

國立交通大學

電控工程研究所

碩士論文

實現自閉症孩童之互動式機器人教學系統

Realization of the Interactive Robotic Education System
for Autistic Children

研究生：蔡政宏

指導教授：徐保羅 博士

中華民國一百年七月

實現自閉症孩童之互動式機器人教學系統

Realization of the Interactive Robotic Education System

for Autistic Children

研究生：蔡政宏

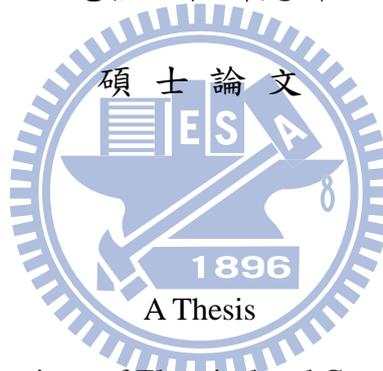
Student : Cheng-Hung Tsai

指導教授：徐保羅 教授

Advisor : Dr. Pau-Lo Hsu

國立交通大學

電控工程研究所



Submitted to Institute of Electrical and Control Engineering

College of Electrical Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master

in

Electrical and Control Engineering

July 2011

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百年七月

實現自閉症孩童之互動式機器人教學系統

研究生：蔡政宏

指導教授：徐保羅 博士

國立交通大學電控工程研究所

摘要

由於自閉症孩童的獨特缺陷，會造成特定的行為與情感問題，目前復健輔助教育的方法包括：遊戲、音樂與藝術等結構性教學。本研究有別於傳統靜態平面教學，透過簡易之網路攝影機，建立起人形機器人的介面，以影像處理技術，得到身體特徵點之姿態擷取；並使用低成本加速度感測器，以無線感測網路 ZigBee 回傳至電腦，搭配動態規劃演算法，以最長共同子序列演算法 (longest common subsequence; LCS) 獲得相似度的比率，完成動作辨識的效能。本研究結合遠端電腦核心的處理，機器人不須藉由人為的操控，完成自主式之無線感測系統。

透過整個無線感測整合系統，本研究所設計之軟硬體實現於建立人形機器人與自閉症孩童之間的(1)靜態互動教學、(2)伴隨互動教學、(3)動態互動教學之三項教學，搭配音效等回饋系統，建構起整個迴路互動教學；並將設計之三項教學實現在自閉症孩童的日常教學中。實地測試研究對象為三位自閉症孩童，分別為十二歲男童、十一歲男童與十一歲女童，經實地觀察後，適當調整動作辨識率之門檻值為 75%，並量化統計及做質性分析，整合實地測試的結果，由測試前後的差異性，經 Likert scale 彙整，得到此教學之可行性與自閉症孩童反應的評估。本研究成果驗證所設計之機器人回饋互動教學，能明顯的改善自閉症孩童的專注力與行為能力。

Realization of the Interactive Robotic Education System for Autistic Children

Student : Cheng-Hung Tsai

Advisor : Dr. Pau-Lo Hsu

Institute of Electrical Control Engineering

National Chiao-Tung University

ABSTRACT

Certain distinctive mental defects cause specific behaviors and emotional problems for autistic children. Recently, contemporary rehabilitation education for autistic kids mainly employs games, music, pictures, or virtual reality. In this study, the proposed approach is developed mainly on a humanoid robot interface to capture static gestures of the autistic children by applying image processing technologies. Furthermore, the system is integrated with data measured by the tri-axial accelerometer with the longest common subsequence (LCS) algorithm to determine their dynamic motion. Finally, the developed interactive system integrated with a ZigBee wireless system with a star topology network to communicate with a humanoid robot.

In this thesis, three types of interactive education programs are developed for autistic kids as: (1) the static education for autistic children to imitate the robot, (2) the accompanying education for the robot to imitate the autistic children, and (3) the dynamic education for the autistic children to present a repetitive swinging motion. There were three kids participated in the present experiments: a 12-year boy, an 11-year boy, and an 11-year girl with different levels of the autism. The threshold ratio of motion recognition is suitably adjusted to 75% during the evaluation. Moreover, the Likert scale is adopted to compare the difference between the data before the test and those after test for the kids. Through the experiments, feasibility of the present designed education system has been proven and the developed robotic interactive education system can significantly improve concentration and behavior capacity of autistic children.

誌 謝

首先要感謝我的指導教授徐保羅 博士在兩年研究生活中的耐心指導，每當研究遇到瓶頸與挫折時，能夠適時地找到正確出路，使我能順利的完成碩士學位。另外感謝口試委員楊立杰 博士、葉賜旭 博士、程于芳 博士對於本論文的指正，並給予寶貴的建議，使得本論文能更加完善。

感謝實驗室的學長、同學與學弟們：謝鎮洲學長、賴建良學長、黃煒生學長、許正忠學長、蕭任斌學長、施子強學長，平時給我的意見、指導與幫助，以及陳士文學長、廖子期學長、釗甫、軒正、思翰、志瀚、信佑、琮昇、春光、文新在學業上的相互切磋與指教，並能在遇到困境時，給予我意見。另外特別感謝釗甫、軒正在實驗室生活中，帶給我歡樂。在此獻上誠摯地感謝，感謝所有夥伴這兩年在 Lab 816 給我的美好回憶。

最後要感謝關心我的家人，使我能夠心無旁騖地完成學業，以及感謝我身邊所有的朋友，有你們在身旁的支持與關懷，才能以樂觀進取的心，順利地完成碩士學位。

目 錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
誌 謝.....	iii
目 錄.....	iv
圖 目 錄.....	vii
表 目 錄.....	x
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究背景與發展現況.....	2
1.3 問題陳述.....	3
1.4 研究方法.....	3
1.5 論文架構.....	5
第二章 互動教學工具與網路系統架構.....	6
2.1 人形機器人.....	6
2.2 硬體與網路通訊架構.....	8
2.2.1 Jennic JN5121 Wireless Microcontroller.....	8
2.2.2 ZigBee 無線通訊.....	9

2.3 感測器.....	13
2.3.1 網路攝影機.....	13
2.3.2 加速度計.....	13
2.4 回饋互動裝置	17
第三章 整合感測器於上肢姿態擷取與動作追蹤	19
3.1 影像處理.....	19
3.1.1 色彩辨識.....	21
3.1.2 手臂相對距離與角度	24
3.2 動態規劃.....	26
3.3 實驗結果與討論	30
3.3.1 影像擷取手臂垂直角度	30
3.3.2 影像擷取手臂水平角度	32
3.3.3 三軸加速度計共同子序列計算	34
第四章 建立人形機器人與自閉症孩童之互動教學	41
4.1 靜態互動教學(人模仿機器人之靜態姿勢).....	41
4.2 伴隨互動教學(機器人模仿人之手臂動作).....	45
4.3 動態互動教學(人模仿機器人之重複擺動動作).....	50
4.4 小結.....	53

第五章 實地測試結果與效能評估分析	54
5.1 研究對象.....	54
5.2 教學介入程序	55
5.3 評估辦法.....	60
5.4 評估資料蒐集	61
5.5 數據分析與小結	64
第六章 結論與未來發展	66
6.1 結論.....	66
6.2 未來發展.....	67
參考文獻.....	68
附錄一：家長同意書	72
附錄二：實地測試前問卷	73
附錄三：實地測試評估表	74

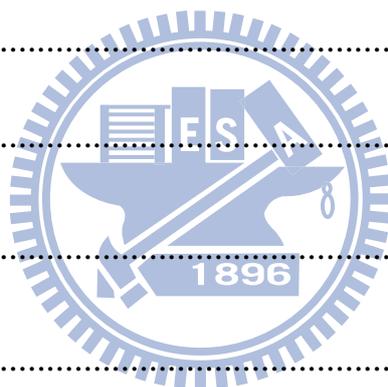


圖 目 錄

圖 1-1 迴路互動教學圖	4
圖 2-1 實驗架構	6
圖 2-2 Bioloid Premium Kit.....	6
圖 2-3 CM-510 控制器	7
圖 2-4 RoboPlus 人性化程式介面.....	7
圖 2-5 CM-510 通訊設備.....	7
圖 2-6 CM-510 命令封包格式.....	8
圖 2-7 Jennic JN5121 微控制器.....	8
圖 2-8 JN5121 周邊介面.....	9
圖 2-9 ZigBee 網路拓樸架構.....	10
圖 2-10 ZigBee 網路建立流程.....	11
圖 2-11 Coordinator 至 End Device 之資料傳送.....	12
圖 2-12 網路攝影機	13
圖 2-13 基本的彈簧質量系統 (a) 無加速度 (b) 有加速度.....	14
圖 2-14 ADXL335 三軸加速度計模組外觀.....	15
圖 2-15 加速度感測元件 ADXL335 功能元件圖	15
圖 2-16 三軸加速度計相對重力之數值.....	16
圖 2-17 三軸加速度值	17
圖 2-18 微型震動馬達	17
圖 3-1 PC 程式介面	19
圖 3-2 目標區域定義	20
圖 3-3 影像處理流程	20
圖 3-4 $YCbCr$ 處理影像結果	21
圖 3-5 侵蝕運算	22
圖 3-6 擴張運算	23
圖 3-7 在二值化影像中貼標籤	23
圖 3-8 氣泡排序法範例(排序 11、4、8、7).....	24
圖 3-9 手臂資訊分解	24
圖 3-10 手臂紅色標記的擷取	25
圖 3-11 量測水平角度步驟	25

圖 3-12 卦限與三軸加速度值對應座標	26
圖 3-13 三軸加速度計轉換至一維狀態空間	27
圖 3-14 兩個 LCS 運算範例	28
圖 3-15 手臂張開的上下擺動	29
圖 3-16 手臂向前的上下擺動	29
圖 3-17 測試垂直角度實驗工具	30
圖 3-18 影像擷取三種垂直角度數據	31
圖 3-19 實際測試手臂垂直移動角度數據	32
圖 3-20 測試水平角度實驗工具(轉動 45 度).....	32
圖 3-21 影像擷取三種水平角度數據	33
圖 3-22 實際測試手臂水平移動角度數據	34
圖 3-23 手臂張開上下擺動示意圖	35
圖 3-24 擺動較快之情況(量測數列約為 11221122，頻率約 2.5 Hz)	35
圖 3-25 擺動較慢之情況(量測數列約為 11112222，頻率約 1.25 Hz)	36
圖 3-26 手臂向前上下擺動示意圖	37
圖 3-27 擺動較快之情況(量測數列約為 44334433，頻率約 2.5 Hz).....	38
圖 3-28 擺動較慢之情況(量測數列約為 44443333，頻率約 1.25 Hz).....	39
圖 4-1 孩童與機器人靜態互動教學之動作流程	42
圖 4-2 12 種人形機器人動作樣本與口語姿勢名稱	43
圖 4-3 靜態互動教學完整流程	44
圖 4-4 動作正確情況	45
圖 4-5 動作錯誤情況	45
圖 4-6 人形機器人手臂馬達位置	46
圖 4-7 ID1 馬達轉動角度對應位置命令	47
圖 4-8 ID3 馬達轉動角度對應位置命令	47
圖 4-9 伴隨互動教學完整流程	49
圖 4-10 動作正確情況	50
圖 4-11 動作錯誤情況	50
圖 4-12 動態互動教學完整流程	52
圖 5-1 影像標記由四點改為兩點	56
圖 5-2 三位受試者初始化過程	57
圖 5-3 主教者帶領孩童模仿人形機器人	57
圖 5-4 三位受試者靜態教學實際測試過程	58

圖 5-5 三位受試者操控機器人過程 59

圖 5-6 左右擺動過程 60

圖 5-7 上下擺動過程 60



表 目 錄

表 2-1 Coordinator 發送請求命令	12
表 2-2 終端設備回傳資料之訊息代碼	13
表 2-3 JN5121 ADC 模組之類比與數位比例.....	16
表 3-1 三種量測垂直角度之實際值與量測範圍	31
表 3-2 三種量測水平角度之實際值與量測範圍	34
表 3-3 193 筆序列比對之比較(手臂張開擺動).....	37
表 3-4 193 筆序列比對之比較(手臂向前擺動).....	40
表 5-1 三位受試者的基本資料	55
表 5-2 受試者平日老師指導之行為能力評分	61
表 5-3 受試者測試前平日的專注力評分	62
表 5-4 受試者教學中機器人指導之行為能力評分	62
表 5-5 三位受試者教學中之專注力評分	63



第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

由於自閉症孩童(Autistic children)在目前時代進步的生活中，依國際上的研究資料，其發病率已高達 1/150[1]，其中也包括亞斯伯格症(Asperger Syndrome, AS)與雷特症(Rett Syndrome, RS)，其發病主因神經心理功能異常所導致的一種發育障礙；自閉症孩童又亦被稱為「星星的孩子」，在日常生活中常常有不喜歡與人互動及不尋常的重複行為等等，其中以社會性模仿行為、視覺接觸與固著的專注力缺陷影響了許多正常發展的面向，包括社交、語言、情感、認知等。由於自閉症孩童的人數比例逐年地增加，且愈是重度的自閉症患者，常會被誤認為智障，因此針對自閉症孩童相對應的教育必有其重要性。

目前有許多專家指出，年紀愈輕，症狀愈容易被發現也愈加輕微，且愈容易改善，有鑑於此，近年來，協助自閉症孩童改善症狀的技術層出不窮，包括靜態圖片、3D 影像與虛擬實境等虛擬的素材；也有利用機器人學習自閉症孩童的行為，建立一套遊戲，藉以與自閉症孩童有更多的互動，種種的復健教育方法，皆希望年齡愈小，其改善的效果能愈加顯著。

