

國立交通大學建築研究所
碩士論文

可進行動作學習與資訊傳遞的實體互動模組



A Tangible Interaction Module for Motion Learning and Information Transmission

研究生 葉韋鈺
指導教授 侯君昊

中華民國一百零三年七月

可進行動作學習與資訊傳遞的實體互動模組

A Tangible Interaction Module for Motion Learning and Information Transmission

研究生 葉韋鈺

指導教授 侯君昊

國立交通大學

建築研究所

碩士論文



Submitted to Graduate Institute of Architecture

College of Humanity and Social Sciences

Nation Chiao Tung University

In partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master of Science in Architecture

August 2014

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中文摘要

受到仿生設計、社會性生物群體智慧、資訊傳播理論和學習心理學的啟發，本設計研究提出可進行動作學習與資訊傳遞的實體互動模組 Motion Transmission Kit (MTK)，期待讓使用者以教導動作方式對馬達進行控制，並與機構裝置結合，藉由此實踐創作者對於運動與機構的想像，以及探索多裝置間的通訊傳導設計。該雛形模組利用 Arduino、Processing、3D printer 等技術製作原型與應用範例，探討模組使用可能性與潛在議題。此外，為增加應用與探索的可能性，本模組將環境控制變因加入設計過程，讓使用者一開始先對單一模組產生教導動態行為，在模組間互相傳導動作，動作將在傳遞中產生堆疊、削減等變化，間接或直接地讓整體動態造形產生改變。使用者可透過模組所提供的基本功能，大幅簡化電路接線與程式碼撰寫的步驟，即刻探索機構元件之間的關係和動態產生的過程，專注於設計雛型的實踐與改善。

關鍵詞：實體互動、動態學習、互動裝置、動力裝置

Abstract

Inspired by the Biomimetic Design, Swarm Intelligent, Information Communication and Psychology of Learning, this design research proposes a module called Motion Transmission Kit (MTK) that is able to learn the motion from user's teaching and information transmission. We expect to allow the user to teach motion directly to the motor on the integrated device, so as to bridge designer's imagination and realization of the mechanism, as well as to explore the design of multi-device communications. The prototype module and its example applications take advantage of Arduino, Processing, 3D printer, etc., to explore the possibility of its applications and potential issues. In addition, to increase the flexibility and types of application, the module takes the environmental factors into account during the design phase. First of all, users can teach motion to a single module. Secondly, motion between each module will be transmitted directly or indirectly. Users can easily use the basic functions provided by the module to simplify the complicated wiring and coding process. User can rapidly explore the relationships between mechanical components and the dynamicity, therefore be more focused on realization and improvement of the design prototype.

Keywords : Tangible Interaction, Interactive device, Motion Imitation, Kinetic Device.

謝誌

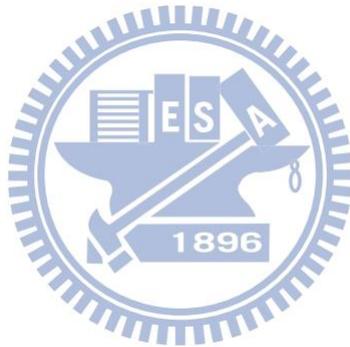
首先我想先謝謝我的家人支持我所做的一切決定，雖然我不是很常回台北，但我很愛你們。再來我想先謝謝君昊與倍銜老師這兩年為我們準備的每一堂課和每一個建議，獲益良多。再來想謝謝推薦我進交大建築研究所的兩位老師林楚卿老師和何炯德老師，謝謝他們當時在百忙之中幫我寫下推薦函，幫助我進入數位組，我也如期的完成了這本論文。另外也特別感謝唐聖凱老師，在我大二時開啟我在互動設計的一片天，讓我理解到這些互動技術在未來運用的各種可能性。在交大數位組兩年之中我學習了非常多過去不曾接觸過的事物，也很感謝這個組別帶給我的一切。

再來想謝謝我的同班同學們嘉明、阿盛、苡竹，雖然暫時中斷了在交大的學業，但還是能夠保持聯繫互相照應，不時的給我建議與鼓勵，讓我沒有放棄學業。特別感謝凱寧一起努力到最後一刻，讓我能夠有與戰友一起努力的感覺。在工作室的日子裡非常感謝設計組怡廷、育賢、小胖、智勤與學士後學長姐、同學、學弟妹們，子捷、豆豆、宏瑋、飛鼠、建建、禹亨... (非常多)在我研究與人生的路上給我建議與陪伴。

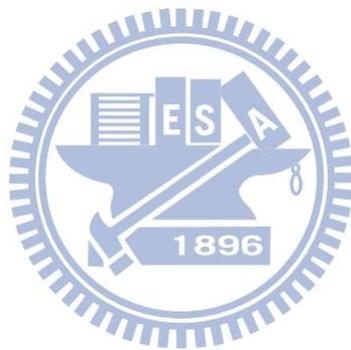
最後再特別感謝我的指導教授侯君昊老師，謝謝這兩年來給我的各種建議與信任，讓我很自由的在這個領域中探索，也不時給我建議讓我不至於偏離軌道。也讓我參與跨領域團隊，製作了第一件藝術裝置作品，並且給我很多建議與指導。感謝君昊老師指導藝術設計背景的我，擁有更好的理性思維並且寫了一篇架構完整的設計論文，由衷感謝。

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
謝誌	III
目錄	IV
圖表目錄	VI
第一章、緒論	1
1-1 研究背景	1
1-2 研究問題與目的	3
1-3 設計研究步驟	5
1-4 研究架構與流程	7
第二章、研究背景探討	8
2-1 實體藝術設計與創作	8
2-2 仿生設計	11
2-3 資訊的傳播	15
2-4 實體互動設計	18
2-5 小結	26
第三章、概念與設計發展	27
3-1 設計概念發展說明	27
3-2 模組互動模式設計	32
3-3 系統架構與流程	36
3-4 環境控制介面設計	47
第四章、實作與測試	50
4-1 媒材選擇	50
4-2 電子電路設計與偵測資訊介面	54



4-3 控制機制與回饋機制判斷	57
4-4 ZIGBEE 資訊傳遞方法	61
4-5 實體裝置與操作流程說明	62
4-6 討論	76
第五章、結論	77
5-1 研究貢獻	77
5-2 研究限制與未來研究	79
參考文獻	80



圖表目錄

[圖目錄]

FIGURE 1-1 人機互動過程(O'SULLIVAN & LGOE, 1998)	2
FIGURE 1-2 人在物件與物件互動之間的過程	2
FIGURE 1-3 資訊傳遞的狀態	4
FIGURE 1-4 論文架構與流程	7
FIGURE 2-1 ZIP 3D 模擬狀態圖	9
FIGURE 2-2 ZIP 的動態說明圖	9
FIGURE 2-3 FEMININE 機構設計(李凱寧)	10
FIGURE 2-4 解構怪獸(葉韋鈺)	10
FIGURE 2-5 靈魂的重量(莊志維, 2012)	11
FIGURE 2-6 GESUNDHEIT RADIO(CHAMBERS, 2010)	12
FIGURE 2-7 ROBOTIC CHAIR(DEAN ET AL., 2006)	13
FIGURE 2-8 仿生微生系(何炯德, 2013)	13
FIGURE 2-9 SWARM ROBOT(MATHEWS ET AL., 2012)	14
FIGURE 2-10 LUMIBOTS(KRONEMANN & HAFNER, 2010)	15
FIGURE 2-11 TANGIBLE PIXELS(TANG ET AL., 2010)	15
FIGURE 2-12 區域網路(PAN)應用情境分析(王文宏, 2005)	16
FIGURE 2-13 智慧粉塵 (SMART DUST)	16
FIGURE 2-14 無線電力傳輸技術開發未來智慧生活產品計畫(黃子坤, 2009)	17
FIGURE 2-15 TAKE A SEAT(GEES, 2007)	17
FIGURE 2-16 NIKE RUNNING(NIKE, 2013)	18
FIGURE 2-17 GO HOME SHOES(WILCOX, 2012)	18
FIGURE 2-18 CURLYBOT(FREI, SU, MIKHAK, & ISHII, 2000)	19
FIGURE 2-19 CURLYBOT 與當時產品比較圖(FREI ET AL., 2000)	19
FIGURE 2-20 CURLYBOT 互動模式圖	20
FIGURE 2-21 物理牽動的連結互動模式	21
FIGURE 2-22 TOPOBOS(RAFFLE, PARKES, & ISHII, 2004)	21
FIGURE 2-23 CUBOINO(HEIBECK, 2013)	22
FIGURE 2-24 被動的數位連結互動模式	23
FIGURE 2-25 NOTE CUBE(DIAO, 2013)	23
FIGURE 2-26 主動的數位連結互動模式	24
FIGURE 2-27 ESPER DOMINO(SUKI, KOBAYASHI, & SUZUKI, 2011)	24
FIGURE 2-28 ALGO.RHYTHM	24

FIGURE 2-29 物件於實體傳遞	25
FIGURE 2-30 創作者在實體間產生連結創作	26
FIGURE 3-1 傳統的捏塑過程	27
FIGURE 3-2 群聚行為(SWARM)所產生的圖騰	28
FIGURE 3-3 動力裝置一般的製作流程	28
FIGURE 3-4 通訊理論模型(SHANNON, 1948)	29
FIGURE 3-5 訊息的被雜訊改變的過程	30
FIGURE 3-6 訊息傳遞的過程	31
FIGURE 3-7 訊息傳遞時被環境所改變	31
FIGURE 3-8 教導物件互動模式	32
FIGURE 3-9 不同個體特性的互動模式	33
FIGURE 3-10 更換順序互動模式	33
FIGURE 3-11 環境雕塑動態資訊互動模式	34
FIGURE 3-12 將單元延伸的控制模式	34
FIGURE 3-13 各類實體兩者間所產生的互動行為	35
FIGURE 3-14 行為透過實體傳遞	35
FIGURE 3-15 單一模組自身系統架構	37
FIGURE 3-16 一對一完整的傳遞訊息過後透過環境影響讓資訊改變	38
FIGURE 3-17 訊息在傳遞單元與處理單元之間流動情形	39
FIGURE 3-18 一對一教導系統	39
FIGURE 3-19 兩系統間產生傳遞	40
FIGURE 3-20 一對一實體端環境控制	40
FIGURE 3-21 不同個體特性的互動模式	40
FIGURE 3-22 傳播單元具擴散性的循環模式	41
FIGURE 3-23 傳播單元具順序性的循環模式	41
FIGURE 3-24 循環式具順序性系統	42
FIGURE 3-25 不同系統在實體端產生訊息傳遞	43
FIGURE 3-26 不同系統在實體端環境控制	44
FIGURE 3-27 單元系統流程規劃	45
FIGURE 3-28 模組傳遞系統流程規劃	46
FIGURE 3-29 被動個體特性模組控制介面	47
FIGURE 3-30 左為傳送模組 右為鏡射模組	48
FIGURE 3-31 主動個體特性模組控制介面	49
FIGURE 3-32 左為速度模組 右為間隔模組	49
FIGURE 4-1 PERFORMANCE BY BEHAVIOR REGISTRY(鄭家凱, 2012)	51
FIGURE 4-2 各種步進馬達	51
FIGURE 4-3 五線式步進馬達發電測試	52

FIGURE 4-4 ARDUINO UNO 和 ARDUINO IDE 編輯器	52
FIGURE 4-5 晶片 ULN200 控制五線式步進馬達	53
FIGURE 4-6 PROCESSING 使用介面，左為圖像介面右為程式編寫介面	53
FIGURE 4-7 電路示意圖	54
FIGURE 4-8 步進馬達使用圖	55
FIGURE 4-9 初步實驗模組過程照片	55
FIGURE 4-10 資訊視覺化介面 V1	56
FIGURE 4-11 資訊視覺化介面 V2	57
FIGURE 4-12 資訊視覺化介面 V3	57
FIGURE 4-13 推測步進被旋轉產生的激磁現象	58
FIGURE 4-14 判斷旋轉方向 PATTERN	59
FIGURE 4-15 實際被旋轉產生的激磁現象	59
FIGURE 4-16 判斷點圖騰	60
FIGURE 4-17 步進馬達與介面實作過程	60
FIGURE 4-18 各種 ZIGBEE 傳播方式	61
FIGURE 4-19 I2C 有線溝通模組與 ZIGBEE 無線溝通模組實作過程	62
FIGURE 4-20 ZIGBEE 循環與線性的傳遞方式	62
FIGURE 4-21 初步模組單元設計	64
FIGURE 4-22 模組單元實際拆解	64
FIGURE 4-23 核心動力模組設計	65
FIGURE 4-24 附屬拼裝模組	66
FIGURE 4-25 透過 MTK 模組可搭配出不同組合	66
FIGURE 4-26 搭配模組運轉模式	67
FIGURE 4-27 動態捏塑的過程	67
FIGURE 4-28 介面輔助使用者原形實作流程	68
FIGURE 4-29 實體端將動態捏塑過後介面端顯示角度	68
FIGURE 4-30 利用模組拼接產生應用	69
FIGURE 4-31 可能線性造型運用	69
FIGURE 4-32 大型繪圖裝置 MAKERS SPECTATORS	70
FIGURE 4-33 繪圖裝置設計	70
FIGURE 4-34 繪圖裝置模組外殼設計	71
FIGURE 4-35 捏塑動態設定	71
FIGURE 4-36 動態訊息傳遞方向	71
FIGURE 4-37 繪圖裝置馬達控制示意圖	72
FIGURE 4-38 上為細部構造 下為實際捏塑動態狀態	73
FIGURE 4-39 實作照片	75
FIGURE 4-40 系統運轉一圈	75

[表目錄]

TABLE 3-1 使用者與系統單元關係	38
TABLE 3-2 使用者與多項模組系統關係比較	42
TABLE 4-1 運動類型之間的轉換(ROBERTS, 2013)	63
TABLE 4-2 環境控制介面實際比較	74



第一章、緒論

1-1 研究背景

當今科技日新月異，幾乎人人都擁有智慧型手機，可以說是真正遍佈式運算 (Ubiquitous Computing) 時代的來臨。Weiser 在 90 年代初期提出了遍佈式運算 (Ubiquitous Computing) 觀念，開啟了智慧生活的新視野，生活環境因為加入了各項智慧科技，得以提供人們在空間中活動所須之資訊與服務。平板電腦、手機、各式環境感測器的出現只是遍佈式運算的開始，這個概念重要的並非單指這些獨立設備，而是這些裝置之間的相互作用 (Weiser, 1991)。普羅大眾開始體驗到隨處連網的便利，各式產品與物件也逐漸擁有收發資訊的能力，物件與人、物件與物件之間也得以相互溝通，資訊與資訊相互串連，產生一個密集的溝通網絡。

“ We are surrounded by a sea of motion: everything around us is in a state of continuous movement (Parkes, Poupurev, & Ishii, 2008).” 我們身處於一個充滿運動資訊的世界，資訊在空間中持續的作動著。未來，空間中的物件將具備反應能力，根據環境、人為、物件... 等等參數影響進行回應或調整。運用這些狀態與回應來產生互動行為的研究遂成為當代實體互動領域重要課題之一。拿機械手臂為例，過去機械手臂的操作多為由工程師撰寫程式後將動作輸出，而在教學與播放模式 (Teach & Play) 的出現改變了操作模式，使用者可以直接以動作引導，教導機械手臂運動，再令機械手臂重複此運動。這樣的模式讓機械手臂更容易使用，不需要依靠程式的編寫，可以直覺的進行使用者想要的動作。這樣的模式也可預防因為程式的編寫過程與真實作業環境脫節，導致機械手臂路徑誤差而產生碰撞等問題。此外，當我們教導完一台機械手臂後，可以將此資料完整的傳遞給下一台機械手臂，重複相同的動作。而這樣依序傳遞，可讓整座生產線在使用者的預期下順利且快速的完成任務。

創作者在實體創作時加入許多互動元素，在物件之上和空間中增設感應器，製作互動原型，使物件和空間有接收資訊的能力，期待讓使用者透過這些感應器，在空間中產生不同經驗與回饋。大致而言，目前的實體互動裝置有兩種類型，一類為單一裝置互動，在單體裝置中處理輸入輸出轉換 (Mapping) (Figure 1-1)，目的在輸出端產生與輸入端迥異的結果，從而讓人感受到特殊經驗；第二類為多裝置互動，透過複雜的運算與通訊方法將訊息傳遞，產生群體效應 (Figure 1-2)。

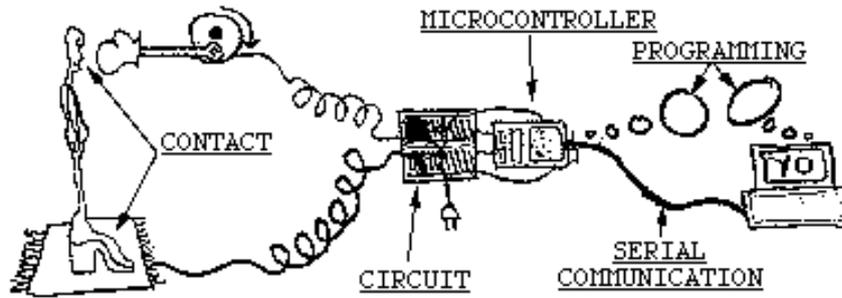


Figure 1-1 人機互動過程(O'Sullivan & Igoe, 1998)
(<http://itp.nyu.edu/~dbo3/physical/images/physical.GIF>)

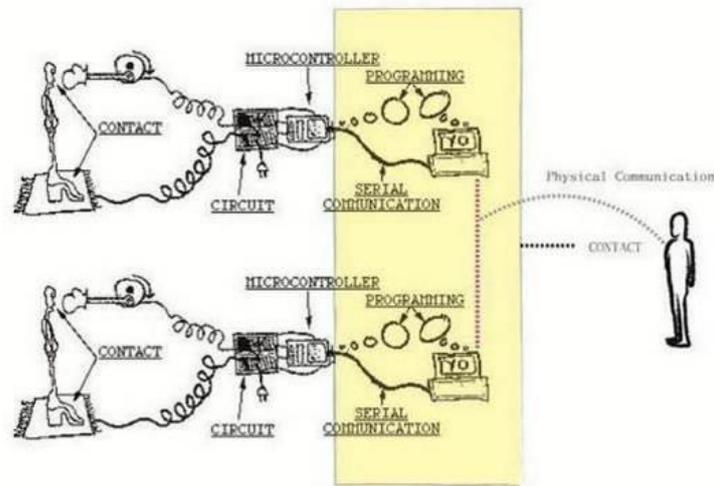


Figure 1-2 人在物件與物件互動之間的過程

此外實體互動領域也深受仿生學 (Biomimicry) 影響。仿生學藉由了解生物的結構和功能原理，來研製新的機械和新技術或解決特定難題(Wikipedia)。人類不管在各種科學、工程與設計領域，大至建築、飛機，小到家具各種工業製品，逐漸重視向大自然學習的重要性。2012 年何炯德教授帶領元智大學藝術與設計學生所創作的仿生微生系(何炯德, 2013)正是在仿生在實體互動上很顯著的創作案例之一。隨著科學的發達，人類對於生物有更進一步的理解，對仿生設計有更深入的學習及探討，甚至對社會性昆蟲的行為也開始有了更深刻的思考。Swarm robot 的出現讓人們相信群體智慧(Swarm Intelligence)能夠運用在更多不同層面，幫助我們解決更多更複雜的領域問題，例如：網際網路、採礦任務、農業採集、協同作業、救難... 等等不同領域。

1-2 研究問題與目的

剛接觸實體互動領域的創作者，在創作時往往只能透過自己熟悉的媒材來呈現，然而面對一個全新的領域，創作者必須同時面對機構設計、連接電路、程式控制等等流程上的繁瑣問題，經常造成創作上的瓶頸。在一般動力裝置設計上，最常見的驅動方式首推馬達。而利用程式來控制馬達，又要結合機構設計，往往造成思考連結的斷層與困難，同時也可能因為經驗不足而忽略掉許多控制上的細節。而在來回解決、更改機構裝置問題的同時，不少創作者會因為挫折而放棄學習或妥協。

另外，創作者在製作動力裝置時，通常不會只使用一個馬達來驅動。而且實體互動創作逐漸脫離單純的輸入輸出，愈來愈多作品運用裝置之間的連結產生一連串的連鎖網絡，去解決更大面積或者更複雜效應的問題，意味著裝置與其構成的網路可隨著環境因子和人類行為的改變而改變其運算結果。但創作者面臨的問題，除了電子電路和程式撰寫上的技術鴻溝外，最大的障礙在於互動過程中，在轉換通訊與運算邏輯的同時，難以類比對應(mapping)創作想像、自身經驗與電子零件的運作邏輯，使得創作者往往在設計原型階段寸步難行，最終只能依靠想像、動畫或者簡化設計來去補足(或妥協)對於設計專案實踐能力的不足。在 *Tangible Bits: Beyond Pixels* 一文中，Hiroshi Ishii 教授提到：「實體介面設計所面臨的挑戰，是如何以有意義和周全的方法面對實體物件，使他們的操作對應到數位的計算和反饋(Ishii, 2008)」。雖然開放式互動工具漸漸普及，各式各樣的開發板與套件縮短了創作者製作互動原型的時間、也降低了難度，但還是因為種種技術門檻、對於介面的不了解、複雜的電線迴路等等因素，讓設計停留在簡單的輸入輸出，無法達到作品的原始構想。

Eames 夫婦根據 Claude Shannon 在 *A Mathematical Theory of Communication*(Shannon, 1948)中所提及的通訊概念模型，轉化成應用在藝術與設計領域，討論創作者與觀眾之間的連結關係。創作者想傳達的概念，因為觀眾的個人背景與經驗，將創作者想傳達的概念進行個人化的重新詮釋。溝通是雙向的，但接受的一方，會依照自己的認知和過去經驗來重新解釋所接收到的訊息(葉謹睿, 2010)。此時接收者主觀對於訊息所進行的改變、變形或修飾，稱之為雜訊源(Noise Source)，有如影像處理的濾鏡功能。將這樣的關係轉化到物件溝通上，我們假設在物體間的溝通被建構於物理框架下，並且是一個可被感知的過程，讓所謂的雜訊源(Noise Source)變成可被控制的因子，互動行為將如何在這其中發生呢？互動設計是隨時間展現自我的產品(Sharp, Rogers, & Preece, 2007)，如果我們將其狀態接連不斷的延伸，資訊的形狀將變成我們無法預知的形狀。舉例來說人們在傳話的過程中，可能因為每個人對於這個事件的主觀意識，因為各種不同的情緒讓這句話給曲解，最後聽到這句的人將會得到完全不一樣的詮釋，最後的結果必然迥異於原始資訊。

資訊傳遞過程被視覺化後，使用者除了可以理解互動與溝通的行為、發掘其中有趣的關聯性，也可以試著去改變這樣溝通下所產生的資訊變化，進而產生最後的結果。創作者可以利用這樣的特性，嘗試與呈現更多的可能性，可更隨心所欲的開發出自己獨一無二的產品與創作。而在創作者們開始考量到物件之間資訊連結所產生的互動行為，並期待賦予更多可能性的同時，我們是否可能為使用者設計新型的工具模組，來彌補創作者對於資訊類比與轉換等互動技術上的落差，使其更容易探討物體間資訊傳遞過程的可能性？

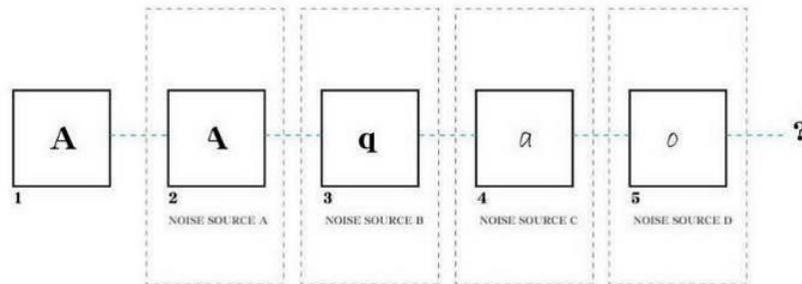


Figure 1-3 資訊傳遞的狀態

本論文的目的是於創作一套可透過教導進行學習與資訊傳遞的實體互動模組，本論文所討論的教導學習行為指的是直接模仿並複製動態行為，模組主要進行動作的轉換與傳遞，稱之為 Motion Transmission Kit (MTK)。MTK 模組包括兩部分：(1)可接收、記憶與重播實體動作資訊的單體模組，(2)跨模組傳播與轉換動作資訊的通訊架構。於是使用者可透過實體動作教導模組期望的運作方式，讓模組記憶並重複播放，省卻繁複的電路接線、程式碼撰寫步驟，直接進行構想實驗。此外，並可以串連多個模組，進行動作資訊的傳播，設計連鎖動力機構。本論文將此種直接操作與測試的設計行為稱之為動態捏塑。

回應到 1-1 節所提到的目前實體互動裝置大多有兩種類型，本論文提出兩種動態捏塑方法，一種為單一裝置一對一的學習方式，另外一種為多裝置透過傳遞可控制一群馬達產生動態行為。以此來縮短與並且簡化繁複馬達控制設計撰寫之工具，拉近創作者與腦中對於動態的想像。另外一方面讓創作者自行利用本此工具通訊上的彈性探索環境中的實體互動設計，互動產品雛型因為受到近年仿生設計與社會性生物群體智慧(Swarm Intelligence) 概念啟發，期待讓環境雕塑個體行為概念，設計具有傳播性與學習性的模組系統雛型，利用 Arduino 與 3D printer 技術製作原型，基於使用者對於物件的實質操作，將原型置入感測器並製作擁有學習與反應功能的步進馬達模組，利用類似骨牌效應的方式傳遞資料，並讓控制變因(環境刺激)加入於此，將使用者所產生的行為紀錄轉換，企圖將資訊在實體的傳送之間產生堆疊、削減，間接或直接的產生捏塑動態行為。使用者可以在傳遞的過程中，可以調整每個模組狀態，讓使用者探索並組合模組彼此之間的關係，使用者可將此模組自行透過各種方法延伸製作設計雛型，試圖探索使用者、物、環境之間所產生的角色關係，並將其紀錄發展可能的實體互動設計運用。

1-3 設計研究步驟

本研究將實作可透過教導進行學習與資訊傳遞的實體互動模組雛形，初期透過對於藝術家與設計師的案例和對於作品施作過程的理解，了解使用動態與互動創作的情況，基於仿生設計、資訊傳播和實體互動的案例探討中運用資訊傳播理論的雜訊和學習心理學理論的延伸實體互動設計之可能性，研究中期將互動模式與系統架構建立完整，後期實作出一套能夠將動態捏塑的實體互動設計系統。研究步驟總共主要分成三大部分，研究背景探討、概念與設計發展、實作與測試：

研究背景探討：

一開始先透過對於設計者與藝術家的案例，對於剛接觸互動科技的使用者在製作原型上所遇到的困難為何，並思考對於剛接觸互動科技藝術家或設計創作者，當對於不熟悉的媒材程式編寫與電子電路，要如何使用互動科技來解決設計者在設計動態行時所產生的不便，再來受到仿生設計的啟發，嘗試透過仿生思為運用於本系統設計，並且回顧過去使用通訊傳遞技術所作的互動設計，關切設計者在實體互動設計上如何使用此技術，依循著過去仿生設計、資訊傳播產品和實體與實體互相溝通的過程下產生的互動設計脈絡，討論過後並建立各種互動模式。

概念與設計發展：

本論文架構主要分成三大部分，設計概念說明、互動模式設計、系統架構流程。

[設計概念說明]

機構動作的產生應該更直覺，允許使用者以一種類捏塑的方式來直接操作。所以在設計上讓馬達有如生物一般擁有基本的記憶學習與模仿能力，讓使用者在概念上將馬達與自行設計的機構結合並透過非程式的方法編輯，造成動態上的捏塑型為，並將互相學習納為一種將傳遞資訊方法，先透過 Zigbee 無線通訊的方式讓物件與物件之間產生教導行為。讓使用者可自由的安排彼此溝通關係，在物件與物件對話之間讓使用者透過實質的物理方法與模組產生的互動行為，讓創作者進行原型的製作延伸，並且創造自己的作品。

[互動模式設計]

本研究將互動模式分為兩部分，第一部分先說明模組本身互動模式設定，第二部分為對模組所延伸的互動模式。

[系統架構與流程]

在系統的討論上，分別為單元物件自身系統、多個模組的傳遞系統、系統與系統之間。實作流程部分為兩部分，其一為單元模組流程，其二為模組傳遞流程。

實作與測試

[媒材施作]

概念與設計發展主要說明整個設計所使用的各項媒材、開發環境與程式編輯，讓有興趣將此系統延伸之讀者更方便於作品的開發。在開發環境端使用 Arduino UNO、Processing 等開放原始碼工具，在媒材的選擇上撰寫選擇原因，並基於開放式原始碼精神將其實作呈現。

[實作測試]

