送的訊息不同，再透過輸出裝置反應不同的狀態或程度變化 (Fig 3.8)。此一種類為互動設計教學的基本練習時，最常使用的基本控制流程，以下其餘分類也皆由此延伸，像是光感控制檯燈、動作感應窗皆由此控制流程產生，本研究將此流程的感測器視作單一輸入元件 (single input)，而輸出裝置視為單一輸出控制元件 (single output)。

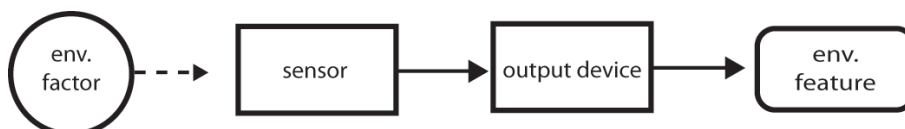


Fig 3.8. 間接控制種類為互動裝置的基本型，透過單一的感測器控制單一的輸出裝置來達到簡易的環境感測互動。

(3) 可適性間接控制 (ADAPTIVE IN-DIRECT CONTROL)

此分類由上一分類延伸，但由於輸出裝置經常需要透過決策判斷要如何反應感測器所輸入之訊息，且對於複數的感測器作為輸入，也需要經由判斷來對應輸出，故多會添加微處理器 (microcontroller) 作為運算單元 (Fig 3.9)，增加互動設計的可適性。這種控制流程通常需要較為複雜的輸入判斷與複合的環境因素作為運算參數，如基本的智慧環境需要溫度、光線、二氧化碳容量的變化決定是否開關窗戶，因此在互動模組單元中，除基本的互動元件，也須新增運算單元 (computing unit) 與複合輸入元件 (multi-input) 來應付不同的環境因素來源。

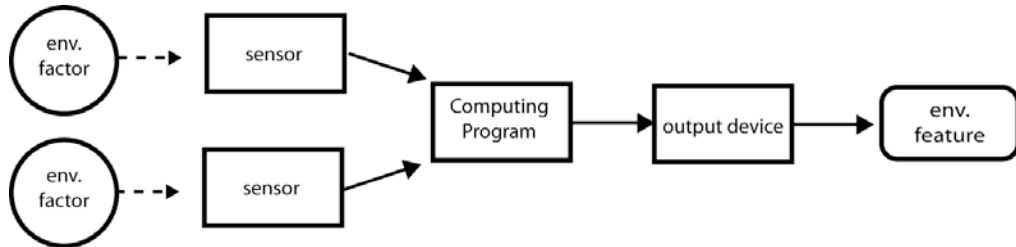


Fig 3.9. 利用運算單元來增加互動流程的可適性，並處理更多不同的環境因素。

(4) 遍佈可適性間接控制 (UBIQUITOUS ADAPTIVE IN-DIRECT CONTROL)

這種分類為一群的感測器與一系列的輸出裝置相互運作，運算單元必須有些預先規劃好的邏輯與參數來決策那些輸出裝置該做出反應，以及如何反應，這樣的流程已可成為一獨立的遍佈式運算單元 (Fig 3.10)。於此流程中，尚需新添增複合輸出元件 (multi-output) 來應付不同的輸出狀態。

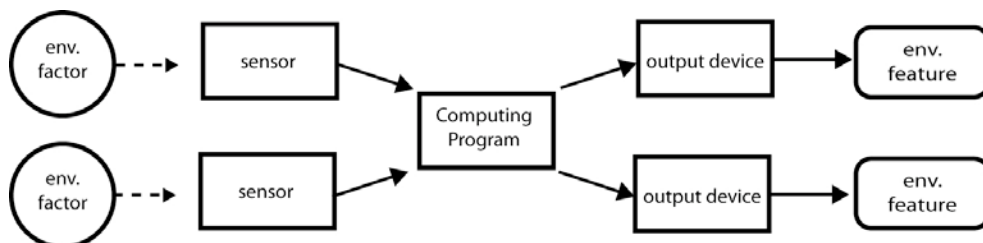


Fig 3.10. 具多輸入與多輸出能力的運算，可製作遍佈式運算獨立單元。

(5) 互聯式間接控制 (UBIQUITOUS ADAPTIVE IN-DIRECT CONTROL)

透過將一連串運算單元相互連接，可以藉由此分散輸入輸出的裝置，可將其每一運算單元與其相連接的輸出輸入單元視為一子系統，但並非獨立地運作，而是透過內部網路連結來做決策，可以透過連結電腦當做運算單元來增進控制流程的能耐與提供更豐富的功能，如資料庫、搖桿、投影機...等等，也因此會有額外的一些特殊處理設備，需要另外做運算處理或線路安排來納入系統流程中，為最終也是最複雜的一種互動流程 (Fig 3.11)。此流程可實行於大部分的互動運用，然而與先前的流程相比，此流程所需的系統複雜度與成本相對需求即相當高。

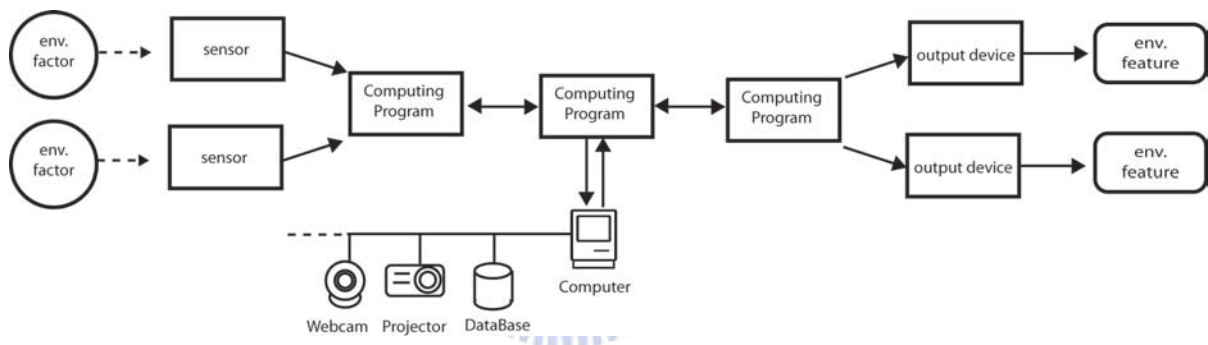


Fig 3.11. 結合電腦的運算效能，以及網路連結可加強互動流程的強度。

由此五種控制架構中，可見任何互動設計皆由各種基本元件單元所構成，在不同的設計與情境腳本下，透過不同元件的組合，產生不同的功能集合，製作為雛形系統，最後再經不斷地修正改良與整合，並包裝為完整的成品。

3.4. 互動設計套件設計

「水母會根據我的位置不同，會揮動不同的觸手，當我面相哪邊，朝向我的那邊觸手要舉起」，在了解邏輯敘述所需的資訊與控制的目的，進一步於實際製作時，就必須不斷地實驗用哪種元件取得資訊，以及如何處理資訊，而設計的雛形就可能特定化為「使用光當做媒介，水母會根據我的位置不同，造成光影的遮蔽，故會感知我所面相的方位，朝向我的那邊觸手就會經由機構帶動舉起」，在這階段，雛形必須實際地將邏輯敘述再落實，規劃出所採用的環境因子，以及邏輯處理的條件，來改變輸出控制 (Fig 3.12)。在現行的互動設計操作中，往往需要相當多的時間與技術能力，來處理如何取得環境資訊，甚至因於此階段的技術因素或環境操作不如預期，而最終回頭改變設計。

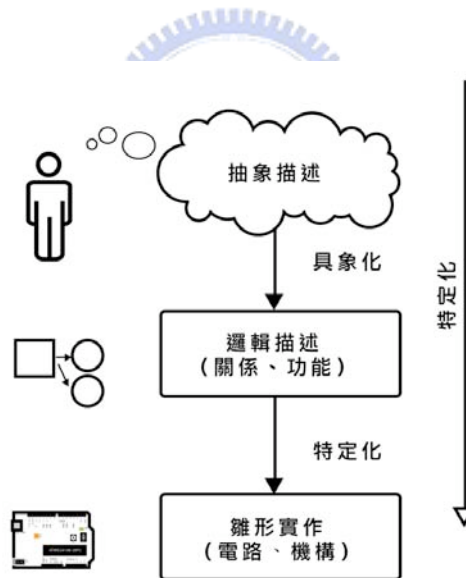


Fig 3.12. 規劃雛形系統的實作，往往是互動設計最耗費人力的階段，甚至有可能因此變更設計。

因此，為了落實由抽象概念整理至邏輯敘述後，設計者能更快實行概念的驗證，必須思考如何簡化由邏輯敘述實行雛形開發的過程，使用者如何能快速體驗不同的操作因子，或更進一步透過快速置換，可以在設計初期就可以驗證想法可行性。

本論文發展的互動建築設計套件 — IDT，將定位為著重設計者學習空間互動設計的初期，對於觀念的了解與操作，並減少操作平台的切換，針對提供初學者容易使用及誘發對基本互動設計流程的掌握能力，未來對於互動設計能更有興趣來自行設計更多的組件來運用。綜合了上述推導之空間互動設計套件特性、設計架構、元件種類，於此小節將進一步明確設計IDT各元件的組成，並基於使用目標族群定於初學者使用，設計滿足概念學習與快速建構雛形系統的互動設計套件。

本小節將分為三部分進行設計探討：

- (1) 符合互動控制流程組構之元件
- (2) 功能性的區分
- (3) 改善不同平台操作的困擾

3.4.1. 符合互動控制流程組構之元件

整理各互動流程所需的基礎元件，互動設計的實作系統架構之各元件，可以依在互動控制流程中的組構控制角色歸納為：

- 單一輸入(single input)：即流程中的基本感測單元，此類元件僅專門針對單一種控制因子感測，如光、觸碰、旋轉、彎曲等，讓互動系統能有不同的感知選擇。
- 複合輸入(multi-input)：單一輸入的延伸，可同時處理數個輸入，經過處理再傳給邏輯單元或複合輸出，增加控制系統感測複雜度，例如磁簧開關矩陣。
- 邏輯單元(MCU)：負責思考與溝通，如何將感知的輸入經過轉換作為輸出，例如環境光的變化，可轉化為聲音音階的改變。
- 單一輸出(single output)：負責獨立輸出控制功能，各個元件具有各自的輸出特性，如光、轉動、聲音等，提供互動系統有各種不同呈現。
- 複合輸出(multi-output)：整合數個獨立輸出，協調輸入源來決策輸出對應的目標與改變，例如LED燈矩陣。
- 額外特殊處理設備：當系統過於複雜，或是需借助其他額外硬體來做特殊運用，往往這些硬體需要特殊的通訊協定，或更複雜的需求來與互動系統做結合，如電腦、DMX燈控系統、RFID讀卡機、投影機或iPod等，可以說在一互動系統外再連結另一互動系統，組合擴增為更大的架構。

透過這些元件的相互連結，來捕捉環境變素並經過處理，回饋給使用者或影響環境，可自由搭配組合為各種互動設計的雛形系統，Table 3-3整理了這些元件在邏輯觀念上連結的可能性。

Table 3-3. 邏輯連結類型

The ways of Each Component Connection

	multi-input	MCU	multi-output	single output	extra device
single input					
multi-input					
MCU					
multi-output					
extra device					

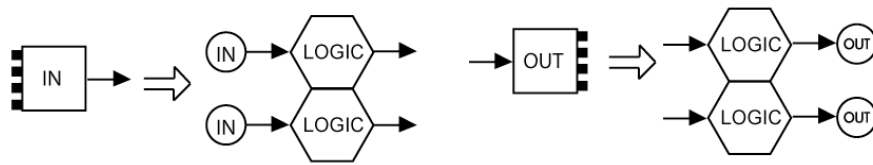
: single input
 : multi-input
 : MCU
 : single output
 : multi-output
 : extra device

而在基礎學習的情況下，除了某些需要特定對應關係，例如：LED矩陣輸入與磁簧陣列等，需要不斷重複掃描狀況之複合處理單元，或是過於複雜的對應處理，較單純的複合輸出與輸入，可以簡化為兩種對應關係：

- (1) 同值關係：此種狀況下，複合輸入的來源或複合輸出的輸出值都是相等的，則可視為數個相同單一單元，即複合輸入可簡化為單一輸入、複合輸出可簡化為單一輸出。



- (2) 對應關係：此種狀況下，複合單元的數值傳遞直接對應某個環境因素之處理，則可將複合單元分解成數個基本單元連結對應的邏輯處理後，再傳遞給後續的處理單元。



故若以最簡單的架構組成，即基本感測輸入單元、邏輯處理單元、基本控制輸出單元之間的相互組合，可以拼湊出任一基本互動控制流程，而取決的僅是設計的概念與單元的功能，並非太過繁複的電路實作與程式撰寫。

3.4.2. 功能性的區分

於教導互動設計的課程時，設計背景的學員在敘述設計概念時，不會先以電子元件與技術面去思考，而是利用抽象的語彙，或是環境因子與操作行為來去構思，而在實際操作互動設計，也是先由概念設計來決定操作行為，再根據此來決定使用的技術與元件。