本研究專注探討如何改善自閉症孩童的自發性眼神注視、提高社會性行為的模仿意願與改善個人行為能力，並發展不同於目前已有的復健方法，致力於研究以自閉症孩童與人形機器人之間的相互模仿，建立起一套以人形機器人介面(Humanoid Robot Interface; HRI)為主的互動教學，並透過無線感測網路 ZigBee 的連結，搭配誘發性的學習環境，達成學習復健之回饋系統的功能，希望藉此回饋互動教學，以人形機器人為媒介，訓練自閉症孩童之模仿能力與專注力，提升學習的動機，來促進與人之間的互動。

1.2 研究背景與發展現況

目前有許多針對自閉症孩童於遊戲中介入模仿行為的研究[2]-[5]，正方興未艾，因為模仿能力對於所有孩童都是與生俱來的能力，並為早期發展的關鍵。研究也指出模仿能力可能是發展社會性互動與語言溝通的基礎[6][7]，故模仿能力是一個可分辨自閉症孩童互動缺陷的指標[8]，傳統上發展出許多靜態圖卡、一對一教學直到現今發展了動畫、電腦教學與虛擬實境的方式[9][10]，來協助自閉症孩童的復健，皆各有其優缺點。

除了上述較為靜態的教學方式，機器人對自閉症孩子的復健研究，近年來也更被探討，如南加大以一輪型機器人來協助自閉症孩童的行為 [11]，Robins et al [12]-[16]更提出自閉症孩童與社會互動的困難，輔以機器人為中介，做改善的探討；Kozima et al 亦探討了玩具機器人與自閉症孩童互動之一系列研究的具體成效[17][18]；而 Lund et al 亦提出以模組式機器人對於復健之效果[19]。基本上，相關的研究報告均指出機器人能提升自閉症孩子的注意力，在互動上，也有許多改進的成果。因此，近來有關與人形機器人互動的相關研究，正不斷發展；不過，在目前所看到應用於自閉症探討的機器人，其運動能力一般皆不夠靈活；而在互動能力上，亦欠缺有效的無線感測裝置，因而有許多改善的空間。

目前無線感測姿態擷取的應用，十分廣泛，包含視覺式之影像處理技術與非視覺式的加速度計、陀螺儀、磁力計等等，但由於人體的自由度豐富，姿態辨識上可以有許多不同的應用，一般非視覺式的感測器擷取多個動作資訊分析人體的動作[20]-[23]，主要應用於生理資訊的判斷等應用；也有許多以視覺式攝影機擷取人體特徵[24]，如以影像辨識手勢遙控音樂的應用[25]，甚至是設計一套電腦動畫辨識自閉症孩童手掌的遊戲等應用[5]，無論是視覺式或非視覺式的感測器，應用於遊戲、機器人控制、復健或教學等，皆是十分多樣化的。

1.3 問題陳述

感測器與人機介面於整個回饋互動教學上，扮演著重要的角色，所需解決的問題如下：

1. 自閉症孩童姿態感測之訊號處理與姿勢判斷：

為了讓整個教學中，能夠得知自閉症孩童的姿態，需要使用各種不同的感測器，要如何取得並分析感測器資訊，並加以改善感測器的準確性，整合起所有動作資訊來得知目前姿態的變化，須建立一套完整的系統架構，使其能整合感測器的資訊，來評估整個姿態的轉變，進而發展各項應用；而且，有別於人為判斷姿勢，利用多個感測資訊，設計判斷姿態的規則，將讓整個系統更加完善，因此本論文第一部分的研究重點在於：

- (a) 感測器資訊即時性之處理與動作的判斷。
- (b) 為了整體活動性，建立起無線感測網路架構。

2. 回饋互動教學的建立與教學可行性評估：

目前實際配戴於自閉症孩童身上的教學仍未廣泛，而且要自閉症孩童正確的模仿必須讓其注視到機器人的動作，且自身有動機去模仿，所以機器人與人機介面如何確實的吸引自閉症孩童的注意，製造出一個適當的學習環境，以及如何簡化感測器，容易配戴，設計的教學能否完整的呈現，將是本研究最主要探討的問題之一；另外，教學建立後，如何評估所建立的教學是可行的，且該如何評量測試後的效果，須建立一套流程。綜合以上所述，本論文下一步探討的研究重點在於：

- (a) 設計一套適合自閉症孩童之學習環境與具有回饋互動的教學。
- (b) 針對所設計的教學，應用適當的評估系統來獲得其可行性與效能。

1.4 研究方法

本論文以人形機器人充當社會中間人，注重於人形機器人與自閉症孩童之間的姿態感測迴路與互動教學上，有別於一般的圖卡、影像與電腦動畫較為單調且缺乏回應的缺點，本研究藉由人形機器人的動作與聲音，吸引自閉症孩童的注意，以提升專注力與模仿行為能力，如圖 1-1 所示。

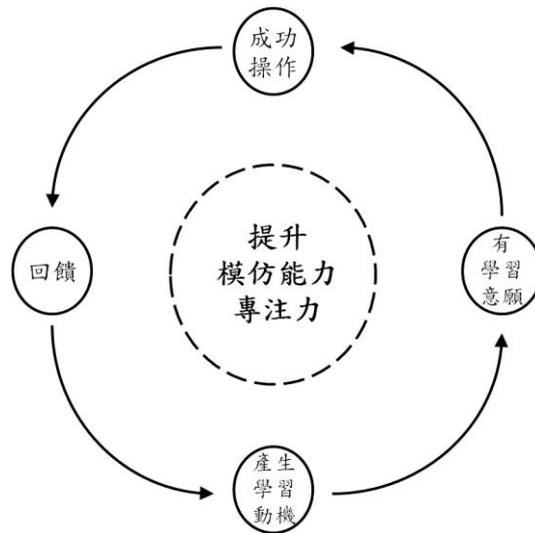


圖 1-1 迴路互動教學圖

1. 自閉症孩童姿態感測之訊號處理與姿勢判斷：

感測器主要分為網路攝影機與三軸加速度計，以電腦為核心，首先以影像處理建立起靜態姿勢的擷取，得到身上的數個特徵點，並以這些相對特徵點座標，計算上肢的手臂資訊；另外以三軸加速度計透過 Jennic 微控制器處理，並以 ZigBee 無線網路建立起星狀拓樸網路架構，與電腦溝通，本研究亦參考了 D.S. Hirschberg 所提出的最長共同子序列 (LCS) 演算法 [26]，藉由一連串的動作序列，得到動作相似度的比率，完成動態辨識的功能。並整合此兩種感測器，將姿勢的判斷應用在回饋互動教學中。

2. 回饋互動教學的建立與教學可行性之評估：

建立三種迴路教學，(1)靜態互動教學、(2)伴隨互動教學、(3)動態互動教學，主要分為人形機器人示範幾個大幅度的動作配合音效，吸引自閉症孩童注意，並製造學習環境，使其模仿機器人動作；以及由自閉症孩童做動作，帶領著人形機器人做動作，建立起雙向的關係，相互模仿可提升正面情感，並可降低刺激，讓自閉症孩童逐步接納外界的人、事、物；另外，將測試後的資料彙整，以數據來驗證此設計之教學的可行性且評估介入自閉症孩童教學之前後差異性。

1.5 論文架構

本論文共分六章，第一章旨在簡述研究動機、目的與背景，並陳述所要解決的問題與研究之方法。第二章介紹整個教學的平台，並說明整體系統架構，包含所使用的硬體元件規格、感測器元件、連接方式，以及無線感測網路的建立。第三章描述如何以感測器得到手臂的姿態訊息，分別為依照影像處理技術完成靜態姿態擷取，以及利用動態規劃達到動作追蹤的目的。第四章述說三種人形機器人與自閉症孩童迴路互動教學的建立。第五章為將第四章所建立之教學，實際由三位自閉症孩童做測試，透過評估辦法，驗證教學之可行性以及得到此教學對自閉症孩童的影響。第六章對本論文做一個結論，並提出未來可再發展之方向。



第二章 互動教學工具與網路系統架構

本研究以 PC-based 為核心，整合感測、通訊與人形機器人，實驗架構如圖 2-1 所示。

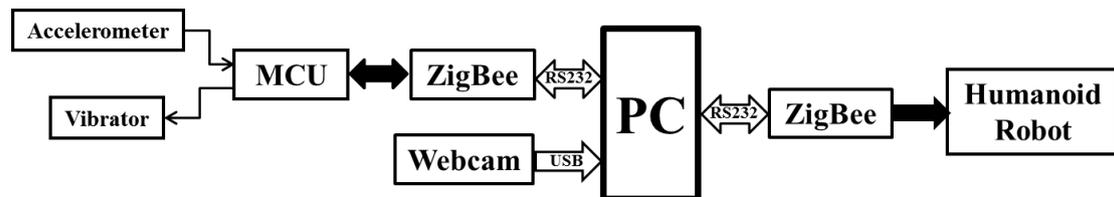


圖 2-1 實驗架構

2.1 人形機器人

本系統所使用的機器人，為 ROBOTIS 公司所出產之人形機器人 Bioloid Premium Kit 如圖 2-2 所示，高約 40 公分，寬約 22 公分，共有 18 顆 AX-12 馬達，自由度豐富，且以其控制器 CM-510(圖 2-3)與人性化軟體 RoboPlus(圖 2-4)設計教學動作，動作設計十分便利。

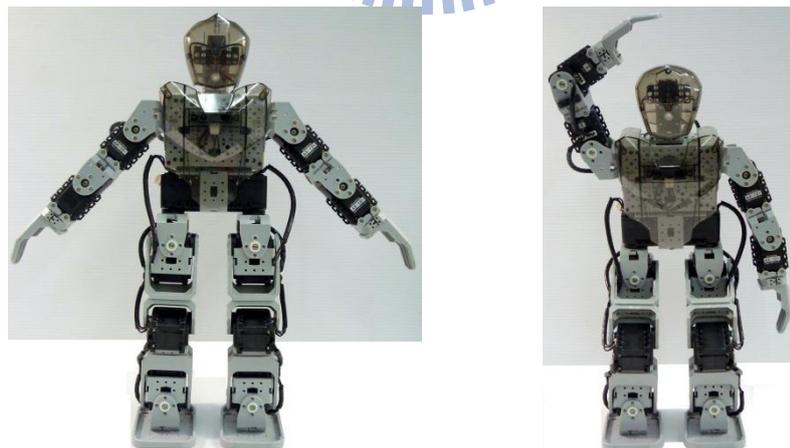
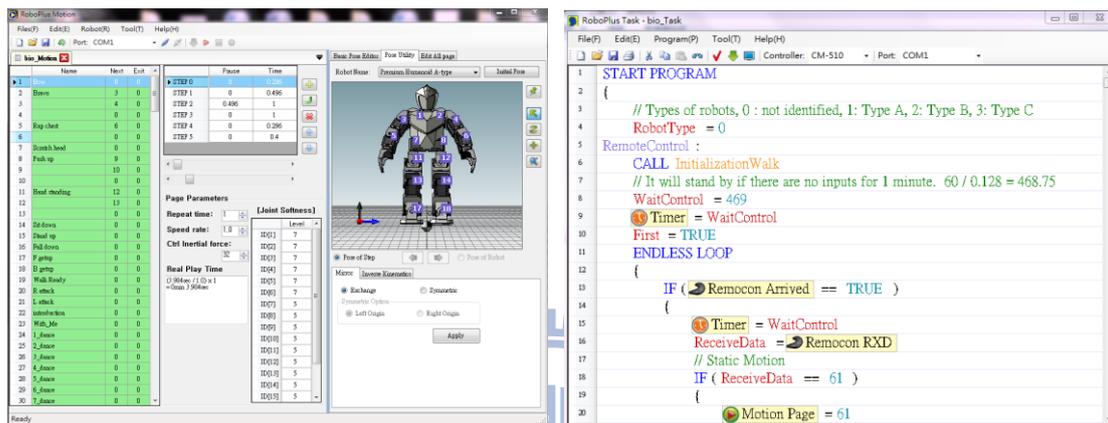


圖 2-2 Bioloid Premium Kit



圖 2-3 CM-510 控制器



(a) RoboPlus Motion

(b) RoboPlus Task

圖 2-4 RoboPlus 人性化程式介面

另於控制器上之通訊設備連接埠，透過串列電纜線(圖 2-5a)連接電腦或以無線 ZigBee 網路設備 ZIG-110(圖 2-5b)裝至人形機器人上，ZIG-100(圖 2-5c)連接電腦，從電腦端藉由有線或無線傳輸自行開發程式操控人形機器人。



(a) Serial Cable



(b) ZIG-110



(c) ZIG-100

圖 2-5 CM-510 通訊設備

由上列敘述可知，如何以電腦控制人形機器人，而透過電腦發送給控制器的命令封包格式如圖 2-6 所示。0xFF 與 0x55 為一個封包的標頭檔，其值為固定，控制器所接收的命令為 0 ~ 65535(0x0000 ~ 0xFFFF)，並拆成 low byte 與

high byte，分別放入第三與第五個 byte，另外為了驗證資料的正確性，將第四與第六個 byte 取第三與第五個 byte 的反向做為檢查，當控制器接收到由電腦端所發送的數值，便可對應至控制器內部所設定的動作，成功操控機器人。

1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte	1Byte
0xFF	0x55	Low	~Low	High	~High

圖 2-6 CM-510 命令封包格式

2.2 硬體與網路通訊架構

本論文採用英商 Jennic 公司所研發的 JN5121 wireless microcontroller 做為控制介面，是世界上第一顆整合 RF 與 MCU 之 SOC 架構的低功耗 802.15.4 / ZigBee 晶片，如圖 2-7 所示。以下分別針對微控制器的周邊介面與 ZigBee 無線通訊作介紹。