另外本研究裝置實作與測試包含實體 MTK 模組拼裝，嘗試讓使用者摸索動態產生所必須使用的機構安排，設計機構帶動馬達產生學習行為並開始傳遞，在傳遞過程中透過環境控制馬達表情，進而調整整體動態造形之變動。



1-4 研究架構與流程

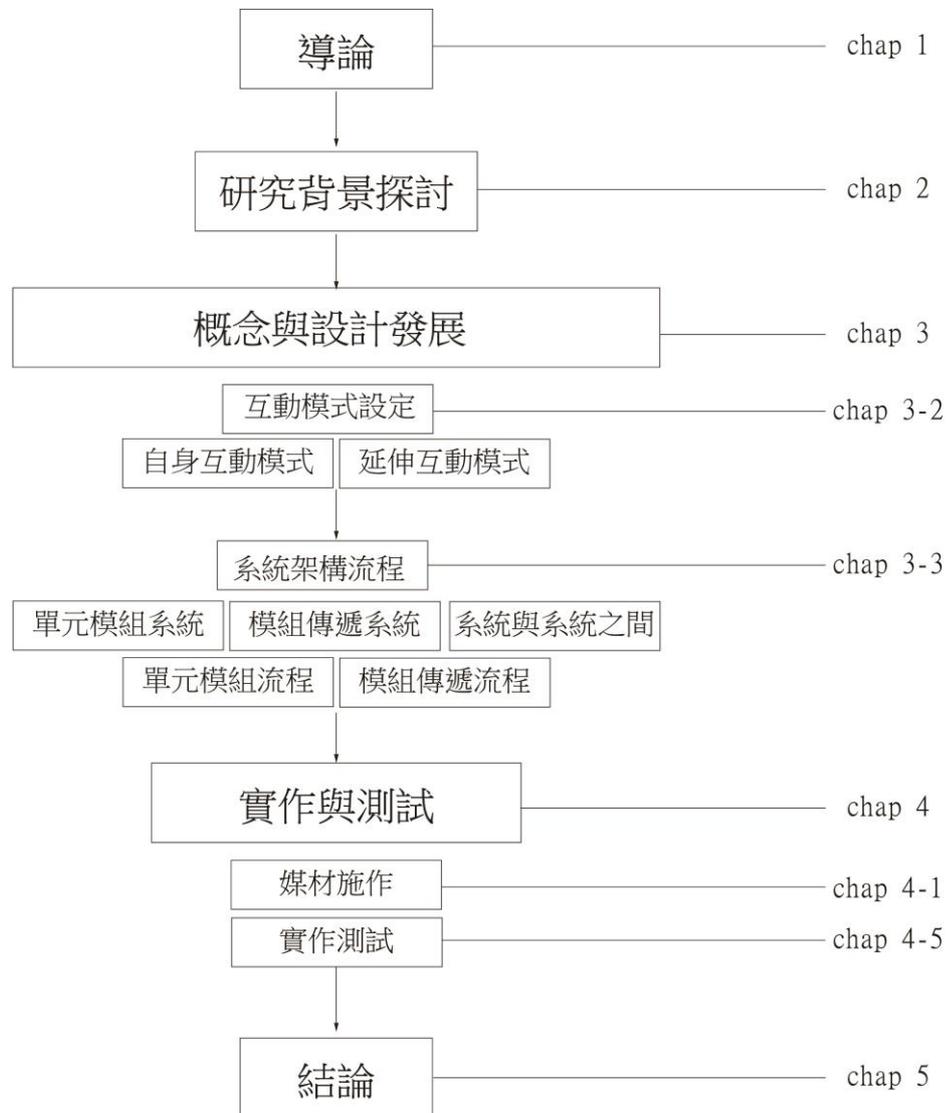


figure 一-4 論文架構與流程

第二章、研究背景探討

本論文的目的在於開發一個給剛接觸互動科技的創作者所設計的實體互動模組。研究背景初期探討創作者在製作作品當中，探究使用互動媒材之情況。透過對於作品的理解，了解創作者所遭遇的問題，回饋於本論文的實體互動模組的設計上。研究背景探討中期關注近年仿生設計應用案例，並了解近年無線通訊商品案例的理解。最後針對實體互動設計案例分析了解，物件與物件之間的互動關係，輔助設計具有傳播性與學習性的實體互動模組雛型。

2-1 實體藝術設計與創作

大部分的創作者透過自身熟悉的媒材來創作，而實體互動領域設計者們大多希望自己裝置可以產生動態。大部分的情況，創作者們幾乎都使用馬達搭配機構來帶動作品，創作者必須面臨控制馬達動態所產生的機構設計、連接電路、程式控制等等技術上的問題，舉例來說 ZIP 是一個未來的桌上型投影機架由筆者設計(Figure 2-1)，當你在打開書本的同時，被設計過的書籤會被感應並將你的 ZIP 投影機架撐開整個機構到達到投影機能夠投射的範圍。

ZIP 本身使用了四個伺服馬達來控制，設計師希望能夠將整個投影機收到一個完整最小的平面，像是一本書的大小，所以一開始先分割整個方形平面，將馬達的位置分配好。在設計的過程中使用 3D 軟體輔助動態機構的擺動，但在實體的製作上只能透過一次又一次的透過程式更改來測試旋轉半徑，來確定機構設計問題。

設計師表示在測試的過程中，常常因為馬達與機構打架造成機構的損壞和馬達的燒毀，也因為一個地方機構發生問題的需要更改，必須所有的程式與機構必須調整，在過程中還得必須考量的轉動過後的配重問題，這樣來來回回在程式、線路、機構上的測試花費掉非常多的時間。

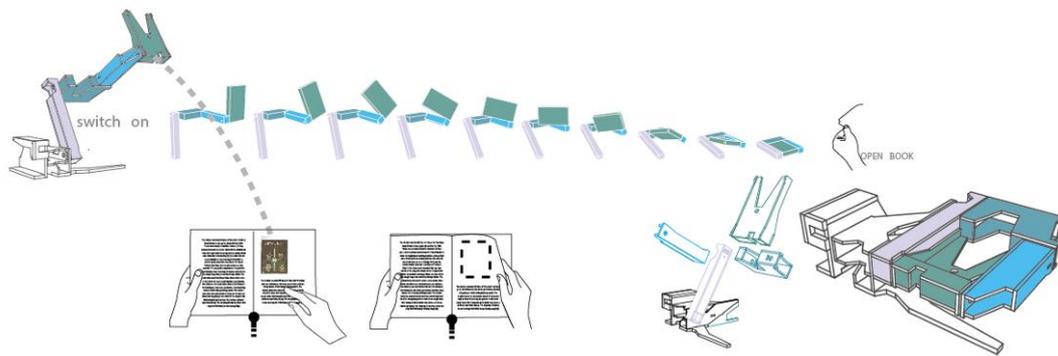


Figure 0-1 ZIP 3D 模擬狀態圖



Figure 0-2 zip 的動態說明圖

Feminine 是一個擁有女性姿態的機械裝置 (Figure 2-3)由交大建築所李凱寧製作。透過網狀鐵網與壓克力機構配合同服馬達的控制。機械在一般人的印象裡總是陽剛的，設計者希望能夠透過馬達、機構與網狀鋪面的配合傳達女性的肢體柔軟的姿態。

設計者為剛接觸互動領域的工業設計背景設計師，對於馬達的控制與限制上初期不甚理解，在機構的設計上設計者花費了大部分的時間，過程中因為馬達與機構的不吻合導致不停的修改與嘗試。

設計者的對談過後發現，設計者在馬達的控制上因為對於程式編輯的陌生而產生部分的困難，導致機構與形態之間所互相配合過後無法與腦中的想像相同，在製作的過程一直需要更改機構來配合馬達的轉動，有時候因為轉動的不順利導致機構的損壞，讓創作者感到挫折。

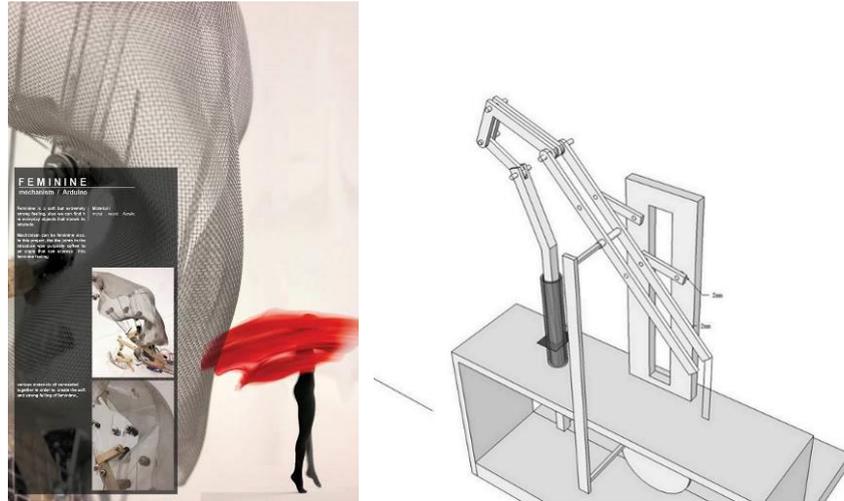


Figure 0-3 Feminine 機構設計(李凱寧)

筆者在交大跨領團隊時期嘗試開發的一件實體互動藝術作品「解構怪獸」(Figure 2-4)·解構怪獸是一個會對聲音產生咀嚼的機械怪獸·設計者希望透過觀眾交談的聲音和自身馬達機構所造成的聲音讓機械怪獸產生動作·解構怪獸傳達的是觀眾所產生資訊被逐漸侵蝕的概念·解構怪獸身上擁有五顆伺服馬達和五個麥克風·每一支麥克風透過對於聲音的解讀過後驅動馬達帶動解構怪獸的手臂產生動作·每個麥克風控制著每隻手臂的垂降順序·透過程式的控制伺服馬達拉動釣魚線來拉動手臂的機制下產生依序下降的圖騰(Pattern)動作。

創作者表示在測試的過程中馬達與機構所產生的高度效果與自己心裡的想像不同·對一顆馬達的控制就必須來回調整線的長度和馬達的旋轉狀態·馬達與馬達之間又必須透過較為複雜程式演算法的判斷才能造成依序變化的圖騰(Pattern)狀態·雖然將每一個機構分開由一個馬達控制·但還是必須搭配視覺效果的調整·而這樣來來回回的透過程式測試作品表情、機構上的測試似乎讓創作者花費了大部分的時間。

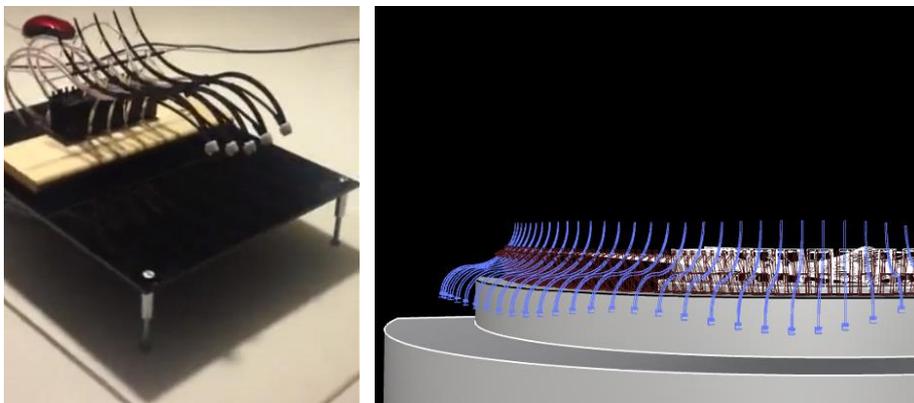


Figure 0-4 解構怪獸(葉韋鈺)

靈魂的重量為冷陰極燈管所組成的機械裝置，創作的動機是紀念一位朋友的逝去，試圖從過往一段自身的經歷作為文本，發展一個空間動態裝置作品，運用光構築一具輕盈的身體的形態，描述關於靈魂如同回歸到海洋中漂浮的失重想像(莊志維, 2012)。

透過線性的冷陰極燈管來結構出結構物，讓直流馬達帶動一個類似鐘擺的裝置，其中的桿件帶動彈性繩，帶動整個結構體起伏，在施工的過程中，坐落在地面的馬達拉動結構物時常常因為與預期的不同導致燈管擠壓的產生破裂。

藝術家本人表示，在現場調整的時候雖然可以控制不動時最漂亮的形狀，但是無法很精準的掌握改變中的樣子，另外也無法揣摩觀眾在觀看時的角度，因為他們的身高和位置都不一樣。Figure 2-5 右圖為的電腦輔助形態的造型設計狀態。

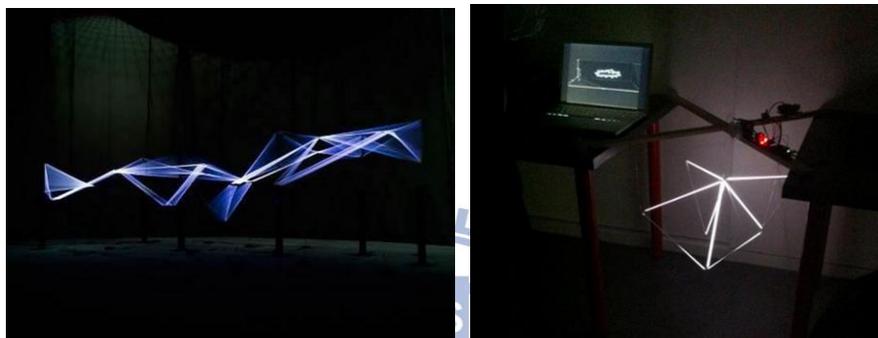


Figure 0-5 靈魂的重量(莊志維, 2012)

透過創作者對於動態產生的理解，連續旋轉馬達和可控制角度的伺服馬達最常被拿來做產生動態的媒材使用，依照作品的大小與規模，使用馬達的數量不定。

對於馬達的控制必需仰賴程式和電子電路的規劃，對於單一馬達的控制也許不會遇到非常多的問題，但是當必須使用非常多馬達運作的時候，將會面臨一些控制上的選擇。舉例來說解構怪物的每個單元幾乎是由一個馬達控制的，為了產生有序列性的圖騰，創作者必須透過成式運算的方式來達到此效果，如果用機構的方式也可以達成此效果，但這樣圖騰就會被侷限於機構的幾種模式。另外創作者通常會透過 3D 電腦輔助想像作品的形態，再來做機構的設計，最後整理成參數再透過程式控制馬達。

2-2 仿生設計

仿生學為了解生物的結構和功能原理，來研製新的方法解決各種難題。1960 年由美國的 J.E.Steele 首先提出(Wikipedia)。基於這樣的精神，在各種領域當中人類向大自然學習，產生許多仿生設計。近年來人工智慧的蓬勃發展，在機器人領域運用也對於生物系統有著深入的研究(Bar-Cohen & Breazeal, 2003)。仿生設計借鏡於自然，經由類比(analogy) 的概念，找出創新解答(丑宛茹, 2013)。

我們對於追尋生命真理的運作經過了好幾百年的學習，而現今因為科技發展，互動設計的出現，產品被賦予生命的想像開始越來越活躍。仿生設計的產品不再只是追求外形上的表現，而是能夠化被動為主動，超越人造物被動且單一的功能性。



Figure 0-6 Gesundheit Radio(Chambers, 2010)

使用者似乎覺得人造物具有想法，常常會聽到使用者對著電器說話和使用不便上的抱怨，例如「電腦真的會恨死我」這類情緒性的反應(Faludi, 2012)，人利用科技創造出類生命感的物件，賦予人造物生命，例如：ADG 團隊就試圖探索將電子的產品擁有動物的行為會發生什麼事，以回應並解決常見的日常生活問題，舉例來說如果收音機被賦予生命，ADG 團隊將收音機設計成擁有打噴嚏的行為，定期打噴嚏是因為堆積在收音機內的灰塵很可能導致機電的損壞和導致音質拙劣。另外一個例子是擁有四條腿的光碟機，它可以感應到突然有一杯咖啡被打翻在桌子上，他就會有如生物一般提高自己的身體並且站立在桌子上，以避免被潮濕產生的破壞。這些物件帶有動物的直覺，擁有自我保護的意識，設計師希望他們能夠生存的比競爭對手產品更長，使用物競天擇的語彙到產品設計領域(Chambers, 2010)。這樣設計的出現讓人們思考到產品設計與環境對話的可能性，不以外型的仿生做為主要設計方式，加入了使用者對於事件的反應，從行為上類比到物件身上，並且從物件的自身角度出發，不直接的以使用者為中心思考，反而是以一種間接改善產品自身狀態的形式來幫助回饋給使用者。

Robotic Chair(Dean, Donovan, & D'Andrea, 2006)就外型來看就像是一般的木頭椅，但是事實上他擁有能夠崩解的行為，並且又能夠將自己重新組合。Robotic chair 是透過視覺系統引導和無線網絡機械控制讓椅子產生自我重組行為。我們對於椅子的印象大概需要堅固、牢靠，因為我們必須作在上面，我們將自己的身體交付於它，而椅子與我們從小到大共存到現在。這張被賦予生命後椅子，不僅僅是顛覆我們對於椅子功能性的思考，而似乎轉述著我們起承轉合得人生經驗。透過這樣的系統讓似乎讓我們看到更多的可能性，椅子的元件被拆解成非常多的部分，如果一個家庭的每個家具元件都可被拆解成小單元，你幾乎可以想像這些元件如果被重新混和重組過後，幾乎可以完成更多不同功能的家具，舉例來說桌子和椅子因為人的需求和時間上的配合，會重新被組合成床鋪。

想像在未來的世界裡，所有的物件都有接收資訊的能力，物件與人產生互動能力，物件與物件之間相互溝通，資訊與資訊相互串連，產生一個密集的溝通網絡，物件在空間中將會

是制動的，因為環境、人為、物件... 等等參數影響運作狀態，來因應各項人、環境和物件的需求做調整，最後達到一種空間機能上的平衡。

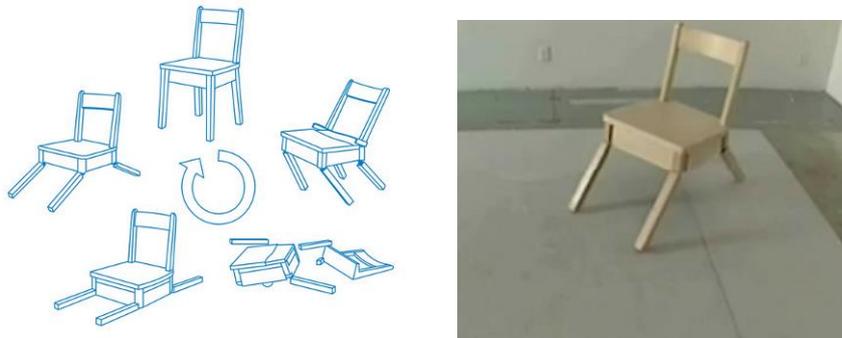


Figure 0-7 Robotic Chair(Dean et al., 2006)

仿生微生系為何炯德老師於元智大學透過仿生的思為，帶領學生所創作的一系列機械生物裝置。從生物機制的萃取、生物的突變、最後每個仿生機械擁有自己的個性與脈絡，在一個模擬的人造環境下相互作用，舉例來說地蠶的源頭機制為對蛇爬行的理解，透過蛇在運動的時肌肉的觀察，製作機構原型，創作者發現第一階段的原型連結處造成移動上和動作上的限制，試圖改善並強化彼此連結的關係最後在連接處(Joint)產生突變，突變過後擁有自己的行為和表現性生存於仿生微生系架構下與其他生物對抗、共生... 等等，仿生微生系類比了生命形式的演化，追尋更具自然與動態的平衡狀態(何炯德, 2013)。在探討彼此的關係行為上，微生系所提各種機械生命的關係有如現實生命在環境中肌理一般，機械與機械之間的關係因為各種感應器與物理性的接觸被賦予不同的反應與紋理。

仿生微生系前瞻的來看有如對於未來生活的典範，透過對於大自然的學習製造人造生命，賦予人造物生命感與環境、人，維持良好的平衡關係，但如果我們將數量與種類重新安排，數量拓展，種類加以簡化，探究關係與關係之間各種拓普的可能性，這不外乎是一種社會性(swam)生物的體現，而科學家們也開始在機器人領域利用於此，發展群體智慧(Swarm intelligence)。

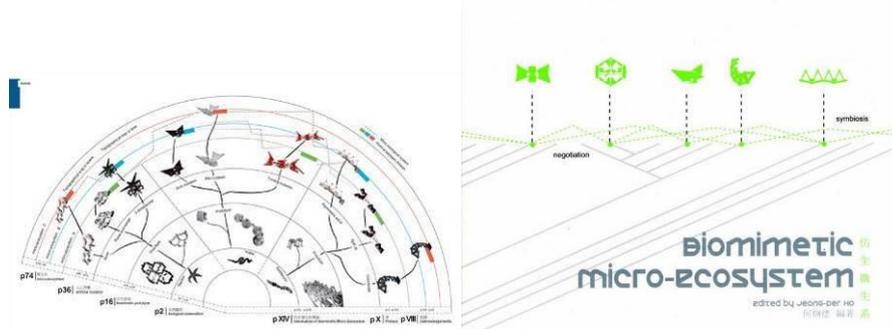


Figure 0-8 仿生微生系(何炯德, 2013)

群體智慧 (Swarm Intelligence) 是藉由觀察社會型昆蟲 (Social Insects) 的行為模式，歸納出其特性應用到人類生活中各個領域的學門。在機器人學領域，一群機器人可透過直接通訊或間接通訊來進行合作或問題求解，讓無智能的主體透過合作表現出智能的行為特性(台北文化建國, 2012)。因為必須大量生產與製造，大部分的群聚機器人研究著重於低成本與如何建立協同系統上的開發，而如何將群聚型物件透過自身簡單機能，經由累積、互相傳訊達到對環境之最大效益，更是研究重點之一。當然不同功能型群聚物件互相搭配產生不同機能，使用者透過此機制，在有意識與無意識的狀況下，與物件產生各類接觸，產生資訊堆疊，主動或被動的決定群聚物件的機能搭配。例如 Figure 0-10 透過飛型的機器人來偵測地面所產生的障礙物，在來支配地上的群聚機器人產生各種自我組織行為(Mathews, Christensen, O' Grady, & Dorigo, 2012)。

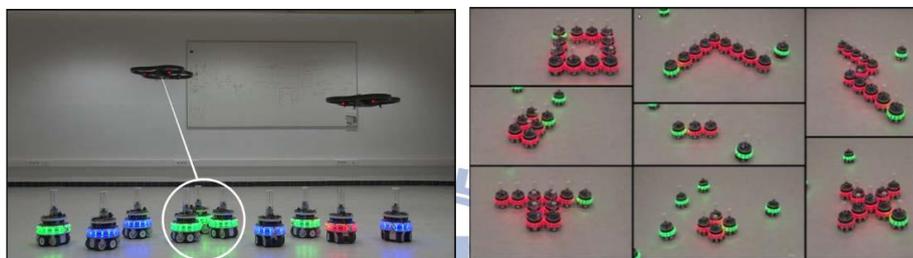


Figure 0-9 Swarm Robot(Mathews et al., 2012)

目前所提出可能的應用層面建立在採礦任務、農業採集、協同作業、救難... 等等不同領域，新媒體藝術也將其技術運用在無法預期的狀態下產生圖騰、作畫。以下為群體智慧的幾項特點：自我組織性(Self-Organization)，每一隻生物的行動不需要上層的支配者，只遵循著幾個簡單的原則，透過每隻個體的原則組成的社會整體，卻呈現了一種效率極高、發展迅速的整體趨向；彈性(Flexibility)，社會組織可以快速地且即時的隨應環境的變動；韌性(Robustness)，就算組織中單一的個體失敗了不能完成任務，整個組織還是會繼續完成整體的目標而不受太大的影響。

LumiBot 是一件群聚機器人創作光畫的作品，每個機器人都有自己的主控制器 Arduino 和兩個光傳感器，會跟踪在這黑暗之中他們自身所產生的紫外線路徑。LumiBots 的行為是不可預測的，他們穿梭於交互的機器人之間，他們遵循簡單的規則，並在彼此的周圍環境中被影響(Kronemann & Hafner, 2010)。這樣的創作模式讓機器人能夠隨機的創作出未知的圖騰，而且每一次的創作可能因為位置擺放的不同、環境不同所產生的不同的畫作，有如生物的生長和行為一般，生物自身是不理解為什麼自己在大環境下所產生的結果的，而只是透過自己對於周遭情況的理解，作出如何應對環境所產生的生理和行為上的判斷。



Figure 0-10 LumiBots(Kronemann & Hafner, 2010)

依循著實體互動設計的脈絡上，也開始利用群聚智慧行為來做為有趣的互動設計概念，透過物件自身簡單的判斷機制對於周遭模組產生引想來產生互動行為，Tangible Pixels 為帶有嵌入式群運算機制裝置。Tangible Pixels 的每個單元有三個功能— 傳感、通信/計算和驅動能力的模組，讓周邊模組產生集體智慧反應，企圖顛覆傳統靜態空間設計的窠臼，試圖透過實體像素讓空間重新被定義，期待感應元件能夠因為紅外線感應過後，有如「瞎子摸象」一般感測出使用者行為所產生的需求，透過有如電腦像素般的表達模組與模組之間所產生的群體智慧概念，呈現出以探索人類群體的互動和可適性物件在研究和設計領域的可能性(Tang, Tang, & Lee, 2010)。

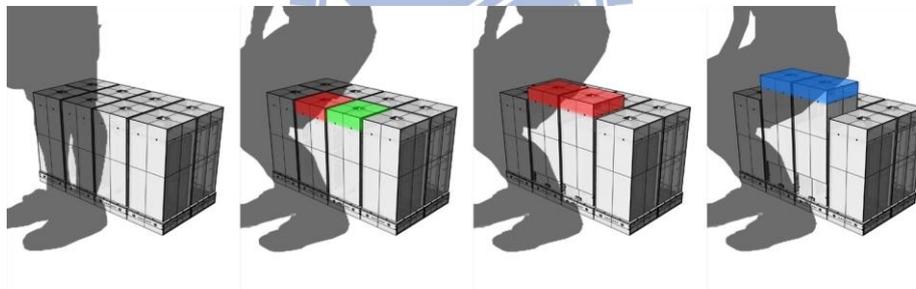


Figure 0-11 Tangible Pixels(Tang et al., 2010)

2-3 資訊的傳播

資訊的傳播有非常多的方法，而其中無線感測網路因為非接觸的方便性，應用層面廣泛。無線感測網路最初由加州大學柏克萊分校的「智慧粉塵 (Smart Dust)」計畫提出(Figure 2-13)，越來越多產業開始擴展無線感測網路的應用，例如生態環境的監測、森林火災防護、健康醫療、居家照護等各項不同的運用(潘貞君, 林致廷, 吳文中, & 郭茂坤, 2010)。無線通信技術包括了藍芽、Wi-Fi、Zigbee、超寬頻(UMTKra WideBand)、近距離無線通訊(NFC) ... 等，它們都有其立足的特點，或基於傳輸速度、距離、耗電量的特殊要求；或著眼於功能的擴充性；或符合某些單一應用的特別要求等。但是沒有一種技術可以完美到足以滿足所有的需求(王文宏, 2005)。

	典型應用情境	應用現況	應用情境趨勢
Zigbee	<ol style="list-style-type: none"> 1. 家庭自動化 2. 家庭安全 3. 工業與環境控制 4. 個人醫療照護 	<ul style="list-style-type: none"> • 火災煙霧警報器 • 人員定位 	<ul style="list-style-type: none"> • 設備自動化 • 相關人員/資產定位 • 環境安全感知
Bluetooth (藍芽)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 家庭無線網路/家電控制 2. 汽車應用 3. 電子商務 4. 無線數位傳輸 5. 遊戲機及串連線 6. PC周邊/消費性電子 	<ul style="list-style-type: none"> • 藍芽無線耳機/藍芽無線滑鼠/藍芽印表機連接器 • 手機/筆記型電腦/PDA 	<ul style="list-style-type: none"> • 消費性電子無線化 • PC與其周邊無線化 • 汽車設備/家電無線化
UWB (超寬頻)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 精確定位 2. 雷達探測 3. 家庭娛樂網路 4. 無線個人區域網路 	無	<ul style="list-style-type: none"> • 高品質數位娛樂
Wi-Fi	<ol style="list-style-type: none"> 1. 公用無線網路上網 	<ul style="list-style-type: none"> • 熱點(Hot Spot) 	<ul style="list-style-type: none"> • 無線上網點的增加
NFC (近距離無線通訊)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ID識別/門禁卡 2. 非接觸式付款 3. 智慧廣告看板 4. 數位內容傳輸 	<ul style="list-style-type: none"> • 非接觸式付款(捷運悠遊卡、電子錢包) • 門禁卡/ID識別(公司打卡) 	<ul style="list-style-type: none"> • 個人化服務 • 近端交易/通訊