故先根據互動流程可能的各種元件分類，針對於互動空間設計的需求，就環境因子選用適合之基本電子元件，並配合元件自身的特性，進一步加入可觸碰的位元(Tangible Bits)所倡導結合人類自然行為的資訊操作，以此規劃IDT所包含的基本輸出與輸入元件。

Table 3-4. IDT基本單元採用

環境因子/ 行為操作	元件	分類	抽象意象	互動空間設計可能應用
光	光敏電阻	輸入	私密/開放 明亮/昏暗	- 手部揮舞的偵測 - 人於空間的移動
	LED燈	輸出	明亮/昏暗 表達.指引	- 行進方向指引 - 資訊顯示
溫度	溫度感測器	輸入	活潑/冷靜 煩悶/清爽	- 掌心溫度同步 - 室內溫度變化感知
	致冷片	輸出		- 材質表面加溫/降溫
水	濕度感測器	輸入	循環.清爽.波動	- 室外氣候感知
風	風扇/ 馬達	輸出	狂野.速度	- 充氣結構的控制
聲音	麥克風	輸入	旋律.氛圍	- 環境音輸入
	喇叭	輸出		- 警示. 情境音樂
移動	滑動開關	輸入	切換.距離	- 物件位置的偵測
	磁簧開關			- 推.拉基本狀態判定
	三軸加速器	輸入	搖晃.震盪	- 物件瞬間動作判斷
轉動	馬達	輸出	變化.推拉	- 空間配置改變
	可變電阻	輸入	調節.改變	- 開門狀態偵測
觸摸	馬達	輸出	旋轉.速度	- 互動結構控制
	電容感測	輸入	撫摸.接觸	- 空間介面的操作
	近接開關	輸入	按擊.滑動	- 物件放置與否的偵測

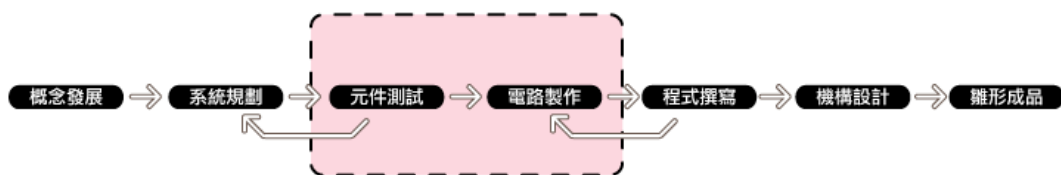


Fig 3.13. IDT套件期透過模組化，降低於設計流程中的實體電路之難度。

IDT規劃降低初學者於互動設計運用於電路製作上的費時與困難 (Fig 3.13)，將各種基本元件組件化，提供使用者能透過不同的基本輸入與輸出元件的快速組合，能轉化不同的行為模式或環境因素，透過互動系統的設計，在經由運算轉化後，進一步回饋到使用者與環境變化 (Fig 3.14)，亦即透過設計者所構思的情境(scenarios)不同，可以將輸出與輸入單元不斷地替換，快速了解一互動雛形系統的互動模式之驗證過程與預想成果。

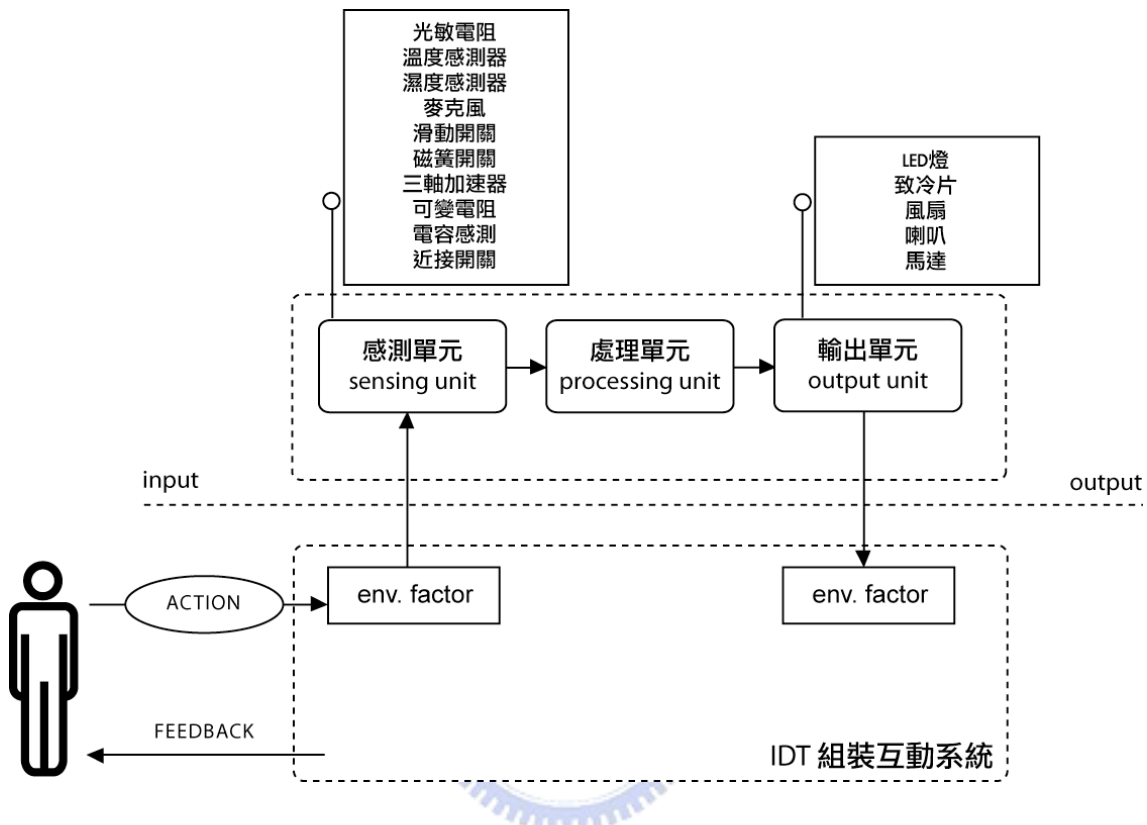


Fig 3.14. IDT實作架構，用於組裝互動系統時可任意替換元件。

3.4.3. 改善不同平台操作之困擾

在不同的設計需求下，會規劃不同的情境(Scenarios)，自然會產生不相同的互動模式，倘若直接採用相同的輸入與輸出，還須進一步有不同的處理單元，提供感測分析與運算處理，有更多不同的輸出變化。然而，現今的開發套件與開發板，雖提供完整的硬體套件與開發環境，以降低互動設計的開發門檻，但皆需在電腦環境中撰寫好程式邏輯，再輸出至硬體上，方能產生實體運算的互動成果。而這樣的操作，對於初學者而言，必須不斷地在實體電路與虛擬開發介面之間轉移操作行為，不僅降低對其一方的專注力，也加重初期學習的門檻 (Fig 3.15)。

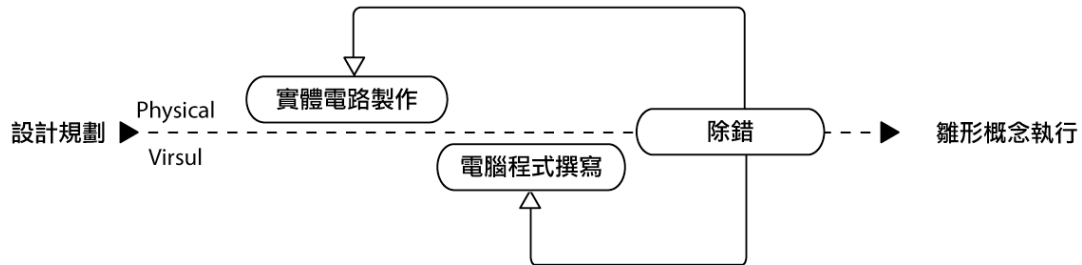


Fig 3.15: 現今的實體互動開發，於製作時皆需不停在實體與虛擬平台中切換。

在IDT的設計中，希望改善以往學習需要在不同操作平台中不斷切換的問題，即學習者需不斷地於實體電路與電腦操作介面中轉換，期能整合雛形設計步驟中的電路實作與程式撰寫階段（Fig 3.16），讓使用者能在單一實體平台中，即能直接操作設計電路的連結與簡單的邏輯操作，以提供初學者能快速於設計階段驗證想法與實作間的差異性與可行性。

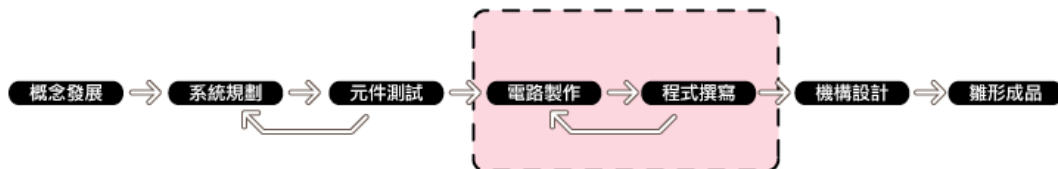


Fig 3.16: IDT套件期透過整合基本邏輯，降低於設計流程中的平台切換困擾。

在過去實際的互動設計基礎教學課程中，除了教導各式輸入與輸出元件的特性與電路外，尚教導如何透過撰寫程式邏輯處理來控制輸出元件與分析輸入元件。而透過教學與編寫教材時的經驗，可以歸納基礎入門邏輯處理運算可以分為五種，整理為Table 3-5，IDT將採用此五種邏輯，並結合為實體單元，提供全實體運算的設計經驗，讓模組化觀念能延伸至實體操作，另一方面則可減少必須切換平台操作的干擾。

Table 3-5. IDT邏輯單元歸納

邏輯	敘述	舉例
門檻值判斷	環境因子變化的情況下，會決定滿足基礎條件，來執行輸出控制	使用光敏電阻控制LED燈，當用手遮住光時，亮燈，反之，關燈
反相	當需要將輸出或輸入條件調換時，改變原來的訊號	使用開關時控制LED燈，要做到通路時關燈，斷路則亮燈
訊號放大	當要直接採用輸入訊號作為控制使用時，若輸入的變化太小，會將變化量增幅	利用光敏電阻直接作為LED燈控制參考，影響明亮程度，加強變化程度時
方波產生	聲音或伺服馬達控制的控制方式，需要控制方波的頻率產生與時間	控制喇叭產生聲音
正反向控制	需要切換給電的方向時，所採用的控制方式	控制馬達的正轉與反轉

故IDT藉由將邏輯操作思考包含於組件的方式，結合抽象物件的優點，提出另一種學習互動設計的操作方式，試圖讓物件具有邏輯處理的能力，能與電路端硬體做訊號整合，並橋接軟體端操作的邏輯思維，讓學習的操作平台能更整合為單一，能藉由實體操作即達到學習與設定知目的（Fig 3.17）。

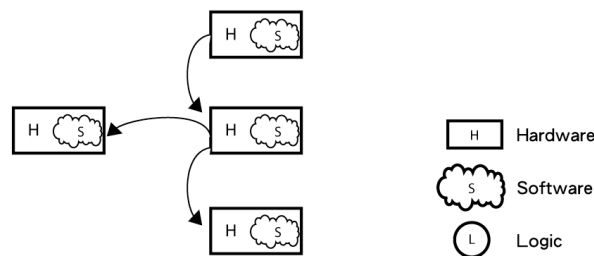


Fig 3.17: 藉由將操作界面整合，讓實體操作即為邏輯操作。

3.4.4. 小結

互動設計套件（IDT）藉由參與式的方式，歸納出現初學者學習互動設計時的困難，藉由模組化、簡化學習等的基本需求，進一步結合互動設計流程中所需的單元概念，推導如何透過將基礎電子元件依功能與互動流程控制角色分類，來模組化各基本電路，降低於製作實體電路的學習困難，並進一步將基礎邏輯控制概念整合到實體電路中，減少切換操作平台的困擾，設計為全實體運算的互動設計學習套件。

4

互動設計套件的實作

為了實際驗證能否透過互動設計套件(IDT)來幫助學習互動設計，將實作出IDT的實體控制與邏輯單元，讓電路設計抽象組件化，以及邏輯概念實體化的落實為此章節的重點，並進一步重視學習者於使用操作的簡便、資訊視覺化的設計包裝，達到以設計者為出發點的學習套件。而本論文的操作選用，將先採用最基礎的互動元件進行實做，搭配基礎的邏輯，先行驗證互動設計套件對於初階互動設計的使用。