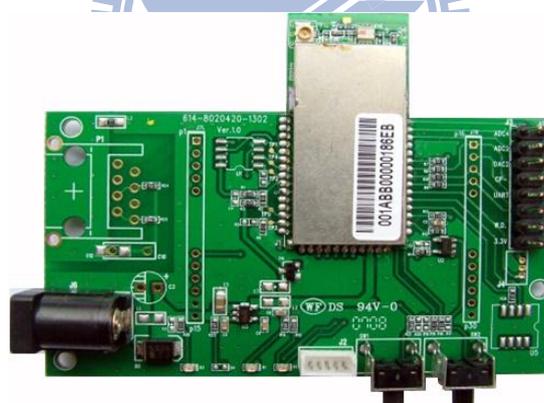


圖 2-7 Jennic JN5121 微控制器

2.2.1 Jennic JN5121 Wireless Microcontroller

JN5121 微控制器擁有 16 MHz 的處理能力，其核心採用 32 位元定點運算，記憶體容量方面，JN5121 擁有 64K ROM 與 96K RAM，且提供豐富的周邊擴充介面(圖 2-8)，如下所示：

- 兩組 UARTs
- 兩組可程式化 Timer/Counters

- 兩組可程式化 Sleep Timers 與一組 Tick Timer
- 兩組串列介面 (與 SMBus 及 I²C 相容)
- Slave SPI port (與 digital I/O 共用)
- 21 個數位 I/O lines (與 UARTs, timers 以及 SPI 共用)
- 四組 12-bit, 100Kbps 類比/數位轉換器
- 兩組 11-bit 數位/類比轉換器
- 可程式化比較器

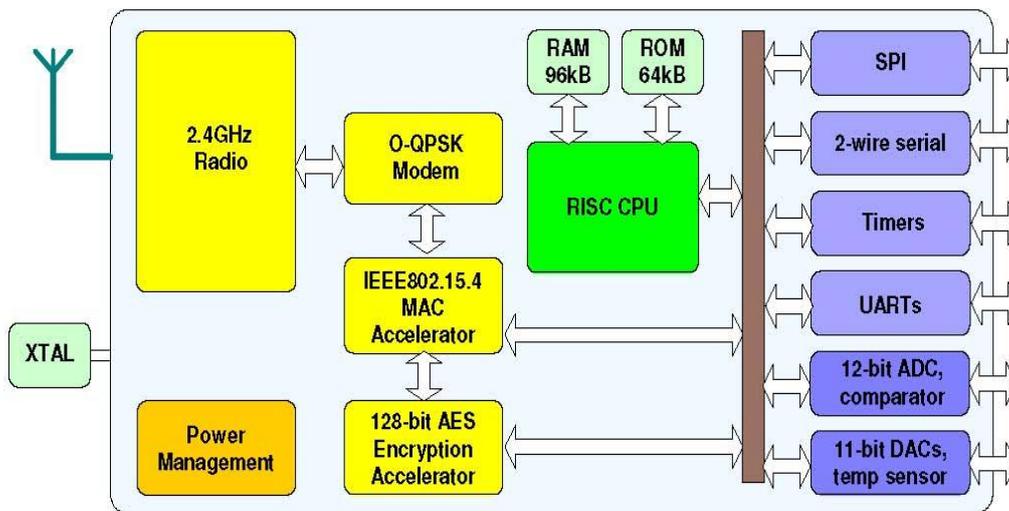


圖 2-8 JN5121 周邊介面

2.2.2 ZigBee 無線通訊

■ IEEE 802.15.4/ZigBee 概述

IEEE 802.15.4/ZigBee 的命名，源自於蜜蜂在發現花粉時，展現如同 Zigzag (Z 字形) 形狀的舞蹈，並與 Bee (蜜蜂)，合成為 ZigBee，形象地表述了 ZigBee 產品是像蜜蜂一樣小而敏捷；是一種相當先進新穎的短距離傳輸技術標準，由家用無線通訊規格 HomeRF 聯盟中所分出來的技術，IEEE 802.15.4 所定義的低傳輸速率之無線個人區域網路，是一種網路結構簡單且低價格的通訊網路，適合在電力供應有限且只需簡單運算之應用的裝置中實現，其主要的特色在於低傳輸速率(250 Kbps)、短距離傳輸(一般約為 50-100m，依耗電量的不同，可提升至 300m)、可靠的資料傳輸、低耗電量、價格低廉及容易安裝；另外，JN5121

內置天線且有一個電源放大器和低雜訊放大器(low noise amplifier; LNA)可以加大通訊距離。

■ ZigBee 架構

IEEE 802.15.4 實體層 (PHY) 採用 direct sequence spread spectrum (DSSS) 技術，這 DSSS 技術主要的優點在於可以降低類比電路在開發上的複雜度與成本，其傳輸速率介於 250 Kbps 至 20 Kbps 之間，目前制定的頻段為全球的 2.4 GHz ISM 頻段、美國的 915 MHz 頻段以及歐洲的 868 MHz 頻段；在 2.4 GHz ISM 頻段中，可使用的通道數為 16 個；在 915 MHz ISM 頻段中，可使用的通道數為 10 個；在 868 MHz 頻段中，可使用的通道數為 1 個。ZigBee 支援主從式或點對點方式運作，理想上在同一網路上，可以存在 65536 個 ZigBee 裝置連結。

在網路層中，ZigBee 定義了三種角色，第一個是網路協調者(WPAN Coordinator)，負責網路的建立以及網路位置的分配；第二個是路由器(Router)，主要負責找尋、建立、修復資料封包路由路徑，並負責轉送資料封包，同時也具有網路位置分配的能力；最後一個是末端裝置(End Device)，只能選擇加入別人已經形成的網路，可以收送資料，但不能幫忙轉送封包。圖 2-9 為 ZigBee 網路拓樸架構。

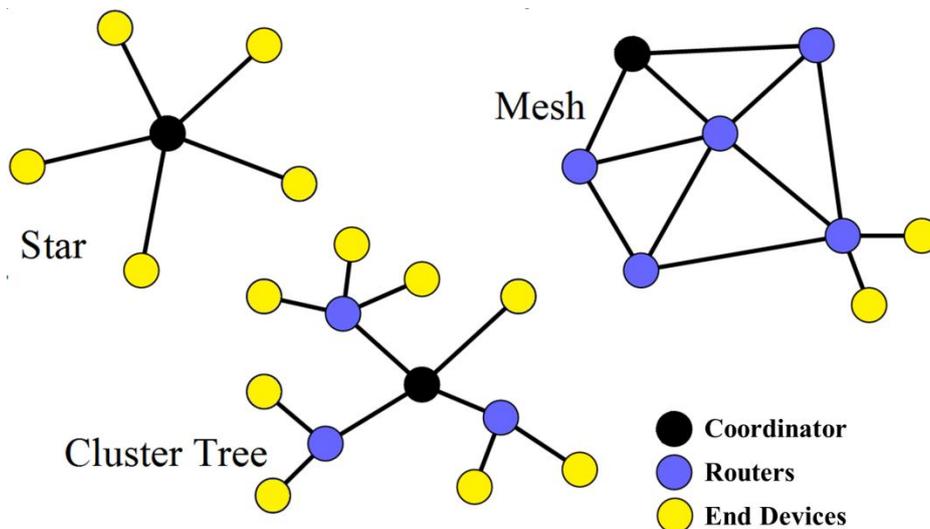


圖 2-9 ZigBee 網路拓樸架構

■ ZigBee 網路的建立

本研究在 ZigBee 的網路拓樸架構上，決定採用星狀拓樸的方式，主要將手臂上三軸加速度計視為星狀拓樸中之終端設備，電腦端視為網路協調者，整個網路的建立過程如圖 2-10 所示。

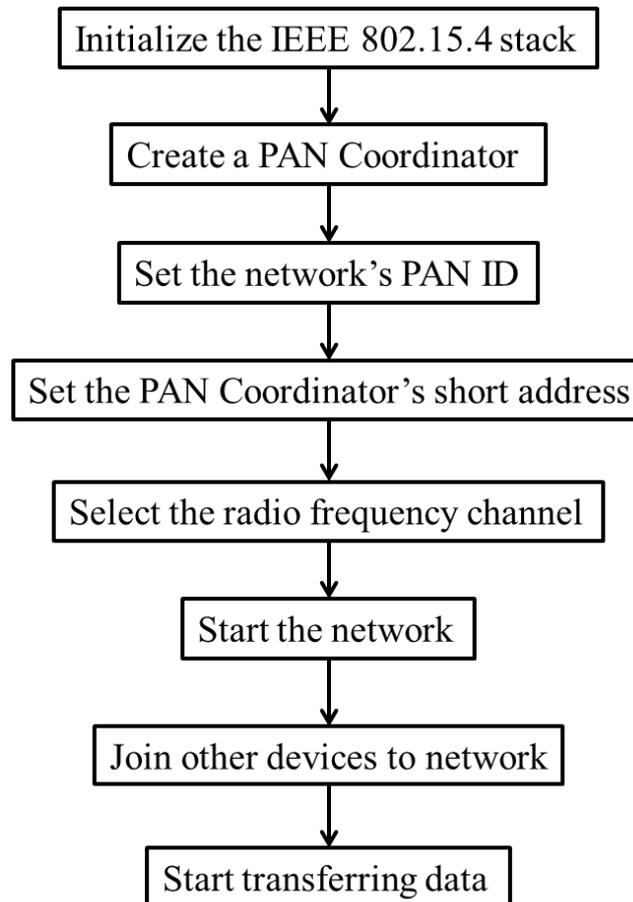


圖 2-10 ZigBee 網路建立流程

網路建立流程先由電腦端的網路協調者(Coordinator)，偵測其他網路的 ID 來選擇不會衝突的 ID，來建立一個 PAN ID 作為網路的標籤，並且預先設定一組 16 位元的網路位址，接著協調者必須選擇一個網路所建立的射頻頻率通道，協調者可以藉由一次的能量掃描來找到一個不受干擾的通道；協調者設定完成後，便啟動網路，將開放加入此網路的請求，當網路中的其他網路設備進行頻道掃描，便在特定的頻率通道中，發送信標請求，當協調者檢測到信標請求後，

並決定是否具有足夠的資源接受新的設備，一旦接受了新的設備，協調者將發送一組 16 位元的短位址給設備，作為設備在網路中的標識；且當有新的設備要加入，16 位元的短位址將自動加 1，形成新的標識。

■ 設備間的傳輸：

- a. Coordinator 向 End Device 傳輸資料，有兩種方法可以實現，分別為直接傳輸與間接傳輸，如圖 2-11 所示，本論文之終端設備皆不處於休眠狀態，故採用直接傳輸方式來傳送資料予終端設備。

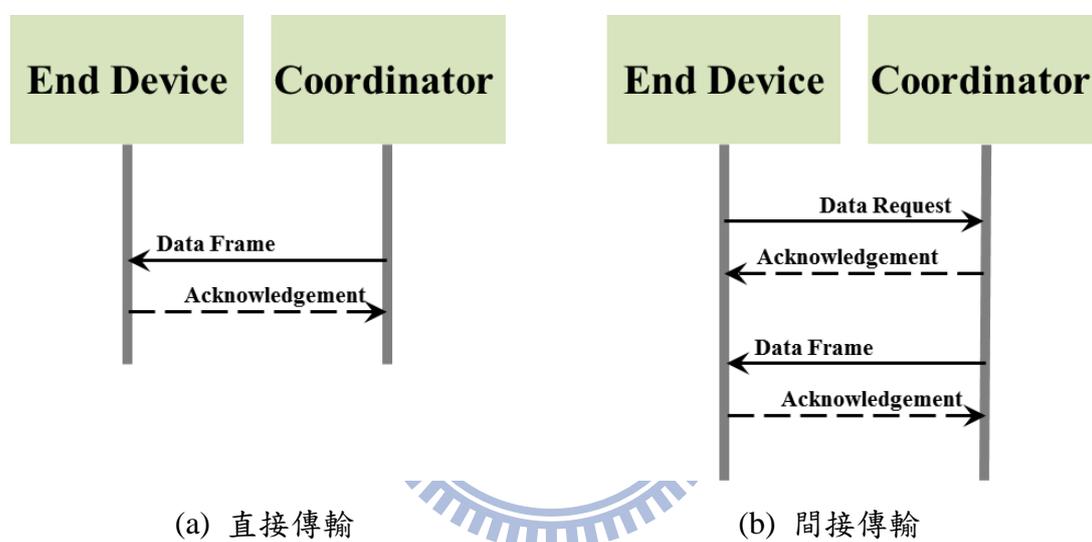


圖 2-11 Coordinator 至 End Device 之資料傳送

- b. End Device 向 Coordinator 傳輸資料，通常直接發送資料，Coordinator 接收到資料後發送確認消息。

■ 無線通訊封包協定

當終端設備收到協調者傳送的發送請求，見表 2-1 所示，將不斷傳送三軸分別加速度值於協調者並轉送至電腦端。

表 2-1 Coordinator 發送請求命令

	Header	封包2
開始傳送	0x44	1
停止傳送	0x44	0

手臂上各自之終端設備，收到開始傳送之命令，便將處理後的訊號，由表 2-2 之封包格式傳至協調者並轉送至電腦端，如此可由資料間的無線傳輸，提升教學之活動性。

表 2-2 終端設備回傳資料之訊息代碼

	Header	封包2	封包3	封包4	封包5	封包6	封包7
1st	0xff	X1_High	X1_Low	Y1_High	Y1_Low	Z1_High	Z1_Low
2nd	0xdd	X2_High	X2_Low	Y2_High	Y2_Low	Z2_High	Z2_Low