Figure 0-12 區域網路(PAN)應用情境分析(王文宏, 2005)



Figure 0-13 智慧粉塵 (Smart Dust)

伴隨著無線通訊技術的進步，也讓產品設計與工業設計進入另外一個里程碑，物件與物件間產生更多連結性，並拓展出諸多的可能性。無線通訊技術也廣泛運用在產品的開發與研究上，98 年度國科會前瞻概念設計計畫台北科技大學黃子坤老師團隊也在應用無線電力傳輸技術開發未來智慧生活產品計畫中提出多項以無線電力傳輸相關技術的產品(Figure 2-14)。T-Rescue(左)為海上救難用具設計，運用無線電力充電技術，將電力傳給救生衣，讓救生衣保持加熱溫度來防止遇難者在水裡失去體溫，並且設計 LED 可發出光源作為求救訊號。T-Memory(右)為結合捷運站進出系統的公共設施，設計一款與當地圖規劃結合的電子名信片，導引幫助觀光客到達目的地(黃子坤, 2009)。



Figure 0-14 無線電力傳輸技術開發未來智慧生活產品計畫(黃子坤, 2009)

面臨到各種空間所需要的服務的同時，傳輸技術的運用充滿了各種可能。荷蘭設計師 JeMTke van Geest 創造了專為公共圖書館設計的概念椅 Take a Seat(Figure 2-15)。通過 RFID 射頻識別技術，這把椅子會自動識別主人的軌跡，可以在你需要的時候用到它。使用者通過使用 RFID 技術的圖書館卡，對椅子進行標記(Gees, 2007)。一旦用戶離開圖書館，那麼在等待線附近，椅子會自動回到原來的位置。除了這些功能，椅子還可以自動排隊，以應付會議等情形。而利用科技讓機能更加便利的設計，不僅讓更多人對於未來生活充滿想像，各種服務將可能充斥各種生活細縫之中，更是回應到 Weiser 在 90 年代初期所提出了遍佈運算(Ubiquitous Computing)概念。



Figure 0-15 Take a Seat(Gees, 2007)

在穿戴互動科技發展上，Nike 公司為使用者推出 Nike Running(Figure 2-16)地圖上能夠標示使用者路跑、追蹤進度，在跑步的過程中，APP 會定時的激勵使用者繼續向前的鼓勵和狀態。Nike+ Running 應用程式透過 GPS 系統追蹤路跑各項參數，資料會自動上傳到官方網站，使用者可以查看自己的路跑資訊，包括路線和高度，了解自己在跑步時的狀態進而進行訓練上的調整(NIKE, 2013)。Nike 公司將無線溝通裝置置入鞋底，紀錄的跑步行為，利用 GPS 與無線網路溝通技術將手機程式與自家品牌球鞋結合，不時的讓使用者獲得自身的資訊，這樣的設計不僅讓使用者對於跑步這項運動產生成就感，讓使用者能夠將運動與更貼近自己的生活圈，在裝置與裝置的互相透過網路平台連結之後，同時拓展了使用者的生活圈，擁有一群和使用者自己一樣愛跑步的朋友。



Figure 0-16 Nike Running(NIKE, 2013)

Dominic Wilcox 設計師在 2012 年設計一款 Go Home Shoes (Figure 2-17)只需上傳使用者的目的地，由於 GPS 內置在腳跟，當使用者敲擊腳跟鞋子就會通過左腳鞋面上環形 LED 燈指向所需方向(Wilcox, 2012)。這項設計左右腳擁有 GPS 和無線通訊，左右腳相互通訊，右腳條狀排列 Led 告知使用者與目標的距離，過程中將顯示紅燈而綠燈代表結束。透過設計過的 Led 色彩顯示，使用者就可以到達自己想到的目的地。這雙鞋子的設計打破使用者對於地圖的使用方法，簡單明確的指向設計讓我們不需要透過複雜的通訊科技界面，或者是打開繁複的地圖確定自己的位置後還必須擔心自己有沒有走錯方向，這樣的設計也許可運用在不喜歡使用科技產品的高年齡失治病患者身上，不僅幫助失智患者自己找到回家的路，別人也可以為使用者導引回家的方向。



Figure 0-17 Go Home Shoes(Wilcox, 2012)

各式無線通訊產品已經進入我們生活之中，以上案例把溝通技術建立在單一兩者之間或是建立在某種複雜的裝置平台之下，產生新的解決或服務方案，在物件與物件相互作用下，發展出各式各樣的產品設計。

2-4 實體互動設計

『我們需要跳出屏幕框架，並設法在表達信息和思想的過程中，讓人們可以獲得更多的興奮與期待』

Hiroshi Ishii 2005

目前使用者對於資訊的理解，往往透過平板、螢幕顯示被傳達，而觸碰式平板的出現，讓使用者與電腦位元似乎更近了一些，我們開始脫開滑鼠、鍵盤，讓我們直接的與顯示資訊實質的接觸，但資訊的顯示與互動還是受限於平板、螢幕的框架。科技將緊密的有如編織一般，成為生活的一部分(Weiser, 1991)。麻省理工大學媒體實驗室的石井裕教授(Hiroshi Ishii)提出 Tangible bit 可感知位元後，跳脫了螢幕顯示資訊的窠臼，突破了以往對於資訊顯示的方式，並在人機互動領域提出 TUIs(Tangible User Interfaces)概念，並認為 TUIs 是一種透過與數位資訊連結日常生活的實體物件，來增強人與物理環境的能力(Ishii & Ullmer, 1997)。而 Curlybot 就是一個典型將實體物件利用數位科技來擴增的案例之一。

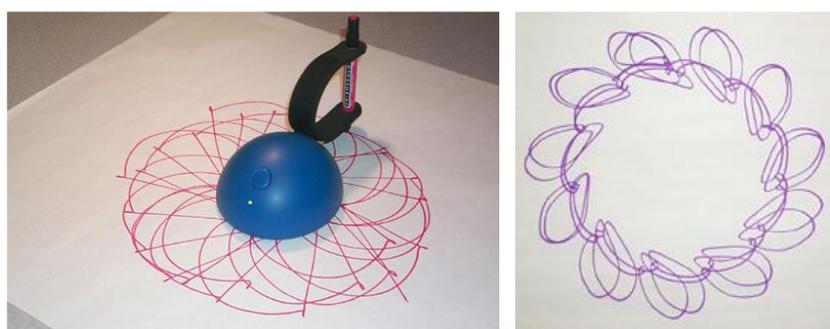


Figure 0-18 Curlybot(Frei, Su, Mikhak, & Ishii, 2000)

		Programming/Input	
		Digital	Physical
Execution/Output	Digital	Turtle Graphics	Motion Phone Curly
	Physical	Floor Turtle LEGO/Logo Programmable Bricks Crickets LEGO Mindstorms BigTrak	curlybot

Figure 0-19 Curlybot 與當時產品比較圖(Frei et al., 2000)

Curlybot(Frei et al., 2000)是一個外表類似滑鼠擁有雙輪的嵌入式電子產品，用來開發孩子們的幾何數學能力的玩具。Curlybot 可以記錄自己如何被移動在任何平面上，準確和重複的播放行為。孩子們可以用 Curlybot 外掛上筆後開發直覺的數學和計算概念圖形，例如幾分幾何。

徹底的將數位介面放棄，利用物理反應的回饋來回應互動設計，Figure 2-20 為當時一些開發孩子們益智與數學能力的遊戲玩具比較，Curlybot 讓孩子們能夠以更直覺的方式對

Curlybot 下達指令。這樣的設計讓孩子們可以更有效且無縫的編寫運動方式，讓原本當時對於教育數學與程式的編輯必須倚靠電腦編寫，受限於螢幕的狀況受到啟發。而將數位資訊隱藏在物件背後的機制，讓我們對於未來產品的可適性產生了更多的想像。

這樣學習的方法讓孩子們不需要特別去記憶特殊的程式指令或者是必須擁有對於鍵盤熟悉的使用能力，清楚且輕易的讓孩子擁有創造動態行為的能力，盡量讓使用者免於習得的無助感(Learned Helplessness)，過去我們因為對於新技術和數學的恐懼似乎總壟罩在習得的無助感之下，而這樣的現象稱為被教出來的無助感(Taught Helplessness)(Norman, 1998)。而設計不良的產品、錯誤的心智模式和不良的資訊回饋，往往導致使用者在使用上產生挫折對於產品與工具產生恐懼，但互動設計上如果回饋(Feedback)的目的如果只是提醒或者是讓使用者順利使用產品，幾乎限制了互動設計的趣味性，Curlybot 以一種學習的方式來回饋使用者，讓使用者能夠創造互動行為，使得產品的互動模式獲得解放，讓 Curlybot 在帶給孩童更多趣味性的同時，不讓他們產生習得的無助感。

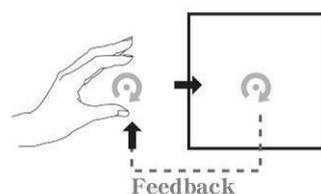


Figure 0-20 Curlybot 互動模式圖

對於剛接觸互動科技藝術家或設計創作者，對於程式的編輯能力是有限的，而在設計動態行為的同時，必須對於馬達的控制非常的了解，雖然目前在市面上有非常多的馬達控制板方便於使用者開發，但往往在對於機構與馬達連結的設計上必須透過反覆的測試才能得到自己想要的動態效果，而在這繁複的設計製作與程式的撰寫過程中，所花的時間付諸於流水，這期間可能會因為繁瑣的過程、機構的讓想像漸漸消磨，導致最後屈就於技術層面的障礙而非設計、創作者當初所想像的結果，2009年吳冠穎透過對於設計或藝術領域剛開始接觸互動設計的生手觀察與訪談發現，對於這些剛接觸互動領域的學生在心理方面常在學習之前，看到複雜的實體電路和壟常的程式碼容易放棄學習的信心，故應讓初學者先免除必須直接面對不同領域細節的壓力(吳冠穎, 2009)。

本研究參考Curlybot的互動模式，製作互動設計系統工具的輸入端原型，希望讓單顆馬達自身產生生物學習能力，使用者可以對於馬達製作機構上的設計搭配，直接讓使用者能夠透過對於馬達教導後的回饋，與自己的設計的構造產生動態搭配，讓使用者能夠快速理解自己設計的機構是否能正常運作在進行調整。當我們利用科技讓人造物的數位能利隱藏於產品背後，使其開始擁有生命一般，人造物開始擁有自主性和感知能力，去適應當下的環境與使用者需求。

在未來，可適性的人造物充滿了使用空間，它們將如何配合人們生活？彼此間如何進行溝通與

處理，將與人如何產生互動?本章節透過非單一物件之實體互動案例探討物與物之間的溝通行為和使用者在物與物之間產生互動行為，進而將其參考並施作於本研究之實體互動設計工具系統之中。

2-4-1 物理牽動的連結關係

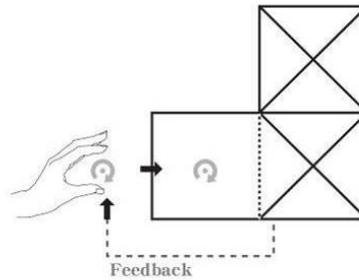


Figure 0-21 物理牽動的連結互動模式

物理的牽動關係意味著這樣的連結關係，由如火車的連結一般，原件與原件之間的依靠著實質的物件作連結，通常是經由設計過後的關節、連結處(Joint)，經由使用者自行搭配組裝，透過可運動的幾項元件來產生動態行為，而模組與模組之間不具備通訊與資料傳遞關係，單純透過物理的方式作為彼此的橋梁，也通常因為關節或材料限制，導致運動行為不同。



Figure 0-22 Topobos(Raffle, Parkes, & Ishii, 2004)

Topobo 是由麻省理工媒體實驗室所開發的能記錄和回放物理運動的組合玩具。沿用了 Curlybot 紀錄並撥放的概念，Topobos 可將物理的紀錄輸入行為和並將其重複輸出行為。透過被拼湊在一起的被動組件（靜態）和動態組件（機動項目），從 Curlybot 2D 式的運動行為，到人們可以快速組裝動態生物 3D 形態的形式，如動物和骷髏，與 Topobo，透過動畫的形式推、拉，和扭曲它們，觀察系統反覆的播放那些運動。例如：狗

可以透過這些構件，被教導姿態和行走扭動它的身體和腿，並且重複那些運動並開始走路。而 Topobos 這樣組合的方式讓作者理解到將互動裝置配合組裝的擴增可產生更多有趣的互動行為，不僅開啟了孩子們更多的想像與創意，也似乎縮短了孩子們對於機構的安排，拉近了孩子們對於機器人程式控制的距離(Raffle et al., 2004)。

Topobos 元件與元件的連結狀態與互動模式主要還是建立在拼裝這些零件組構上，互動的元件具備學習轉動功能，彼此與彼此不具備溝通行為，單純的讓孩子們能夠透過被動元件將主動元件搭起橋梁，也製作成自己想要的造型和教導模型動作，這樣的設計能夠確保使用者再操作時與自己想像相同，也不會造成機構和組構上的崩解。

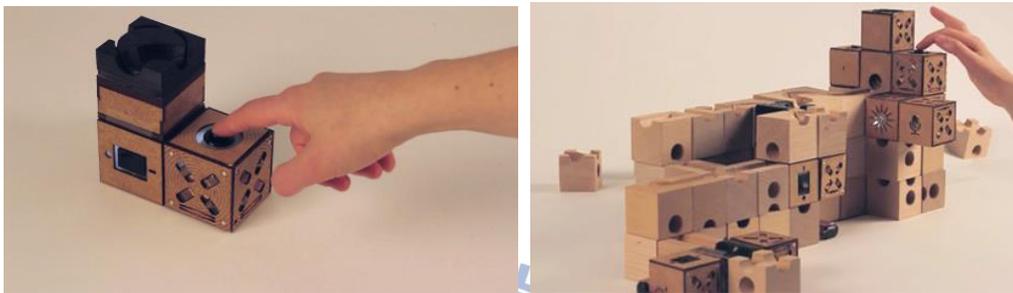


Figure 0-23 Cuboino(Heibeck, 2013)

Cuboino 是一個增強 Cuboro 玩具物理能力的延伸。Cuboro 它由一組立方造型的積木所組成的滾珠遊戲。相較於過去被動的 Cuboro 立方體玩具，Cuboino 模塊利用感應器、轉動機構、觸動開關等等不同類型的機制，建立了新的數位系統來活化部分立方體。當滾珠通過或被捕捉時，根據每個模塊所個性不同，在加上時間上不同的放置，產生更多不同和更動態性的的玩法與結局(Heibeck, 2013)。透過滾珠看到資訊所被實質的傳遞樣貌，資訊的傳遞，透過這些孔洞和旋轉的機構所改變著，在這個案子裡你可以看到每一次滾珠的行為可能都有不同的表現方式，也會有不同的結果。使用者在堆疊與安排的同時，將模組與模組之間的橋梁搭起，而模組與模組之間的並無資訊傳遞的關係，只能透過使用者將積木的擺放方式改變，才能更改滾珠移動的方式。

2-4-2 被動的數位連結關係

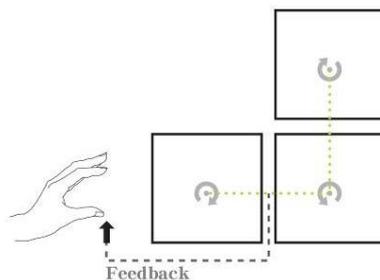


Figure 0-24 被動的數位連結互動模式

被動的數位連結關係意思為彼此之間以靠著使用者的拼裝堆疊間接的透過數位控制的方式來將彼此關係做串聯，雖然彼此互相連結但不具有帶動彼此的物理特性。使用者透過改變實體堆疊的方式，間接的更改了數位連結的內容，達到不同的組合模式和效果。



Figure 0-25 Note Cube(Diao, 2013)

Note Cube 是由美國 CMU Computational Design Lab 所創建的一個可觸摸互動實體積木玩具，幫助幼兒建立的好奇心和對音樂的興趣聲與節奏感的連接。這套積木可以自由排列，形成不同的 3D 立體造型。NoteCube 是由光所觸發，它可以在一定的間距彈奏一個音符，並引發附近的相鄰方塊彈奏音符。孩子們可以探索立方體不同空間結構創建的旋律 (Diao, 2013)。透過各種不同積木自己所扮演的角色，孩子們利用此積木創作了一個實體的樂章，而這樣的編成有如編寫數學程式一般，透過實體排列堆疊的形式來被操作。使用者在排列與組合的同時，間接的影響到數位資訊連結的內容，而模組與模組之間的資訊傳遞處於被動的狀態，只能透過使用者將積木的擺放方式改變，才能更改其回饋內容，而透過 LED 的閃爍和聲音的回饋讓我們理解到模組與模組之間所產生的連結關係。

2-4-3 主動的數位連結關係

主動的數位連結關係意思為彼此之間以靠著使用者的安排，直接的透過數位控制的方式來將彼此關係做為橋梁。使用者可透過改變實體堆疊的方式，來改變其資訊傳的方式，也可透過直接的更改數位連結的內容，達到不同的組合模式和效果。

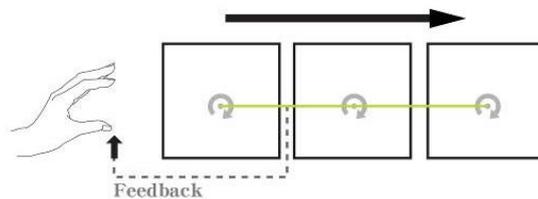


Figure 0-26 主動的數位連結互動模式



Figure 0-27 Esper Domino(Suki, Kobayashi, & Suzuki, 2011)

Esper Domino 由日本的 IAMAS Ubiquitous Interaction Research Group 所開發，是一個利用無線網絡，來連接彼此的骨牌，他們可以在沒有接觸狀況之下產生的互動。它們有如生命一般，發現前面編號的骨牌翻倒後自己馬上也翻倒，每張骨牌的翻倒透過 Xbee 無線傳輸接收的前一個編號的鼓牌翻倒後所傳的信號，在自己翻倒的同時也將信號發送到下一張骨牌。這個概念試圖傳達我們對於記憶中對於位能的經驗，產生一種對於骨牌印象超現實的想像(Suki et al., 2011)。

單就設計而言，讓骨牌擁有編號產生順序性是有趣的，也成功的讓我們對於骨牌的認知做了正確的連結。在有接觸的情況下，骨牌的確也會因為前後的順序產生倒下的效果。就資訊傳遞的方向性而言是單純的，雖然以一個非接觸的方式呈現，清楚的讓我們理解順序所產生的遊戲性。我們可以透過在實體環境中的物理改變，來改變資訊所傳遞的方向，而使用這透過對前一張骨牌的判斷，讓自身產生倒下的行為特性來與其產生互動。



Figure 0-28 Algo.Rhythm

Algo.Rhythm(Peng, 2012)是由美國 CMU Computational design lab 所研發的一套鼓機器人具有學習的行為機制，每個鼓機器人記錄被拍打節奏後，自己也產生如自身被拍打時的節奏上下震動，而外伸的手臂敲擊隔壁的鼓機器人，這樣的機制讓使用者可以透過排列套件的組成，在基於演算法下產生擊鼓表演，並在其中學習程式運作概念，例如：順序執行、循環、通過... 等等，而這樣紀錄並撥放的行為延續了 Topobo 的互動模式，但不同的是在於 Topobo 的教導行為在一開始就決定好如何運作，零件任由一開始所教導的行為模式作動。而 Algo.Rhythm 打鼓機器人有趣的在於機器人本身除了學習過後並撥放的能力外，在實體端透過伸出手臂的產生了教導別組機器人的行為，在實體端的互動層面中多了一個有趣的環節讓使用者能夠加以控制，在組合的安排上強調了彼此關係資訊的傳遞性，並且彰顯資訊在流通時的狀態，個體在被傳遞時因自身狀態的設定，資訊傳送的内容開始被扭轉，透過旋轉連桿來加速鼓敲打的頻率，鼓與鼓之間透過物理的連桿敲打著彼此，最後產生一個未知卻自我組織的鼓樂隊。雖然物件與物件之間沒有透過數位方式有所聯結將資訊傳送，但因為物件本身透過自身的物理形狀和運動方式來將資訊傳遞，在對於敲打的學習過後的播放行為順勢的將資訊傳遞下去，在物理的世界中產生主動的資訊傳遞，透過有限的傳遞距離，使用者因此特性將其安排堆疊。

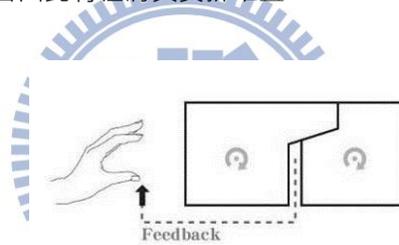


Figure 0-29 物件於實體傳遞

2-5 小結

透過對於這些案例的分析與探討，發現設計師們在實體互動設計領域的創作將不再只是單純的輸入輸出，而可以是因為裝置與裝置的連結產生一連串的連鎖網絡。當面臨於在物件與物件的連結，在物件與物件之間的互動關係上，我們可以在實際的在物理環境中利用桿件、關節將裝置互相串聯，我們也可以透過使用者的安排來將彼此的關係重組，被動的將數位資訊連結，亦或是物件與物件透過程式的方式主動的彼此之間，而人與物之間的互動隱藏在這些物件與物件連結之間。

而從以上幾個實體互動的案例來看，以目的性來說，設計者期待讓使用者能夠安排這些物件與物件的關係，在物件與物件之間產生互動行為，進而達到學習某些感知、邏輯、數學能力，而當物件的之間關係處於被動狀態時，使用者對於開創性的想像是受限的，受限於使用者在安排之後所得到的結果單一性，在被使用者認知過後將失去其中的趣味性，舉例上述 Cuboino 例子來說，原本的滾珠遊戲透過使用者的安排，讓滾珠在孔洞之間穿梭，透過被動的數位連結，雖然看到了更多的可能性，但長久來看滾珠的方向似乎還是受限於幾種固定的規則流串著，而主動的數位連結方式似乎得到了更多的可能性，保持著一種動態過程，讓我們隨時看到更多的未知結果。

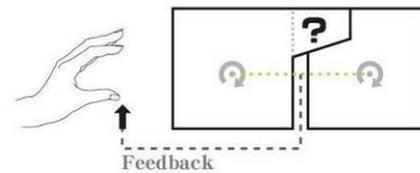


Figure 0-30 創作者在實體間產生連結創作

創作者相較於程式的編寫與電路的串連，更擅長於對於實體物件的創造，和物件之間關係上的安排、重組和建構，對於被動的物件如何被串聯的結果是熟悉的，比如說我們會用連桿、齒輪、皮帶來帶動所創造的機構，但如果讓物件與物件之間產生主動的數位連結，使用者在安排上似乎可以產生更多未知的結果。在賦予人造物輸入與輸出的能力之後，如果將輸出能力的部分實體化，例如：Algo.Rhythm 鼓機器人的手臂，我們幾乎能看到資訊正在被物件與物件串聯，我們更能夠透過於此，利用實質物理上的作動來思考這其中的改變，正在修改資訊傳遞的內容與方向，進而與人造物產生互動，似乎讓實體互動設計產生了更多有趣行為。根據這樣的結論我們是否能夠開發出一套具有主動行為的物件與物件互相傳遞的實體互動系統，便利於創作者與設計者進行各種實體上的設計和創作，方便創造於物件與物件所搭配行為後所產生的整體狀態(Figure 2-30)

第三章、概念與設計發展

本論文目的在於創作一套具備教導學習與資訊傳遞動態的實體互動模組 MTK，對象於剛接觸互動科技藝術家和設計創作者。創作者面對電子電路和程式編寫的不熟悉，設計動態裝置行為面臨許多挫折，本研究試圖縮短與簡化繁複馬達控制設計撰寫過程，拉近創作者與腦中想像對於動態的想像。當使用者面臨一個互動模組，必須讓使用者先清楚理解自己將如何面臨什麼樣的互動行為，如何直覺得讓使用者在互動系統工具中產生互動。

本研究試圖將學習行為作為物件對於使用者的互動模式，試圖讓使用者基於對馬達直覺的動態想像，透過過於馬達的施教，與自己設計的機構配合後，得到自己的想要的動態效果，並將互相學習納為一種將傳遞資訊方法。透過事先安裝的無線通訊裝置讓物件與物件之間產生教導行為，使 MTK 模組有如生物與生物溝通一般。使用者可在實體環境上進行原型的製作延伸，而在物件與物件傳遞之間，可選擇製作實質的連結或無線通訊的方式讓模組產生連結。

3-1 設計概念發展說明

捏塑行為是人類文明的開端，一開始透過雙手的各種技巧來製作生活必需的器皿，最後漸漸的發展成泥塑、雕塑等等藝術創作行為，而在日常生活中也有很多實際的案例，從紙黏土遊戲、麵包的製作到海邊沙堆城堡的製作。人們對於捏塑這樣的行為從小並不陌生，也透過反覆的練習摸索習得經驗，使捏塑行為變成更熟練的技巧，讓形體的控制與腦中的想像更精準傳達並生成美學，而雕塑是一種三維的視覺藝術表現，人們利用對於材料的直覺感受摸索並創造出形體(Figure 3-1)。

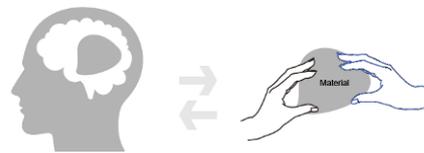


Figure 0-1 傳統的捏塑過程

在大自然似乎也有所謂的動態捏塑情況。大自然的動態捏塑狀態來自於大量生物聚集所產生的群聚行為，例如大雁在天空飛翔會排列為人字型，大雁依靠著簡單的判斷，透過對前方讓彼此的飛行產生最大效應，其中大雁透過身體的感知和透過對眼前大雁飛行氣流的判斷，讓自身動作資訊傳遞下去，所以往往能夠在天空中看到大雁飛翔時所呈現的 v 字形狀

態。在水中魚群也透過這樣的群聚行為(Swarm)，來抵禦大型的魚類攻擊和使得運動方式更為輕鬆(Wikipedia)，而在這樣將身體資訊傳遞的模式，就整體而言發現這樣的動態行為產生了多變的紋理造型，你無法預測接下來的造型為何，造型隨著環境不停的更迭，生物透過本能和學習以適應著環境，環境似乎變成捏塑形體的雕塑家一般，雕塑著生物所產生的群體造型。



Figure 0-2 群聚行為(Swarm)所產生的圖騰

科技的發展和時代的演進，創作媒材使用的自由度越來越高的同時，也產生了許多時間性的藝術創作，而機動藝術就是其中之一。機動藝術(Kinetic Art)的創作需要透過我們的感覺器官，不論是視覺或觸覺所接受的刺激，透過跨領域的整合方式，所呈現出來的視覺運動表現，需要不斷地實驗與分析才能有好的結果出現(陳光大 & 林品章, 2007)。越來越多藝術家和設計師利用各種電子材料和動力裝置來傳達自己的創作理念和設計製作，在目前的互動設計教育中，透過各種不同的開放式軟硬體教學，讓非理工科背景的創作者擁有控制作品產生實體動態的能力，對於初學者而言，必須不停的在虛擬與實體電路介面轉換操作行為，不僅會降低對於實體的設計與程式設計的效率，也加重了學習門檻(吳冠穎, 2009)。而在研究前期對於一些剛學習互動技術和控制動態的創作者對談過後發現，他們在控制動態上往往因為對於馬達控制的不理解，常常必須透過對於機構的設計來彌補對於馬達控制的不足。

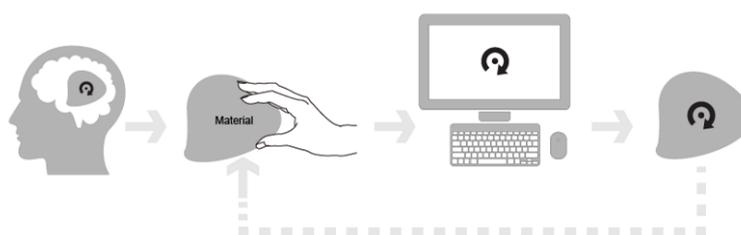


Figure 0-3 動力裝置一般的製作流程

如果我們將馬達被視為材料的一部分，是否能夠像是我們在捏塑黏土一般來使用，透過對於雙手對於材料的理解，來去造成形體的改變呢？企圖縮短與簡化繁複的控制馬達程序，

讓創作者腦中的想像能與實際動態能夠更緊密連結。但往往設計裝置和作品的落成上，通常不只使用一個動力裝置，通常由很多組的動力裝置所串連而成，在這樣多組物件與物件的連結上，我們是否能夠透過類似生物對於環境的方式來將動力裝置的動態產生雕塑的效果呢？