4.1. 模組化套件的實體化需求

「使用光當做媒介，水母會根據我的位置不同，造成光影的遮蔽，故會感知我所面相的方位，朝向我的那邊觸手就會經由機構帶動舉起」，前一章節所使用的案例，經由雛形的規劃，開始選用該使用何種電子元件來達到理想的效果，有可能將其實作架構為詳細的實體製作層面「使用四顆光敏電阻，分佈在不同的面向，當使用者遮蔽一方的光敏時，會造成電阻值變化，即可得知使用者的位置。接著藉由伺服馬達來帶動觸手關節的動作，來模擬觸手的舞動」。到了這個層級，互動設計已進入將雛形實作規劃轉變成細部電路實作與程式撰寫的部份。然而，實際的問題在於，就算是已有一定經驗的互動設計者，也往往需要相當的經驗，才能確實地知道該選用哪種電子元件，進一步才了解該搭配哪種數值的電阻、電容，來形成有效電路達到需求，更不用提當中的訊號處理與電源處理，學習者往往需要專人來輔助或是耗費相當龐大的時間來實驗與測試，找出可行的辦法與偵錯。而IDT為解決互動設計特定化之流程，即需解決於實作時電子電路的複雜與元件線路連接的問題，以黑盒子的操作方式包裝起這些對於設計

抽象無關的電路，將其抽象化為雛形邏輯思維，僅存元件本身特性做使用與學習的重點 (Fig 4.1)。

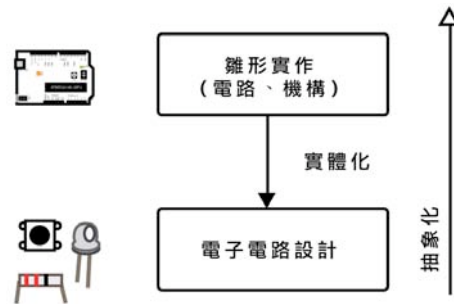


Fig. 4.1: 解決互動設計學習的最大重點，在於如何將複雜的電路知識抽象化為簡易的雛形設計邏輯。

而在上一章節，歸納了互動設計組件的特性，整理了基本單元與邏輯單元的需求，然而，若需要將其實體化，需要再更進一步思考實際於操作時，學習者對於觀念與操作性的問題，故接下來會針對IDT如何簡化此問題做說明。

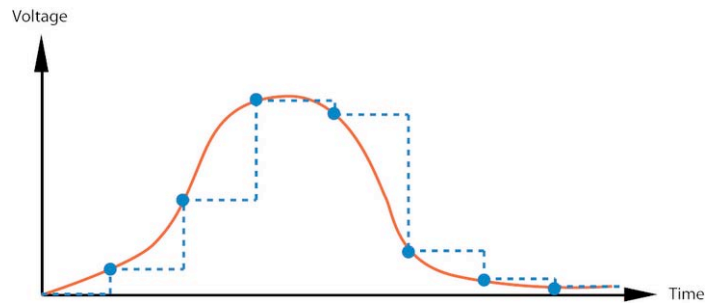
4.1.1. 單元的訊號

當以往學習實體電路，單一個基本電子元件，往往需要配合的相關電路，結合為可供使用的單元，而單元與單元之間的也是透過訊號的變化來傳遞環境變化或狀態的控制，在基礎的教學上，所選用的電子元件的訊號變化幾乎皆以電壓變化為依據，根據使用上的不同與元件特性，訊號可以分為：

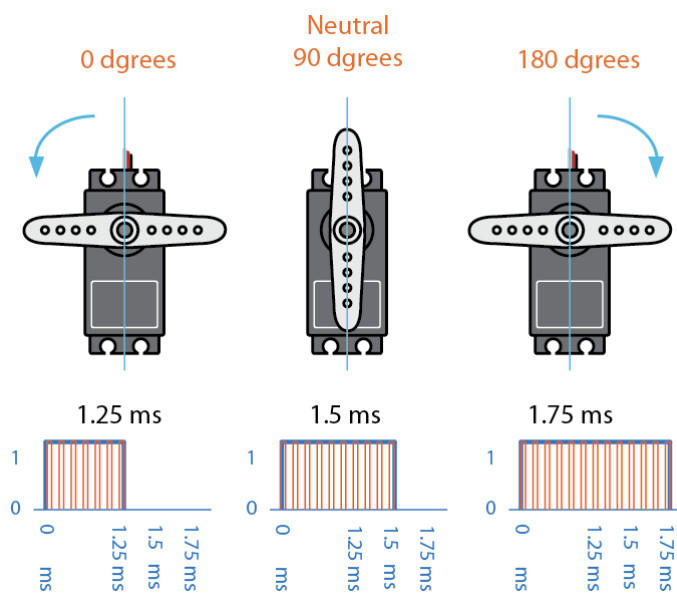
- (1) 數位 (digital)：給電或不給電 (HIGH / LOW) 之間的變化、狀態改變的依據，例如LED的亮暗、按鈕是否有按下。



- (2) 類比 (analog)：有程度上的變化，是一線性的關係，可與環境因素變化成正比的對應，例如旋扭的轉動變化、光敏的遮蔽程度。



(3) 脈衝 (pulse)：有些電子元件的控制是透過不斷地改變給電狀態，一直重複一定單位時間的HIGH、LOW，來做為編碼改變其輸出動作，算是數位訊號的延伸運用，只是需要運算處理，這種編碼方式叫做脈衝編碼調製 (Pulse Coded Modulation)，例如透過不同的脈衝時間，可以控制伺服馬達 (Servo Motor) 精準的角度變化。



因此，若採用了不同的元件，則隨之會有不同的訊號類型產生，如何將這些訊號統一結合為相同抽象概念，提供直覺學習使用，仍須進一步地考量。

4.1.2. 單元的連結

為了解決使用者直覺使用，並配合抽象邏輯，IDT將基本電子元件、邏輯運算的訊號皆配合為電壓變化的傳遞，IDT期能以相同單一抽象邏輯就能表示整合輸入或輸出單元的訊號處理 (Fig. 4.2)，故於實體操作的接線採用亦是實做的慎重考量之一。



Fig. 4.2: 在抽象邏輯上，IDT希望能直接以單一符號包含不同種類的訊號處理

由於不論數位訊號或類比訊號皆為電壓變化，且基於需讓初學者了解基礎元件的變化為何，故將訊號與電源供給整合為單一實體連結線，IDT選用3.5立體音源連線，原用於左聲道、右聲道、接地訊號三條訊號線在其中，而IDT將其改良為正電、訊號、接地三條訊號使用，其優點可以減少在插電路板時，同時必須所做的接正、負電與訊號三條線的動作，使用者只要直接做拔插即可（Fig 4.3）。

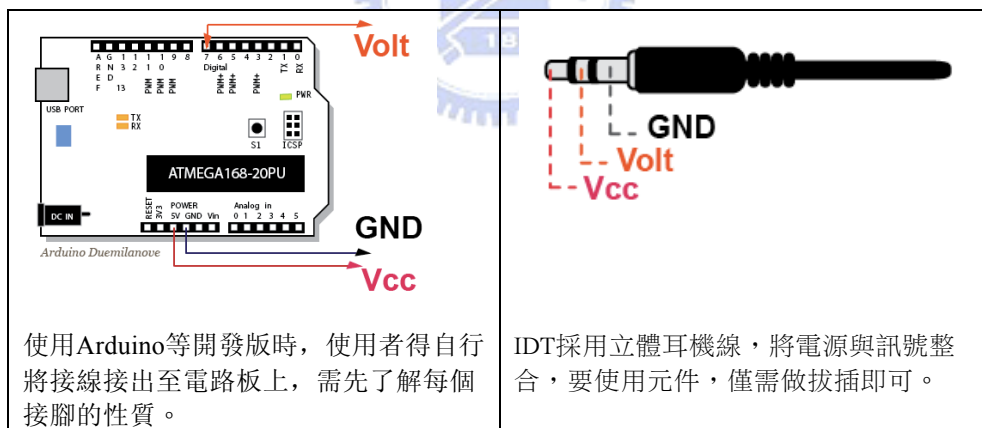


Fig. 4.3: 開發版與IDT接線比較

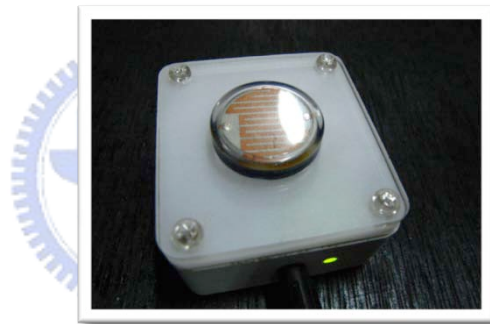
而在電源供給方面，使用2.5吋直流電源輸入作為統一規格的電源供給，並在每個組件的電源輸入端皆提供電源指示LED燈，方便了解線路是否正確連結，以達正確供電。由於已設計單元與單元間的連結線可互相串連正、負電，故僅需決定由何處供給電力，參照章節3-4所整理的組件特性，基本互動流程可視為輸入-邏輯-輸出三單元的相互組合，故將電源輸入供給點設置於各邏輯單元上，並作為操作時的思考著眼點。

4.2. 基礎單元之實作

由於IDT各基本單元是將電路組件化以及邏輯實體化，在各單元的實作項目將說明各電子元件之特性，以及對應節省之複雜度的組件架構。將上一章節所整理的元件挑選部分作為實作使用，轉化為抽象邏輯思考，考量其操作性，並加上各元件所需或產生之訊號，各元件所需訊號類型，皆整理於圖示左右，而左方皆代表輸入端，右方代表輸出端，而邏輯單元的設計因需考量實體邏輯，著重於實體操控性與資訊視覺化的思考。

4.2.1. 基本輸入單元

▶ 光敏電阻：



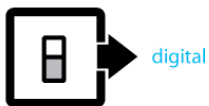
[原理]	用以操作光感的元件，其電阻與光的強弱有關。當光的強度增加，則電阻減小；光強度減小，則電阻增大。
[運用]	此種元件最常用於互動設計的基礎學習上，能簡單取得基本的環境變化，但也容易受環境變化的影響。 可裝置在牆面或裝置上，當有人經過或用手遮蔽時，則會偵測到，用以判別空間中的光影變化。
[意象關聯性]	私密/開放、明亮/昏暗

▶ 可變電阻：



[原理]	透過物理性的轉動旋軸，可以改變輸出的電阻值。
[運用]	此種元件也經常用於互動設計的基礎學習上，能簡單靠使用者的直接操作來改變狀態。也可藉由裝設在空間物件上，透過使用者動作的轉換，來獲取空間變換的數值，如裝設在門軸上，就可以透過使用者開門的角度，來了解空間開放程度。
[意象關聯性]	調節、改變

▶ 開關：



[原理]	直接使用物理性的碰觸，來進行狀況的轉換。
[運用]	此種元件也經常用於互動設計的基礎學習上，能簡單靠使用者的直接操作來改變狀態。也可藉由機構的設計，改變狀態的切換。
[意象關聯性]	切換、距離、按擊、滑動

▶ 觸碰開關：



[原理]	利用人體靜電的感測，偵測是否觸碰到表面。
[運用]	此種元件並非常用在基礎的學習上，但特性相像於另一種開關～近接開關，具有按下與放開兩種狀況的不同，可用在偵測使用者是否接觸到物體表面。
[意象關聯性]	按擊、滑動

基本輸入單元皆以將基本電子電路包裝為抽象概念為原則，盡量符合直覺式的操作，以觸碰開關為例，原本的線路應為 Fig 4.4a 所示，透過一連串的線路，偵測到靜電感應的變化，再改變輸出之狀態，在以往的實作階段，使用者必須自己組裝並檢測，然後再橋接輸入線路至單晶片做處理。然而，IDT的基本輸入單元試圖將複雜的電路包裝，轉化為黑盒子的操作概念，並整合所規劃的抽象意象與連接方式，讓使用者僅需了解其原理與運用方式，透過簡單的抽拔就可以快速使用該組件，在此階段完成完整隱藏硬體電路製作的困難，將電子電路的學習思維提昇，對於目的導向之學習者不需理解如何搭配電阻、電容等基本電路元件，僅需了解主要電子元件的特性與功用，即可選用該組件完成需求，如 Fig 4.3b 所示，使用者的理解將觸碰開關模組的複雜線路轉變為一「以手觸碰組件表面，會產生靜電變化，影響組件的輸出訊號變化」，大幅降低學習與操作該元件原理的門檻以及困難度，只要實際操作一次，即可了解該元件的特性。

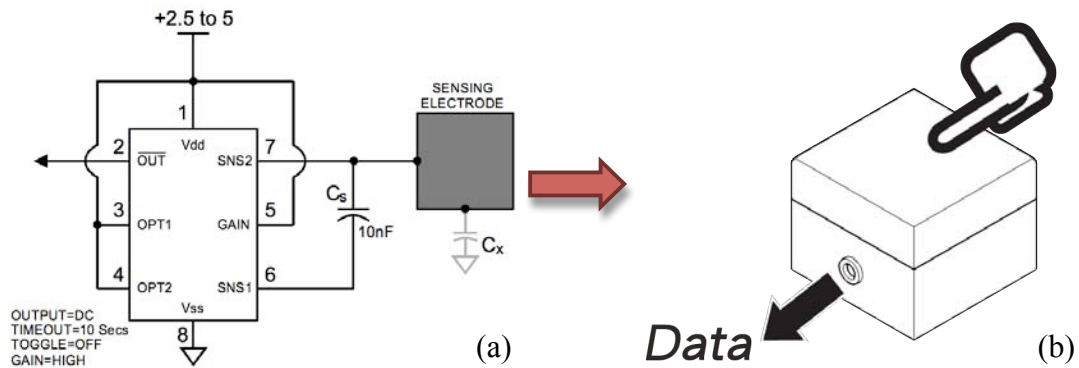
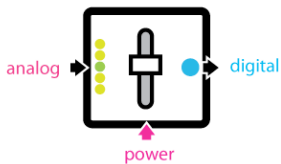