2.3 感測器

2.3.1 網路攝影機

系統中以羅技網路攝影機 C160(圖 2-12)連接電腦，以完成人體姿態的擷取，原始影像大小為 640×480，透過 USB2.0 介面將原始影像傳輸至電腦上的影像緩衝區，本論文所選擇之影像解析度為 160×120；另外，為確保顯示介面與實際的水平方向相同，必須手動設定水平鏡像選項，讓攝影機的水平方向與實際相同；且鏡頭需保持 1.5 公尺的距離，以保持上半身的入鏡。



圖 2-12 網路攝影機

2.3.2 加速度計

■ 加速度計原理

加速度計的原理是結合牛頓的質量加速定律和虎克的彈簧動作定律[27]。牛頓定律：如果有一個力量 F 作用於一個質量 m 上，則該質量會有加速度 a ，意即 $F = ma$ 。虎克定律：如果有一個力量 F 作用於一個彈性係數為 k 的彈簧上，

則該彈簧會伸長距離 Δx ，表示為 $F = k\Delta x$ 。

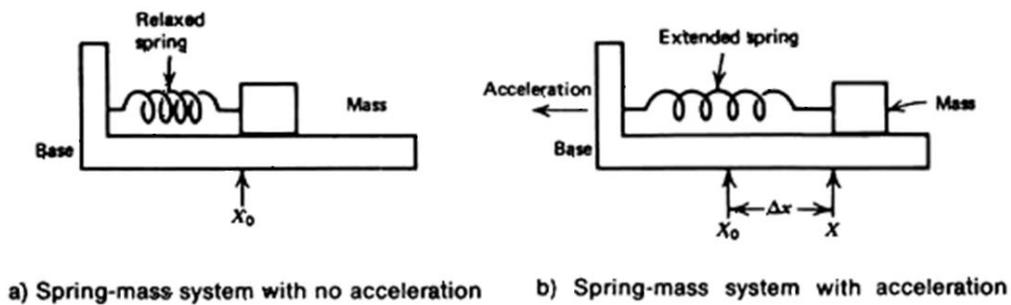


圖 2-13 基本的彈簧質量系統 (a) 無加速度 (b) 有加速度

在圖 2-13 (a)中有一個彈簧質量系統，彈簧位於未延伸狀態。在圖 2-13 (b)中，系統向左進行加速，而彈簧延伸以提供將質量加速所需的力量。這種情形可以用牛頓定律和虎克定律來加以描述：

$$ma = k\Delta x \quad (2-1)$$

其中 k 為彈性係數 (spring constant)， Δx 為彈簧延伸距離， m 為質量， a 為該質量的加速度。式(2-1)可以整合為：

$$a = \frac{k}{m}\Delta x \quad (2-2)$$

意即將加速度的測量轉變為彈簧延伸距離的度量，這種方法稱為試驗質量 (test mass) 或振盪質量 (seismic mass)。

■ ADXL335

本研究所使用的加速度計為 ANALOG DEVICES 公司所研發之 ADXL335 三軸加速度計模組(圖 2-14)。加速度計 ADXL335 是一個可以量測三軸加速度的整合模組，其中包含一穩壓裝置用以提供電源，可由 ANALOG DEVICES 網站 [28]中參考簡單的功能元件圖如圖 2-15 所示。



圖 2-14 ADXL335 三軸加速度計模組外觀

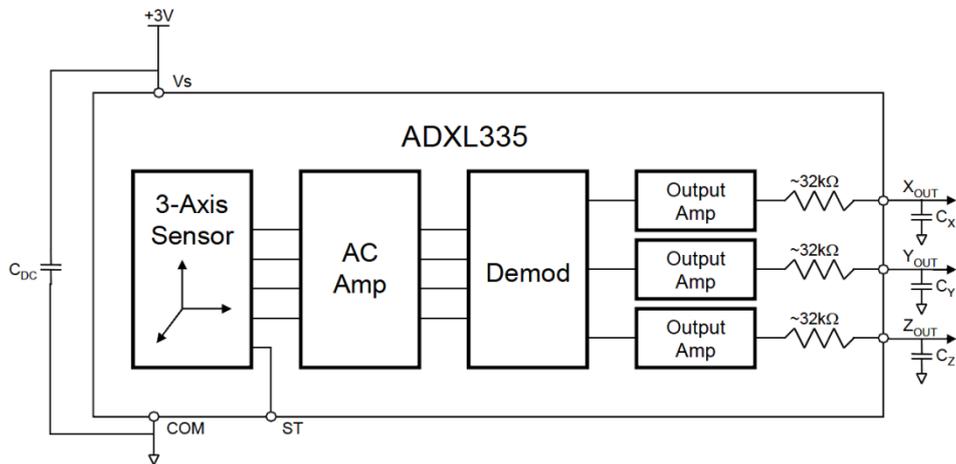


圖 2-15 加速度感測元件 ADXL335 功能元件圖

ADXL 335 三軸加速度計模組的硬體規格：

- 可偵測自由落體(free-fall)。
- 操作溫度： $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 。
- 量測範圍： $\pm 3\text{G}$ 。
- 非線性度： $\pm 0.3\%$ 。

ADXL335 輸出為類比訊號，將透過 Jennic JN5121 類比轉數位模組來得到數位訊號，由於 ADC 模組轉換數位的比例不盡相同，且 JN5121 的 ADC 模組支援輸入 $0\text{V} \sim 2.4\text{V}$ ，故在此輸入電壓 0.2V ，以每間隔 0.2V 累加至 2.2V ，得到一連串的數位值，並將數位值除以輸入的電壓，取其平均，得到 ADC 比例為 1720.98 ，取其整數為 1721 ，見表 2-3，透過此 ADC 比例，將 MCU 得到的數值轉換至實際的電壓值，並由 ZigBee 無線網路傳輸至電腦處理。

表 2-3 JN5121 ADC 模組之類比與數位比例

輸入電壓	數位值	數位值/輸入電壓
0.2	344	1720.00
0.4	689	1722.50
0.6	1033	1721.67
0.8	1376	1720.00
1.0	1721	1721.00
1.2	2064	1720.00
1.4	2411	1722.14
1.6	2753	1720.63
1.8	3096	1720.00
2.0	3442	1721.00
2.2	3788	1721.82

1720.98 ← 平均

由圖 2-16 可知加速度計在部分位置所得到的加速度值，轉換為與地面 G 值相對的數值，而 ADXL335 在標準輸入電壓 3V 時，0G 的電壓值為 1.5V 且每增加 1G，ADXL335 電壓將增加 0.3V 呈線性比例；因此，由式(2-3)可得到 X、Y、Z 三軸與地面 G 值相對的加速度值，實際擺動三軸加速度計之相對地面的三軸加速度值如圖 2-17 所示。

$$\text{相對加速度值} = \frac{\text{"輸出電壓值"} / 1721 - 1.5V}{0.3} \quad (2-3)$$

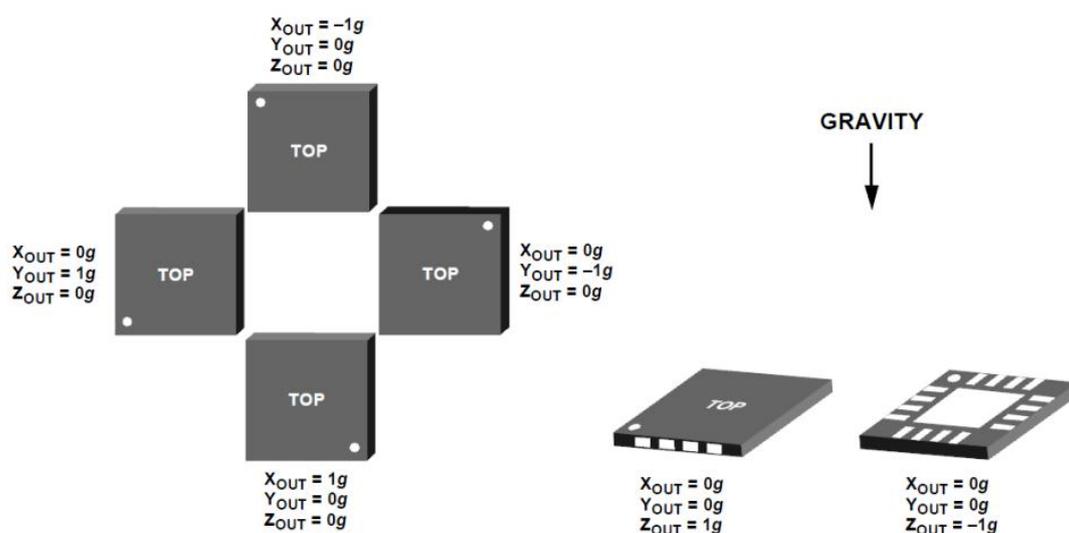


圖 2-16 三軸加速度計相對重力之數值

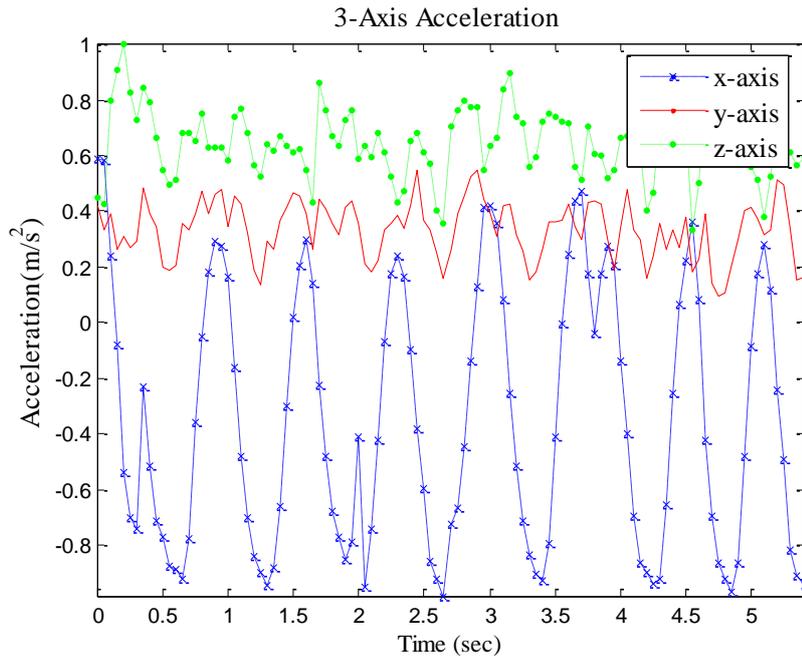
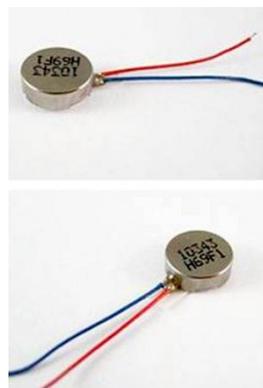


圖 2-17 三軸加速度值

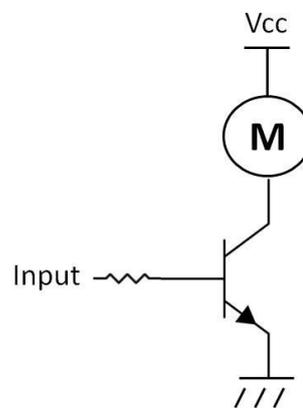
2.4 回饋互動裝置

■ 微型震動馬達

如圖 2-18(a)所示，為手機裡專用的扁平式震動馬達，額定電流為 $90mA$ ，由於一般微控制器的數位輸入輸出(Digital I/O)電流過小，無法驅動馬達，故在此加入圖 2-18(b)之電流放大電路，由 BJT 與電阻組成，做到近似開關的電路，以獲得更大的電流以驅動震動馬達。



(a) 震動馬達



(b) 電流放大電路

圖 2-18 微型震動馬達

■ 音效與機器人回應

教學過程中，製造學習的環境是十分重要的，故教學中，將藉由 Borland C++ Builder 所提供之多媒體播放函式庫，播放適當的音效，給予鼓勵與提示，並在教學結束後，設計機器人鼓勵的動作，可以更加吸引注意，讓整個教學能更加完善與有趣。



第三章 整合感測器於上肢姿態擷取與動作追蹤

本章將針對手臂之偵測，運用多個感測器，透過影像處理與三軸加速度計動態規劃技術方法，完成上肢姿態擷取與動作追蹤技術，進而發展各項應用。

3.1 影像處理

本研究之影像處理於一台電腦上執行，所使用的程式為 Borland 公司所開發的 C++ Builder 6 所撰寫而成，程式介面如圖 3-1 所示。在影像處理技術方面，需要針對所要的目標區域進行擷取，而所選擇的目標物為手臂上之紅色手套與肩上的紅色布條，如圖 3-2，以此四點紅色區域進行辨識，有別於複雜的背景濾除影像處理技術，以增加處理的效率，目標區域偵測處理程式流程如圖 3-3，計分為五處依序為：(1)色彩判斷、(2)侵蝕運算、(3)擴張運算、(4)標籤化、(5)氣泡排序法得到最後雙手位置的判斷，本節將依序介紹各處理區塊。