在 *Interaction Design : Beyond Human-Computer Interaction* 書裡面對於使用者的認知做了詳細的解釋，其中談到分佈式認知(Distributed cognition)的目的主要是描述互動資訊在不同的媒體形式如何被表達，在資訊傳達的個體之間將互動的情形加以呈現或再呈現，強調個體與人造物之間所發生將資訊轉化的過程(Preece, Rogers, & Sharp, 2007)而在 1953 年 Eames 夫婦根據拍攝 *A Communication Primer* 解釋 Claude Shannon 在 *A Mathematical Theory of Communication*(Shannon, 1948)中所提到的通訊理論模型，並將其轉化成應用在藝術與設計領域，探討創作者與觀眾之間的連結關係。內容呈述著往往創作者在傳達內心想法時，他必須透過與觀眾相同的物件、顏色、感知... 等等，透過這些看似客觀的元素來表達自己的主觀想法。

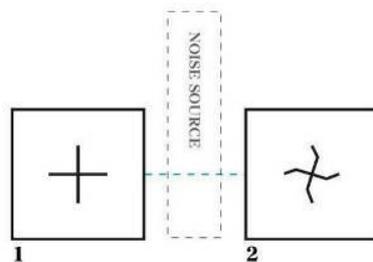


Figure 0-4 通訊理論模型(Shannon, 1948)

第二章仿生設計中所提及的 Floppy Legs Portable Hard Drive 仿生作品，就馬上讓觀者與生物產生連結，正是因為觀眾對於遇水站立和四支腳有著對於生物知識的個人背景與經驗，雖然硬碟還是硬碟，腳就單獨來看就是方方正正幾個幾何形，但觀者透過創作接收到的生物元素，與自身經驗重組過後，將創作者想傳達的賦予產品生命感的概念重新詮釋，這就是在兩人溝通的過程裡，獲得訊息的一方，認知判斷上往往永遠只能依照自己的經驗來解讀所接收到的訊息(葉謹睿, 2010)。如果我們將這樣因為自身經驗重新詮釋的想法串聯起來，訊息的狀態將因為一次又一次雜訊的累積產生未知的效果。

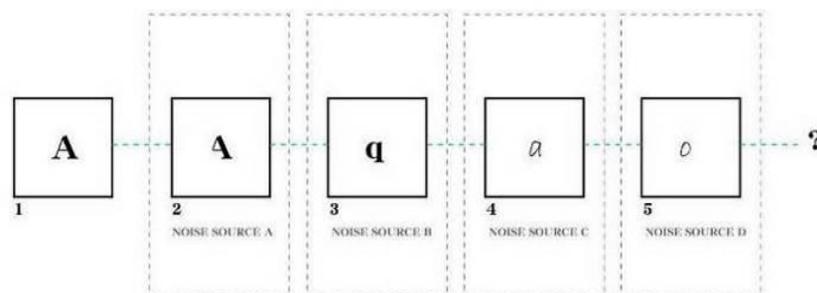


Figure 0-5 訊息的被雜訊改變的過程

學習對人類行為而言處於關鍵地位(王克先, 1987)。人是一種善於學習與模仿的動物，不管是長期或短期的學習，短暫的學習讓我們看到極大的差異性，在電視娛樂產業，其中的趣味性也被將其運用在綜藝節目上，例如：超級比一比，透過上前一個人所產生的動作，在很短的時間內學習過後傳遞給下個人，讓最後一個人猜測結果為何，往往到最後的結果總是不如預期的有趣，當然我們也在這其中看到因為不同人、不同的肢體語言產生許多非預期的行為狀態。

探就彼此行為傳遞的可能性，把傳遞訊息作為一種學習行為，在心理學領域的學習心理學中(psychology of learning)將學習的基本要素分為個體、刺激、反應三個要素來討論。在學習心理學這本書裡提到裡所提到同一種屬(相同生物)內的個體，在特性上也不會完全相同，在學習心理學理稱為個體特性。因為各種不同的特性，影響學習行為，所以學習心理學也將其作為研究的重點之一；刺激在心理學的意義所提的便是一切會引發各體反應的事物或情境(situation)；反應指的是因為刺激而引起個體所產生的活動(王克先, 1987)。

生產線機械控制的流程上，也有所謂的傳遞教導行為。著眼於工業自動化市場，多軸機械手臂的運用，成為自動化流程重要的工具之一，在控制端我們總是希望將設定好工作的行為，進而將其複製，傳遞給所有的機械手臂，而教學與播放模式<Teach & Play>的出現，不再需要透過寫程式的方式來控制傳統的機械手臂產生行為，直接透過對機械結構的導引抓著機械手臂，引導機械手臂運動，再將機械手臂重複此運動，而這樣的模式讓機械手臂更直覺得被使用者操作，避免掉一些我們無法想像到因為程式所產生的機械運作問題，但往往機械手臂的控制可能在大軀幹的動作雷同，但細微的處理不可能完全做出一樣的動作，我們必須透過更細微動作的設定，如果此時每座機械手臂像是擁有一個體特性一般，擁有不同的特性，影響被教導得某些行為，又會因為某些外在情境(situation)的刺激，例如說在某區的機械手臂必須因為產品不能被震動，必須緩慢的將物品推移。

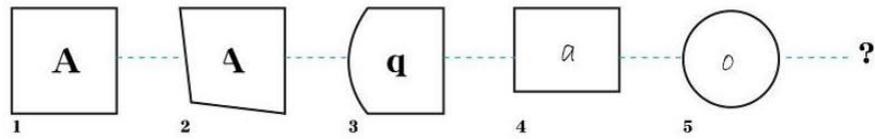


Figure 0-6 訊息傳遞的過程

透過這樣的思考模式，將其運用來作為實體互動創作背後的理論，將學習心理學的個體類比為一個人造物物件，物件有自己的特性，如 Figure 3-6 所呈現的，每個個體有自己特性，讓傳遞的資訊原本為英文大寫 A 經過一連串的資訊傳遞最後得到小寫 o，此外將刺激類比成環境所帶給個體的影響，在學習心理學裡刺激可以來自各種不同的方式，例如：聲音、光線，如 Figure 3-5 所呈現，在第 4 個物件因為環境刺激舒緩了原本特性的壓縮行為，讓小寫 q 保持原本的資訊型態，最後所得到的資訊非原本的小寫 o，而是小寫 b。反應則為互動設計中所談之使用者對於反應回饋，而這裡的回饋即代表學習過後的成果，但因為這邊對象為物件，所以類比為物件的回饋。

在學習心理學領域(Psychology of Learning)提到廣泛的來看學習亦指的是行為的改變，並提到學習是指個體行為改變的歷程(Process)(王克先, 1987)。而互動設計領域，在面對未知的裝置、系統，我們透過學習來改變自己的行為，適應系統與物件所產生的預設性行為，人造物是否能夠也具有學習能力，適應人所產生的使用者介面，人造物在學習過後經由自行特性的轉換又受到環境刺激所造成的行為的改變，在將其教導於下一個人造物，透過這樣的過程，讓教導的過後的旋轉資訊產生漸漸被環境影響過後產生捏塑行為，最後得到一個被物件學習產生的未知成果。

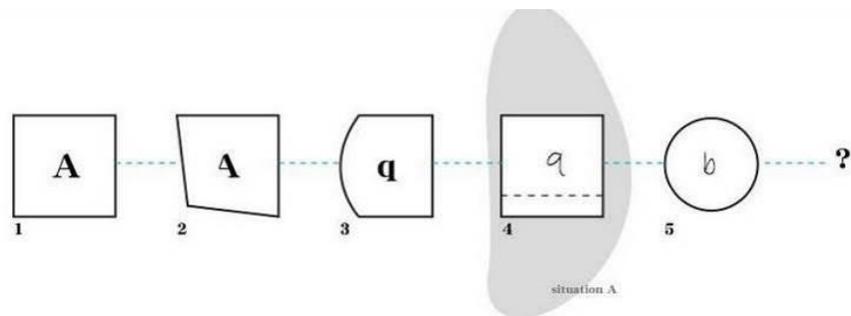


Figure 0-7 訊息傳遞時被環境所改變

3-2 模組互動模式設計

為了達到本研究目的開發 MTK 模組，本模組將會學習使用者賦予之動態行為並且擁有傳遞訊息能力。物件與物件在傳遞訊息的過程，動態資訊經過不同物件傳遞過後所產生的資訊改變，來影響多個實體裝置動態，本研究將兩者此稱為動態的捏塑行為，初步先發展個體模組，進而討論實體互動系統。此階段將建立完整的心智互動模式，研究顯示人們對各種電腦、機械設備運作的心智模式非常缺乏的，常常建構於不恰當的推論或是迷信上 (Norman, 1983)。如果沒有正確的心智模式引導人們的行為，將造成使用者產生相當大的挫折感，也通常會導致一些鑽牛角尖的行為。例如：當電視出毛病時，我們會用手或報紙持續拍打，卻沒有真正解決問題(Preece et al., 2007)。

本研究將互動模式分為兩部分，第一部分先說明模組本身互動模式，第二部分為對模組所延伸的互動模式。

自身互動模式設定

教導物件

對於一個實體物件來說，產生動態的方法有很多種，大多數實體裝置的運動透過馬達的旋轉來達到機械結構的變動，幾乎所有的位移、推動大多數可以透過機構設計的方式來導致轉動的行為，因此本研究將以「轉動」作為基礎行為，所以如果必須教導一個實體物件旋轉，使用者必須直接對物件做出旋轉的行為，使機構旋轉，而實體物件會學習著使用者所教導旋轉的方式來給使用者回饋(Feedback)讓使用這得知教導過後之成效如 Figure 3-8。

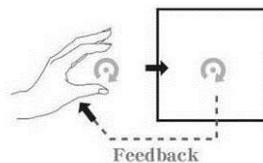


Figure 0-8 教導物件互動模式

動態資訊的傳遞

當物件學習了使用者賦予的行為過後，會將訊息傳遞給下個物件，此階段使用者可有兩種互動參與，第一點為透過物件本身的特性來將資訊改變如 Figure 3-9，可以發現在不同個性的模組狀態下所產生的資訊行為有著跟本質性的不同。

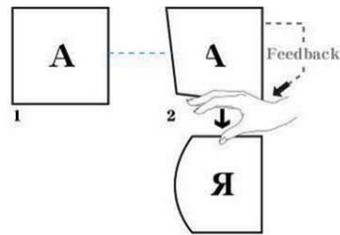


Figure 0-9 不同個體特性的互動模式

第二點為控制模組的順序性，使用者可以自行設定模組順序，讓物件傳遞時有資訊傳遞的方向性，物件與物件之間的順序性也可能讓資訊的行為產生改變如 Figure 3-10，可以在被物件教導的物件中得到資訊被改變過後的回饋。

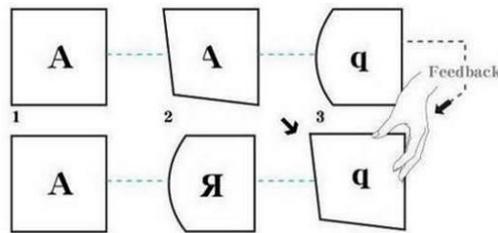


Figure 0-10 更換順序互動模式

環境雕塑動態資訊

當使用者設定好物件與物件之間的前後關係後，模組透過自身的感測器來判斷目前周圍狀態，進而調整自身的學習狀態，使用者也可以透過模組上的感測器製造人造環境給與模組產生刺激，影響資訊的傳遞造成某資訊雕塑的情況。可以在被環境刺激所影響後的物件將訊息傳給下個的物件中得到資訊被改變過後的回饋。本研究目前將模組特性設定為加強與衰弱，讓資訊在傳遞到特定模組時，步進馬達的旋轉步數會被有邏輯的增快和減速。

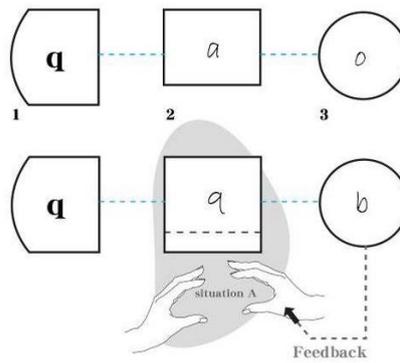


Figure 0-11 環境雕塑動態資訊互動模式

延伸互動模式

單元的延伸

本研究針對一個將單元的延伸模組單元做出轉動之行為學習過後，基於此教學運動，使用者在步進馬達的機構設計上可實作出各種實體機械裝置來因應，機構的延伸的設計開放於創作者與設計師的想像，可以自由的控制自己設計的機構帶動步進馬達產生行為，並且可細膩的將動作做機構或程式上調整相互配合。



Figure 0-12 將單元延伸的控制模式

實體間的傳遞

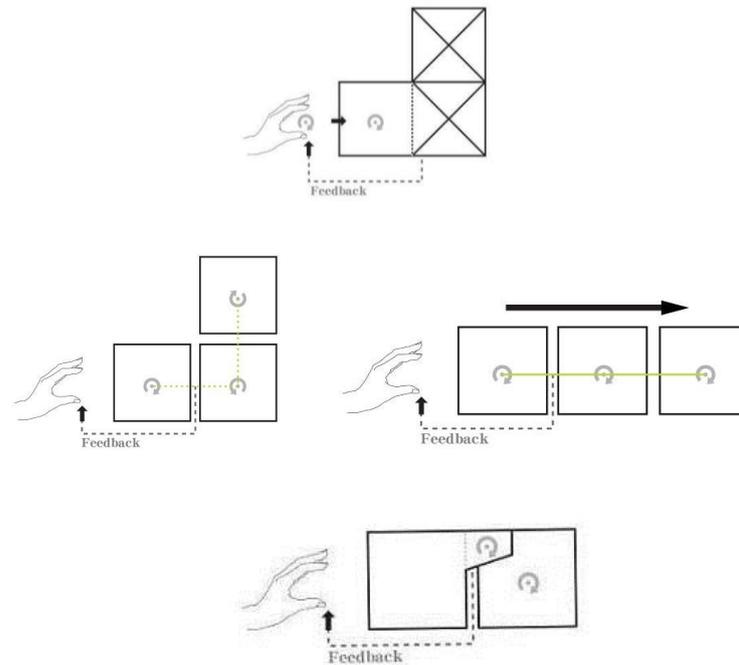


Figure 0-13 各類實體兩者間所產生的互動行為

使用者可將此模組在物理環境中組合，可透過第二章實體互動的探討之各種互動模式來創造互動行為，其中物與物之間的關係包含物理牽動的連結關係、被動的數位連結關係、主動的數位連結關係。當模組被使用者延伸，下一個模組呈現學習模式，模組可將延伸的機構變成實體教導的方式來教導，當然因為機構設計、擺放安排的不同，教導的內容將被實體所改變，進而達到另一個層次的資訊改變。

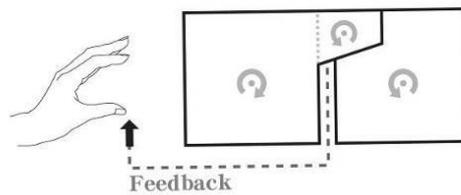


Figure 0-14 行為透過實體傳遞

使用者透過虛擬與實體環境之中來回更改馬達動態的行為，來搭配自己的裝置或設計，與模組產生互動，讓動態資訊虛實的交替找尋更多不一樣的可能性，最後透過觀看這些不同可能性的同時，也可從其中獲得整體的狀態的感受與使用者的需求。

3-3 系統架構與流程

本章節透過對於 Physical Computing (O'Sullivan & Igoe, 1998)將人機互動領域分為三個部分輸入 INPUT、輸出 OUTPUT、處理 PROCESSING 的框架，參考此架構在本階段架構具有捏塑動態的實體互動設計系統。將模組系統拆解為輸入單元(INPUT UNIT)、輸出單元(OUTPUT UNIT)、處理單元(PROCESSING UNIT)另外本研究在物件與物件之間將設計如生物般的訊息傳送與教導，本研究將模組系統增加傳遞單元(TRANSFER UNIT)實體機構 (MECHANISM DESIGN)和環境控制(CONTROL)來相互搭配並加以討論整個系統的運作狀態。

單元名詞解釋

輸入單元 (INPUT UNIT):

輸入單元指訊號的接收端處理單元，輸入單元為訊號的入口端。本研究透過步進馬達本身特色讓使用者能夠方便於類程式之編寫運用，使用者能透過自身的實體機構設計，實際的帶動機構讓馬達產生電流訊號傳給處理單元將訊號處理。

處理單元 (PROCESSING UNIT):

處理單元指的是 Arduino 晶片本身處理程式，透過晶片運算將訊號處理過後轉為可使用之資訊，而其中在實體端在此單元內可透過控制環境來將資訊在處理單元中的狀態做改變，並將其傳遞給輸出單元作為輸出。

輸出單元 (OUTPUT UNIT):

輸出單元在本研究指的是輸出的處理單元，為訊號的出口端。本研究指的是步進馬達本身，透過接收處理單元的資訊，並將學習結果播放出來，使用者能夠馬上理解物件回饋行為時的狀態，由此確認是否與自己腦中和對馬達所編輯的行為是否相同，並且帶動使用者所設計的機構產生動態行為。

傳遞單元 (TRANSFER UNIT):

傳遞單元指的是 Zigbee 模組，負責將接收處理單元將資訊被控制環境所改變的資訊，將資訊傳遞給下一個模組單元。

實體機構 (MECHANISM DESIGN):

實體機構端指的是創作者依照自行需求的設計連結本模組，創作出自己的實體動力作品，此部分在各階層使用者中都可被其運用。

環境控制 (CONTROL):

環境控制是創作者可透過額外實質輸入的方式將所產生的動態行為做行為上的改變。

針對 3-2 節裝置互動模式的探討，本節一開始先將從各單元功能解釋過後，並且依照單一使用模組、一對一線性傳輸系統、一對一傳遞系統和三個模組以上的系統情況將工作的順序性與單元的功能性做完整的解釋，在互動設計概論中提到在策劃階段必須考慮至少三個程度的使用者，初學者(Beginners)中級使用者(Intermediates)和專家(Experts)(葉謹睿, 2010)所以本研究將使用者分為三個層級來討論系統規劃上的特點，第一層級初學者為對於程式完全不熟悉的創作者與設計師，第二層級中級使用者為熟悉 Arduino 程式編輯的創作者與設計師，第三層級專家為對於 Arduino 編輯和 Zigbee 技術更改熟悉的使用者。

單元模組系統

教導物件動作為本次動態捏塑動態模的輸入互動原型，動作透過使用者實體機構設計經由實體端將旋轉動作透過馬達經由輸入單元教導於模組，經由處理單元經過運算處理過後送往輸出單元。傳遞單元在單元被獨立使用的同時將不運作。

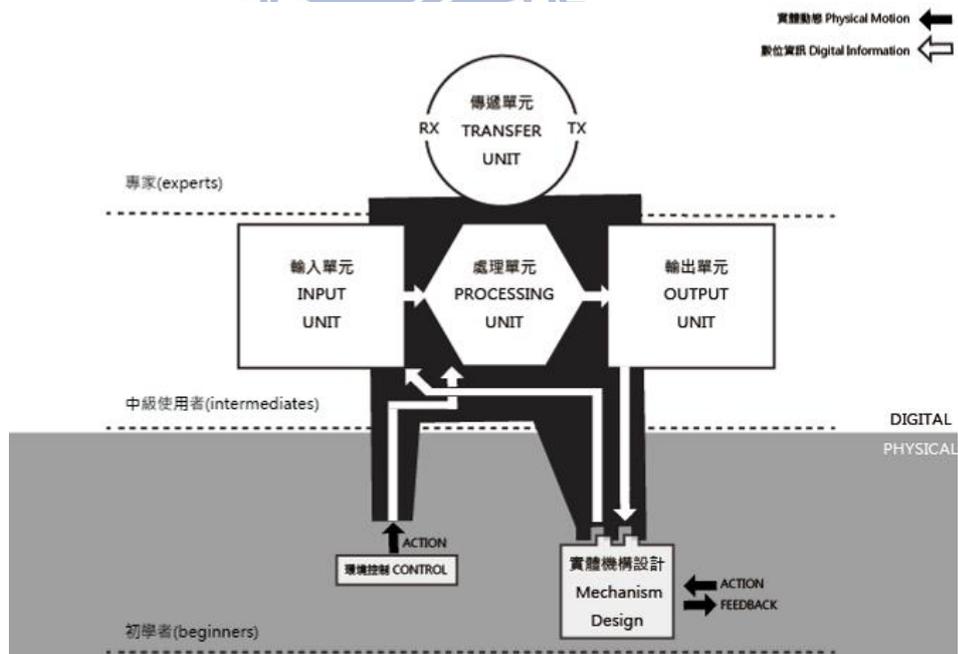


Figure 0-15 單一模組自身系統架構

MTK 模組設定輸入端與輸出端同樣為步進馬達本身，所以對於程式編輯較不理解的使用者透過可輸入與輸出的步進馬達座編輯的動作。經過學習過後的步進馬達可在被使用者在實體端透過環境控制在處理單元控制馬達的動態行為，有如 3-1 節所提到的資訊傳遞

之中的雜訊影響。Table 3-1 整理了各階層使用者與模組各單元間，使用者可將其單元部分調整和延伸。

使用者 系統單元	輸入單元	處理單元	輸出單元	傳遞單元	實體機構	環境控制
專家	更多的輸入元素， 使輸入方式更精確	更改程式，使模組個性 改變	更改程式輸出方式改 變	X	機構設計	改變控制方式
中階使用者	更多的輸入元素	更改程式，使模組個性 改變	更改程式使輸出方式 改變	X	機構設計	改變控制方式
初學者	X	X	X	X	機構設計	改變運動

Table 0-1 使用者與系統單元關係

模組的傳遞系統

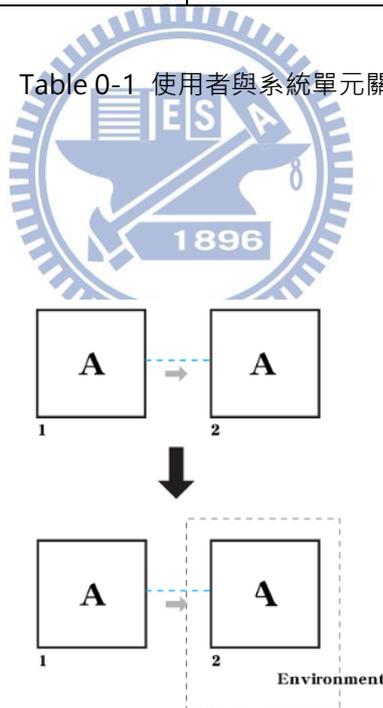


Figure 0-16 一對一完整的傳遞訊息過後透過環境影響讓資訊改變

以一對一傳遞為例，物件將動態資訊透過傳遞單元的 TX 端傳給下一個模組的傳遞單元的 RX 端，對於程式編輯較為不熟悉的使用者能夠完整的將動作透過此方法傳遞，並且透過被傳遞之模組的實體控制端來控制傳輸到處理單元的動態資訊，並傳遞到輸出單元將改變過後的動態結果播放，如 Figure 3-17。

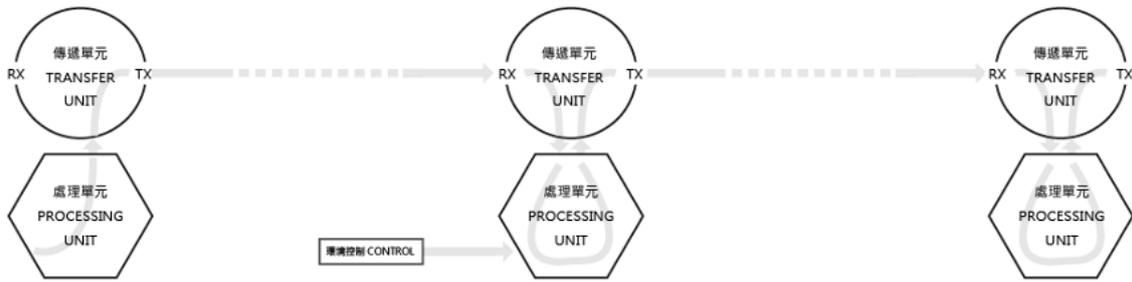


Figure 0-17 訊息在傳遞單元與處理單元之間流動情形

當整個模組被賦予傳遞能力過後，物件開始傳遞訊息，產生的互動行為。透過模組與模組之間的搭配，實體端不分使用者使用上的層級，使用者可將實體機構端，各自拆解成很多部分，也可將其視為一體，讓使用者能夠自由的設計與創作於此部分(Figure 3-18)。

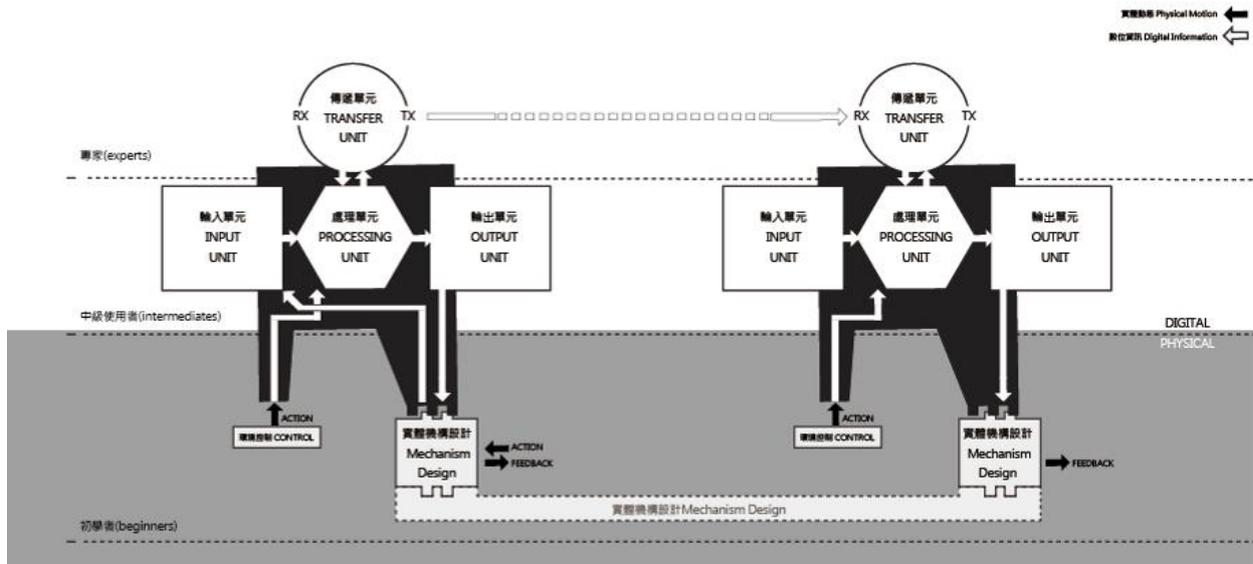


Figure 0-18 一對一教導系統

使用者將模組與模組產生實體設計上的串連過後，當單元模組個體與個體位置相對時，系統與系統之間可產生完整的複製傳遞(Figure 3-19)。

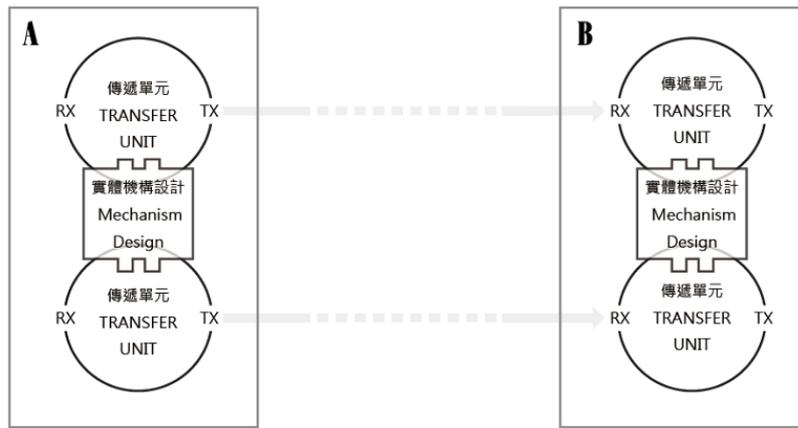


Figure 0-19 兩系統間產生傳遞

另外在物件開始傳遞訊息過後，在實體端可透過機構的設計，不分使用者使用的層級，使用者可將實體機構端設計，讓使用者能夠自由的設計並影響控制環境端(Figure 3-20)。