Fig. 4.4: IDT將繁複的電路做簡化

4.2.2. 邏輯單元

► 門檻值：



[原理]	設定一基準值，判斷輸入值是否有超過。
[運用]	用於條件判斷的邏輯，當滿足超過基準值的條件，就會輸出正電壓，反之，若沒超過，則維持負電壓。
[意象關聯性]	條件觸發、設定

在過去互動課程的教學中，電路製作好後，還必須回到電腦環境中，撰寫程式燒入開發板中，不斷地透過數值輸出來判定輸入端數值的變化，才能判斷該設定多少的基準值，再變動程式修改，重複燒入程式至開發板中，而在這樣不斷於電路製作與撰寫程式間轉換，亦即是於實體與虛擬介面中的切換經驗，使得學習者往往感到困擾，且不斷地重複許多與設計製作不相干的動作。若滿足設計者在使用操作時，僅僅需要透過直接動手操

作組件，就可以設定好條件，達到簡單的判斷需求，故IDT在邏輯單元的實作上，把邏輯單元實體化，以及強調資訊視覺化的直覺操作。

以基準值設定邏輯單元為例，數值的輸入變化，轉化為資訊隱晦的燈光分群，將0~5V的電壓變化，轉變為左端五顆LED燈的分群（Fig. 4.5），當輸入數值落於某個區段時，就亮起該分群之LED燈。

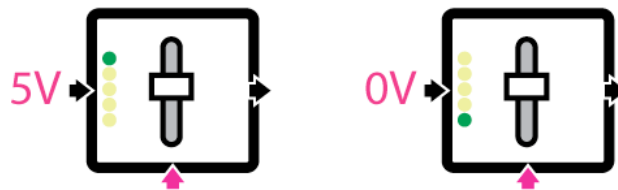


Fig. 4.5: 輸入端的訊號變化，會將其簡單資訊化，透過LED分群顯示，左圖為5V輸入，最上方LED會亮起，而右圖為0V輸入，最下方LED會亮起。

而使用者自由調整基準值的設定，設定為中央的拉桿做控制，當設定之基準值開始接近目前輸入數值時，則該輸入數值分群LED燈會開始閃爍，一方面透過閃爍提醒使用者目前所調整之基準值數值與現在輸入值相當接近，另一方面，透過此設計，簡化操作介面的顯示資訊。而當輸入值超過設定基準值，右端輸出狀態LED燈會亮起，代表條件符合，輸出5V高電壓；反之，若不超過，則輸出狀態燈不亮，輸出為0V低電壓。使用者可以方便地在實體組件上獲取基本的數值變化資訊，控制參數設定，透過實體的操作動作達到邏輯條件的操作設定（Fig. 4.6）。

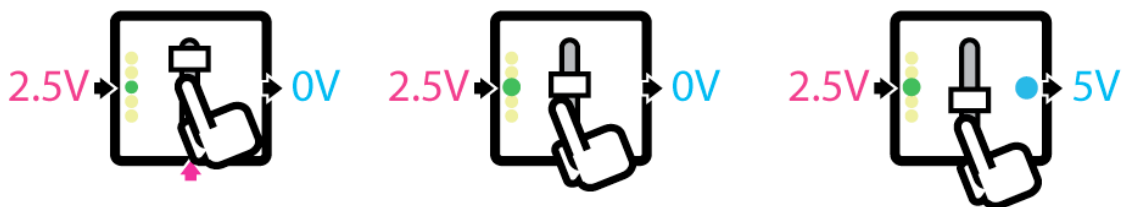
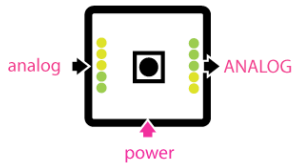


Fig. 4.6: 隨著拉桿的移動，基準值會跟著變動，使用者根據LED的提示來設定邏輯狀況

► 反相：



[原理]	將輸入的值，調整為5V-原輸入的數值輸出。
[運用]	用於需要做相反動作的處理，例如原本有觸發為亮燈，則可改變為觸發為熄燈。
[意象關聯性]	逆向操作

而在反相邏輯組件的設計上，亦採用了同樣道理的資訊視覺化設計，將輸入端的資訊分群顯示，但為了更明確了解反轉量的差異，進一步採用量化的分群，當輸入的數值越大，所顯示的LED燈就越多 (Fig 4.7)。

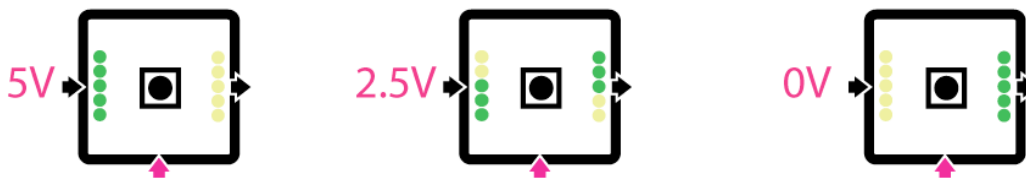


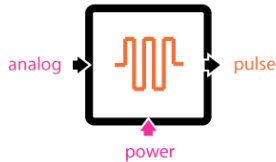
Fig. 4.7: 在不同輸入值的情況下，反相邏輯組件的資訊視覺化提示變化

當一般狀態下，輸入端的數值會直接相等於輸出端的，而當按下中央的反轉控制按鈕時，會將輸入端的數值反轉，產生為“5V-輸入值”的輸出數值，而資訊視覺化的分群，也將設計為扣除原輸入的值所剩下的LED燈數。



Fig. 4.8: 反相邏輯組件的中央按鈕，會將輸入值做反轉處理做變化輸出

▶ 方波產生：



[原理]	將輸入的數值，對應為伺服馬達角度變化，轉變為特定的脈波變化，提供給伺服馬達之編碼使用。
[運用]	對應相對的動作，決定旋轉角度，0~5V的輸入電壓變化會對應0~180度的定角度。（需配合伺服馬達輸出模組使用）
[意象關聯性]	角度、變化

4.2.3. 基本輸出單元

▶ LED燈：



[原理]	直接發光，可根據輸入電壓不同，有不同程度的亮度。
[運用]	此種元件常用在基礎的學習上，可藉由其特性，反應狀態的不同，也可運用在空間中，當做資訊的指引。
[意象關聯性]	明亮/昏暗、表達、指引

最簡易的輸出單元與輸入單元相同，隱藏電路，放大電子元件的功能與特性，讓使用者能透過此學習功能，以LED燈模組為例，會隨著輸入模組的電壓訊號不同，有不同亮度，而隱藏了額外所需的電組搭配與訊號接線的細節。

▶ 伺服馬達：



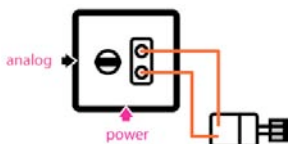
[原理]	根據輸入脈波的長短，可以精準控制轉動的角度。
[運用]	可以直接操控物件的角度，或是經由機構的設計，轉化為空間物件的轉動與移動。
[意象關聯性]	旋轉、速度、狂野、速度、切換、距離、變化、推拉

此一組件必須與邏輯單元中的方波產生組件結合使用（Fig 4.9），藉由方波產生模組將單純的電壓變化轉換為伺服馬達的脈波編碼，會影響馬達轉動的角度變化，並可在抽象概念中，結合為另一個抽象模組，讓IDT的操作邏輯單純化，只有電壓變化的思考在其中，故連結兩模組可視為電壓變化做輸入，而直接影響伺服馬達輸出。



Fig. 4.9: 透過邏輯與輸出單元的結合，變化為另一完整組件

▶ 直流馬達：



[原理]	根據輸入的訊號控制馬達轉速，藉由介面可操控轉向。
[運用]	可以直接操控馬達的轉速、轉向，可充分運用在動態結構的移動、轉動變化。
[意象關聯性]	旋轉、速度、狂野、速度、切換、距離、變化、推拉

直流馬達模組為了方便將馬達可以藏匿於結構之中，利用夾線式卡榫連結馬達接線，而所輸入的電壓變化用於控制馬達轉速，並藉由介面上的三段式按鈕，讓使用者自行控制正轉、反轉、停止三段控制（Fig 4.10）。

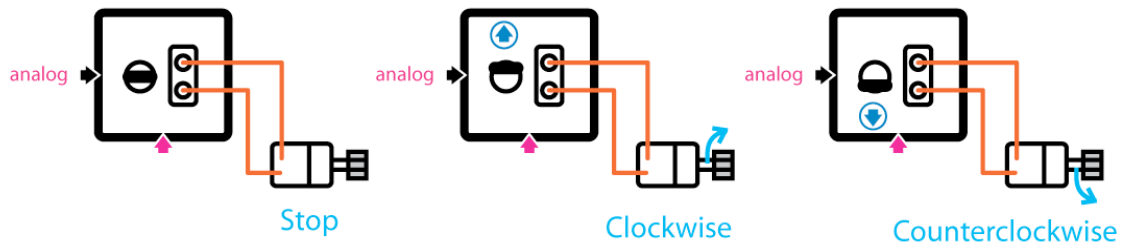


Fig. 4.10: 馬達模組為了讓馬達更易於藏於結構中，提供外部連結接線的功能，並能進一步控制轉向與轉速

▶ 喇叭：



[原理]	根據頻率的改變，讓薄膜物理性震盪，產生音頻的變化。
[運用]	發聲，產生警示音或環境音，可以配合各種不同操控元件改變訊號變化，來反應環境的變化。
[意象關聯性]	旋律.氛圍

為了簡化使用者的操作，如 Fig 4.11 所示，直接將方波產生邏輯組件與喇叭模組相結合於單一模組中，轉換成直接透過訊號輸入，轉化成聲音輸出的抽象模組，簡化像伺服模組中兩者必須串聯成一模組的額外操作之操作，包裝為單一模組，將輸入電壓訊號變化，轉化成音階的變化使用。

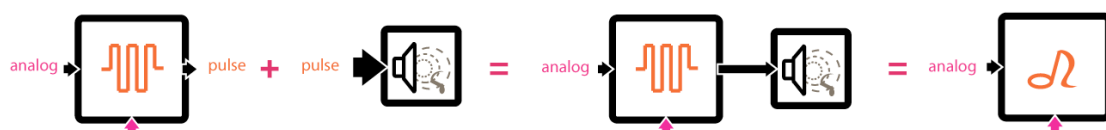


Fig. 4.11: 考慮使用的便利性，將邏輯單元與輸出單元整合，仍保有基本輸出單元的操作特性

4.3. 實例驗證

為驗證IDT，將挑選現行互動建築案例，檢視其雛形系統之架構，由實際操作其互動情境，用IDT嘗試來串連出其功能，視是否能達到先前所提，IDT能用於設計互動建築學習與概念驗證之假設。

迴圈·空間—2012奧林匹克運動會展示館

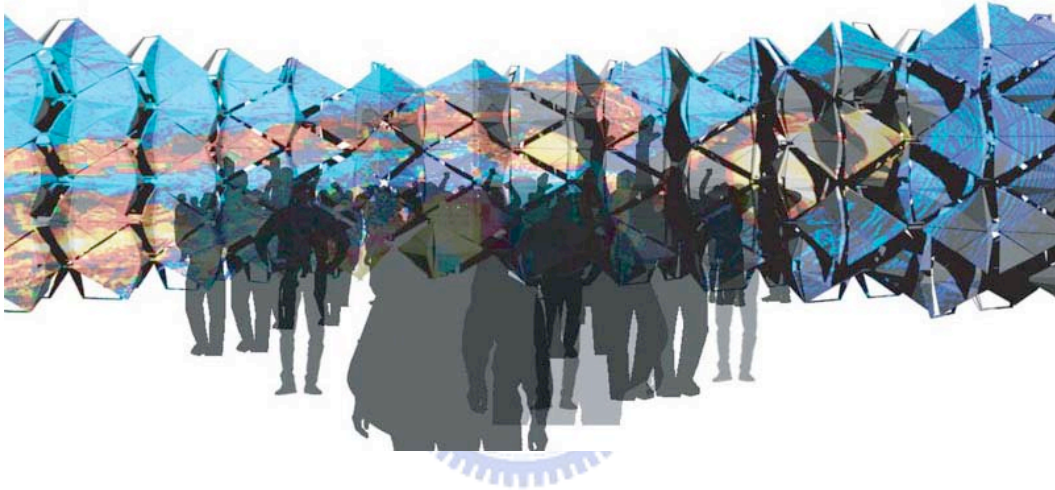
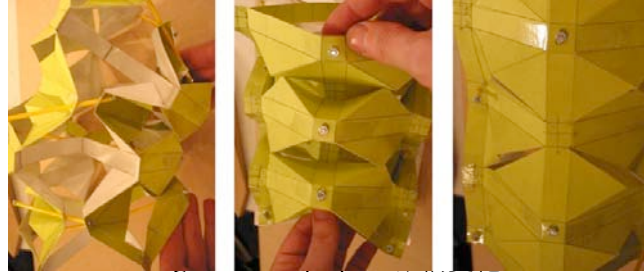