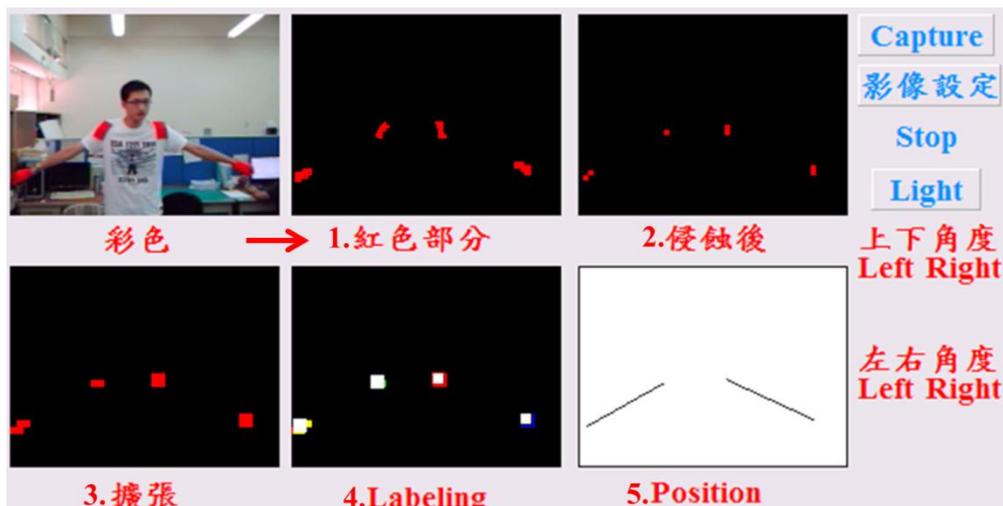


圖 3-1 PC 程式介面

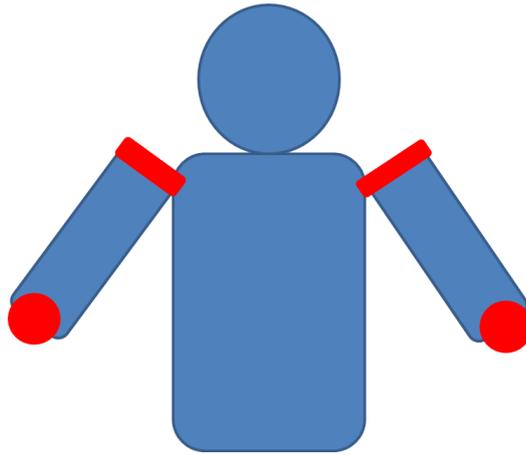


圖 3-2 目標區域定義

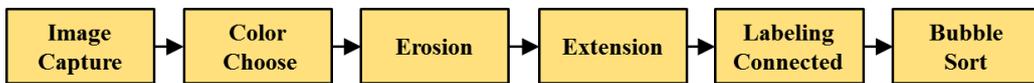


圖 3-3 影像處理流程

■ $YCbCr$ 格式轉換：

擷取羅技網路攝影機C160的VGA感應器得到影像為RGB影像格式，RGB影像格式用來表示顏色雖然方便，但是易受光源影響，導致兩個相近的顏色之RGB值卻可能相差極大。若有一個系統能針對紅色目標區域得到紅色色差且不完全被亮度影響，依照此需求所設計的正是 $YCbCr$ 色彩系統。 $YCbCr$ 色彩系統將顏色分為亮度(Luminance)、藍色色度與紅色色度，透過此色彩系統，可以容易的取得紅色區域之範圍，且較不被亮度所影響，RGB與 $YCbCr$ 之8 bits (0~255)之轉換公式如式(3-1)所式。

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.332 & 0.5 \\ 0.5 & -0.419 & -0.0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (3-1)$$

3.1.1 色彩辨識

Step 1：色彩判斷

為了得到以顏色為目標區域的特徵，由影像所接收到每個像素的RGB格式資訊轉換為 YC_bC_r 影像資訊值，藉由調整 YC_bC_r 數值的範圍，找出目標區域的 YC_bC_r 範圍，將符合 YC_bC_r 臨界值的像素二值化，所選擇的 YC_bC_r 臨界值為：

$$Y : 30 \sim 106$$

$$C_b : 70 \sim 115$$

$$C_r : 170 \sim 255$$

如圖 3-4(a)為原始影像，(b)為所選取 YC_bC_r 範圍所得到之二值化影像。

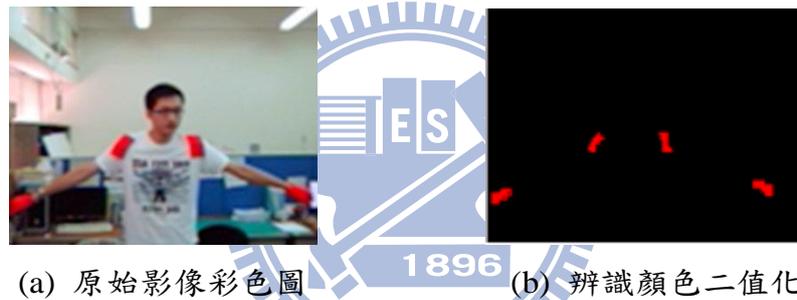
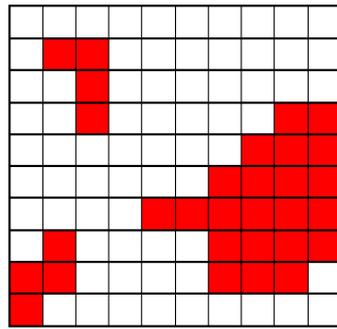


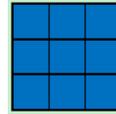
圖 3-4 YC_bC_r 處理影像結果

Step 2：侵蝕運算

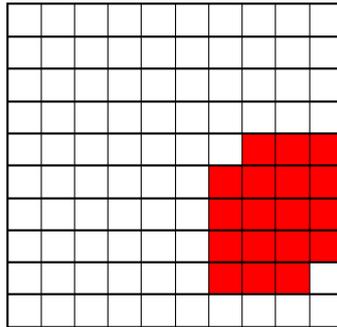
即使經過二值化範圍的判斷，環境中可能會出現些微的雜訊，因此必須將這些不必要的訊號濾除，此部分將以侵蝕運算處理，以圖 3-5(a)為例，利用圖 3-5(b)的 3×3 遮罩，將遮罩由左至右、由上而下掃瞄整個待測影像，當整個 3×3 遮罩數值皆為 1 才保留，否則濾除，結果如圖 3-5(c)所示。



(a) 待測影像



(b) 3×3 遮罩

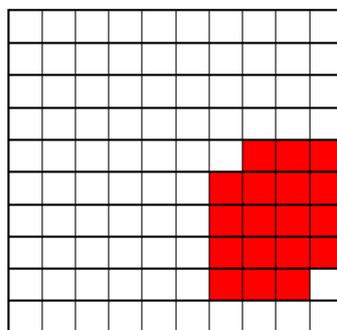


(c) 被侵蝕後的影像

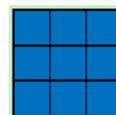
圖 3-5 侵蝕運算

Step 3：擴張運算

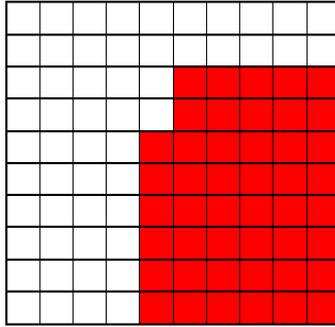
雖然透過侵蝕運算的影像，可以濾除非必要的區域，但也侵蝕了主要目標區域的範圍，故此部分利用擴張運算，將目標的區域恢復，以圖 3-6(a)為例，利用圖 3-6(b)的 3×3 遮罩，將遮罩由左至右、由上而下掃瞄整個待測影像，當整個 3×3 遮罩數值有任一個數值為 1，則將整個遮罩數值皆設定為 1，結果如圖 3-6(c)所示。



(a) 待測影像



(b) 3×3 遮罩

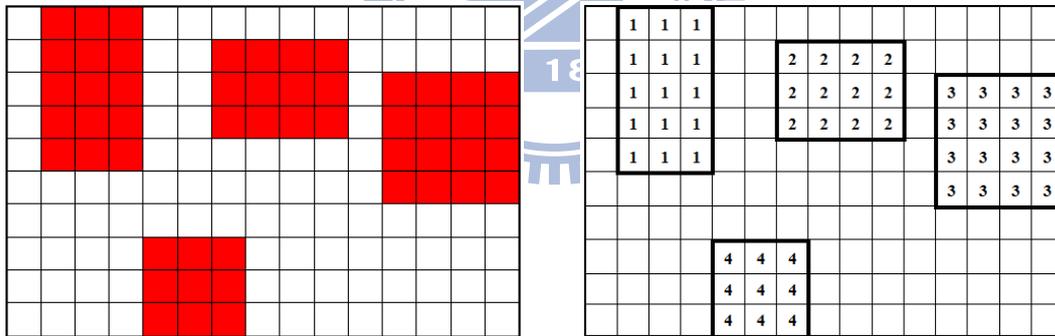


(c) 被擴張後的影像

圖 3-6 擴張運算

Step 4：標籤法

像素與像素之間稱之為連通性，連通標籤法主要是將輸入之影像中的所有物件，依照互相有連結的區域給予同一編號，常見的為四鄰近與八鄰近，此部分運用八鄰近的方式將鄰近像素為 1 之數值標示為同一編號，以圖 3-7(a)為例，標籤的結果如圖 3-7(b)，為標示在一張圖有不同的區塊，並將每個區塊標示成不同的編號。



(a) 三組互不相連區域

(b) 標籤法分群後

圖 3-7 在二值化影像中貼標籤

在貼完標籤後，將影像所看到的最大面積分辨出來，並由式(3-4)、(3-5)算出四個目標區域的重心 $(\bar{x}_1, \bar{y}_1) \sim (\bar{x}_4, \bar{y}_4)$ 。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_i \quad (3-4)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i \quad (3-5)$$

Step 5：氣泡排序演算法

由於此研究針對手臂大幅度動作做擷取，故上肢的四個紅色區域有一定的排序，當標籤後的重心座標與實際上的區域不匹配，將導致姿態判斷的錯誤，故此部分納入排序演算法(sorting algorithm)中最簡易的氣泡排序法(bubble sort)，其運作原理是藉由逐次比較兩筆相鄰的資料，依照排序的條件(由小至大或由大至小)交換位置，直到全部資料依序排好為止。如圖 3-8 範例為將序列 11、4、8、7 由小到大排序，最後結果為 4、7、8、11，故利用氣泡排序演算法可將手掌與肩上四個區域之重心座標做正確的排序。

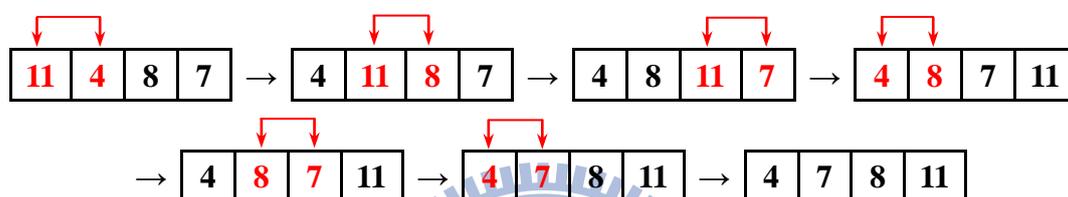


圖 3-8 氣泡排序法範例(排序 11、4、8、7)

3.1.2 手臂相對距離與角度

手臂的擺動皆是以肩上為基準點，姿態擷取的方式是將手臂分解成垂直與水平的角度，以作為上肢姿態判斷的依據，如圖 3-9 所示，以下將針對如何求得垂直與水平角度的方法做介紹。

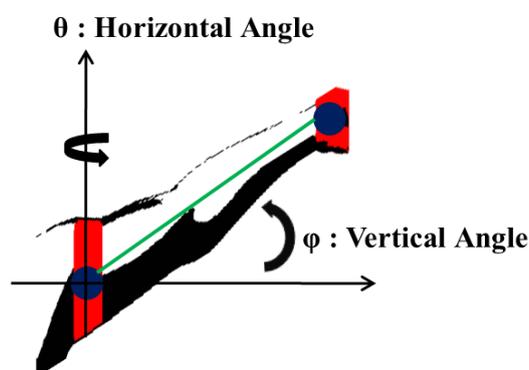


圖 3-9 手臂資訊分解

■ 垂直夾角

由 3.1.1 節可知，透過視訊影像可追蹤上肢的影像區域來取得紅色區域四點

的重心座標，如圖 3-10 所示，可利用式(3-6)、(3-7)求得視訊影像中手臂與水平面的夾角。

$$\alpha_0 = \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_0}{x_2 - x_0} \right) \quad (3-6)$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left(\frac{y_3 - y_1}{x_3 - x_1} \right) \quad (3-7)$$

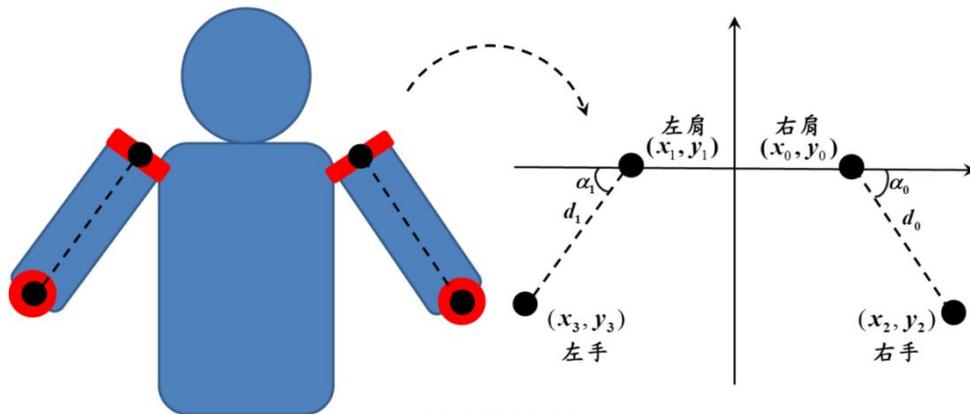


圖 3-10 手臂紅色標記的擷取

■ 水平夾角

如圖 3-10 之手臂長度可利用式(3-7)求得，並參考圖 3-11，首先針對手臂視訊影像作初始化，得到初始手臂的影像長度，接著透過每一次手臂的變化，利用所得到的手臂長度，納入式(3-9)，以得到手臂水平移動的夾角。

$$d_0 = \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2} \quad (3-7)$$

$$d_1 = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2} \quad (3-8)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\text{Length}}{\text{Initial_Length}} \right) \quad (3-9)$$