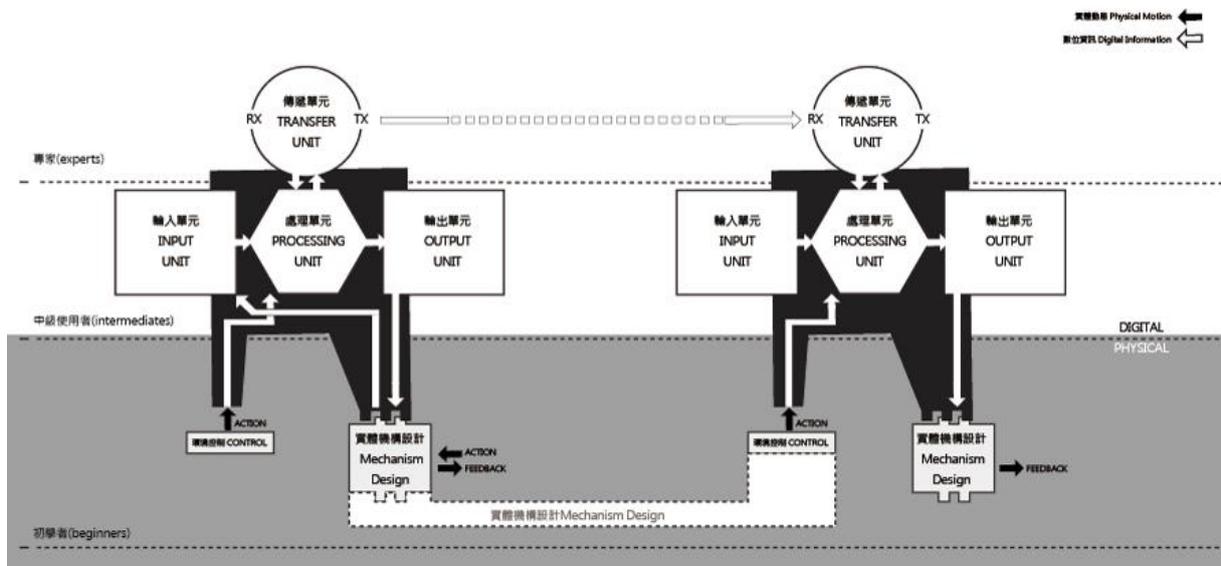


Figure 0-20 一對一實體端環境控制

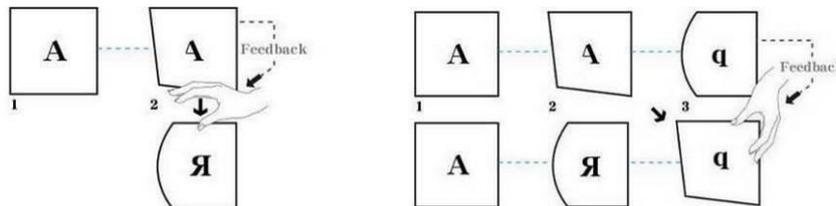


Figure 0-21 不同個體特性的互動模式

Figure 3-21 為不同個體特性的互動模式，中、高階使用者透過程式理解過後，可以在處理單元端設定中更改個體特性，將接收過資訊做本質上的行為改變過後，再經由傳遞單元將訊息傳送給下一個傳遞單元，讓動態資訊透過模組與模組之間的傳遞中做改變。

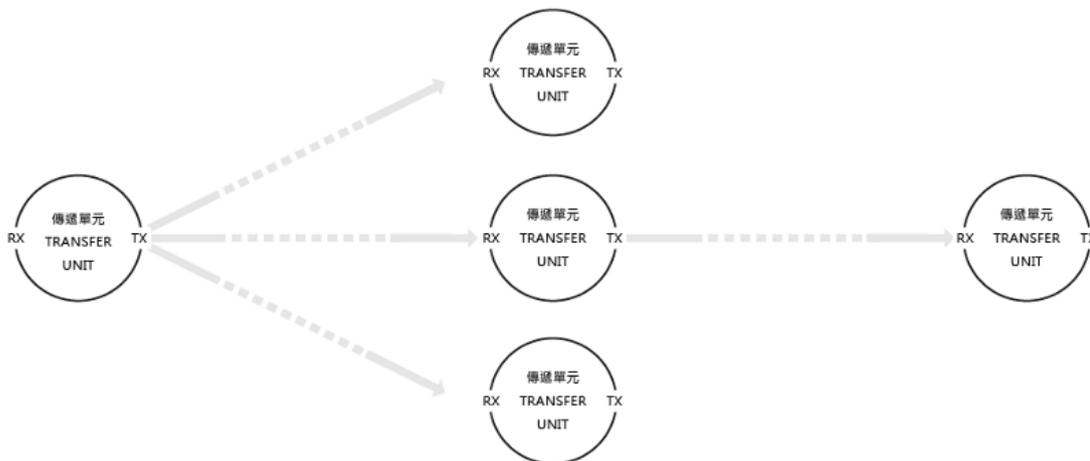


Figure 0-22 傳播單元具擴散性的循環模式

在傳遞單元的控制上，初階和中階的使用者控制 TX RX 的開啟與否，決定模組是否擁有傳輸或接收訊息的能力。高階使用者為理解 Zigbee 操作的使用者，除了能夠決定是否傳遞外可調整模組溝通的順序性 Figure 3-23 和擴散性 Figure 3-22。高階使用者能夠讓單元模組能夠更活潑的運用其中。

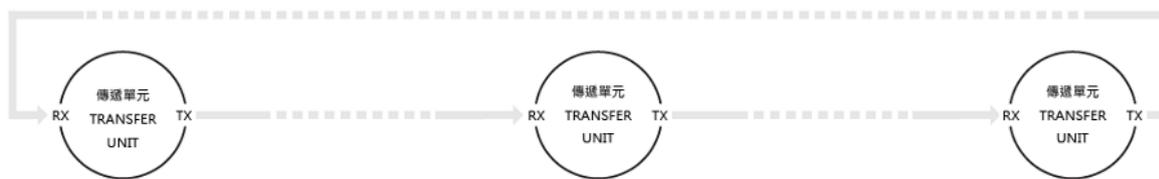


Figure 0-23 傳播單元具順序性的循環模式

Figure 3-23 為在一個循環的狀態時所有系統所產生的狀態，資訊會依序的傳遞讓動態行為在每個單元輸出端呈現於使用者設計的機構上。

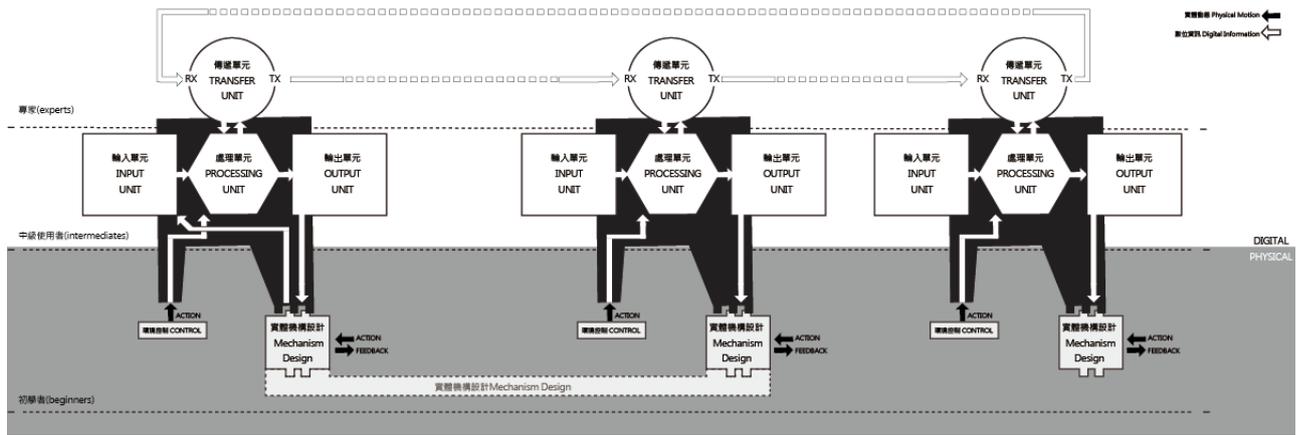


Figure 0-24 循環式具順序性系統

Table 3-2 為兩者以上之模組各單元間與使用者所產生的關係性，初學者可控制的部分為傳遞單元傳遞與否、機構設計部分和環境的簡易控制，來調整模組與作品之間的關係；中階使用者能夠在處理單位和輸入單位更改其模組個性，環境控制端能夠更改其控制方式；高階使用者能夠在處理單位和輸入單位更改其模組個性，在環境控制端能夠更改其控制方式之外，另外在傳遞單元能夠決定傳遞與否和順序性、擴散性。

系統單元使用者	輸入單元	處理單元	輸出單元	傳遞單元	實體機構	環境控制
專家	更改輸入方式	更改程式使模組個性改變	更改程式輸出方式改變	是否傳遞順序性擴散性	機構設計	改變控制方式
中階使用者	更改輸入方式	更改程式使模組個性改變	更改程式使輸出方式改變	是否傳遞	機構設計	改變控制方式
初學者	X	X	X	是否傳遞	機構設計	改變運動

Table 0-2 使用者與多項模組系統關係比較

系統與系統之間

在不同系統與系統之間，可以靠著使用者所設計的機構，在實體做實體端的串連，可以利用齒輪各種運動轉換方式來將訊息直接的傳遞給下一個系統，讓系統透過實體端產生連結性，實體端的设计在各階層使用者皆可操作，此方式可讓使用者產生更多實體端的互動行為和不同的轉換，例如小齒輪轉換成大齒輪讓旋轉圈數變少。由 Figure 3-25 可發現左側系統透過實體端來將訊息傳遞給右側系統透之過程，中間不透過傳遞單元將訊號傳遞。這樣的設計讓初學者能夠在實體端做更多類程式的編輯，將實體資訊轉化成數位資訊來傳遞模組之間的傳遞行為。

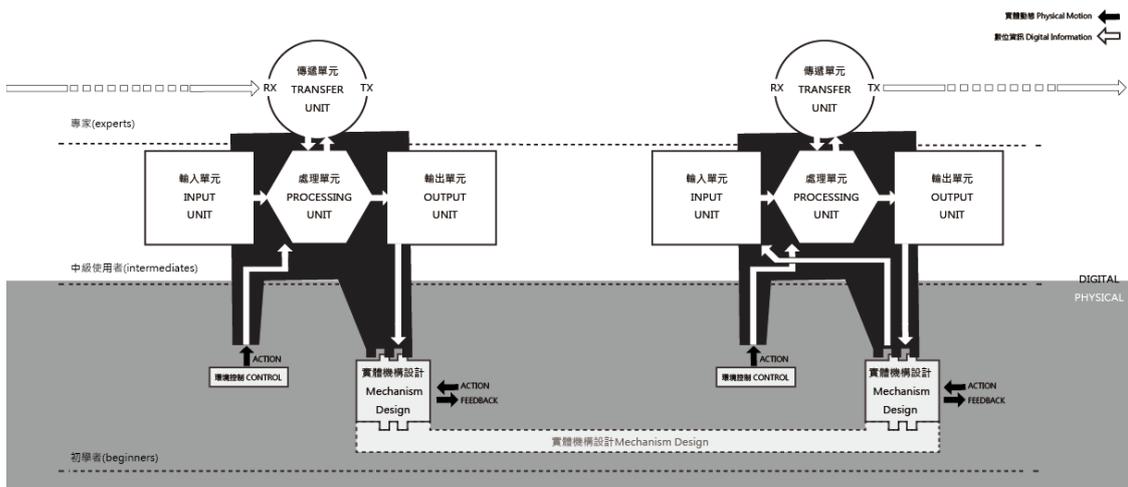


Figure 0-25 不同系統在實體端產生訊息傳遞

在不同系統與系統之間，另外透過使用者所設計的機構，可以透過使用者在實體端操作對於環境端產生影響，間接的控制讓系統透過實體端產生連結，在實體端的设计因為在各階層使用者皆可操作，使用者可透過各種不同的设计讓環境因素被影響。由 Figure 3-26 可發現左側系統透過實體端來影響右側系統的環境狀態，中間不透過傳遞單元將訊號傳遞。此设计讓初學者能夠在實體端做直覺的環境變更，漸漸的在傳遞的過程中捏塑動態行為。

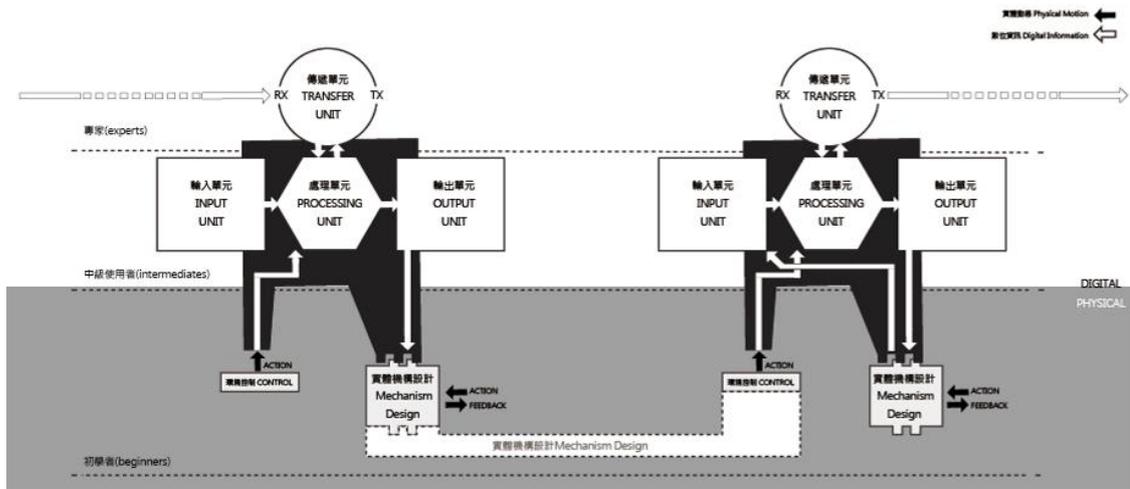
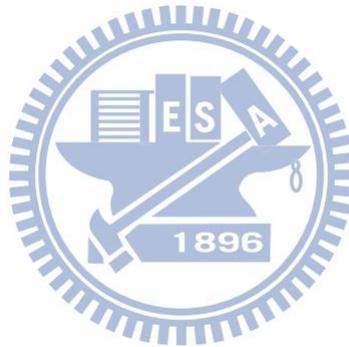


Figure 0-26 不同系統在實體端環境控制



系統流程規劃

首先透過單元模組做系統流程的規劃，針對學習機制做系統化的解釋和自身系統探討，第二大部分為兩個以上模組的學習與教導互動系統探討。

單元模組整個系統步驟流程可分為三個部分：第一部分為訊號擷取與訊號處理；第二部分為機制判斷，包含擷取過後的資料如何被判斷方向性；第三部分為實體機構的結合，包含個別模組特性的設計與環境控制部分，並請和實體裝置設計的機構組合搭配與實際產生的回饋。

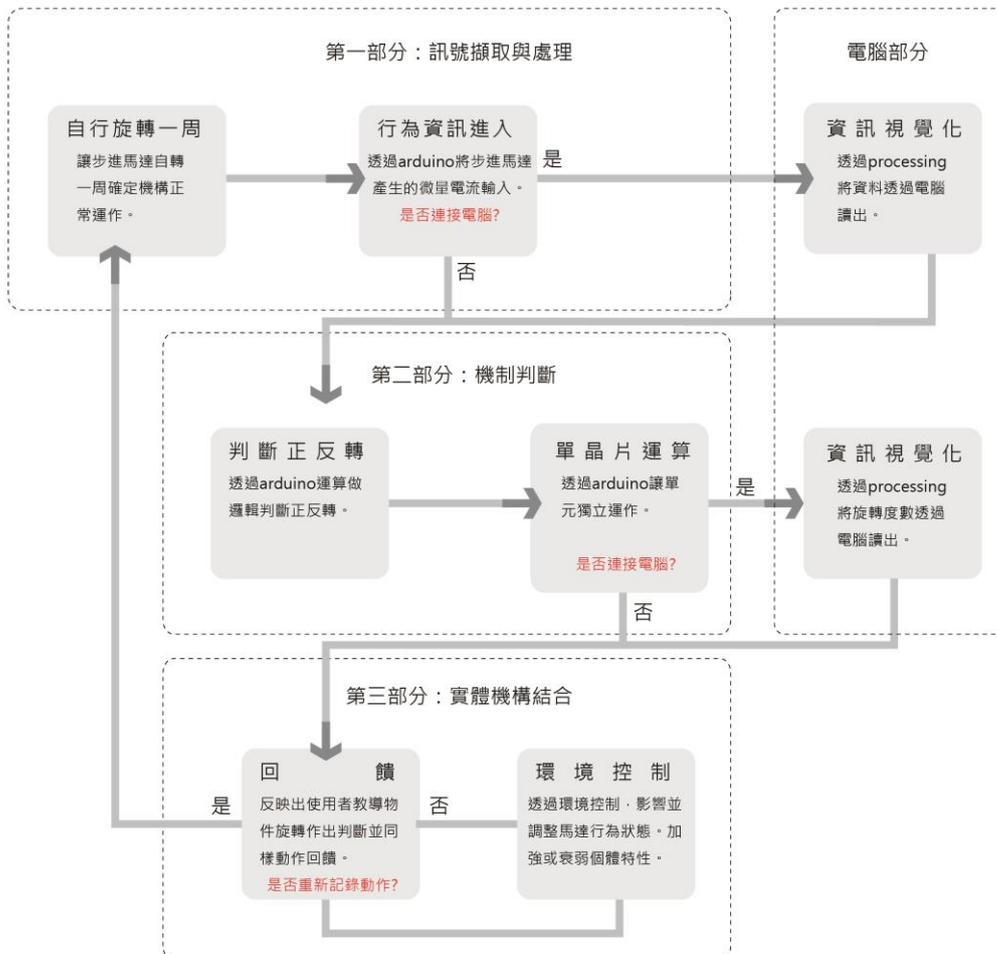


Figure 0-27 單元系統流程規劃

第二部分為系統與系統的教導過後的運作關係，整個系統步驟流程也可分為三個部分：第一部分為判斷角色與資料進入，其中包含設定順序和等待資料進入，第二部分為個體特性與環境刺激，第三個部分為將資訊繼續傳導。

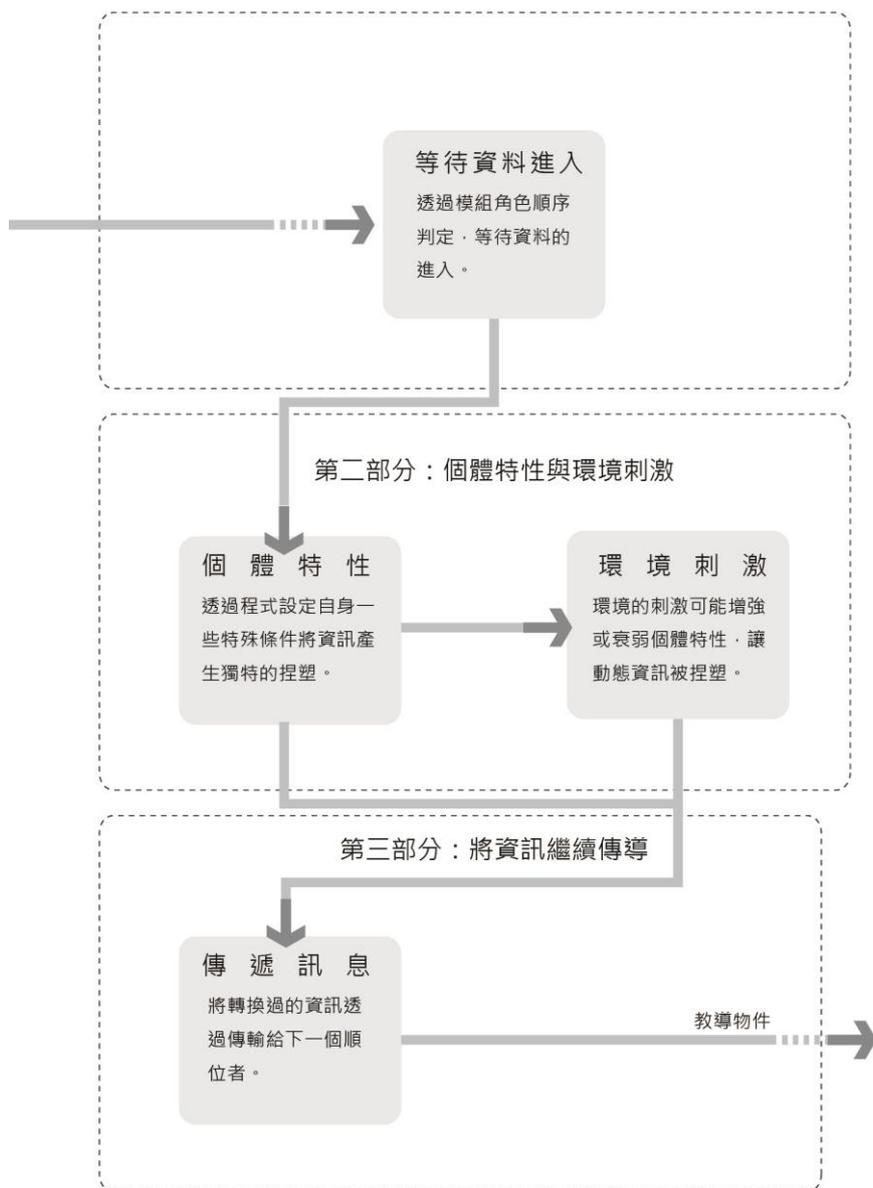


Figure 0-28 模組傳遞系統流程規劃

3-4 環境控制介面設計

為了讓使用者能夠在教導馬達的控制行為過，期待環境和使用者能夠透過本模組在實體環境中做更多的調整動作和影響，本章將在實體控制端設計做實體介面。在介面材料的選擇上，選擇方便於使用者自由加工的飛機木(可以自由鑽洞、雷射切割)，讓專家與中級使用者可以自由的增加控制端數量。

本研究階段性的設計了四種不同個體特性模組給初學者使用，一類為被動個體特性模組，另一類為主動個體特性。

被動個體特性

被動個體特性模組負責將資訊傳遞，資訊經由單元模組過後，受到個體特性所改變，不做程度強弱上的改變，所以在環境控制端的設計上，設計兩組開關決定是否開啟往外傳遞訊號開關(TX)和接收訊號開關(RX)，讓使用者能夠決定模組是否接收資訊和繼續傳遞，而使用者能夠在被動模組馬達和右下角的 LED 燈看到所表現的行為狀態。

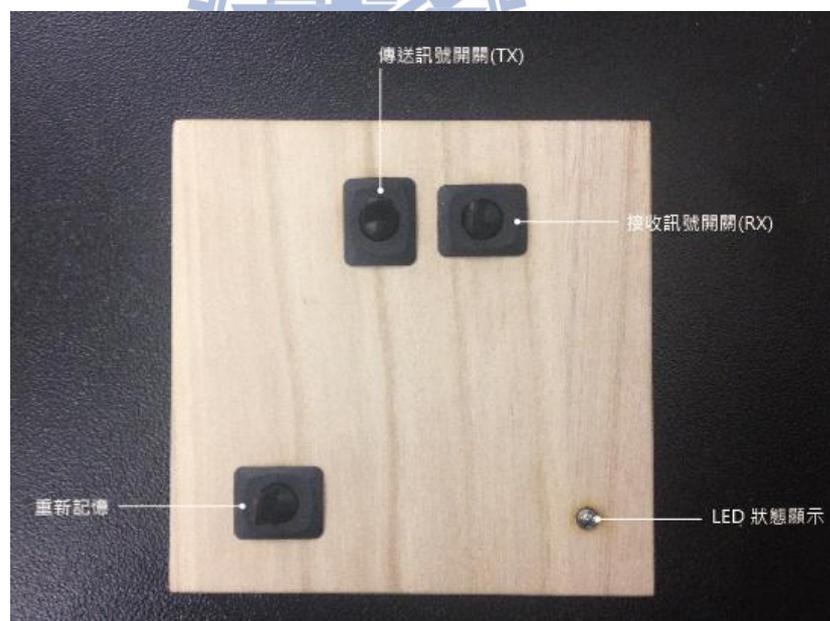


Figure 0-29 被動個體特性模組控制介面

帶有被動個體特性模組本研究目前開發兩種原型，第一個原型為負責傳遞的傳送模組，傳送模組顧名思義只負責傳送作業，將資訊完整的傳給下一個模組，不做任何改變行為，可作為起始模組使用，讓使用者能夠方便於理解自己所產生的行為，利用 LED 顯示綠色來

區別功能，當訊號進入時會亮起。第二類模組為鏡射模組，鏡射模組可將使用者所產生的旋轉做反轉的效果，將逆時針旋轉轉換成順時針，將順時針轉為逆時針，利用 LED 顯示黃色來區別功能，當訊號進入時會亮起。



Figure 0-30 左為傳送模組 右為鏡射模組

主動個體特性

主動個體特性模組除了負責將資訊傳遞外，資訊經由單元模組過後，受到個體特性所改變，將會受到環境控制端的設計上有所改變，所以在實體控制端的設計上，除了兩組開關決定是否開啟往外傳遞訊號，另外設計了兩個按壓式開關為加強個體特性與削弱個體特性，使用者能夠從馬達的行為上觀看到個體特性被環境控制所產生的影響，另外可從LED燈看到個體被資訊傳輸過後所產生的狀態。

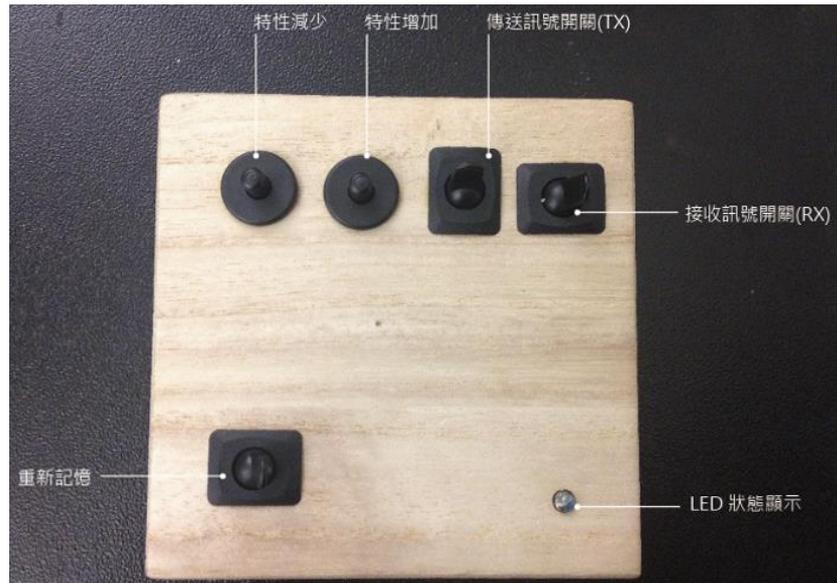


Figure 0-31 主動個體特性模組控制介面

帶有主動個體特性模組本研究目前開發兩種原型，第一個原型為速度模組(Speed)，可以控制目前馬達所產生的速度，在傳送的過程增加或減緩所傳遞的速度，讓使用者能夠去控制機構與馬達所搭配的行為，利用 LED 顯示藍色來區別功能，當訊號進入時會亮起。第二類模組為間隔模組讓使用者能夠去控制每一次作業前的間隔時間，利用 LED 顯示紅色來區別功能，當訊號進入時會亮起。

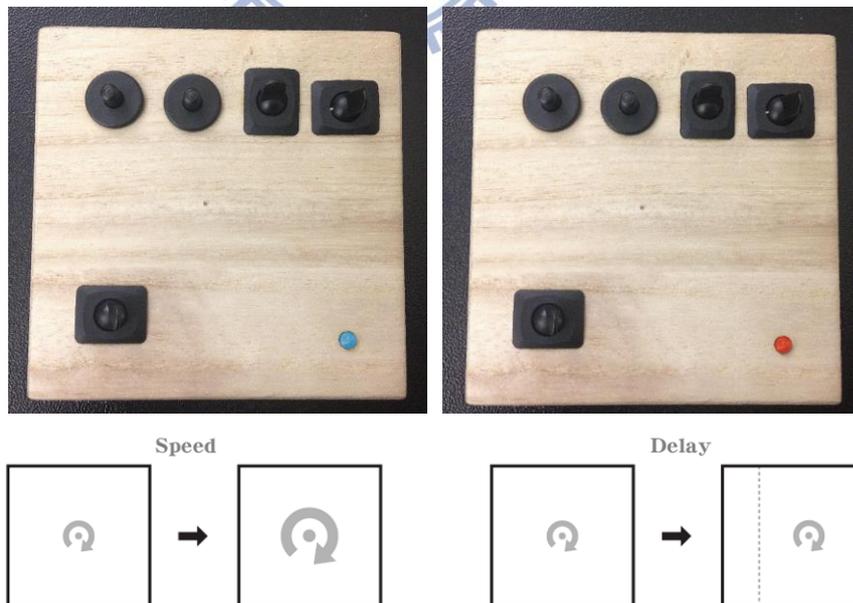


Figure 0-32 左為速度模組 右為間隔模組

第四章、實作與測試

4-1 媒材選擇

本研究系統設計主要開發環境使用 Arduino UNO、Processing、無線傳輸部分透過 Zigbee 來設計雕塑資訊的實體互動系統，本章包含電路的搭配、媒材的選擇、介面處理、溝通通訊的建立，基於開放原始碼的精神將實作內容忠實呈現，讓後續研究者得以繼續發展成自己的作品或工具。