Fig. 4.12: Loop.Space 模擬示意圖

[案例說明]

迴圈·空間（Loop.Space）是英國「Base4」團隊為2012年奧林匹克運動會所設計的一個暫時展示空間。此設計是採用一系列的空間配置以及互動的環狀空間來建構，讓置身在其中的人群可以如同親身體驗般地參與在其他不同地點上的體育賽事，共同感受活動現場的熱情，在設計之初，設計團隊即對基地上一年的的人群變化進行分析，並追蹤目前廣場上人行道的使用狀況，提出新的空間分配，與周圍人群的互動性相當高，而裝置的形體也會隨著與人的即時互動，而不斷進行形變，形體的改變是受背後的電腦程式語言所控制的，其控制因子有牆面上的資訊內容、當時基地上的結構形變及人潮的密度等，使得建築能和周圍環境彼此協調至一個最佳的狀態（Liu, 2009）。



此案例之結構由連續的多邊行所構成，有三種可能的結構變化，如 Fig. 4.13 由左到右分別為垂直傾斜、水平環繞、非垂直水平扭曲等方式，藉由節點的控制來改變形體。



Fig. 4.14: 第一代的雛形測試單元本身的變形影響全體

其1:10之雛形系統（Fig. 4.14）就是由貝茲曲線與控制點的概念做延伸，藉由直接控制每個控制點上DC馬達的旋轉，轉變為結構單元的變形，測試讓一系列的獨立單元可以達成封閉空間的構成。

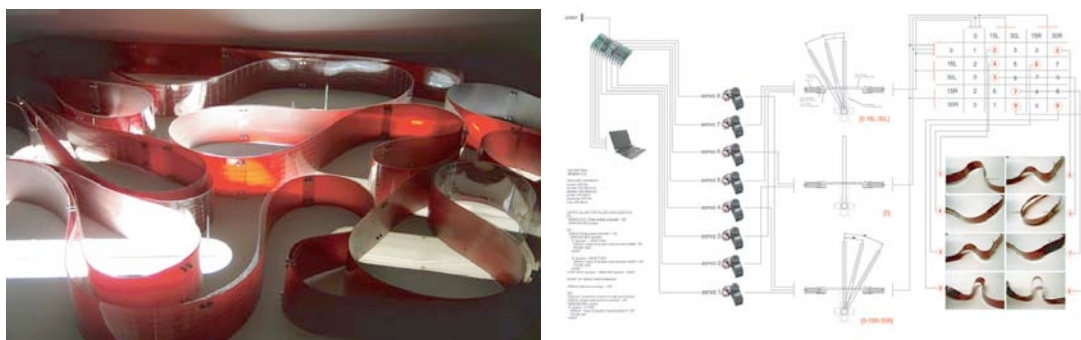


Fig. 4.14: 第二代的雛形測試單元本身的變形影響全體

而第二代1:50的雛形系統（Fig 4.15）則是由一條25公尺長的帶狀牆面所構成，藉由8個伺服馬達上繫著一條長桿的啟動棒，經由Basic Stamp單晶片的邏輯控制，來改變長桿的角度，只要控制單一節點的運動，就可進而影響相關物件的移動，使其變成一道可動的牆面，進而影響整個空間的移動。

此案例為第二代雛形的帶狀牆面與第一代單點結構所組成，由於此案例透過環境因子的變化，進而透過運算，轉變為互動建築的結構控制，符合本論文歸納之輸入—運算—輸出的互動控制架構，在案例模擬上將依照原設計的規劃，分為兩雛形做探討，分別由單點結構變化與群體帶動可行性做模擬，驗證IDT作為互動建築學習發想的可行性。

► 結構變化

製作此雛形，必須先分析其採用的結構單元，在Fig 4.13的結構變化模型中，可見得其基本單元的製作方式，利用幾何圖型的切割，分出控制點單元之主體（Fig 4.16），再透過利用長桿通過單元主體之中心當做移動支點，藉由長桿之垂直直線運動，讓結構單元的中心隨著長桿移動，來帶動單元結構的變化，而單一結構的變化，會造成周遭單元的連動，進而達成貝茲曲線線段的彎曲變化。

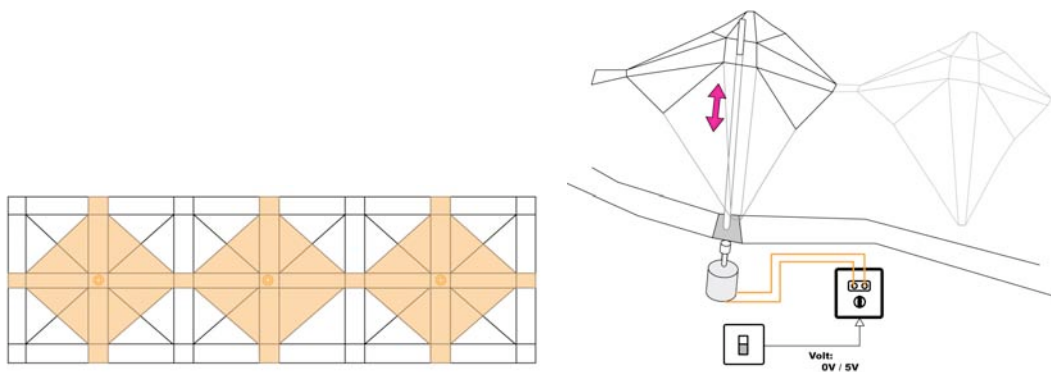


Fig. 4.16: 左：單元的幾何分割圖型，右：單元轉化為IDT組件的簡易操作方式

而轉化為IDT的製作規劃，即Fig 4.16右圖所示，可以用開關輸入單元來進行控制直流馬達控制模組，進而控制馬達轉速與轉向，來控制結構單元體的型變。利用馬達連結螺旋長桿，並於結構單元中心固定一螺絲，當做移動基準點，藉由轉動的方式，轉換為垂直移動（Fig 4.17）。

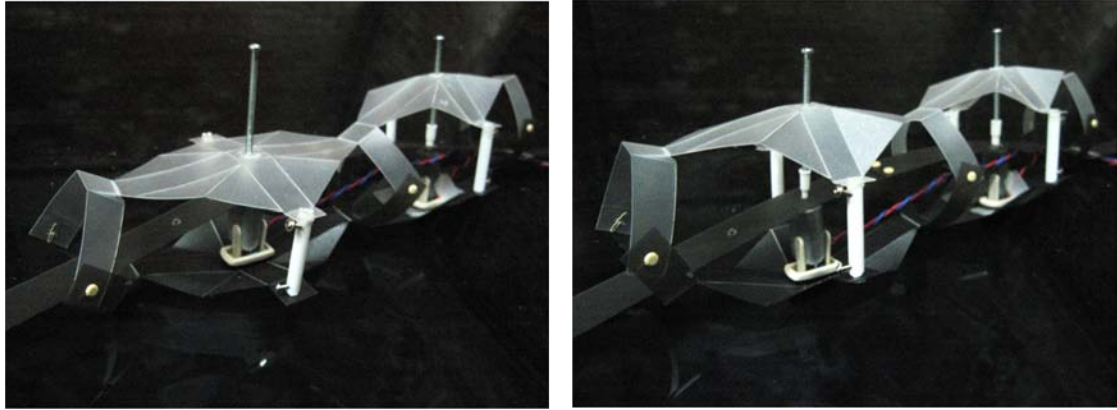


Fig. 4.17: 結構單元中心會隨螺旋長桿轉動而垂直移動

於第一雛形的架構下，IDT可以藉由開關控制、馬達控制模組、直流馬達的連結，配合原本的結構設計，快速地完成單元的控制，透過改變運動的方向的，來進行結構的型變，直接讓設計結構上，能簡易地加上互動的變化，來完成雛形系統（Fig 4.18）。



Fig. 4.18: 透過IDT組合出的動態控制雛形，來改變結構單元的型變

► 群體帶動

相對第一雛形，第二雛形著重的是帶狀壁面的控制，在原本的設計之中，採用了將伺服馬達上結合一長桿，並以長桿夾住塑膠長條，當做線段的控制點，透過電腦程式的控制，當伺服馬達轉動角度，就會帶動壁面的移動與歪斜（Fig 4.19）。以兩點控制點為例，當其中一點固定，而另一點改變位置，原本形成較封閉且狹長的空間，就會轉變較為開放。

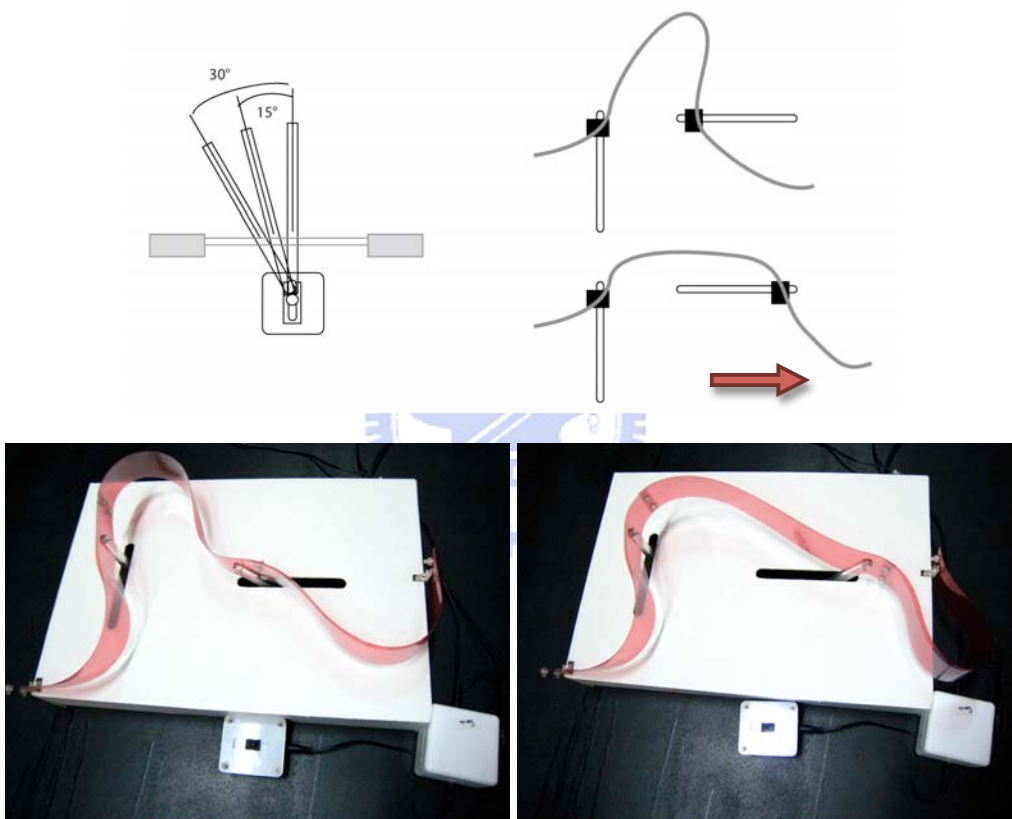


Fig. 4.19: 藉由控制棒的角度擺動，控制帶狀壁面的彎曲換化

將IDT導入此雛形設計，使用方波產生邏輯模組結合伺服馬達單元來完成基本的角度控制，再進階可以決定使用何種控制方式，可以結合觸碰開關輸入單元，藉由手觸摸來改變壁面的移動，或是藉由光敏輸入單元，搭配邏輯判斷，讓壁面會隨環境光改變而移動，讓相同的互動結構，可以快速地有不同的搭配應用（Fig 4.20）。