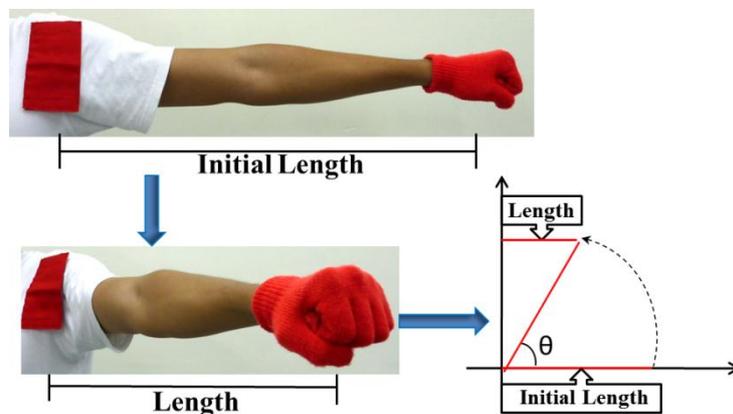


圖 3-11 量測水平角度步驟

3.2 動態規劃

由於影像處理的速度較慢，當手臂動態擺動時，利用影像將無法即時的判斷手臂動作，故在此納入動作辨識演算法，並以三軸加速度計為基礎，影像處理輔助達到手臂動作的正確判斷，分為以下步驟：(1)訊號取樣、(2)特徵變換、(3)計算動作序列之最長共同子序列、(4)動作相似度判斷、(5)影像輔助。

Step 1：訊號取樣

動作辨識採用三軸加速度計 ADXL335，由前面章節 2.3.2 的介紹，可知其輸出透過 Jennic 微控制器經由 ZigBee IEEE802.15.4 無線網路傳輸至電腦端，取得 X、Y、Z 三軸的電壓變化，進而得到三軸各自加速度值，其範圍為 $\pm 3G$ ，利用此數位訊號取樣，可進行下一步之特徵變換。

Step 2：特徵變換

由訊號取樣得到X、Y、Z三軸的正負加速度值，將此三維數值所表示的一連串動作利用笛卡兒座標系中卦限的範圍，變換至一維的動作序列，如圖 3-12 所示，目的將X、Y、Z三軸的瞬間狀態轉換至一維狀態空間，即是將一連串的動作，變成一段序列，再依序列比對的相似性，判斷相似程度，以方便分析，如圖 3-13 為一實際手臂上下擺動的部分轉換數值。

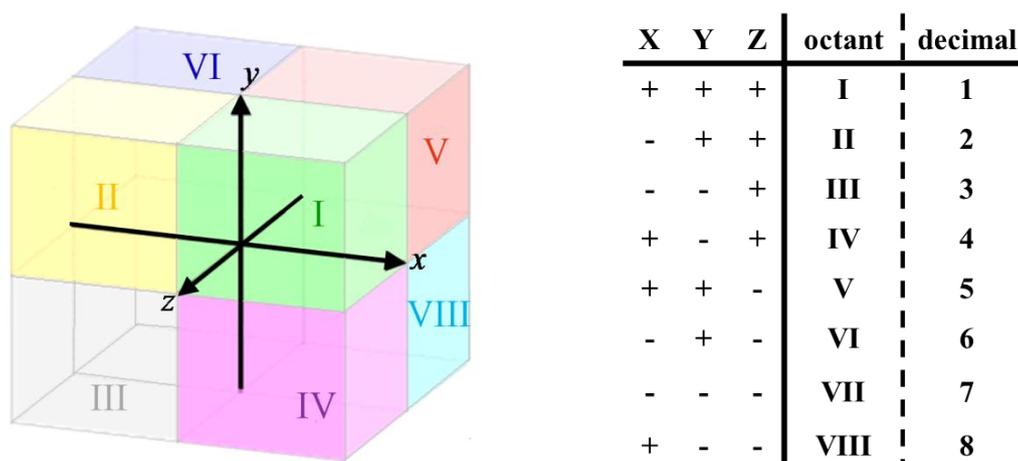


圖 3-12 卦限與三軸加速度值對應座標

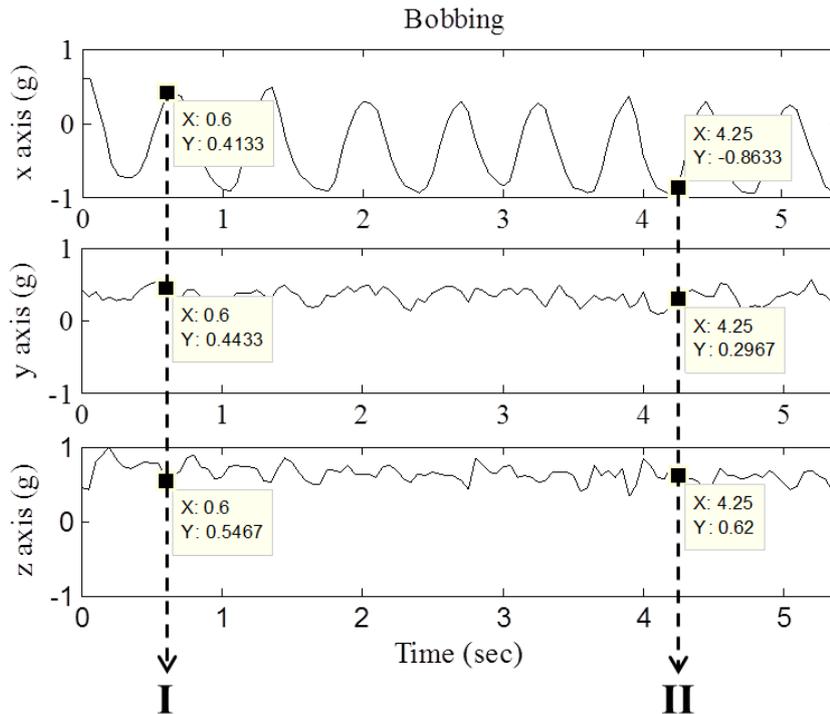


圖 3-13 三軸加速度計轉換至一維狀態空間

Step 3：計算動作序列之最長共同子序列

得到一連串的動作序列數值，可表示X、Y、Z三軸的特徵也可以得到動作狀態的順序，針對此順序性的比對，且為了判斷的即時性，需要運算簡單且快速的動態規劃演算法，本研究採用 D.S. Hirschberg 所提出的最長共同子序列演算法 (Longest Common Subsequence; LCS)，來計算動作序列相似的程度，可以滿足動態辨識的功能。

LCS是一種針對序列順序性的辨識演算法，常應用在不同領域中做相似度的比對，像是生物學上做測量序列相似度及語言訊號處理等等，其定義如式(3-10)所示。

$$LCS(X_i, Y_j) = \begin{cases} 0 & \text{if } i = 0 \text{ or } j = 0 \\ LCS(X_{i-1}, Y_{j-1}) + 1 & \text{if } x_i = y_j \\ \text{Max}(LCS(X_i, Y_{j-1}), LCS(X_{i-1}, Y_j)) & \text{if } x_i \neq y_j \end{cases} \quad (3-10)$$

欲求得兩序列 $X_1 \sim X_m$ 與 $Y_1 \sim Y_n$ 之最長共同子序列，需將X及Y序列轉變為二維陣列，再將兩兩元素做比對以累積共同子序列的長度。以設定之序列1234(m=4)與13243(n=5)及1324314(n=7)兩序列比對的情形為例，圖3-14為計算過程與結果，並由式(3-10)可得知最長共同子序列長度之數值分別為3與4，利用此長度的數值，可以方便成為下一階段的相似度比對。

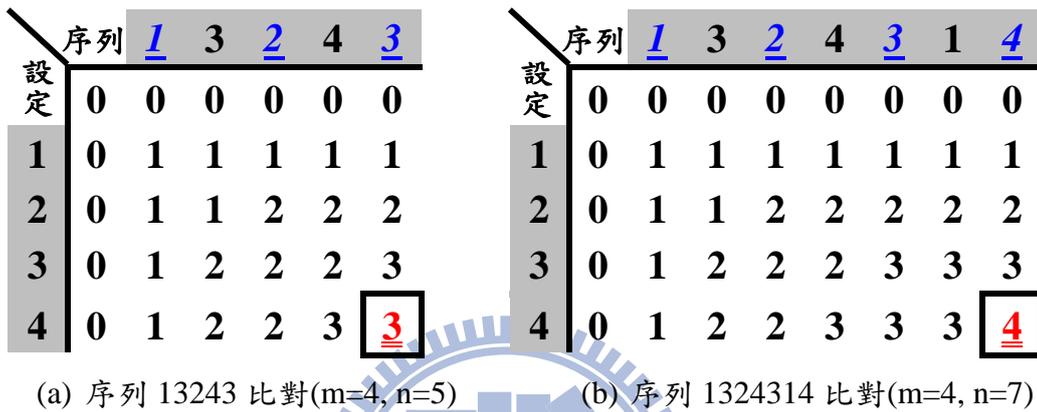


圖 3-14 兩個 LCS 運算範例

Step 4：動作相似度判斷

此部分利用求得序列匹配的數值，來計算相似的程度，假設欲比對之數列為 $X_1 \sim X_m$ ，感測器得到的動作序列為 $Y_1 \sim Y_n$ ，則動作比對辨識率換算如式(3-11)所示。

$$\text{Matching Rate} = \frac{\text{LCS}[m,n]}{m} \times 100\% \quad (3-11)$$

利用式(3-11)可得到輸入之序列與設定之動作序列的相似程度，依3.2.3節所述之兩個例子，可得知最長共同子序列分別的長度數值分別為3與4，故matching rate分別為 $3/4=75\%$ 與 $4/4=100\%$ 。因此，得到此相似度的比率數值，便可依據不同的應用，自行設定門檻值，達到動作辨識的功能。

Step 5：影像輔助

由上一階段得到手臂運動趨勢的正確率，但因三軸加速度計為與地面 G 值得到相對之加速度值，故在同一水平下的運動無法正確的辨識，如圖 3-15、3-16 所示，由三軸加速度計的動態辨識在手臂張開擺動與手臂向前擺動，將會視為相同的結果，故此部分納入 3.1 節所提出之影像處理技術，來輔助確定上肢運動區域的範圍，以提升動態辨識的正確性。

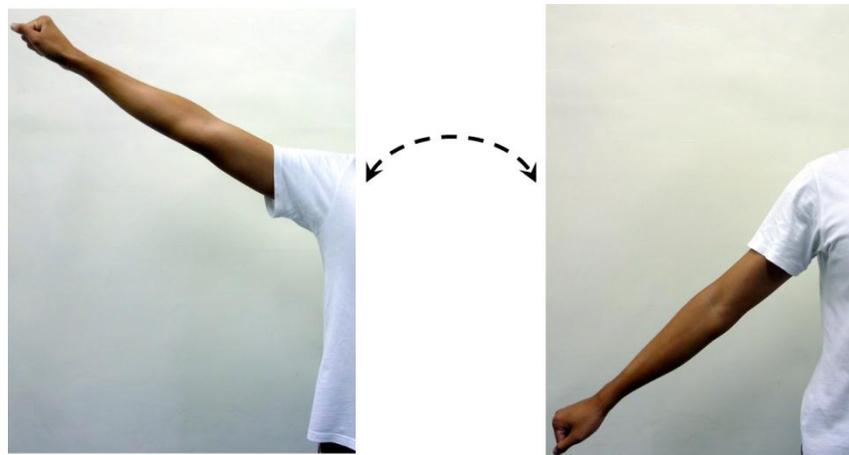


圖 3-15 手臂張開的上下擺動

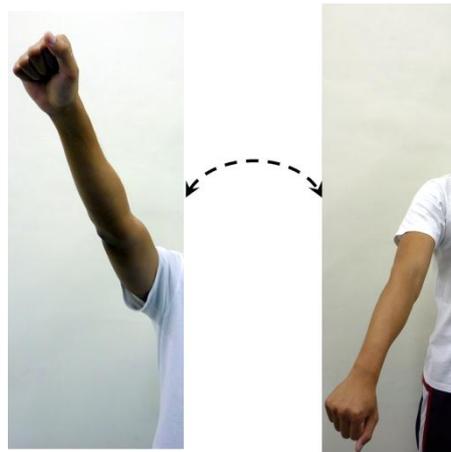


圖 3-16 手臂向前的上下擺動

3.3 實驗結果與討論

本小節將經由前兩節所闡述之姿態擷取與動態規劃之方法，將針對實際影像擷取角度與三軸加速度計動作序列比對結果做說明，分別驗證姿態感測與動作追蹤方法的可行性。

3.3.1 影像擷取手臂垂直角度

實驗環境如圖 3-17 所示，分別以兩個紅點做測試，將左邊的紅點設為基準點，所形成的三種排列角度，分別為 45 度、0 度與-45 度做測試，並以影像處理每 10 Hz 的取樣頻率，分別取得 200 筆三種情況的角度，結果如圖 3-18 所示。