根據過去種種實體互動設計輸入的分析，發現大部分的實體裝置的運動，透過馬達的旋轉來達到機械變動、實體的變形。而幾乎所有的位移、推動都可以透過機構的方式來產生轉動的行為，因此本研究將以「轉動」作為基礎動作，試圖讓使用者透過轉動的行為讓實體雛型產生回饋，市面上透過實質旋轉來當感測器不外乎是可變電阻、光柵旋轉編碼器...等等，但本研究希望能夠將感應器在感應的同時擁有學習能力並且產生回饋，藉由此來縮短使用者和數位介面上的使用上隔閡，加上這樣可編輯式的行為模式，透過對於過去案例的分析與了解，這樣的形式可讓使用者免於程式的編寫與連接電路的困難，因此從動作上的反推必須由可旋轉之馬達產生學習行為。

磁生電原理常常被運用在各種科學實驗當中，旋轉馬達所產生的微量電流來驅動 LED 閃爍，在設計領域也有設計者將運用此特性創作，例如：元智大學藝術與設計學系鄭家凱同學在設計課上製作的 Performance By Behavior Registry，善用此特性製作一個輔助釣魚學習裝置，此設計利用 LED 發出的亮光來展演一整個釣魚的過程，以一種表演形式呈現，使得旁觀者容易閱讀以及學習老手的經驗、動作。姿勢正確與否會讓光亮的時機、顏色亮度，反映在釣竿的裝置上，以此讓使用者達到矯正動作的作用。(鄭家凱, 2012)本研究第一階段將針對此現象做程式運算處理，試圖對步進馬達所產生的電流做實驗測試，將產生的電流紀錄過後，反應使用者對於馬達本身教導過後產生的行為，並且讓使用者採用步進馬達動力裝置來做實驗測試。



Figure 0-1 performance by behavior registry(鄭家凱, 2012)

4-1-1 步進馬達

步進馬達(Figure 4-2)是一種易於控制角度和轉動圈數的馬達，常見於需要精確定位的自動控制系統(趙英傑, 2013)而因為本研究希望能夠被準確的控制體現出使用者所表現的行為狀況，所以選擇於此。步進馬達種類大概分為四線式、五線式、六線式，原理大同小異，必須透過磁場極性的變化來驅動馬達旋轉，而不同的馬達又不同的磁圈激磁方式，步進馬達的驅動是將馬達轉一圈的動作分成解成好幾百個小步驟所完成，本研究因為需要讓馬達本身具有被教導後的學習性，而初期實體實驗分別將各種步進馬達進行發電測試測試後發現，可將 led 負極腳位插在五線式步進馬達的 COM 端上(如 Figure 4-3)，可透過五線式步進馬達共 COM 的特性，將電流方向可產生可逆性結果，所以選擇了電流供應較為單純的五線式步進馬達，實驗五線式馬達所產生的微小逆電流是否能成為有規律的訊息，進而將此透過電腦整理演算。

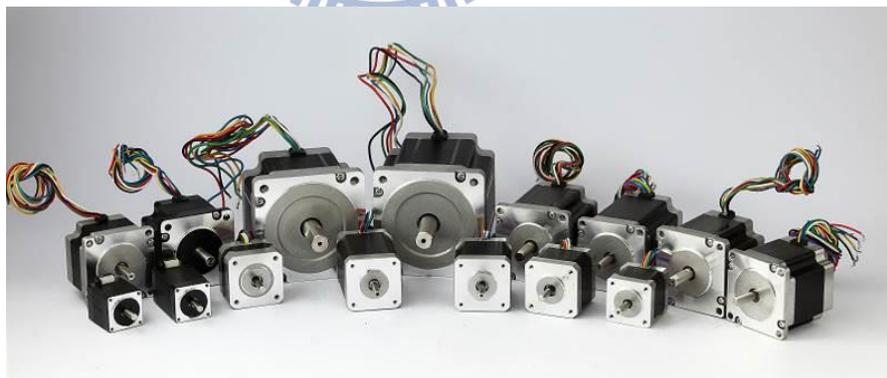


Figure 0-2 各種步進馬達

(<http://www.dimamotor.com.tw/product-detail-197560.html>)

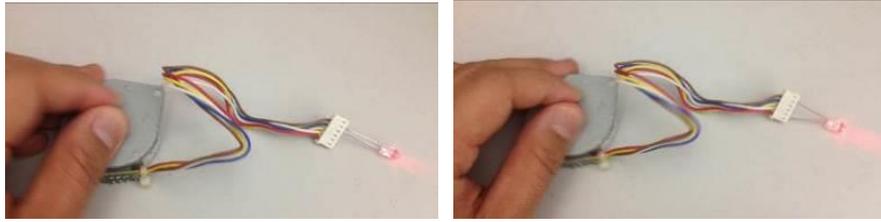


Figure 0-3 五線式步進馬達發電測試

4-1-2 單晶片控制

步進馬達的驅動是將馬達轉一圈的動作分成幾百個小步驟完成，將信號輸入激發，讓馬達一次只轉動一格的刻度(孫駿榮, 吳明展, & 盧聰勇, 2010)。不像一般的馬達直接供應電源即可轉動，必須倚靠單晶片程式碼的控制。此階段使用在互動設計領域普遍應用製作實體裝置的 Arduino 單晶片，由 Massimo Banzi 等人開發研製(Banzi, Cuartielles, Igoe, Martino, & Credits, 2006)，是一個開放原始碼(Open Source)的單晶片控制器。透過 Arduino 控制板上簡單的電子零件，強調沒有機電背景的藝術家和設計師可以利用簡單的範例或者是參考網路上玩家分享自己的案例迅速簡單的整合互動作品原形(Prototype)，讓更多不同領域的人能夠製作自己的互動物件。因應各項不同使用者物件的製作需求，Arduino 產生了許多不同的型號，例如: Arduino mini 板形態較為嬌小比較適合製作小物件。

本研究初步階段以最為方便更改電路的 Arduino UNO 當作主要的單晶片控制器，利用此來與電腦、步進馬達和人之間產生溝通並處理步進馬達的控制，但要精準的控制步進馬達或馬達必須有機構負載時除了主要的單晶片外，通常都還會加上一顆驅動 IC 例如: L293d、ULN2003。本研究在 3-1-1 所提到發現五線式步進馬達可成為感測器的可能性，選擇了五線式的 HMS-61187 DC12VU 兩相激磁步進馬達，所以在晶片的選擇上以與五線式步進馬達互相搭配的 ULN2003 作為驅動晶片，內部提供了七個達靈頓電晶體，主要作用在於當大電流，避免單晶片損耗(孫駿榮 et al., 2010)。



Figure 0-4 Arduino UNO 和 Arduino IDE 編輯器
(<http://zh.wikipedia.org/wiki/Arduino>)

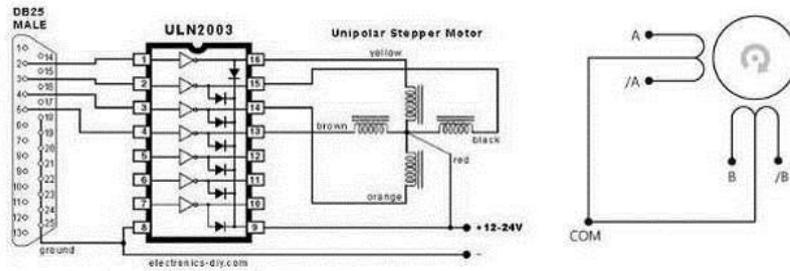


Figure 0-5 晶片 ULN200 控制五線式步進馬達

(<http://www.eleccircuit.com/uln2003-control-stepper-motor-by-parallel-port/>)

4-1-3 資訊視覺化

Processing 是一種開放式原始碼程式語言(Open-source Programming Language) · 專門為數位藝術和視覺互動設計領域的使用這設計 · 目的是透過可視化的介面輔助程式編寫的過程 · 使用者透過此平台創作屬於自己的數位作品。最早在 2001 年由 MIT 媒體實驗室 Casey Reas 和 Benjamin Fry 開發此程式 · 主要架構於 Java 程式語言上 · 將其簡化再搭配 Open GL 生成 2D 或 3D 圖像 · 並且透過各種可視化的回饋和配各種電腦、單晶片的使用 · 在互動設計領域上產生了更多的可能性 · 包含裝置、舞台、動畫以及資料視覺化(Fry & Reas, 2001)。本研究希望能夠讓設計師與藝術家非程式背景人也能夠將此研究階段延伸 · 所以採用此開放式原始碼軟體。

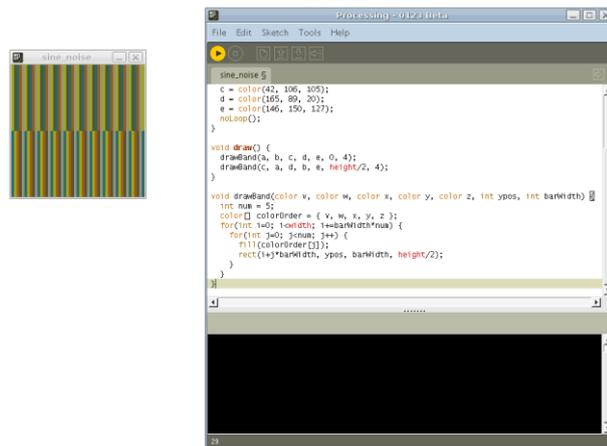


Figure 0-6 processing 使用介面 · 左為圖像介面右為程式編寫介面

資訊的視覺化幫助本研究對於步進馬達本身成為感測器的階段性研究擁有莫大的幫助 · 在未知的逆電流判斷上 · 將資料視覺化後更容易判斷出是否有類似用來驅動步進馬達激磁之規律性 · 另外本階段研究透過 Arduino UNO 範例程式 Firmata Potocol 來和 Processing 電腦介面做序列串溝通 · 直接在 Processing 做 Arduino 的編寫即可 · 無需來回在 Arduino

與 Processing 兩者介面之間交換更改，讓使用者可以更快速的判斷是否有規律的可能性，並決定實驗是否有繼續的必要性。

4-2 電子電路設計與偵測資訊介面

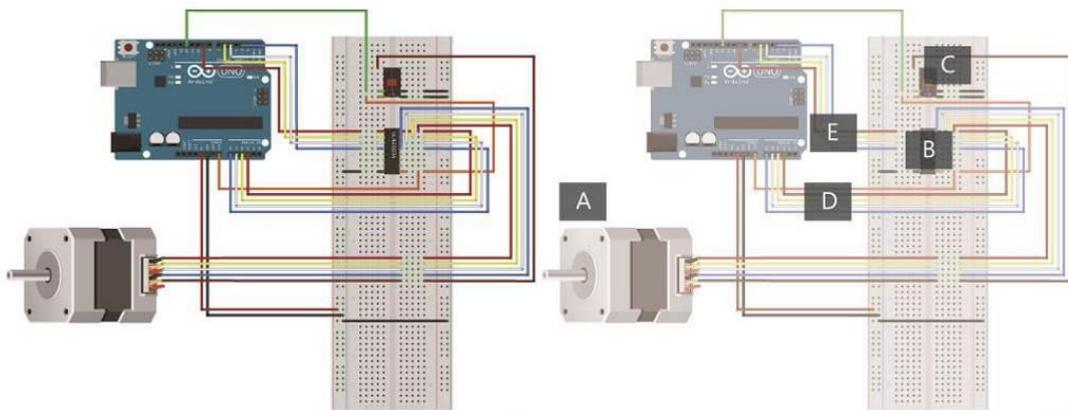


Figure 0-7 電路示意圖

[電子電路設計]

在實體拼接端大概可以分為總共四個部分 (Figure 4-7) A 部分為五線式步進馬達，B 部分為 ULN2003 驅動晶片，C 部分為 LU-5 繼電器，D 部分為 Arduino UNO 板。為了能夠閱讀步進馬達被旋轉過後所產生的資料量，將步進馬達原本用來激發電磁鐵的線路反接到 Arduino 的類比輸入端，透過使用者旋轉步進馬達過後，所產生的微量電流轉化成類比輸入 (AnalogINPUT) 訊號分別為 A0、A1、A2、A3 (如 Figure 4-8 左)，經由原本用來控制步進馬達激磁的四隻腳位 A、B、/A、/B (依序激磁如 Figure 4-8 右)，逆向進入 Arduino 類比輸入端，(如 Figure 4-9 F 部分)。

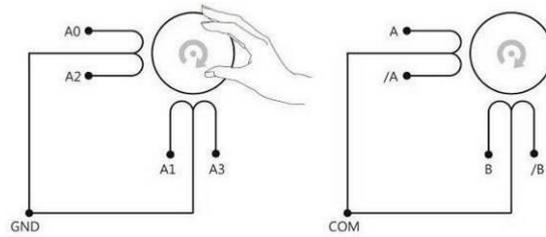


Figure 0-8 步進馬達使用圖

而本實驗除了讓步進馬達成為擁有感應和紀錄的能力外，還必須將紀錄之動作播放出來，為了可以正規且順利的控制步進馬達，所以在電子電路上利用繼電器 LU-5(如 Figure 4-7 C 部分)設計了一個控制電流方向的機制，利用繼電器 LU-5 切換通到的特性，經由控制 Arduino PIN 12 腳位，在未通電的狀態下為偵測模式，讓步進馬達的第五隻 COM 腳接地 GND，而在通電過後讓 COM 腳轉為 12V DC 輸入，同時間也開啟對於 ULN2003 驅動晶片主要供電需求，使步進馬達順暢運作。

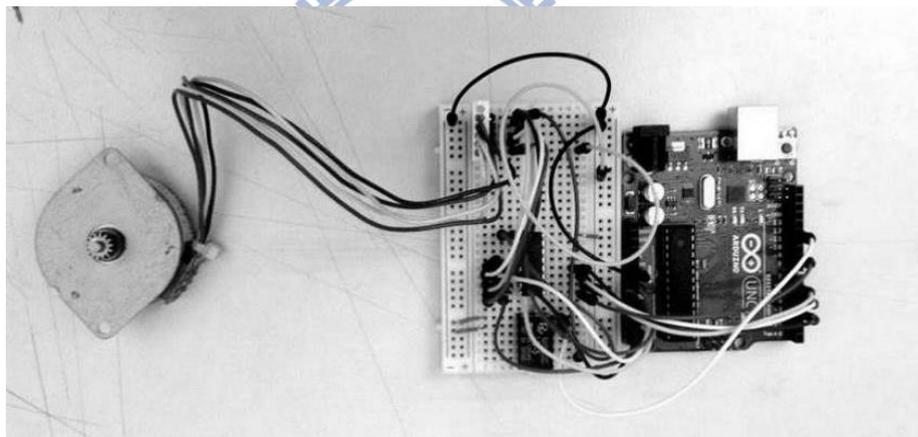


Figure 0-9 初步實驗模組過程照片

偵測資訊介面

針對步進馬達被使用者旋轉過後所產生的資料處理，使用 Processing 做視覺的化介面，而因應所得到的資料結果不同，循序的進一步修正資訊介面，總用分成 v1、v2、v3 三個版本，其中 v1 為快速將資訊直接將資訊透明化，資料的安排上間隔也較為寬鬆，方便觀察並判斷是否有繼續使用該素材知必要性。v2 版本為則為將資訊安排較為緊密，放棄原本因為速度所產生的電流量大小之差異性，將主要目標轉為 Pin 腳先後順序所產生的方向性探討分析，方便觀察電流進入單晶片後所產生的 Pattern。v3 版本為實體與虛擬同步進行，透過虛擬的圖形旋轉和

電腦運算所產生的數字，模擬真實步進馬達的旋轉狀態，檢驗是否正確的被電腦控制，檢驗實體運算結果是否與原本預想相同。

圖像介面 v1

一開始以快速簡單的方式將資訊呈現(如 Figure 4-10)，每當類比輸入端一有電流進入，未必免雜訊干擾，將感測數值設定為 20 左右，數值超過此限制值後，就將資訊輸入到 Processing 介面資訊完整的透過有如打孔般的在螢幕上呈現，將資訊依序在此介面可以看到深藍色方塊為每個 PIN 腳所產生的電流大小，垂直方向依序代表步進馬達四項 A、B、/A、/B(依序激磁)也分別代表 Arduino 板 A0、A1、A2、A3 為，水平軸為時間方向，每一格只紀錄一次，每當一有資料進入將會自動往右推一格。研究初步發現，旋轉的方向性所產生的圖騰似乎有某些規律性，旋轉越大力(快速)所得到電流量也會隨之增大，透過對此狀況的理解，本研究決定先針對方向性的探討，將圖行介面延伸為 v2。

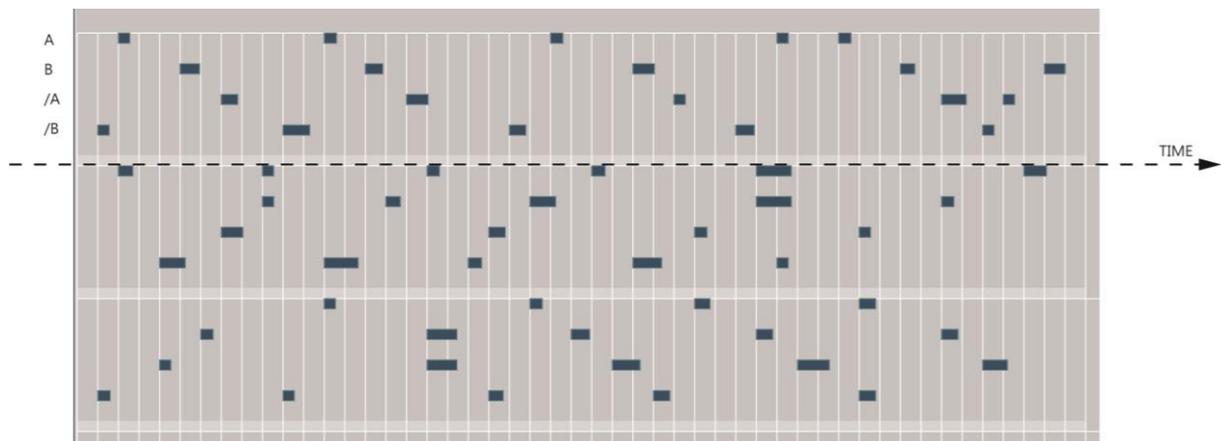


Figure 0-10 資訊視覺化介面 v1

圖像介面 v2

v2 版本為 V1 版本之修正，將資訊的安排拉近，放棄原本因為速度所產生的電流量大小之差異性，將主要目標轉為 Pin 腳先後順序所產生的方向性探討分析，而呈現資訊的方式為單一方格化呈現，當資訊超過限制值後(過濾雜訊)，馬上將資訊呈現，更方便觀察電流進入單晶片後所產生的 Pattern，進而可做進一步分析比對。

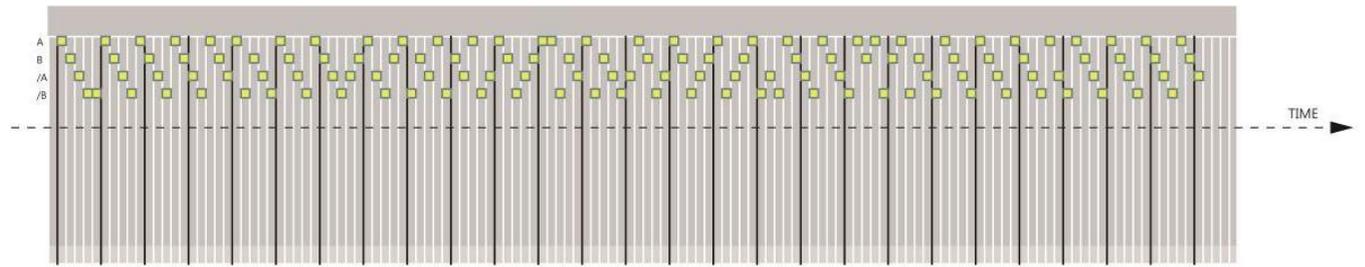


Figure 0-11 資訊視覺化介面 v2

圖像介面 v3

v3 版本為實體與虛擬同步進行，來回檢驗控制與感測結果，黑色點為每次步進馬達資料進入量，電流量越大，黑色方快越長，另外透過虛擬方塊的圖形旋轉，並將旋轉角度放至側邊，當步進馬達進行重複播放的同時虛擬的方塊如 Figure 4-12 圖右旋轉並模擬真實步進馬達的旋轉狀態，白色數字為目前旋轉度數，檢驗是否有正確的被電腦控制、是否有失步問題或是程式錯誤的部分，透過此實驗過程，讓實體運算結果是否與原本預想相同。

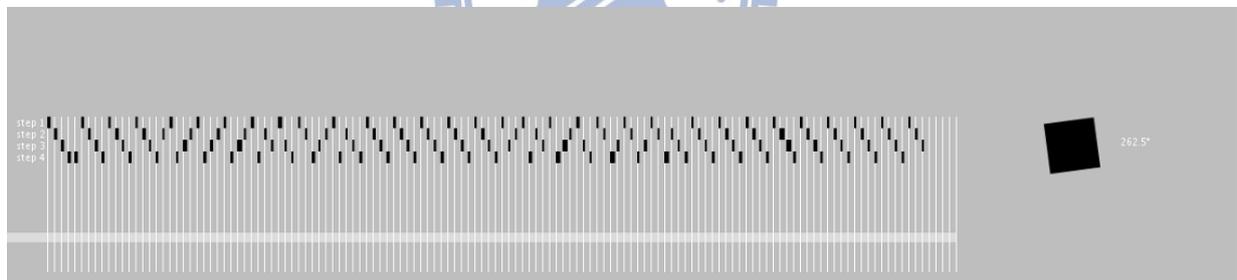


Figure 0-12 資訊視覺化介面 v3

4-3 控制機制與回饋機制判斷

本階段第一步驟為步進馬達的學習機制研究，製作單元模組的判斷步機制系統，第一階段開始將實驗預期結果設定為步進馬達激磁的方向性與正向激磁方向相反，因為五線步進馬達的激磁方式為兩項激磁，其中推測被旋轉後產生的激磁方式應該與控制時相反，所以可能的激磁方式為如 Figure 4-13。

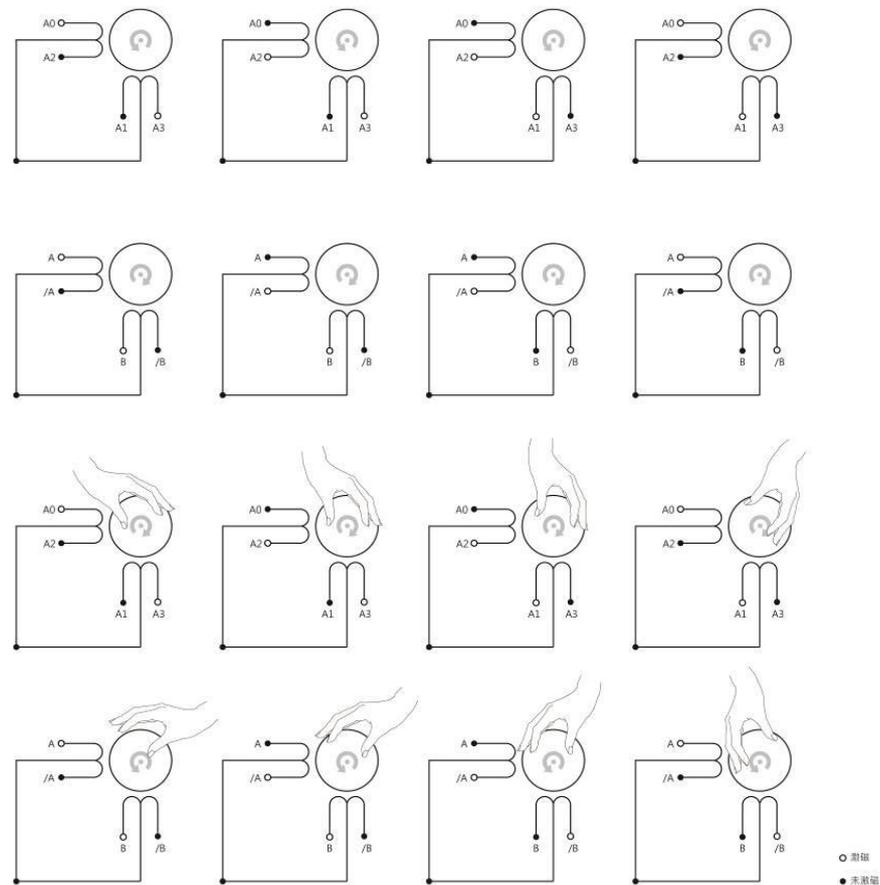


Figure 0-13 推測步進被旋轉產生的激磁現象

透過 Processing 來觀看步進馬達訊號源，來驗證是否與預期結果相同，並且將結果訊號源變成有用之資訊陣列，判斷其方向性並將其播放出來，本論文希望讓剛接觸互動科技的使用者能夠了解其程式邏輯，以下將使用本程式設計邏輯之狀態機進行說明。

case 1:

開啟繼電器，讓步進馬達正常運轉一圈，測試馬達與機構是否正常運作，使用者也透過此來確定電路是否正常運作，並將此裝置開啟，借由此來確定是否為非程式性的錯誤。

case 2:

為避免電流進入步進馬達，關閉繼電器，讓步進馬達進入偵測模式。

case 3:

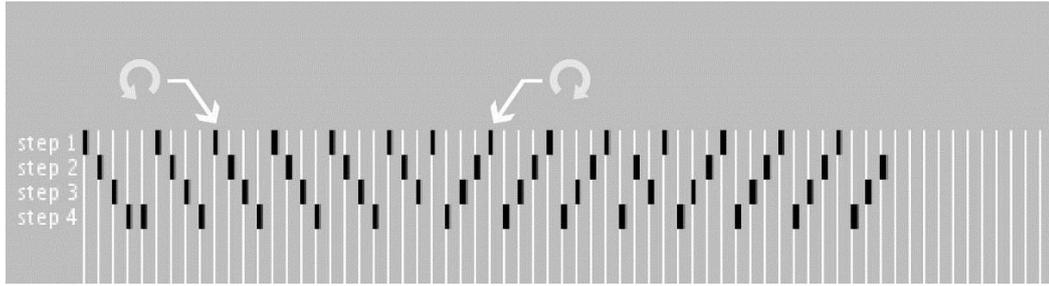


Figure 0-14 判斷旋轉方向 pattern

進入偵測模式後，數位資訊經由序列阜溝通到電腦，透過 Processing 程式將資訊印在畫面，判讀資訊內容是否有規律性的判斷，將電流量過小的資料雜訊去除過後並將資訊存入陣列，如 Figure 4-15 發現如果將步進馬達逆時針旋轉過後，電流量的進入將為 step1(A1、A) - step2(A2、B) - step3(A3、/A) - step4(A4、B/)如果將步進馬達順時針旋轉，電流量的進入將為 step4(A4、B/)- step3(A3、/A) - step2(A2、B) -step1 (A1、A)發現與預其結果不相符，但卻從可以透過 Processing 內部圖像發向步進馬達電流的進入有一定的規律性，並將此資料存進陣列作判斷處理。

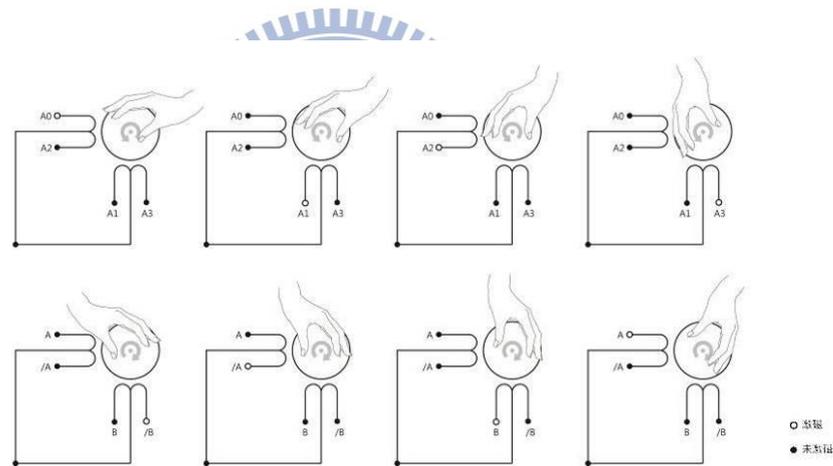


Figure 0-15 實際被旋轉產生的激磁現象

case 4:

將已經存入的陣列資料加以做判斷，將前後資料比對以確定方向性，針對 Step 4(A3、/B) 判斷前面四個訊號源狀態，如果前面一個訊號進來的 PIN 腳為 Step 3(A2、B)，如果有訊號接著判斷前面第二個訊號進來的 PIN 腳為 Step 2(A1、/A)，如果有訊號接著判斷前面第三個訊號進來的 PIN 腳為 Step 1(A0、/A)方向性後是否有訊號，以上如果皆成立，步進馬達控制的陣列加入順時針旋轉一步，接下來判斷後方 PIN 腳訊號如果後面一個訊號進來的 PIN 腳為 Step 3(A2、B)，如果有訊號接著判斷後面第二個訊號進來的 PIN 腳為 Step 2(A1、/A)，如果有訊號接著判斷後面第三個訊號進來的 PIN 腳為 Step 1(A0、/A)方向性

後是否有訊號，以上成立將步進馬達控制的陣列加入逆時針旋轉一步，所以步進馬達的陣列將被存取狀態將被呈現為 $[1,1,1,-1,-1,-1]$ 而此陣列的行為被紀錄成正轉三步、逆轉三步。

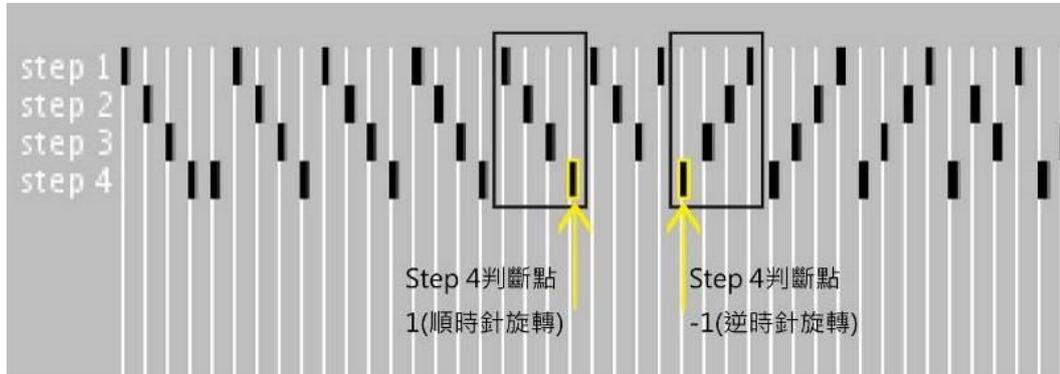


Figure 0-16 判斷點圖騰

case 5:

將已經存入的步進馬達陣列資料依序播放，透過在介面右側虛擬黑色方塊的圖形旋轉，側邊將目前角度精準的呈現，按下 ENTER 鍵可將步進馬達重複播放，同時可在此畫面檢測是否與虛擬黑色方塊同步。

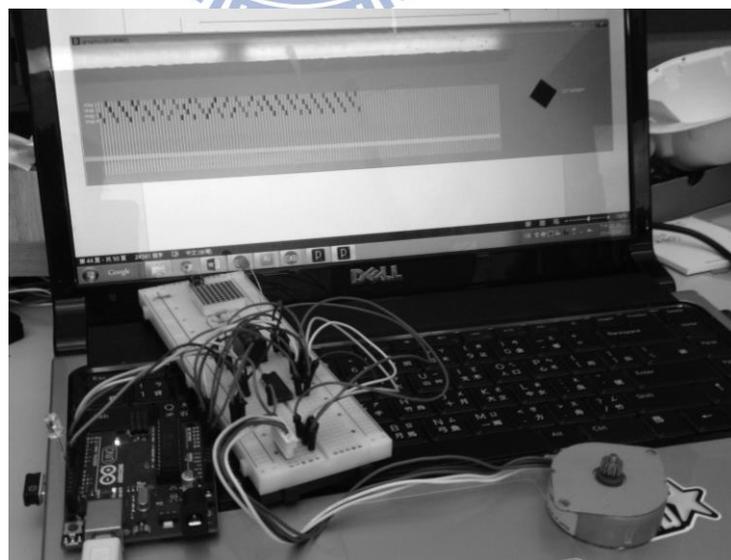


Figure 0-17 步進馬達與介面實作過程

本階段研究對於步進馬達的學習機制，透過虛實交錯的方式檢測是否與預設實驗結果相同，研究發現雖然與預設結果不同，但可依循著規則找到被辨識方向的可能性，閱讀本論文的使用者可參考此研究內容，針對五線式步進馬達作更深入的研究和控制，並且使用開放式原始碼工具在學習機制的過程中將程式做更多的延伸。

另一方面創作者在將自己所設計的機構與馬達連上過後，往往不了解自己所設計的機構所產生的限制是什麼，或不理解製作的機構所產生的效果為何，這樣的介面可以讓創作者了解自己裝置在動態上讓馬達如何運作，避免掉馬達裝上機構後所產生因為控制的不當所導致實體裝置機構上的不正常或電路裝置附載等等問題，在透過了解了之後可以更方便於作品與馬達控制程式上的編寫，拉近作品與控制馬達之間的連結。

4-4 Zigbee 資訊傳遞方法

將步進馬達的學習行為透過事先製作好的模組原型做資訊的傳遞行為，使用者可以自由的安排彼此通訊關係，在資訊傳遞的過程之間為了讓使用者在實體的環境上不被許多的電路所受現，能夠輕鬆的進行原型的製作發展，採用無線通訊的方式讓產生資訊的傳遞行為，本研究選擇常被運用在智慧家庭與工廠自動化中使用的 Zigbee WSN 模組，並且採用點對點式的通訊模式 (Peer to Peer)讓模組與模組之間產生網絡關係(Mesh)，方便於之後模組順序的更改。

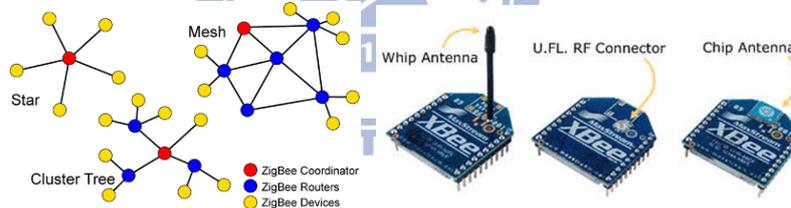


Figure 0-18 各種 Zigbee 傳播方式

<http://www.blogelectronica.com/Zigbee-maxstream-modulos-practica-2/>

將步進馬達的學習行為透過事先製作好的模組傳遞資訊，讓使用者可以自由的安排彼此通訊關係，而為了讓使用者在實體的環境上更輕鬆的進行原型的製作延伸，採用無線通訊的方式讓產生資訊的傳遞行為，本研究在初步探索使用 I2C 有線的方式作溝通測試，如 Figure 4-21 左，但因為線路的複雜和系統的溝通等等問題導致操作上的困難，最後改由 Zigbee 模組進行無線溝通，沒有了傳輸資訊的複雜線路，讓使用模組更加能夠被使用者靈活運用，如 Figure 4-21 右，另外也讓創作者可做的作品延伸到更大的距離，產生更大的自由度。

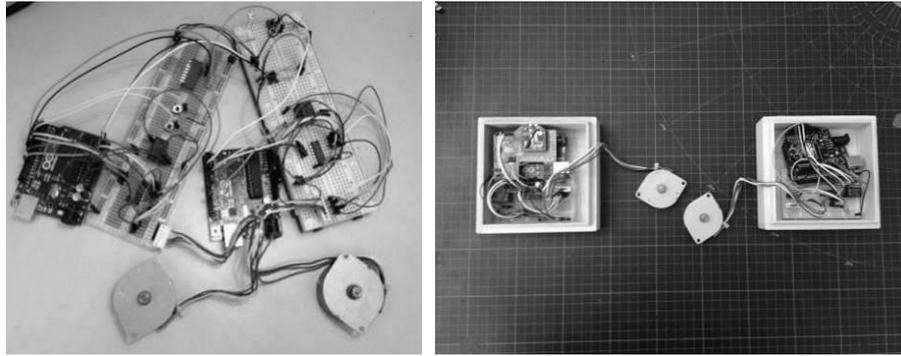


Figure 0-19 I2c 有線溝通模組與 Zigbee 無線溝通模組實作過程

此階段將 Zigbee 的溝通方法以循環的方式呈現，這樣的方式幾乎可以讓創作者更自由的安排應用，主要的傳遞的方式有兩種，一種是線性的傳遞方式，另一種循環式的溝通方法，模組透過前一號模組可以傳達訊號產生順序性，此階技術參考 LASERBOT BLOG 所撰寫的 XBee Configuration: Coordinator and Router (Circle Network)(Bowen, Chakraverty, & Stewart, 2013)將 ZIGBEE 做循環式的串聯。

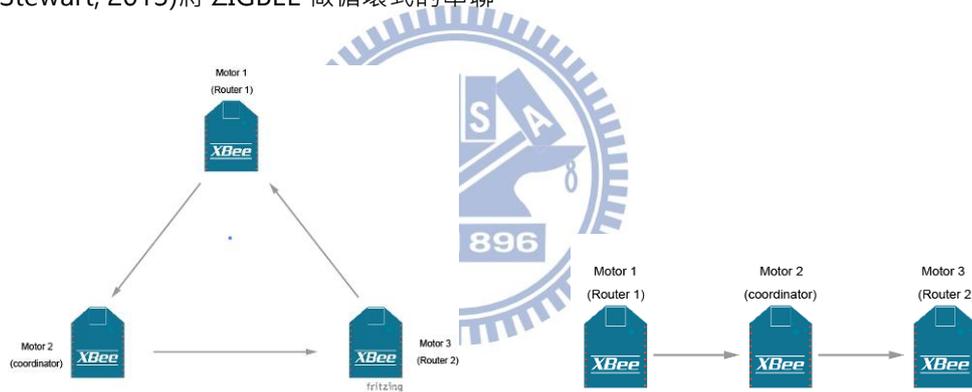


Figure 0-20 Zigbee 循環與線性的傳遞方式

4-5 實體裝置與操作流程說明

本研究裝置實作與操作流程說明分為三大部分，第一部分為設計 MTK 模組單元，使用實體模組拼裝，嘗試讓使用者透過被設計過的模組摸索機構組合方法；第二部分為機構帶動馬達產生學習動態，並從電腦介面得知馬達產生之旋轉度數；第三部分為在運行的過程中透過環境控制馬達表情，並將其傳遞並製作出一個圖騰產生器作為本研究捏塑動態工具示範。

根據先前的研究與分析，教導物件產生動作的互動行為方法，在輸入階段在於探討讓實體介面更貼近使用者，不讓使用者在程式編輯上產生困難，用實際的用動作來教導雛形如何產生行為，例如：手帶動裝置機構再帶動馬達旋轉半圈，透過此操作方式相較於程式的編寫來來的更加容易，讓使用者能夠以直覺並且具有創造性的將動作教導於物件，容易操作讓使用者不會產生習得無助感，故在研究雛型設計與實作部分，針對創作者和設計者所可能會發展的動態行為，對於物件產生具有學習性能力的操作，讓使用者能夠更快速的創造動態行為且理解如何教導物件動作，讓裝置動態能夠快速的被使用者落成。

		運動輸入			
		旋轉運動	擺盪運動	線性運動	往復運動
運動輸出	旋轉運動	齒輪、滑輪與皮帶、鏈輪與鏈條、曲柄滑塊機構	曲柄	齒條與齒輪、連桿	活塞、鐘形曲柄
	擺盪運動	曲柄、急回機構			連桿
	線性運動	輪子、齒條與齒輪、蘇格蘭軛	蘇格蘭軛	剪式連桿	
	往復運動	凸輪、曲柄、活塞	曲柄、凸輪、鐘形曲柄		
	間歇運動	日內瓦間歇運動機構	棘輪		棘輪

Table 0-1 運動類型之間的轉換(Roberts, 2013)

動力學造形的造形方法，依照動力的性質不同，大致可區分為：(1) 自然動力的運動形態(如：風力、水力)；(2) 人工動力的運動形態(如：馬達)等兩大類型(陳光大 & 林品章, 2007)。無論是馬達的驅動或者是手搖的方式，最容以產生運動是旋轉運動，可以當作是機械裝置的輸入端(Roberts, 2013)在 Making Thing Move 這本書中將運動類型之間的轉換整理成表格，發現旋轉與擺盪運動為最容易被轉換的運動方式，故在工具實體裝置的設計上，將以這兩種運動方是以實體的方式呈現示範，期待創作者能夠利用此實體工具製做作品的同時，為自己作品的動態做簡單測試。

4-5-1 MTK 模組單元說明

為了讓使用者能夠方便理解使用此模組運用，本研究利用 MTK 模組實體使用示範，材料的選擇上利用 ABS 和透明壓克力搭配製作，一方面讓使用者能夠看到內部與馬達運作的情況另一方面讓桿件在較平滑的壓克力面料上減少磨擦力，配合各種機械五金，包含止推滾珠軸承和徑向軸承，讓馬達更順暢的運轉，而對於熟知機構之創作者，此模組設計方便於馬達的取出，讓不同層級的使用者使用本模組設計。本研究也透過各種電腦輔助設計之軟體輔助，包含各種 CAD 軟體、3D 印表機、雷射切割機。以下就裝置實作部分做詳解與說明。

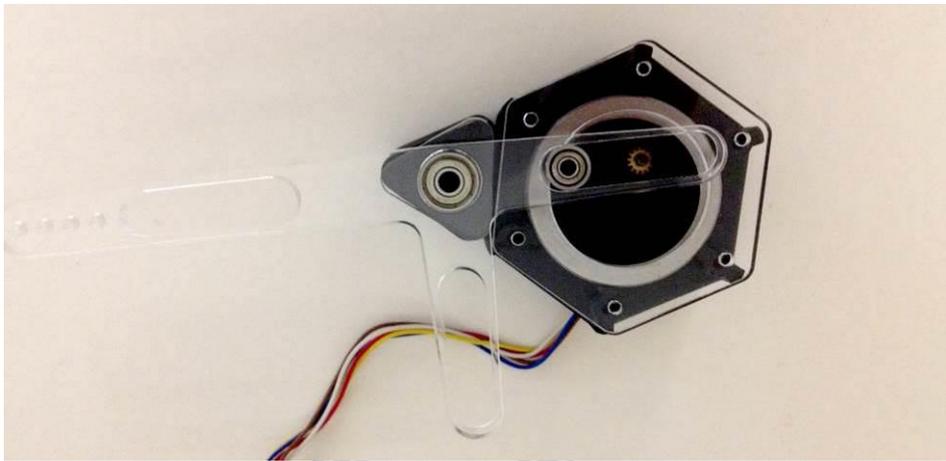


Figure 0-21 初步模組單元設計

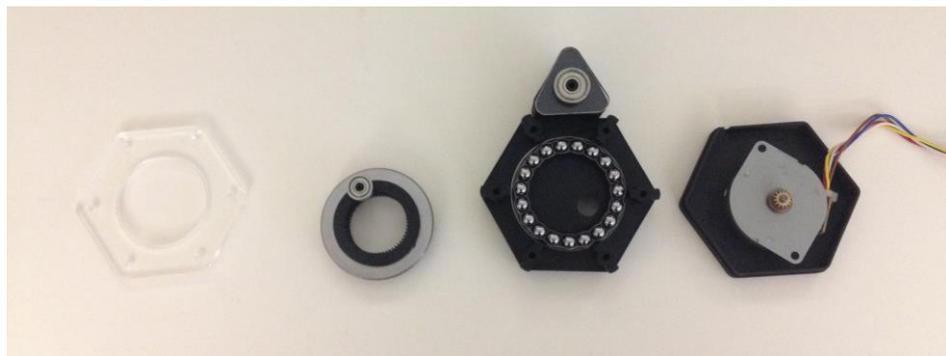


Figure 0-22 模組單元實際拆解

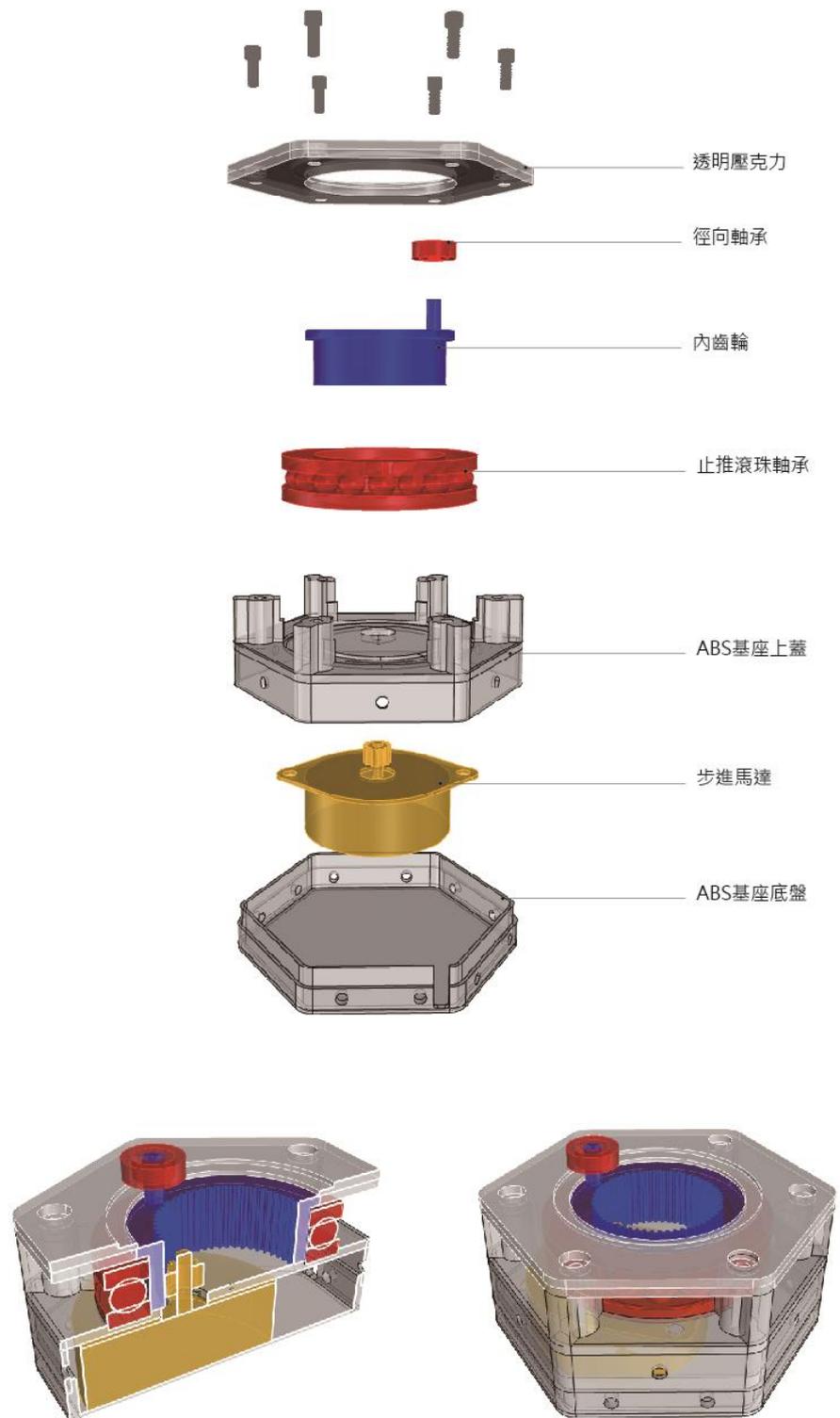


Figure 0-23 核心動力模組設計



Figure 0-24 附屬拼裝模組

步驟一:拼裝與捏塑動態

本模組的實體造型部分選擇使用六角形作為核心帶動模組之外形，並搭配三角形為次要使用支點，讓使用者能夠自由搭配調整產生能夠配自身機構的擺盪弧度，並且使用雷射切割等數位方式進行桿件的設計加工，找尋可能使用的長度與擺盪效果，Figure 4-25 為兩種不同組合方式，Figure 4-26 為搭配桿件過後所產生的 40 度的擺盪角度。

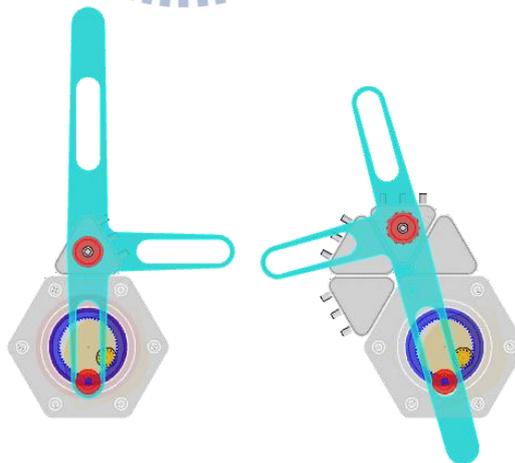


Figure 0-25 透過 MTK 模組可搭配出不同組合



Figure 0-26 搭配模組運轉模式

使用者利用模組重組過後搭配出適合自己裝置的機構狀態時，開始對單一對象動態產生捏塑行為，Figure 4-27 為使用者將搭配過後的桿件對馬達產生動態捏塑的流程。

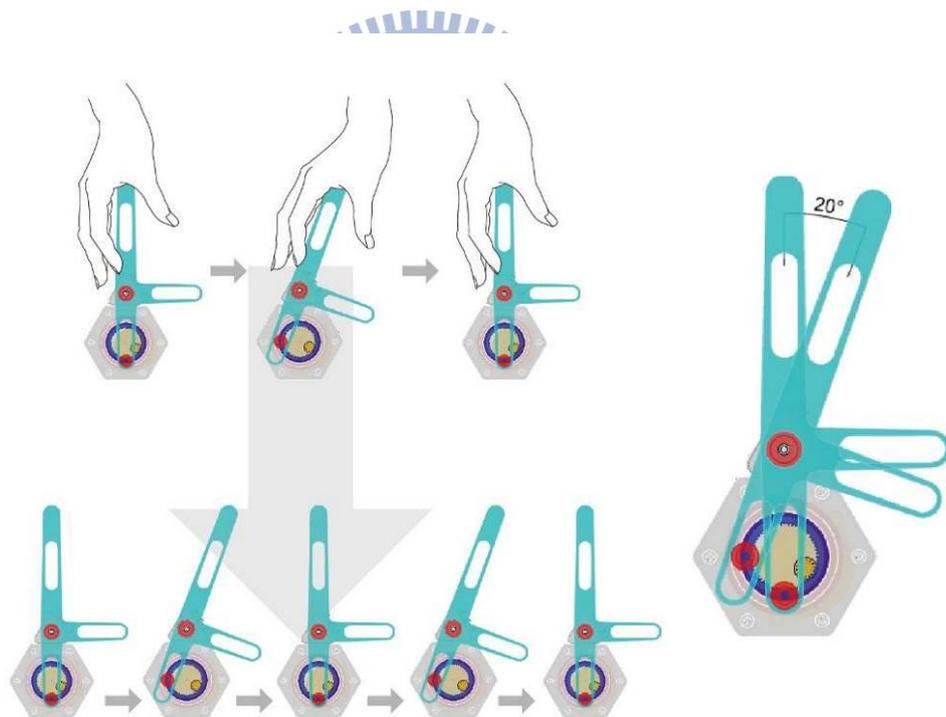


Figure 0-27 動態捏塑的過程

步驟二：觀看馬達狀態



Figure 0-28 介面輔助使用者原形實作流程

透過 Processing 製作介面觀看步進馬達目前所轉動的角度為何，幫助之後原型製作實對於馬達的控制，因為馬達有轉速與力矩的限制，初步的讓使用者能夠了解到馬達真正運作的狀況過後，如 Figure 4-28。使用者能夠對於自身捏塑出來的動態和機構是否能夠搭配產生理解，知曉可能必須更換大力矩或者是更快速的馬達表達動態，利用這樣的資訊可確保之後對於動態程式的設計產生幫助。如 Figure 4-29 為一次對於馬達行為的偵測，本次旋轉約 52 度。

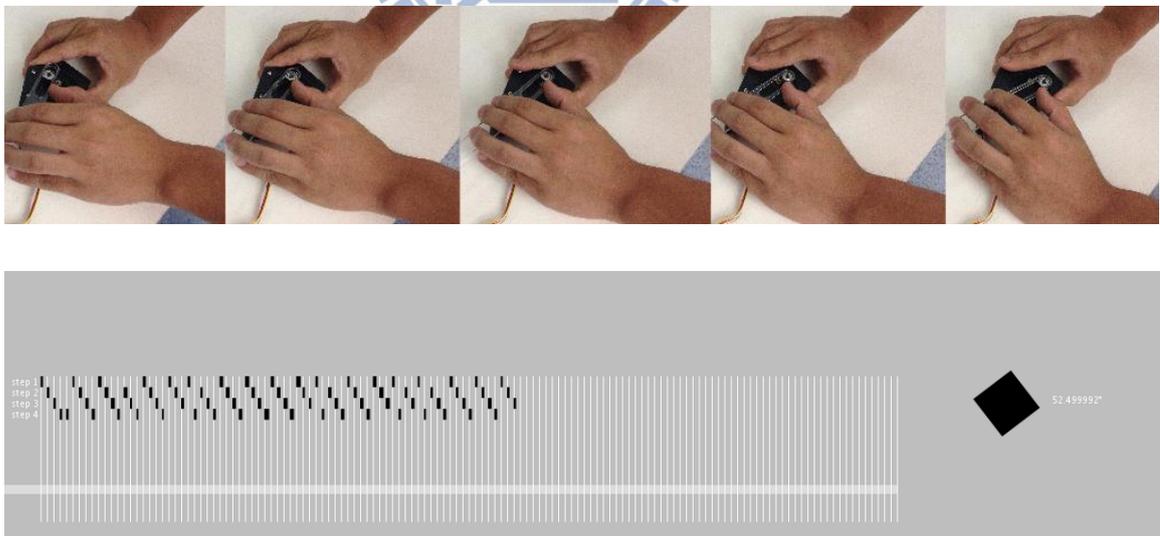


Figure 0-29 實體端將動態捏塑過後介面端顯示角度

在實體端使用者經由各種嘗試過後，將嘗試過後的模組作為基礎，再經過虛擬端的確定馬達必須被旋轉的角度過後，將不必要的模組刪除並精簡，製作更精確的原形。例如 Figure 4-30。

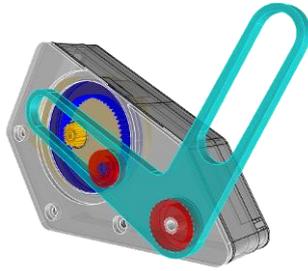


Figure 0-30 利用模組拼接產生應用

步驟三：整體的動態捏塑

第三部分為無線傳遞，將捏塑過後的動態行為傳遞給其他模組，在運行的過程中透過其中環境的變數來改變動態行為，直接的對單一模組作出控制行為，但卻又能夠間接的影響控制整體動態造形，如 Figure 4-31。

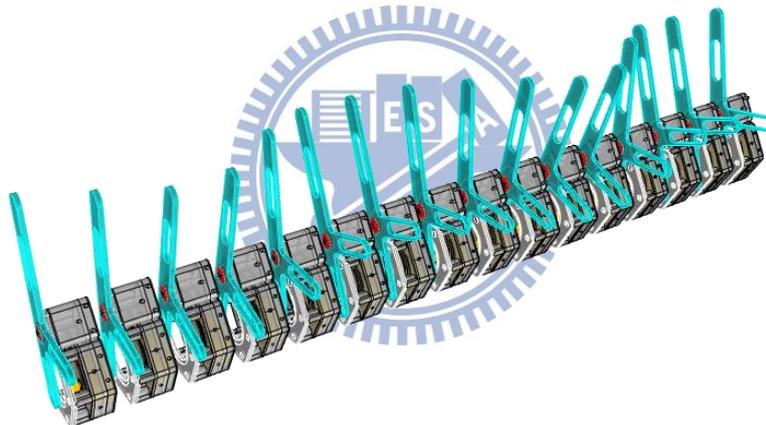


Figure 0-31 可能線性造型運用

4-5-2 MTK 模組範例驗證

另本研究參考 Nils Voiler 藝術家所做的大型繪圖機械作為機構參考，嘗試利用此模組製作一個簡易的繪圖裝置，作為本研究研究成果。



Figure 0-32 大型繪圖裝置 Makers Spectators
(<http://www.nilsvoelker.com/content/mu/>)