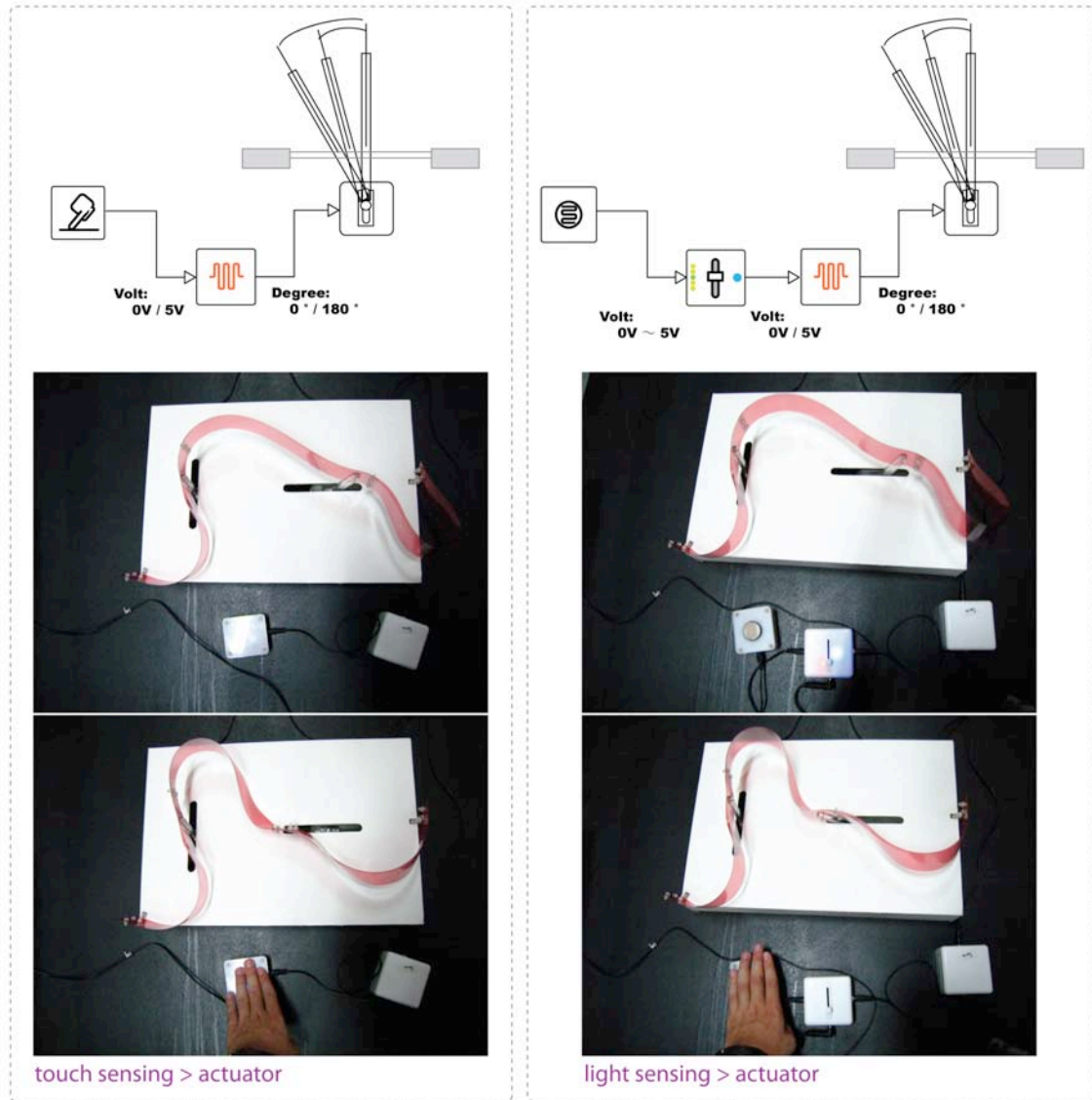


Fig. 4.20: 左: 透過觸碰模組控制。右: 由光敏結合基準值邏輯模組控制

藉由此案例的兩雛形模擬情境，可以驗證IDT能快速操作於設計互動建築結構的概念模擬，讓設計者能在設計初期能藉由實際模擬，更可藉由不同的抽換互動方式，驗證結構於實際互動下的情況與效果，來進行下一步的設計。

4.4. 使用測試

為了評估IDT是否符合本文目標，能透過將邏輯描述直接對應組件功能，幫助設計者簡化互動設計雛形特定化之過程，能更快速地進行互動設計的演練與操作。故於使用者評估階段，將找三位設計背景的人，一位沒有學習過互動設計，餘下兩位則有受過互動設計的基本學習課程，讓無經驗者與一位經驗者，兩者皆用IDT來進行設計中的操作工具來驗證其設計，而餘下一位經驗者則不提供IDT，使用傳統互動設計方式，直接操作電子元件作設計，記錄操作過程與訪談心得，評估是否IDT能幫助改善互動設計之便利性。

► 受測者背景

受測者	測試工具	背景	互動設計經驗
A. 非經驗者	使用IDT	交大建築所	無
B. 經驗者	使用IDT	交大建築所	參加國美館數位方舟的互動設計工作坊與旁聽交大建築所的互動設計課，學習使用Arduino
C. 經驗者	不使用IDT	台科設計所	97年暑假有參與微型樂園在交大辦的玩趣工作坊，一樣以Arduino微控制板與其他感測器做創作。並修過一門實體互動設計的課。使用Arduino微控制板與其他感測器做為設計素材之應用。

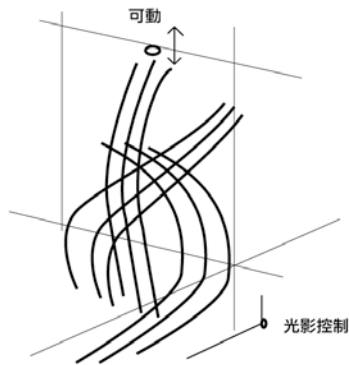
IDT使用評估設計，將給予受測者相同題目「互動燈具」，於受測前先就IDT做先前的介紹，並給予階段性的步驟作為依據，來進行互動雛形設計，分別就概念發想、具象化過程、成品實作分別記錄，並就歷程時間、主觀感受、實做困難度，以及第三章所列互動設計學習問題之心理因素、學習因素、需求與目的作為評估因子。

► 設計過程

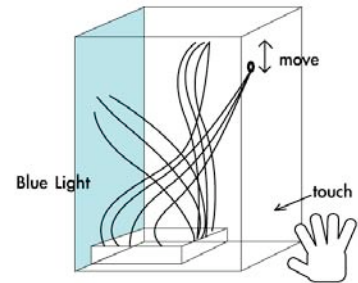
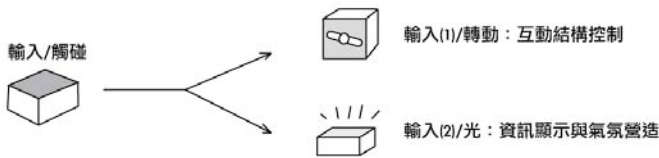
受測者A. (非經驗者 / 使用IDT)

[設計概念]

“藉由材料本身的特性做結構體，運用不同向度的，由邊線構成的面來做交織的動作，完成的結構體需搭配可動式機構與光影控制來達成結構體隨時間和情境變動之效果。”



[設計規劃]



[雛形實作]



透過觸碰開關單元，來觸發伺服馬達模組的轉動與LED單元的亮度變化。

[訪談節錄]

使用經驗	設計時會先預先了解IDT可以做什麼，可以自然而然當做設計元素之一，做為設計的考量
需求與目的	想了解如何將互動納入設計，但並不想弄一大堆複雜的電路
心理因素	好像不用弄一堆電路的東西，若有更多的功能，應該會更有趣
學習因素	1. 即使不知道背地裡的知識，可以直接使用，能幫助我更願意使用這樣的東西 2. 做設計時就可以怎樣安排好，因為已經是一個小盒子的東西，線路也整理好了，可以更簡單地思考要藏在哪裡，雖然都需要考量藏匿跟整理線路的東西，但可以更直覺地思考。
實作困難	要有更詳細的說明書，或更多的模組，能更清楚說明如何搭配就更好。
建議	未來若有更多組件，可提供較大的數值控制模組，可以同時處理更多模組並提供更精準的控制。

[觀察]

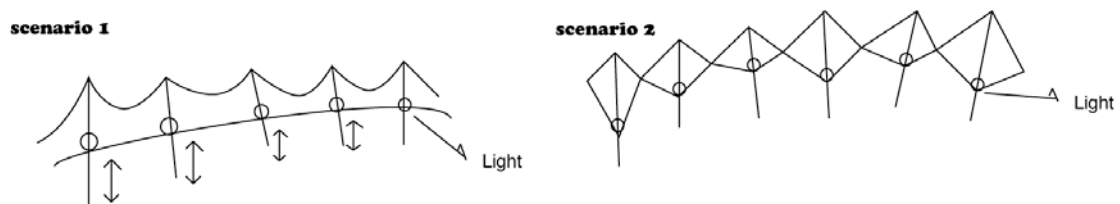
時間歷程：3hr，設計與電路製作時間為 9:1。

對於非經驗者，對於如何將概念實際組成，尚需透過將組件的組合方式，與各元件操作特性做實際示範，即完整解說IDT操作演練，然而經過演練後，即可自己動手操作來將概念落實，對於非經驗之受測者而言表示，IDT大幅幫助其能快速上手技術性的操作，不需受複雜的電路所影響，會有意願學習更多的應用方式。

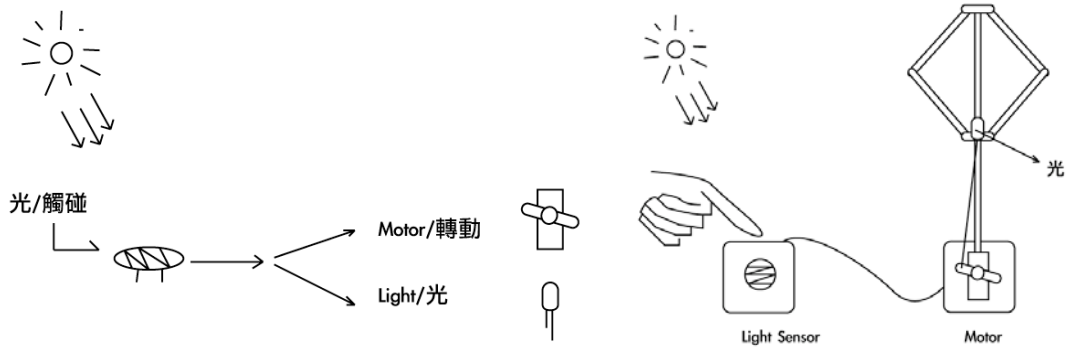
受測者B. (經驗者 / 使用IDT)

[設計概念]

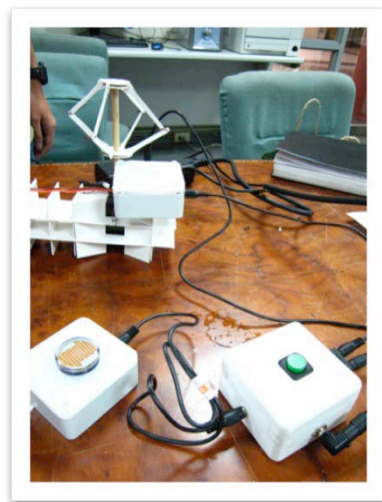
“可以隨著光感或觸覺去啟動馬達與燈光，之後產生一個可以隨著自然環境去反應的動態裝置原型，而這個原形在大量的情況下會隨著陣列接收的光/觸覺訊息產生變化作為達到空間上的調整。”



[設計規劃]



[雛形實作]



在實作的過程中，由於光敏組件的感測度因環境因素，還另外接了邏輯單元來進行訊號的反相，以及門檻值的判定，再橋接於伺服馬達模組來進行結構的上下移動。

[訪談節錄]

使用經驗	用IDT，可以快速減少實作時間，且原來自己動手製作電路，得考慮如何接電路版、元件連結，常會搞不懂該接哪裡，使用IDT只要簡單連結到單元，且省掉傳輸之類的設定動作，最大的優點是可以盡情做實驗的動作，可以快速改變不同組件，嘗試設計的不同可能性。
需求與目的	之前學習互動設計，還是得花很多時間弄電路，雖然會很有興趣嘗試搞懂，但在做設計時，會希望專心處理好設計與機構的部分
心理因素	因為可以不用學習電路板的知識，只要連結就可以做好互動，一般來講門檻最大的是電路的技術問題，只要我原來的設計背景，我只要專心了解如何設計出機構，不再需要多花時間測試電路。
學習輔助	建築系本來不會這些東西，之前做互動設計不用IDT，結果在電路上比我花在設計上還多時間，大部分的時間結果都在電路上，我認為真正的互

	動設計，做的好的應該是花時間在包裝上。
實作困難	使用介面上的設計，部分組件的輸入與輸出並未明顯標示，可能會造成誤會。
建議	<ol style="list-style-type: none"> 1. 線看起來有點雜，可以考慮成無線。 2. 覺得IDT若發展起來，可以增進學習互動設計的信心，而且坊間所販售的電子套件，也是建構在電子知識上，才會使用那些東西，但IDT讓設計者可以不需理解那些太過複雜的知識，可以專心做設計。

[觀察]