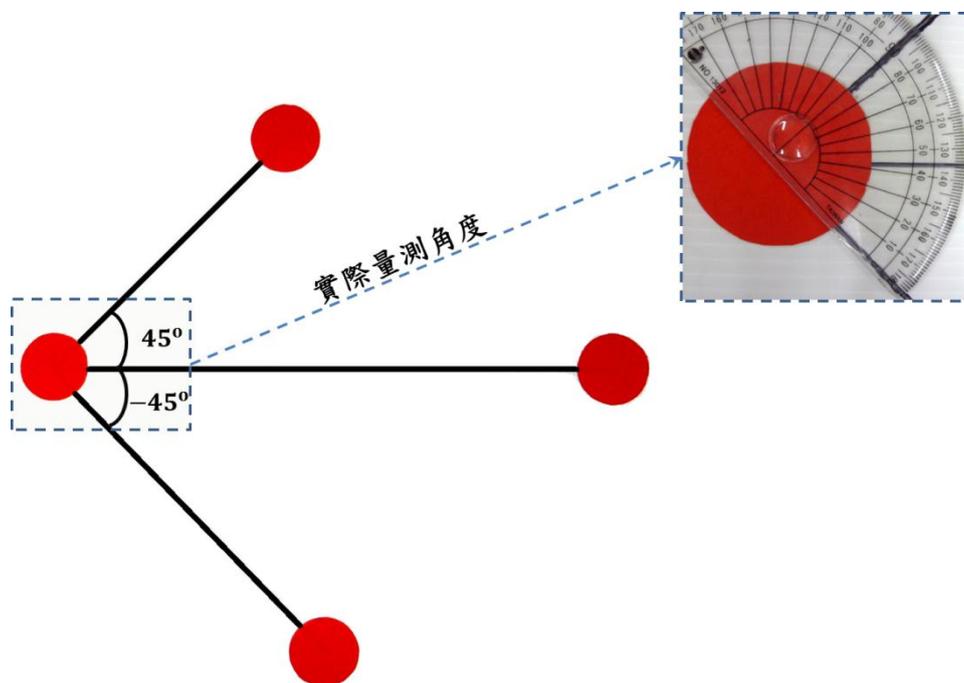
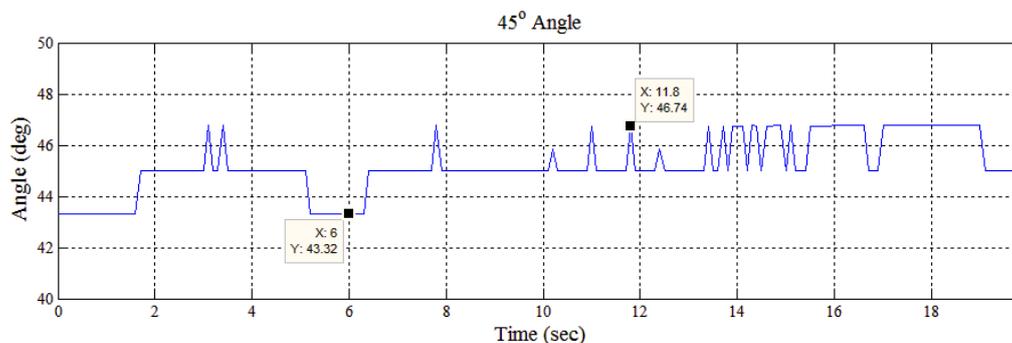
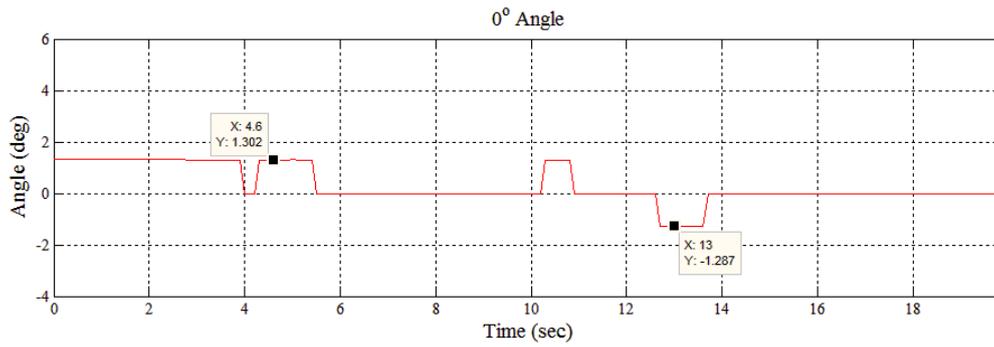


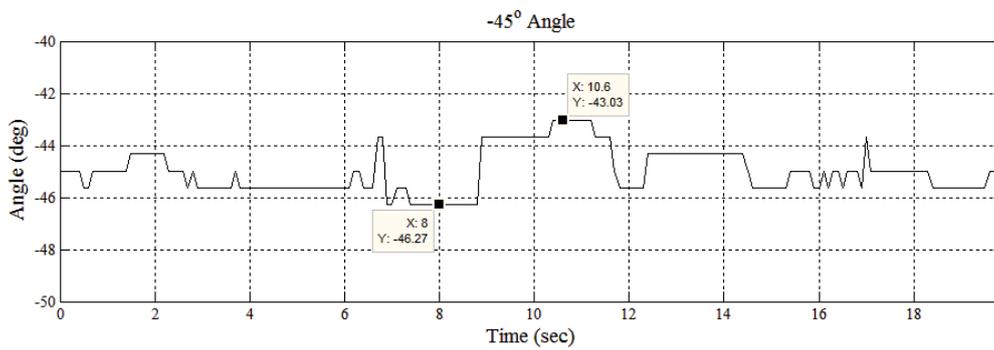
圖 3-17 測試垂直角度實驗工具



(a) 垂直移動至 45 度



(b) 垂直移動至 0 度



(c) 垂直移動至 -45 度

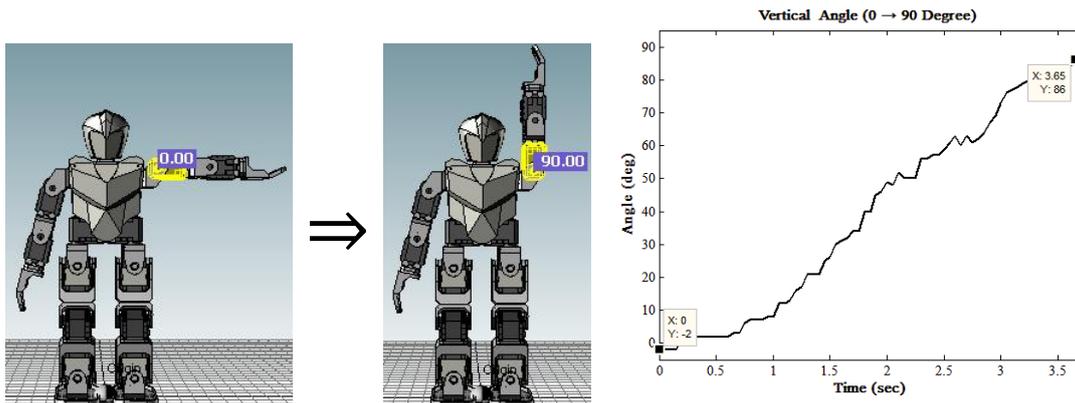
圖 3-18 影像擷取三種垂直角度數據

由圖 3-18 與表 3-1 可知，以影像處理分別求得垂直角度範圍皆介於兩度以內，主因影像處理易受光源影響使得重心些微偏移，故由此所測得之角度範圍，將有助於姿勢判斷的範圍依據。

表 3-1 三種量測垂直角度之實際值與量測範圍

實際角度	測試角度最小值	測試角度最大值
45 度	43.32 度	46.74 度
0 度	-1.287 度	1.302 度
-45 度	-46.27 度	-43.03 度

以下同樣透過三角函數方法，以手臂為測試目標，得到真實手臂移動的垂直角度，由圖 3-19 顯示手臂實際由 0 度上抬至垂直 90 度的角度數據。



(a) 垂直角度示意圖

(b) 垂直角度數據圖

圖 3-19 實際測試手臂垂直移動角度數據

3.3.2 影像擷取手臂水平角度

實驗環境如圖 3-20 所示，以水平轉動 45 度為例，以兩個紅點做測試，將左邊的紅點作為基準點，分別向內轉動 60 度、45 度與 30 度，並以影像處理每 10 Hz 的取樣頻率，取得 200 筆之三種情況的角度，結果如圖 3-21 所示。

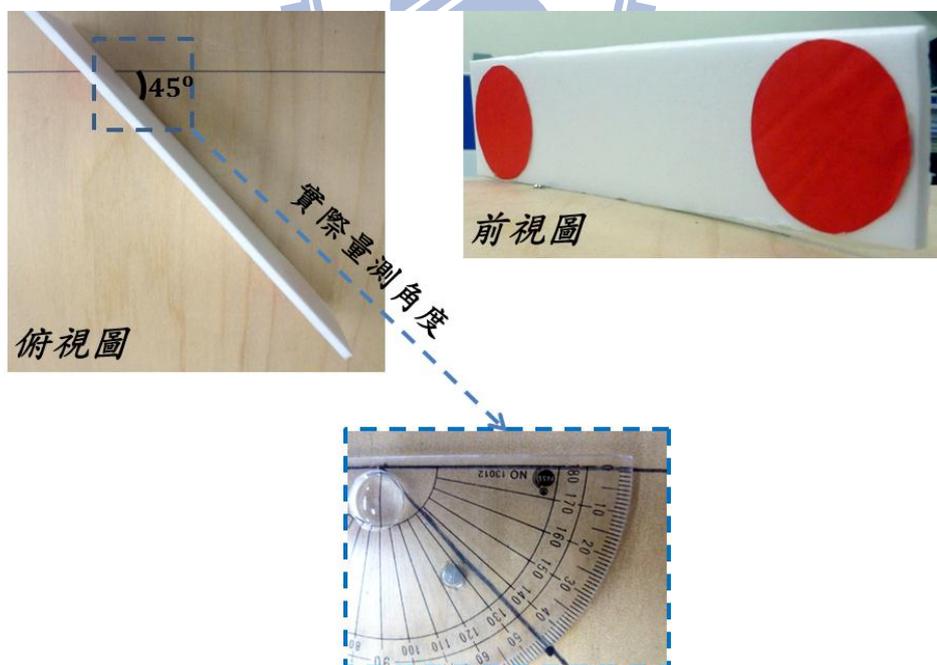
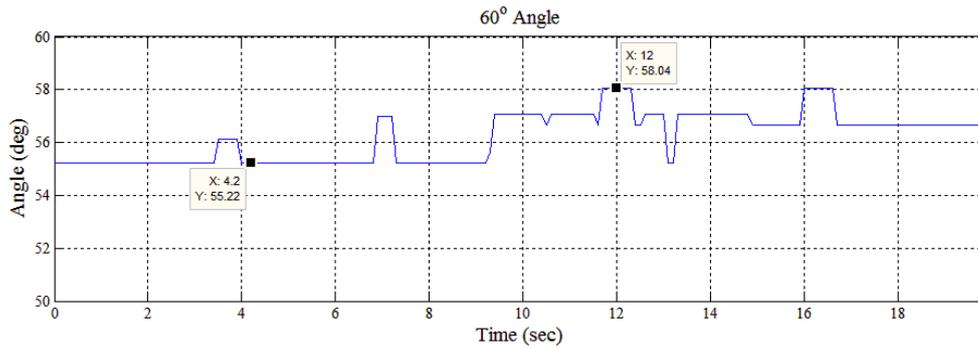
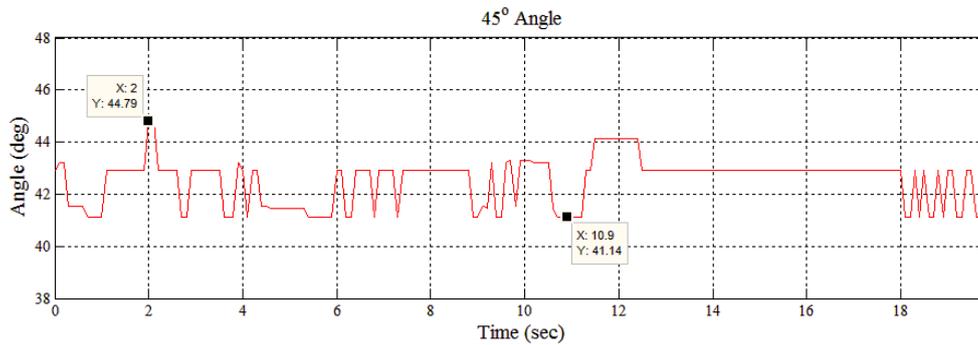


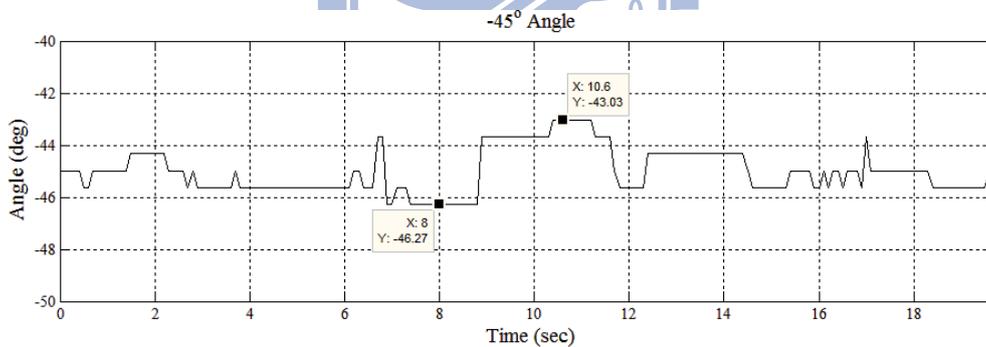
圖 3-20 測試水平角度實驗工具(轉動 45 度)



(a) 水平移動至 60 度



(b) 水平移動至 45 度



(c) 水平移動至 30 度

圖 3-21 影像擷取三種水平角度數據

由圖 3-21 與表 3-2 可知，以影像處理分別求得水平角度範圍，由於影像處理易受光源影響使重心有些微的偏移，在實際角度 30 度時，大部分的角度落在 29 度左右；而在實際角度 45 度時，大部分角度落於 43 度左右；在實際角度 60 度時，角度明顯的只於 56 度左右徘徊，主因當目標物水平向內轉動時，角度較大時，紅色區域於影像中之面積將增加，且加上光源的影響，故影響重心的位置，使得角度變化較大，誤差範圍增加，故由此所測得之角度範圍，將有助於