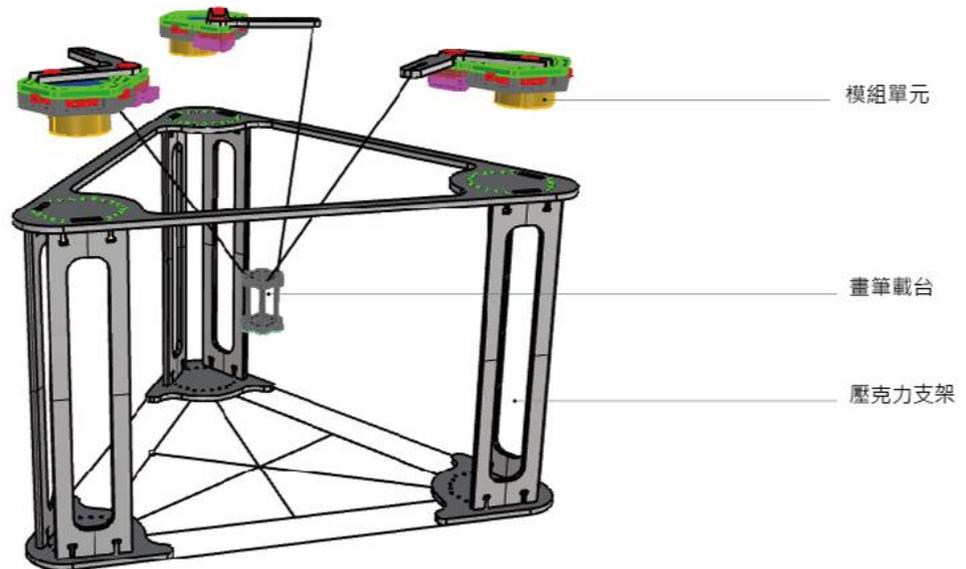


Figure 0-33 繪圖裝置設計

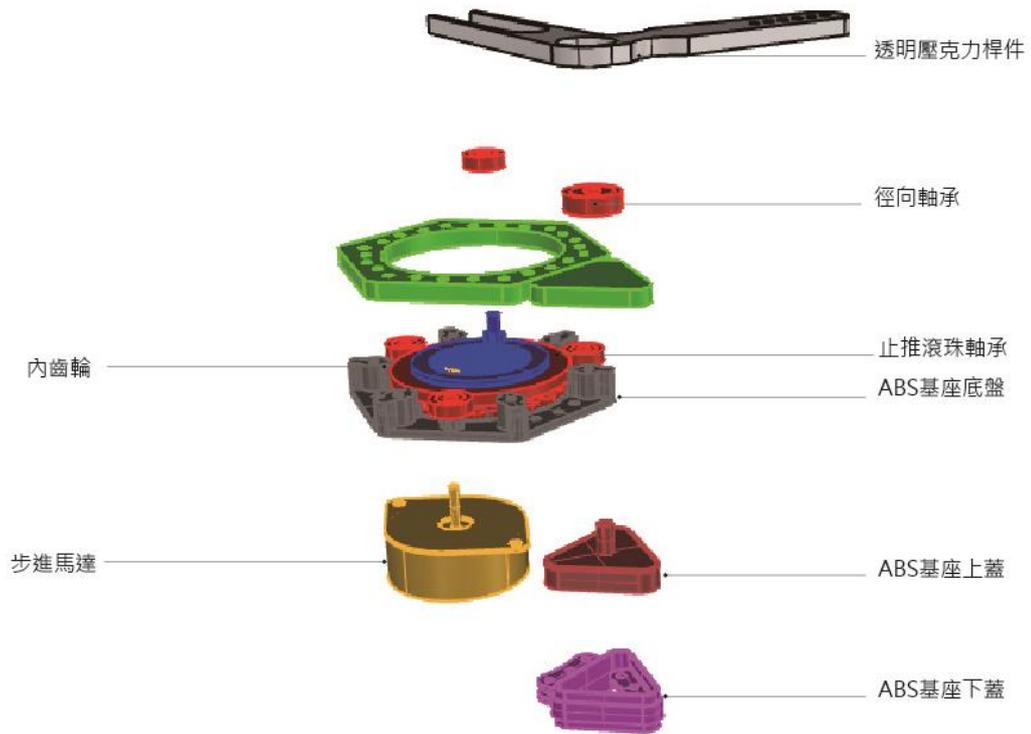


Figure 0-34 繪圖裝置模組外殼設計

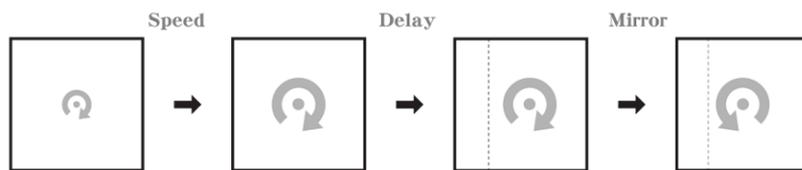


Figure 0-35 捏塑動態設定

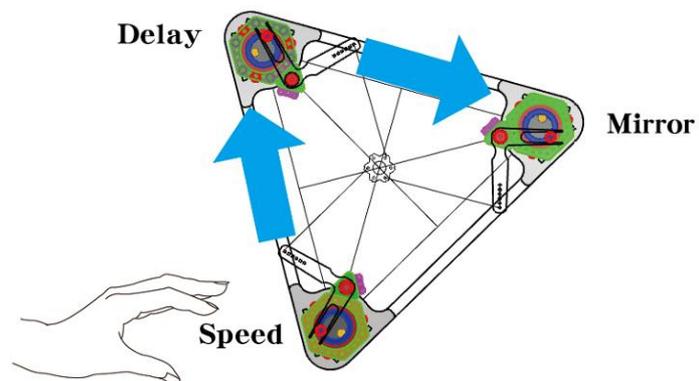


Figure 0-36 動態訊息傳遞方向

本研究後期製作三個模組單元，模組特性分別為 Speed、Delay、Mirror 來結合一組畫圖裝置(Figure 4-33)使用三個 MTK 模組控制繪圖行為，模組構造在本階段為了讓施作更快

速簡化許多非必要外型設計，純粹將模組裝置安裝於壓克力臺座之上，讓馬達驅動桿件拉動繩索來控制中間白板筆的位置，設定順序為速度模組傳到間隔模組再傳到鏡射模組做一個線性的展演。Figure 4-35 和 Figure 4-36 為此模組傳遞關係狀態和訊息傳遞的方向。

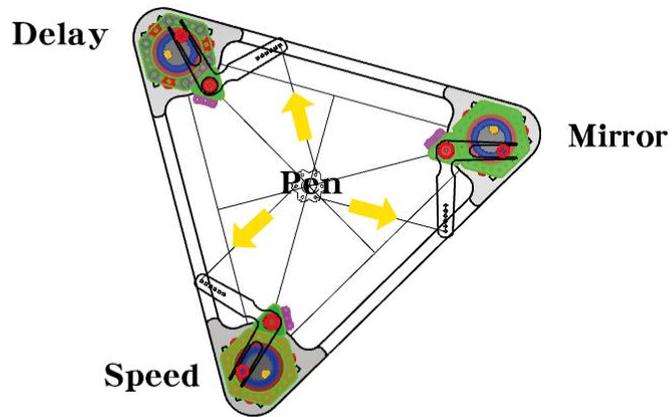


Figure 0-37 繪圖裝置馬達控制示意圖

本研究希望透過先 speed 模組馬達的教導過後傳遞給 Delay 模組再傳給 Mirror 模組帶動筆產生圖騰，過程中無須撰寫任何程式內容，只需要用手旋轉馬達角度並專注於解決設計與機構問題。



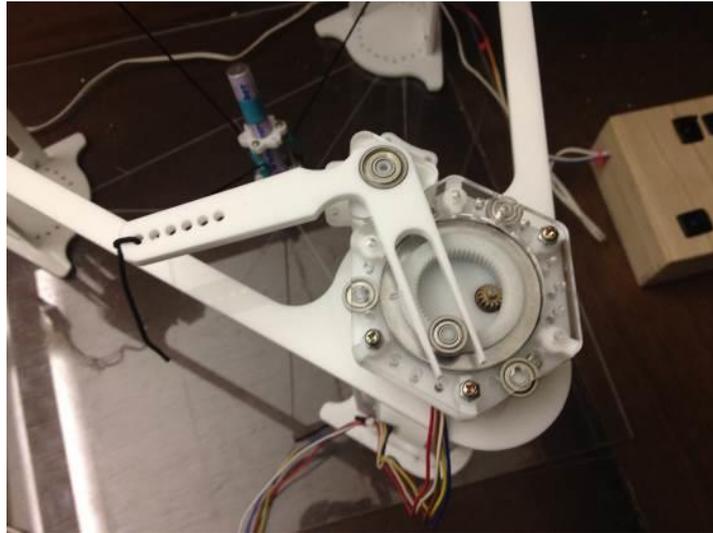


Figure 0-38 上為細部構造 下為實際捏塑動態狀態

而在環境控制介面部分利用 LED 顏色將模組功能性區分如，正和逆轉之間透過亮與暗的區分，讓使用者理解訊息傳遞的過程，當機構無法作動或者不正確時，使用者能夠透過 LED 閃爍與否來確定訊息傳遞的狀態。Table 4-2 為模組狀態比較圖。

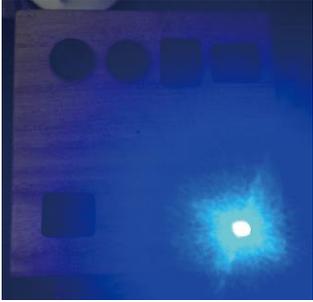
	正旋轉	逆旋轉
速度模組 Speed		
間隔模組 Delay		
鏡射模組 Mirror		

Table 0-2環境控制介面實際比較

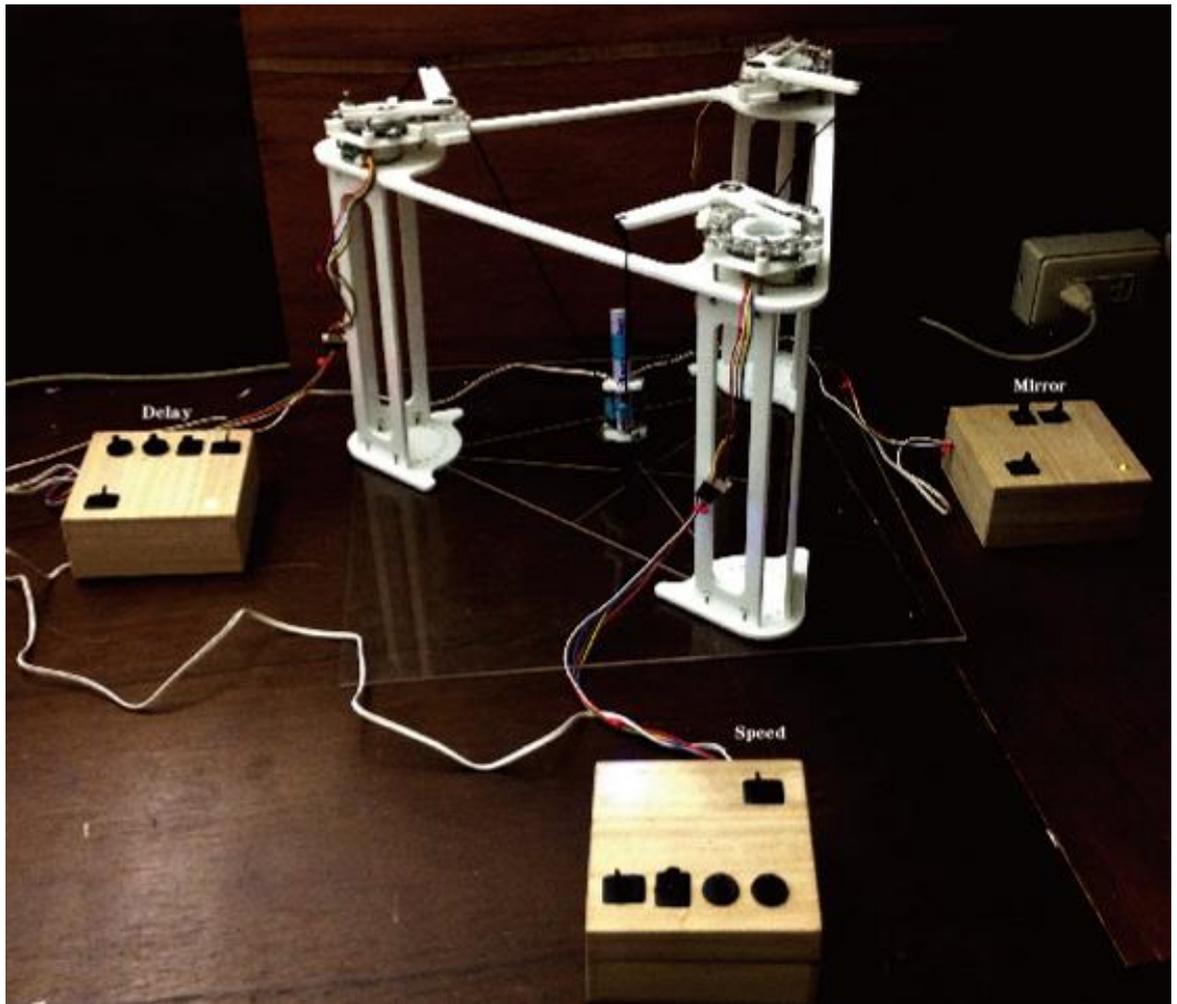


Figure 0-39 實作照片

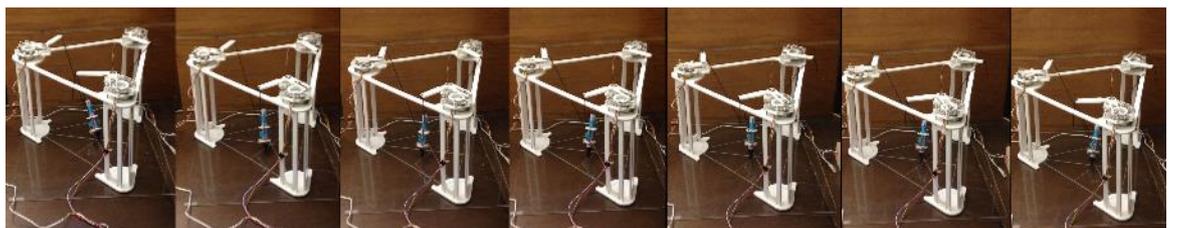


Figure 0-40 系統運轉一圈

透過各模組之間的傳遞動態訊息，讓動態資訊在傳遞之間產生捏塑行為，另外環境控制動態行為，讓畫筆在中央產生垂直水平位置上不同繪畫的同時，又可讓使用者在環境對於馬達的控制調整，本研究透過此段落，示範模組的使用情況。

4-6 討論

嘗試製作實體過後，並且將模組在實體端進行設計，搭配模組特性來檢驗本次 MTK 模組設計成果，以下整理出幾點為本次的實測結果。

1. 操作方便，不需要做程式的撰寫和電路的連接，可專心於機構與外型的设计。
2. 馬達起始點位置的定義未被考慮，在紀錄完過後必須以手動的方式轉到原本的起始位置。
3. 使用上也不清楚記錄旋轉的長短，雖然記錄完後會有 LED 顯示記錄完成，但也限制了教導旋轉動態的長度；另一方面希望教導較短的旋轉狀態卻無法達成。
4. 在訊息在傳遞的過程中雖然產生了有趣非預期的變化，但這樣的過程如果能夠被更完整的記錄將會更有使用的價值。而單一模組的製作複雜度較高，成本也相對提高。
5. 透過本次實體裝置與操作流程製作過後，材料的選擇上選擇了五線式步進馬達，發現其扭力不如預期，導致在施作各項實體裝置產生莫大的限制。
6. 旋轉過快或過慢都會導致偵測上不完整。
7. Zigbee 在循環模式上會導致模組重新啟動。

第五章、結論

本研究實作並提出透過教導進行學習與資訊傳遞的實體互動 MTK 模組系統雛形，認為此為一種動態捏塑的方法。將其劃分兩類，一類為直接對機構產生動態捏塑，另一類為環境對於機構於所產生的捏塑行為。以工具的使用角度來看，藉由自我學習的操作模式，縮短讓使用者對於數位控制所產生的學習障礙，避免非必要的使用挫折後，讓使用者透過模組與模組互相傳遞所產生的動態雕塑狀態，對於初學互動設計的使用者，可透過自我學習的機制在基本的實體互動上，能夠快速的運用此工具達到自己想要的互動設計動態效果，而對於互動設計經驗者，可以參考此工具的溝通模式，進行實體互動開發，而本研究因為多使用開放式軟硬體，所以對於開放式軟體熟悉者可透過對於此，來更改期內容將此工具獲得更多的運用與實作。並且試圖提出一套動態捏塑互動設計系統，提出一種讓使用者能夠快速控制機構原型的方式，讓人造原型擁有向使用者學習過後，將學習的經驗因為自身物種特性並加上環境因素等刺激過後，教導於下個物件之互動原型，讓動態能夠自主的生成於傳遞之間。

5-1 研究貢獻

[案例討論]

本研究初期基於自身經驗與幾位創作者在做動態類作品的了解，明白使用工具上的困難，提出教導動態之觀點。並探討仿生設計之群聚關係相關設計案例和探討目前物件的互動設計之間如何產生關係來回應本次動態捏塑實體互動設計工具之設計運用。

基於實體案例發現實體互動的有趣不僅來自於單一對象的回饋機制，而可以在與眾多實體模組被拼裝、聯接所產生的實質互動，這樣的狀態就像是生物群聚一般的狀況，透過自身條件上自主的在不斷調整自我，在環境中呈現某種自我組織的狀態，所以本研究也透過此概念，讓材料步進馬達有如生物一般產生互相傳遞的能力，讓使用者透過這樣的特性能夠將自己的裝置或設計產生更大的動態捏塑行為。

[提出動態捏塑工具]

以互動設計藝術創作者的角度來看，在動態的創造可免於面對程式的壓力，只需透過機構與媒材上的設計，讓使用者創造出自己的媒材過後，將其用雙手進行教導行為。將動態的產生類比於兒時面對黏土時所產生的直覺捏塑行為，對馬達直接產生教導動作，讓使用者對自己所設計的機構產生動態捏塑創造。



[提出MTK模組互動模式]

本研究在設計模組階段將學習納為一種物件與物件傳遞資訊方法，並設計 MTK 模組互動模式，可進行模組動作的教導過後，並有如生物與生物溝通一般傳遞訊息。創作者可在實體環境上進行原型的製作延伸，另外在物件與物件教導傳遞之間，可選擇製作實質的連結或無線通訊的方式讓模組產生連結。

[提出模組系統功能]

本研究在3-3系統設計設計中將使用者層級畫分清楚，並提出將系統分為輸入單元(INPUT UNIT)、輸出單元(OUTPUT UNIT)、處理單元(PROCESSING UNIT)、傳遞單元(TRANSFER UNIT)、實體機構(MECHANISM DESIGN)和環境控制(CONTROL)來相互搭配，並加以討論整個系統的運作狀態。

[實作並檢驗模組系統]

本研究在實作階段使用 Speed、Delay、Mirror 模組來結合一組畫圖裝置使用三個 MTK 模組控制繪圖行為，讓模組馬達驅動桿件拉動繩索來控制中間白板筆的位置，設定順序為速度模組傳到間隔模組再傳到鏡射模組做一個線性的示範。

本研究後期透過實作過程對於步進馬達材料理解，並發展成為感測器的可能性，改變了我們對於必須精準的控制步進馬達的想像，透過步進馬達本身被旋轉後所產生的逆電流整理，本研究發現幾乎可將步進馬達變成旋轉感測器來使用。

雖型實作中也再次說明，在開放式原始碼盛行的年代，透過這些開放式軟硬體工具，藝術與設計背景的使用者可以在這樣的環境下自行創造工具，製作互動設計專案，讓互動領域往更長遠的地方前進。

本研究也將步進馬達的行為透過資訊的視覺化，讓使用者在實體端對於機構控制馬達過後，透過螢幕的顯示得知步進馬達的旋轉狀況，可透過這樣的資料，來修正或延伸程式上的控制或者是機構上的調整。

[傳遞的可能性]

過去我們在資訊的傳遞往往追求旋轉的精準度，必須面對程式語言的編輯和演算法的設計來達到想要的傳播目的，本研究試圖顛覆了以往我們對於資訊傳遞精準的必然性，強調運用資訊在傳遞的過程中，可能因為雜訊導致結果的不同，而這就是本研究的第二個目的，設定雜訊的同時能夠雕塑動態行為所產生的未知和趣味性結果，期待使用者透過這樣的特性，在捏塑動態行為的同時找尋自身想要的動態結果。另外本研究透過製作繪圖裝置來示

範研究成果，目的不在於產出精準的圖騰，而在於記錄並找出在動態捏塑之間所產生的各種可能性，也透過於此讓使用者能夠對於此想法產生更多對於本模組系統之想像和應用。

5-2 研究限制與未來研究

本研究雖然對於步進馬達的判斷上有初步的理解，發現旋轉時因為力道與速度導致產生的電流大小不同，但因為缺乏機電背景的專業知識，加上程式編寫能力的不足，本研究停留在單純的正反轉的控制，無法控制更多元的速度與力量表現。假設能夠加以控制，勢必對於動作的控制上將會得到更細膩的表現，也能讓使用者能夠更直接的控制自己的裝置設計。

本次使用了在電路上較為容易操作的五線式步進馬達，但也因為馬達本身的定位扭矩不大，導致在製作機構的過程很多時候是無法運作的，結合過程必須倚靠各種軸承輔助運動，另外必須擁有更多的機械背景知識來彌補，而又因為本研究主要訴求為製作並模擬動態捏塑之實體互動工具，步進馬達在本研究程式之中本身並無法針對當下位置做出判定，運作會以相對位置直接做出動作，必須依靠著使用者透過機構設計讓步進馬達擁有紀錄賦歸位置機制。選用的過程中使用能夠快速成形的 ABS 和壓克力等等材料，無法真正達到在機械零件上強度要求，所以在機構與機構之間也產生些許阻力，也導致在測試時機構的不順暢，也產生不必要的震動導致偵測時的不精準。另外在目前的步進馬達市場上，四線與六線式步進馬達在購買上較為容易，期待未來能夠對四線與六線步進馬達更進一步的研究，能夠善用本研究之偵測方法，將其運用在更多大電流的馬達控制上。本研究製作了擁有學習能力的步進馬達系統，期待更多的設計者與創作者運用此模組，在各種不同藝術與設計領域上製作更多擁有動力或互動雛型。

在實體與實體的傳遞互動的上，本研究雖提出物件可被環境控制影響，但因為本研究為了讓使用者能夠更方便於對實體端的操控，單純使用按鍵加與減的方式呈現，不能完全代表本研究所提出的環境產生之互動行為，本研究在未來更期待創作者與設計師將此模組透過對於環境參數的改變讓馬達更具有生命力般一般帶動機構，隨時適應著可能的情況，讓作品產生更多未知的可能性。本研究也期待專家級使用者能夠把各種單元做更多不同的嘗試，例如將實體機構端影響到環境控制端來改變模組的行為。

參考文獻

- Banzi, M., Cuartielles, D., Igoe, T., Martino, G., & Credits, D. M. (2006). Arduino website. from <http://arduino.cc/en/>
- Bar-Cohen, Y., & Breazeal, C. (2003). *Biologically Inspired Intelligent Robotics*. Paper 5051-02, Proceedings of the SPIE Smart Structures Conference San Diego, CA.
- Bowen, M., Chakraverty, D., & Stewart, L. (2013). XBee Configuration: Coordinator and Router (Circle Network). from <http://laserbots.blogspot.tw/2013/01/xbee-configuration-coordinator-and.htm>
- Chambers, J. (2010). Floppy Legs Portable Hard Drive and Gesundheit Radio from the Attenborough Design Group project. from <http://www.moma.org/interactives/exhibitions/2011/talktome/objects/146367/>
- Dean, M., Donovan, M., & D'Andrea, R. (2006). Robotic Chair. from <http://raffaello.name/projects/robotic-chair/>
- Diao, W. (2013). Note Cubes. from <http://wanfangdiao.com/notecube>
- Faludi, R. (2012). *Building Wireless Sensor Networks*. Persesus Books Group.
- Frei, P., Su, V., Mikhak, B., & Ishii, H. (2000). *curlybot: Designing a New Class of Computational Toys*. Published in the Proceedings of CHI 2000.
- Fry, B., & Reas, C. (2001). Processing Website. from <http://www.processing.org/>
- Gees, J. v. (2007). take a seat. from <http://www.jeltevangeest.nl/>
- Heibeck, F. (2013). *Cuboino. Extending Physical Games. An Example*. CHI 2013: Changing Perspectives, Paris, France.
- Ishii, H. (2008). *Tangible Bits: Beyond Pixels*. Proceedings of the Second International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI'08), Feb 18-20 2008, Bonn, Germany.
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). *Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms*. CHI 97 * 22-27 March 1997.
- Kronemann, M. L., & Hafner, V. V. (2010). *LumiBots – Making Emergence Graspable in a Swarm of Robots* Potsdam University of Applied Sciences Cognitive Robotics Group Department of Computer Science.
- Mathews, N., Christensen, A. L., O'Grady, R., & Dorigo, M. (2012). *Spatially Targeted Communication and Self-Assembly*. Paper presented at the Intelligent Robots and Systems, Vilamoura, Algarve, Portugal.
- NIKE. (2013). NIKE RUNNIGN. from http://www.nike.com/tw/zh_tw/c/running
- Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models *Human-computer interaction* (pp. 241-244): Morgan Kaufmann.
- Norman, D. A. (1998). *The design of everyday things*.
- O'Sullivan, D., & Igoe, T. (1998). *Physical Computing: Sensing and Controlling the Physical World with Computers*: Thomson.

- Parkes, A., Poupurev, I., & Ishii, H. (2008). *Designing Kinectic Interactions For Organic User Interfaces*. 2008/Vol. 51, No. 6 COMMUNICATIONS OF THE ACM.
- Peng, H. (2012). *Algo.Rhythm: Computational Thinking through Tangible Music Device* Carnegie Mellon University
- Preece, J., Rogers, Y., & Sharp, H. (2007). *Interaction Design : Beyond Human-Computer Interaction*: John Wiley & Son.
- Raffle, H. S., Parkes, A. J., & Ishii, H. (2004). *Topobo: A Constructive Assembly System with Kinetic Memory*.
- Roberts, D. (2013). *Making Thing Move DIY Mechanisms for Inventors, Hobbyists and Artists*: McGraw-Hill/TAB Electronics.
- Shannon, C. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Reprinted with corrections from The Bell System Technical Journal, Vol. 27, 379–423*
623–656.
- Sharp, H., Rogers, Y., & Preece, J. (2007). *Interction Design(2nd Edition)*.
- Suki, Y., Kobayashi, S., & Suzuki, N. (2011). *Esper Domino: Visualization of Information Received State in Near Field Wireless Communication*. Institute of Advanced Media Arts and Sciences International Academy of Media Arts and Sciences.
- Tang, W. Y., Tang, S. K., & Lee, Y. Z. (2010). Tangible Pixels Interactive architectural modules for discovering adaptive human swarm interaction. *Yuan Ze University*, 291-298.
- Weiser, M. (1991). *The Computer for the 21st Century*. Palo Alto Research Center, Xerox, CA, USA.
- Wikipedia. Biomimicry. from <http://en.wikipedia.org/wiki/Biomimetics>
- Wikipedia. Swarm behaviour. from http://en.wikipedia.org/wiki/Swarm_behaviour#Fish
- Wilcox, D. (2012). go home shoes. from <http://dominicwilcox.com/portfolio/gpsshoe/>
- 丑宛茹. (2013). *向自然學習的仿生設計*.
- 王文宏. (2005). 近距離無線通訊技術 – Near Field Communication. from http://media.iii.org.tw/itpd/itis/epaper/9503/9503_03.htm
- 王克先. (1987). *學習心理學*. 桂冠出版社.
- 台北文化建國. (2012). Swarm Intelligent 機器人群體智慧研討會. from http://www.pitotech.com.tw/show_party.php?pid=8&id=935
- 何炯德. (2013). *仿生微生系. de place design*: 何炯德.
- 吳冠穎. (2009). *互動設計輔助學習套件*.
- 孫駿榮, 吳明展, & 盧聰勇. (2010). *最簡單的互動設計 Arduino 一試就上手*. 基峰出版社.
- 莊志維. (2012). 靈魂的重量 Weight of the Soul. from <http://www.chuangchihwei.com/Weight of the Soul.html>
- 陳光大, & 林品章. (2007). *動力學造形的理論基礎及其在造形教育中的地位*. 設計學報第 12 卷第 2 期 2007 年 6 月.
- 黃子坤. (2009). 無線電力傳輸技術開發未來智慧生活產品計畫 *Ideastorming 98 年度國科會前瞻概念設計計畫成果專刊* (pp. 28).
- 葉謹睿. (2010). *互動設計概論*. 藝術家出版社.
- 趙英傑. (2013). *超圖解 Arduino 互動設計入門*. 旗標出版股份有限公司.

參考文獻

- 潘貞君, 林致廷, 吳文中, & 郭茂坤. (2010). 無線感測器-網路平台及應用. 科學發展 2010 年 3 月, 447 期.
- 鄭家凱. (2012). performance by behavior registry.