時間歷程：4hr，設計與電路製作時間為 8:2。

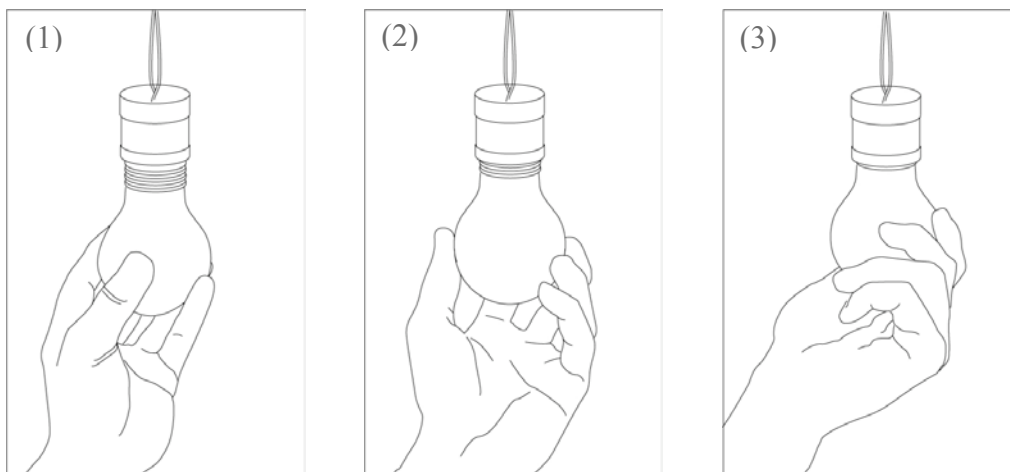
在規劃的階段，經驗受測者，基於本身對互動設計有一定的基礎，已了解一些電子元件特性，在經由IDT解說後，很快地可以將想法藉由參考IDT抽象功能，繪製所需的雛形架構。



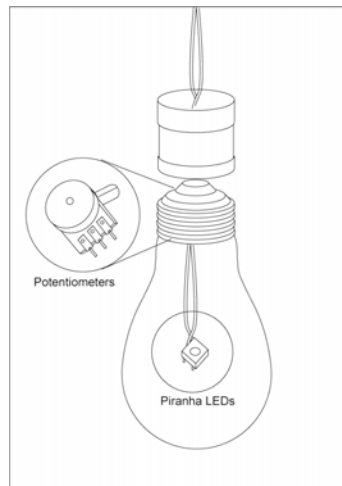
受測者C. (經驗者 / 不使用IDT)

[設計概念]

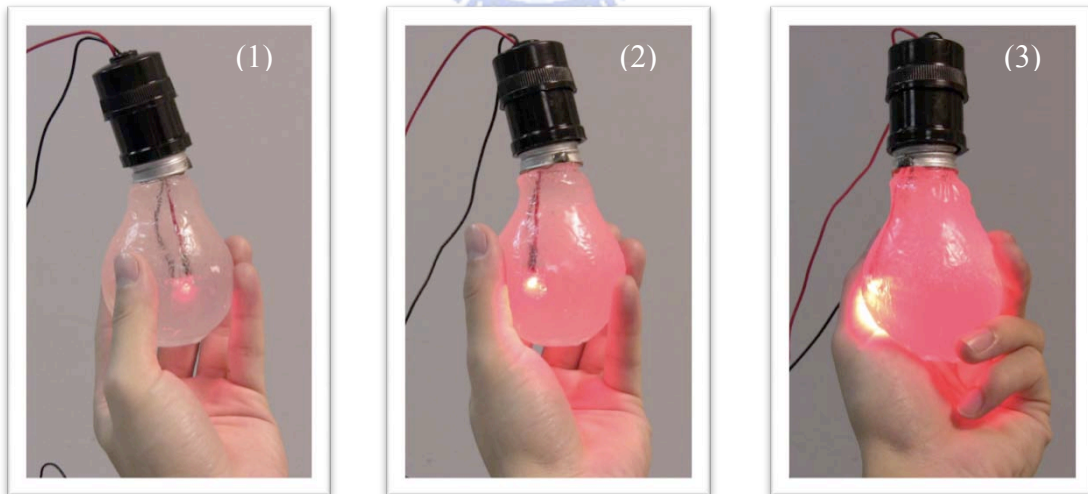
“利用軟性材質（果凍蠟）實作一盞燈泡，一改過去我們對傳統燈泡易碎、過熱等既定的經驗。在互動形式上，以「裝燈泡」的概念做為起始。當燈泡懸掛時，使用者即握住燈泡向右旋轉來開啟電源，轉的越深亮度更明，反之更暗。目的以開關能源的過程中提高動作質感的表現以及體驗不同物質上的經驗。”



[設計規劃]



[雛形實作]



[訪談節錄]

由於此受測者並非使用IDT做設計，而是用一般互動設計所使用的電子零件實作，故是透過事前介紹IDT作為參考，並於實作經驗後訪談其製作過程中的問題，進而討論熟手操作者對於IDT之見解。

使用經驗	當初期發想「互動燈具」的設計題目時，會先想到素材，想用捏的，但覺得不好，用開關的方式也不好，對於怎樣的互動會有點卡住，但看到旋轉的IDK組件時，就想到有裝設燈泡的行為，於是就想到讓開關調整融入在裝燈泡的行為
需求與目的	由於已經有相當的互動經驗，會希望自己動手做電路的部份，但在發想與測試的階段，會需要多一點的刺激
心理因素	IDK有點類似腦力激盪的創意工具，當所有IDK的組件一塊擺在桌上，很多在內心的想法或是卡住一半的創意會立即的獲得解放。非常好用的工具。
學習因素	自己製做電路會影響到設計，需要許多的時間慢慢克服，或是請專門的人來解決。
實作困難	如何解決旋轉頭對應可變電阻，是這次最大的問題。 果凍蠟燈泡，無法支撐旋轉，以及可變電阻無法裝置燈頭，只能遷出外部處理。
建議	個人認為這對互動設計課程是很好用的工具，除了讓新手認識感測的實際用途，也可以讓設計師在過程中重新透過IDK工具檢視自己的作品。

[觀察]

時間歷程：12hr，設計與電路製作時間為 8:2。

有經驗者，在自由發展的受測情況下，會花費較多的時間測試各種基礎電路與材質狀況，造成發想的阻礙，在了解IDT提供功能與特性下，由於經驗者很快速地能發想更多可能性，加快了概念的發想。

► 綜合評估分析

就第三章所提及所設定的解決初學者於學習互動設計初期，所面臨的三個困難因素進行探討，IDT的雛形設計系統於使用測試與實例驗證階段是否能輔助解決初學者學習互動建築設計與雛形開發過程，由受測經驗節錄與從旁觀察得知：

(1) 心理因素：

IDT所著重設計為如何將抽象化思考快速特定化轉變為實作操作的輔助工具，在測試階段已達所設定目標，設計者能在概念設計階段，透過對IDT的操作與了解，能快速將評估可行性，並不被電路設計所煩擾，專心於設計上思考，並能藉由簡易地製作方式，產生對互動設計學習的信心，並有意願更進一步操作更多組件，

相對於不使用IDT的經驗者，反而在設計之外的測試階段花費過多時間，解決電路與材質上的困難。

(2) 學習因素：

在利用IDT作為互動設計工具讓設計者實作時，從旁觀察到對於無互動經驗者，在學習經驗上，IDT所強調的抽象思考概念，讓此設計者可以僅需了解其基本操作與各組件的功能，就可以對應所描繪的光、動作之需求，可以專心於設計上，而不用分心於如何解決電路問題。而對於有經驗者，則發現因基於對於基本電子零件的事先瞭解，他們對IDT的學習更快，能更快了解IDT的設計可行性，在了解IDT能輔助完成哪些工作後，再進一步地追求機構上的解決問題，故IDT能驗證此論文之假設，於學習輔助以及特定化過程的落實有相當的成效。

(3) 需求與目的：

IDT提供設計者可以藉由模組化的抽插，來學習元件的特性與功用，滿足了目的導向的學習者可以快速上手，然而，於此次測試階段，亦發現IDT仍有所不足，在設計的實作階段，還須考慮提供結構組件的可能性，來方便設計者能更快速使用於結構性的設計或物件的移動控制，另外，因IDT實作之測試組件為雛形系統，故實際組件的體積較大，以及數量上仍有所限制，仍多少影響設計操作的可能性，讓經驗者自由擴充的可能性尚需進一步的改良。

[訪談綜合比較]

受測者	A. 非經驗者/使用IDT	B. 經驗者/使用IDT	C. 經驗者/不使用IDT
需求與目的	想了解互動設計的能耐，但似乎很困難	之前學習互動設計，會花很多時間了結與自己測試電路，反而會耗費很多設計以外的時間	由於已經有相當的互動經驗，會希望自己動手做電路的部份，但在發想與測試的階段，會需要多一點的刺激
實作困難	要有更詳細的說明書，或更多的模組，能更清楚說明如何搭配就更好	使用介面上的設計，部分組件的輸入與輸出並未明顯標示，可能會造成誤會	自己實作會花很多時間來解決材質與機構問題
問題解決	即使不知道背地裡的知識，可以直接使用，因為已經是一個小盒子的東西，線路也整理好了，可以更簡單地思考要藏在哪	因為可以不用學習電路板的知識，只要連結就可以做好互動，一般來講門檻最大的是電路的技術問題，只要我原來的設計背景，我只要專	IDK有點類似腦力激盪的創意工具，當所有IDK的組件一塊擺在桌上，很多在內心的想法或是卡住一半的創意會立即的獲得解放。非常

	裡，雖然都需要考量藏匿跟整理線路的東西，但可以更直覺地思考。	心了解如何設計出機構，不再需要多花時間測試電路	好用的工具
建議	未來若有更多組件，可提供較大的數值控制模組，可以同時處理更多模組並提供更精準的控制。	覺得IDT若發展起來，可以增進學習互動設計的信心，而且坊間所販售的電子套件，也是建構在電子知識上，才會使用那些東西，但IDT讓設計者可以不需理解那些太過複雜的知識，可以專心做設計	個人認為這對互動設計課程是很好用的工具，除了讓新手認識感測的實際用途，也可以讓設計師在過程中重新透過IDK工具檢視自己的作品。

故就心理因素、學習因素、需求與目的三點做探討，本研究所實作之IDT雛形系統已滿足初步的驗證，能幫助輔助降低學習的困難，以及連結實作時的技術知識於設計初步做概念發想使用，然而，仍因本雛形系統的尺寸、數量，以及擴充輔助項目的問題，限制了部分操作與擴充的可能性，有賴未來進一步的量產與發展更多擴充組件，應能解決這部份的缺失，並且，本研究所進行知使用測試，主在針對使用者使用此設計雛形進行設計，驗證使否對於操作互動設計是否有幫助，尚未對於操作思維與過程進行嚴謹之記錄，對於是否用於輔助教學之幫助，未能成為足夠有效之質化研究，此需有賴本研究未來之後續，以本研究進行於實際教學做使用，作為實際教學之探究。

5

結論

本研究實作出一系列互動設計套件雛形，藉由抽象式的思考方式，讓使用者僅需了解元件特性與功用，就可藉由直覺式的接線，依照輸入、邏輯、輸出的簡易互動流程，快速組合出雛形系統，藉此能透過操作，理解互動設計的思維如何由抽象的思考轉變為實作。對於初學互動設計者，可於操作中學習基本互動設計課程中所採用的電子元件特性，而不需學習繁複的電路操作；而互動設計經驗者，可快速藉由組合IDT，幫助思考雛形系統的實作開發。



5.1. 研究貢獻

本研究提出了對現今互動設計學習的疑問，在現今設計者必須透過學習實體互動技術來了解互動設計的設計概念與雛形設計的同時，應需要新的設計工具或媒材發展來輔助概念的學習與驗證，來補足傳統建築設計思維與電路控制技術之間的橋樑，故本研究探討是否可以藉由其他互動領域作為參考，為互動建築設計者發展一套獨特的學習工具。

在透過於實際參與互動設計教學活動中，由參與式觀察歸納了設計者在實際接觸互動設計後，在學習互動技術上之學習困難因素，並憑藉此因素作為本研究設計探討重點，以往在進行互動設計時，最大問題是如何由抽象思維轉變為特定化雛形的過程當中，該如何將對應思考邏輯快速地落實於實作的設計，設計者對於實體互動實作內容與流程的不熟悉，會導致設計概念無法落實，或是無法與支援之工程人員溝通，此研究所提出的互動設計套件概念，提出了由抽象式思考方式來包裝電子電路等技術性的知識學習，而雛形系統的開發即為將抽象邏輯特定化為對應功能的處理，並以此開始分析本論文實作雛形套件IDT所需之設計依循重點。

[互動設計流程分析歸納與全實體學習操作架構提出]

藉由分析現行抽象式互動開發環境的特點，以及依照實際案例與互動控制流程整理出的互動系統架構，互動建築設計輔助學習套件可以依循流程與功能性做分類，簡化架構規劃出單一輸入/輸出單元、複合輸入/輸出單元、邏輯單元與額外特殊處理設備分類，讓設計者能在設計階段即可透過組件的選取來進行概念發想，從中理解基礎的實體互動知識，更可當做基礎雛形實作的工具，依功能性與操作因子規劃基礎採用元件，透過將實作電路的模組化，進一步轉換為抽象化模組的概念，來進行下一步的開發，能降低學習互動設計知識的門檻，並改善現行互動設計操作必須於實體與虛擬平台不停切換的問題，提出實體邏輯單元的運用，提供全實體平台拼湊互動概念雛形的應用，更可減少於互動設計學習中，必須往返操作不同平台之困擾，讓互動設計學習的流程更加完整且單純。

[實際驗證雛形系統之重現性與操作性]

透過實際操作本研究所實作之輔助學習套件雛形系統IDT，驗證是否可重現互動建築實例，分別對將雛形模組套用在兩互動建築雛形，證明本研究實作雛形IDT可實際被運用於雛形系統製作，以用於實際使用測試。故分別透過對無互動經驗用IDT、有互動經驗用IDT、有互動經驗不用IDT三組人員實際測試，實際操作互動空間設計中的物件「互動燈具」為設計議題，記錄過程並就心理因素、學習因素、需求與目的、歷程時間、主觀感受、實做困難度等條件作為評估因子，而雛形系統IDT於測試階段證實能解決諸多問題，驗證本研究提出由抽象式思考方式來包裝技術知識，能達成輔助學習、降低學習的困難之假設，提供了一基礎且符合互動設計思維之工具。

[互動設計學習與操作知識之連結]

由於本研究提出了創新的互動設計學習之操作可能方式，並實作出一系列實際可用於設計與雛形開發的套件工具，對廣義的互動設計而言，成功將互動設計所使用之工具，結合於建築領域操作，並針對設計者的思維，將複雜的技術抽象化包裝對應功能需求，並將傳統的虛擬邏輯程式編寫動作簡化包裝，納至實體空間做操作，改善了學習與操作流程介面的不一致性。而對於互動建築與操作空間中的互動設計，於學習上能降低設計者的人力成本，藉由此套件能更專注於結構與設計議題之探討，並藉由實體組件連結之操作，能更容易了解互動空間設計可行之技術本質，使在設計流程中的抽象思維能直接對應成果，將互動設計與操作完整結合。

[實體模組架構智慧空間之可行性]

本研究整理歸納出互動建築設計元件的特性、控制流程、操作分類，作為未來利用抽象式設計組件進行輔助學習或進行雛形開發的依據。而對於產業應用的貢獻，IDT說明了未來互動空間的另一可能性，互動空間的變動不僅是結構上與皮層上的改變，甚至可以由設計者、甚至空間使用者藉由組件的替換，即時地改變空間的屬性與功能，例如天花板的光感照明，透過替換，即可瞬間轉換為夜店舞池的聲音互動燈光，因為互動設計知識的模組化與組件的快速替換特性，能大幅降低學習的門檻，僅需要規劃好互動流程，即可重塑空間屬性。由此觀之，將互動建築設計模組化工具結合建材與家具，居家將具有極大的彈性，隨時藉由邏輯改變與功能選擇，結合成一可隨時替換與改變的動態空間，將會是另一新領域之可能發展。



5.2. 研究限制與未來研究

本研究探究的互動空間設計，僅針對觸發式智慧環境作探討，遵循輸入、運算、輸出的基本操作流程，尚未探究自主反應結構之互動空間，因本研究旨在探究操作設計與輔助學習的基礎，強調如何學習簡易上手之流程，而自主反應之空間，由於需涉及類神經運算與人工智慧等議題，已非作為入門熟習之選擇，故於本文尚不作討論。此外，由於本研究針對是實體空間之操作，對於虛擬空間的操作亦不在探究討論之範圍，故IDT尚無提供與虛擬空間結合之可能，來進行虛實共存的操作空間設計。

由於本研究是著重互動建築設計探討設計學習輔助工具的需求與呈現，作為一個開端，並強調發展創新教育的必要，讓適才者能專心發展自己的長處，不必硬性學習所有技能，擾亂原本的設計知識與流程，本研究並未針對「教育」進行研究，論及發展新的教學方法，故尚未使用創新教育理論作為研究方法進行設計與探討，而未來將以本研究套件當做工具，可進一步地結合納入互動教學課程，繼續發展完整之互動建築教學方法作為後續研究。

在此研究中，尚未進一步製作進階操作之多輸入與輸出控制模組提供使用，模組的數量與種類尚少，部分限制了雛形製作的多樣性，由於定義為互動設計初學所使用，力求功能的單一與簡單，故在實作上，先就於互動設計教學時所會用到的電路作發展，發展關鍵之雛形模組，驗證研究之可行性後，而再進一步增及模組的擴充。而IDT組件的實作製作上，也由於將電源供應採用音源接口的因素，在抽拔組件連結線時，因為正、負電在同一音源上，有可能因為抽拔的動作，導致短暫的短路，使線路運作暫時停擺，故每次重新配置不同的組合時，就必須做斷電的動作，降低了即時拔差的可能性，再進階的改良需考慮抽拔的防呆使用性問題。

而在雛形測試階段，受測者每位代表一設定族群，來驗證IDT對互動設計操作與輔助學習的成效，皆針對其背景設定有所要求，學習者滿足建築設計之專長訓練，而互動設計經驗者亦必須有自行開發製作之經驗，僅採用三位受測者進行評估，然而，互動建築設計本身即為新發展之跨領域整合，未來更加準確的測試應是挑選更多樣領域背景人選，再針對此作使用探討，而非單純僅就設計人員進行測試。

在未來的後續發展，將補足本研究之限制，發展更多組件的種類，以及增加特定的幾種動力機構組件，如水平移動結構、槓桿、滑輪組等，並考慮將電壓變化的訊號溝通，透過通訊協定的改良，轉變成編碼的方式，以便多輸入輸出控制的實行，能擴充更多的應用方式，滿足各種互動控制流程，讓未來互動建築的雛形實作，能利用IDT模組更精準地模擬，也能讓設計者更簡易能在初期設計能更掌控實際運作的樣貌，並進一步將IDT納入實際教學中作使用，發展更切合教學使用的規劃，整合為一創新互動建築設計教學的方法理論，未來更可納入自主反應建築的議題，思考將自主思考亦整合為模組之可能性，並進一步推廣互動建築設計組件至實際建材之運用，讓本研究的論點可落實於真實空間之建構。

參考文獻

外文書目：

- Abowd, G. D., and Mynatt E.D. (2005) “Design for the human experience in smart environments”, in Cook, D. J., and S.K. Das (eds.), *Smart Environment-Technology, Protocol and Applications*, pp.153-174, Wiley Interscience.
- Anders, P. (2004). “*Arch-OS: An Implementation of Cybrid Strategies*”, in proceedings of Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, Cambridge, Ontario, pp. 282-293.
- Ballagas, R. et al. (2003). iStuff: A Physical User Interface Toolkit for Ubiquitous Computing Environments, Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems 2003, pp. 537-544.
- Chiu, M.L. (2005). “*Insight the Smart Environments Design Perspective*”, Insights of Smart Environments, ARCHIDATA, Mao-Lin Chiu ed., pp.18-44.
- Chou, P., et al. (2001). “BlueSpace: Creating a Personalized and Context-Aware Workspace”, IBM technical report.
- Cook, D.J., and Das, S.K. (2005). “*Smart Environment-Technology, Protocol and Applications*”, Wiley Interscience.
- Culshaw, B. (1996). “*Smart Structures and Materials*”. Boston, MA: Artech.
- Dey, A., Salber, D., Abowd, G., (1999), “A context-based infrastructure for smart environments”. In: 1st International Workshop on Managing Interactions in Smart Environments. (MANSE'99), Dublin, Ireland, December 13-14, 1999. pp. 114-128.
- Diller, E., and Scofidio, R. (2002). “*Blur: The Making of Noting*”, New York: Harry N. Abrams, Inc.
- Dourish, P. (2004) What We Talk About When We Talk About Context, Personal and Ubiquitous Computing.
- Brown, E.S. (2001) Project Oxygen's New Wind, *Technology Review*, December 2001.
- Fox, M. (2001). *Ephemeralization*. OZ, Journal of Architecture, Published by the Kansas State University Department of Architecture.
- Green, W. et al. (2004). “*Capturing user requirements for an integrated home environment*”, Proceedings of the third Nordic conference on Human-computer interaction 255 – 258.
- Greenberg, S. and Fitchett, C. (2001). Phidgets: Easy Development of Physical Interfaces Through Physical Widgets. Proceeding of UIST 2001, pp. 209–218.
- Hernando, B., (2004). Wiring: Prototyping Physical Interaction Design. Programming and prototyping with electronics for designers, Interaction Design Institute Ivrea.
- Ishii, H., and Ullmer, B. (1997). “*Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms*”. Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '97, Atlanta, GA, Mar. 22–27), S. Pemberton, Ed.ACM Press, New York,, NY,234–241.
- Ishii, H. et al.: 2002, Augmented Urban Planning Workbench: Overlaying Drawings, Physical Models and Digital Simulation, IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality ACM Press, Darmstadt, Germany.
- Igarashi, T. et al.: 1999, Tedy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design, ACM SIGGRAPH'99, Los Angel
- Jeng, T. (2004). Designing a Ubiquitous Smart Space of the Future: The Principle of Mapping, Proceeding of the First International Conference on Design Computing and Cognition, in John S. Gero (ed.).
- Kaltenbrunner, M. et al. (2006). The reacTable*: A Collaborative Musical Instrument, 15th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE'06), pp. 406-411.
- Lee, C.H. (2005). “*Spatial User Interface: Augmenting Human Sensibilities in Domestic Kitchen*”, MS thesis, MIT, Boston.

- Liu, Y.T. (2002). Developing Digital Architecture 2002 FEIDAD Award, Berlin: Birkhäuser.
- Liu, Y.T. (2009). “New Tectonics- Towards a New Theory of Digital Architecture: 7th Feidad Award”, Berlin: Birkhäuser.
- Larson, K.(2000), The home of the future (MIT House_n Project),
[http:// architecture.mit.edu/house_n/ web/publications/publications.htm](http://architecture.mit.edu/house_n/web/publications/publications.htm).
- Mitchell, M.J. (1996). “*City Of Bits: Space, Place, and the Infobahn*”, MA: The MIT Press.
- Mitchell, M.J.(2003). “Me++: The Cyborg Self and the Networked City”, MA: The MIT Press.
- Negroponte, N. (1970). “The Architecture Machine- Toward a More Human Environment”, MIT Press.
- Negroponte, N. (1975). “Soft Architecture Machines”, MIT Press.
- Patten, J., H. Ishii, J. Hines & G. Pangaro,(2001). Sensetable: a wireless object tracking platform for tangible user interfaces, in proceedings of SIGCHI, ACM Press, Seattle, Washinton, U.S., pp. 253-260.
- Prante, T., C. Röcker, N. Streitz, R. Stenzel, C. Magerkurth, D.v. Alphen, and D. Plewe. 2003. Hello.Wall - Beyond Ambient Displays. In Video Track and Adj. Proc. UbiComp 2003.
- Prante, T., R. Stenzel, C. Röcker, N.A. Streitz, and C. Magerkurth. (2004). “*Ambient Agoras - InfoRiver, SIAM, Hello.Wall*”. In Extended Abstracts and Video Proceedings of the ACM Conference on CHI04. 763-764.
- Sakamura, K. (1999). “15 Years of the TRON Project”. Journal of Information Processing Society of Japan Vol.40 No.3 pp.216-222,258.
- Spuyboek, L. (2004). “NOX: Machining Architecture”, MA: Thames & Hudson.
- O'Sullivan, D. and Igoe T. Physical Computing. Muska Lipman Premier-Trade, 2004.
- Oosterhuis, K. (2005). “MUSCLE reconfigured- Programmable Architecture”, Insights of Smart Environments, ARCHIDATA, Mao-Lin Chiu ed., pp. 105-124.
- Verschure, P., Eng, K and Kuebli, S. (2005). “*Ada - the intelligent room (photographs)*”, *Architectural Design*, 75:(1) 87-90, Lucy Bullivant (ed.)

中文書目：

- 林志銘 (2000). *中介中界-遊戲於開放與隱蔽之間*, 台北, 田園城市出版社.
- 孫全文 (1986). *建築中之中介空間*, 台北, 胡氏圖書出版社.
- 陳上元 (2007). *智慧代理者理論應用再可調適性建築環境的研究-以智慧皮層為例*, 成大建築博士論文.
- 方裕民 (2003). *人與物的對話*, 台北, 田園城市出版社.
- 邱皓修 (2008), *互動式建築之技術與思考*, 內政部建築所輔助研究計畫案

線上資料：

- Michael Fox Workshop 2008, <http://sites.google.com/a/arch.nctu.edu.tw/mafox08/>
 ONL Website: <http://www.oosterhuis.nl>
 雲科國際創新與數位涵構研習營(IDCID 2007), <http://idcid.gcd.yuntech.edu.tw/>