姿勢判斷的範圍依據。

表 3-2 三種量測水平角度之實際值與量測範圍

實際角度	測試角度最小值	測試角度最大值
60 度	55.22 度	58.04 度
45 度	41.14 度	44.79 度
30 度	26.64 度	29.33 度

以下同樣利用手臂為測試目標，透過獲得手臂長度，以三角函數方法，得到真實手臂轉動的水平角度，由圖 3-22 顯示手臂實際由 0 度向內轉動至 90 度的角度數據。

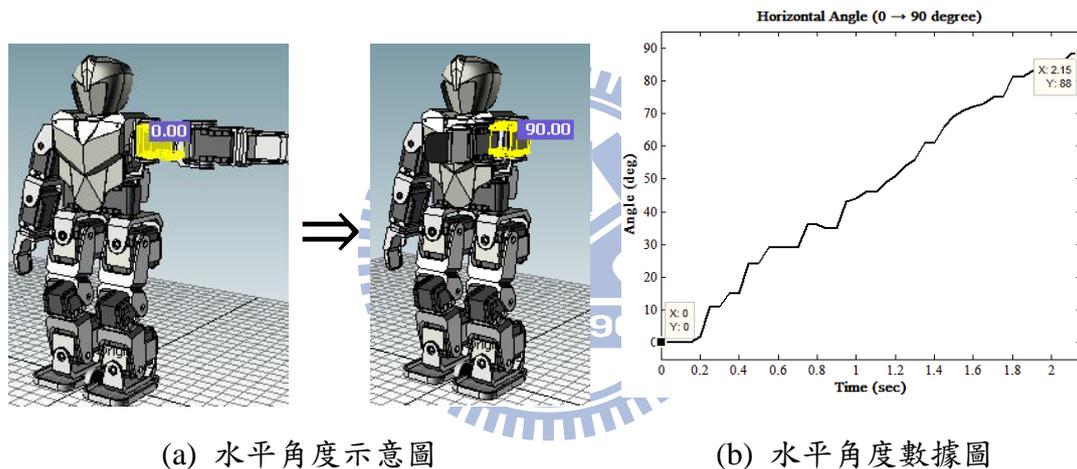


圖 3-22 實際測試手臂水平移動角度數據

3.3.3 三軸加速度計共同子序列計算

此部分利用動態規劃分別以兩種動作來計算三軸加速度計之一連串動作序列，並將此動作序列與設定之動作序列做比對分析，以下將呈現兩種不同的動作在擺動速度過快與速度匹配之情況。

■ 手臂張開之上下擺動

實驗環境如圖 3-23 所示，於手臂上架設加速度計，將手臂張開做出上下擺動的姿勢，分別記錄擺動速度較快與較慢的三軸加速度值及相對應之一維狀態空間。

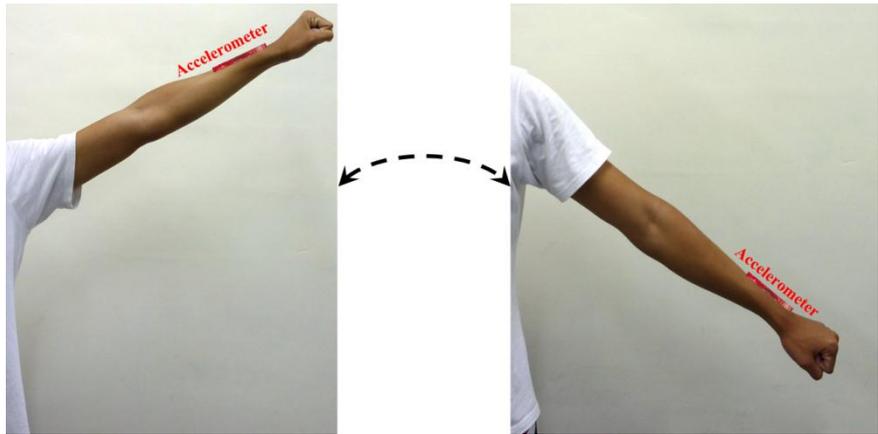


圖 3-23 手臂張開上下擺動示意圖

由圖 3-24(a)可知三軸在手臂擺動較快時，分別的加速度值，並且對應至一維狀態空間，取出兩段動作序列的數據做分析，見圖 3-24(b)。

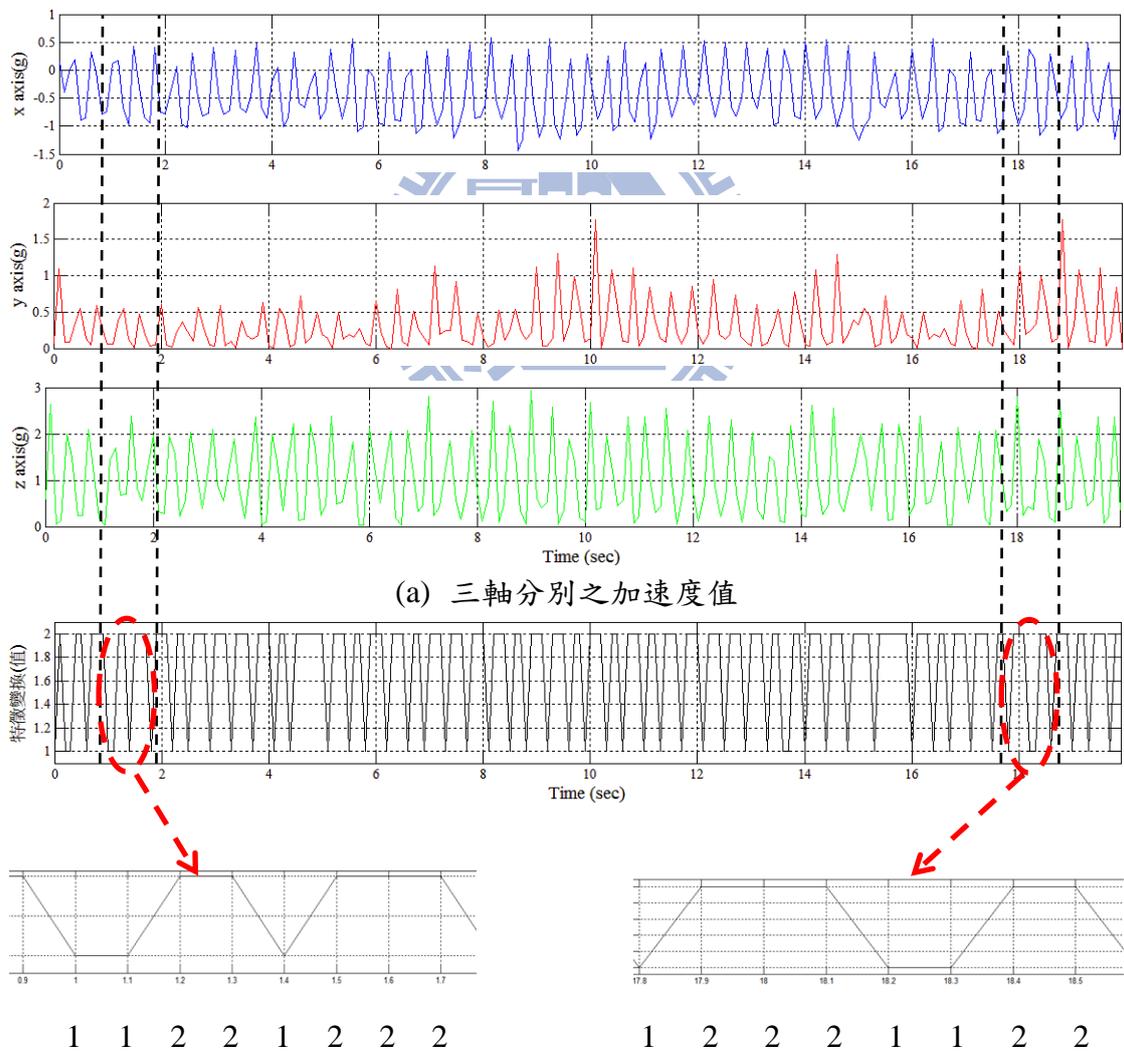


圖 3-24 擺動較快之情況(量測數列約為 11221122，頻率約 2.5 Hz)

由圖 3-25(a)可知三軸在手臂擺動較慢時，分別的加速度值，並且對應至一維狀態空間，取出兩段動作序列的數據做分析，見圖 3-25(b)。

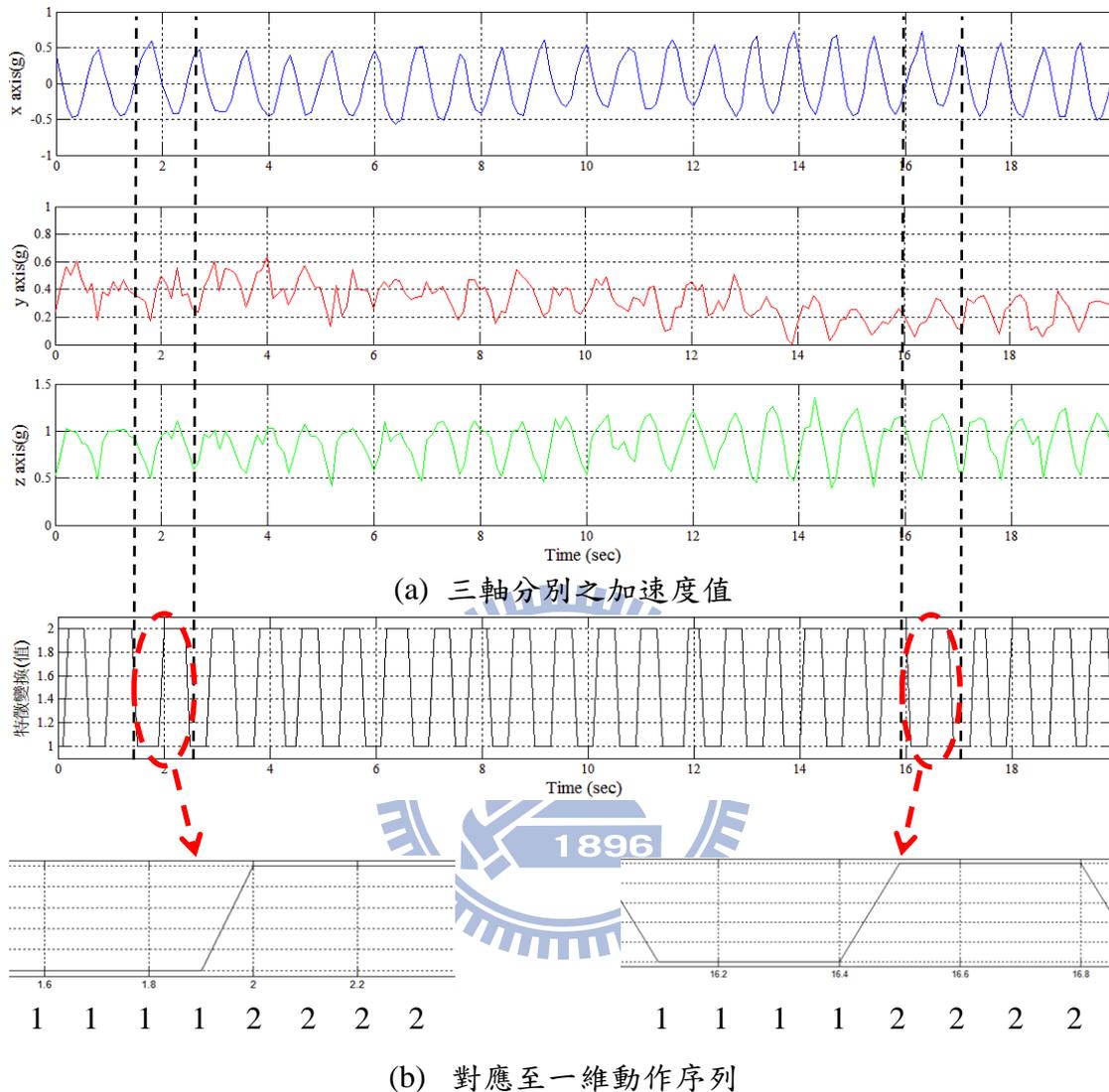


圖 3-25 擺動較慢之情況(量測數列約為 11112222，頻率約 1.25 Hz)

由圖 3-24 與圖 3-25 分別在擺動速度快(約 2.5 Hz)與慢(約 1.25 Hz)的情況下之動作序列值可知，當設定之序列為 11112222，此序列表示速度較慢的情況，故在擺動速度較快的狀況下，兩序列與設定之序列比對之最大共同子序列長度分別為 6 與 5，相似度比率為 75%與 62.5%；另外，很明顯的在擺動速度較慢時，兩序列相似度的比率皆為 100%。

由以上序列比對說明後，整理擺動速度較快與速度匹配分別之 200 筆數值，以每 8 筆依序與設定的序列做 LCS 比對，共計比對 193 筆，並得到序列比對之

辨識率，茲整理如表 3-3，由表可知在擺動速度較快(約 2.5 Hz)情況下，序列比對辨識率在 75%以上只有 9 筆，而速度匹配(約 1.25 Hz)情況下，實際擺動的序列比對辨識率有 113 筆在 75%以上，依此實驗數據可將 100%設定為此動作序列比對條件較嚴謹之門檻值，而 75%設定為此動作序列比對條件較寬鬆之門檻值。

表 3-3 193 筆序列比對之比較(手臂張開擺動)

	2.5 Hz	1.25 Hz
100%	0	17
87.5%	0	48
75%	9	48
62.5%	143	48
50%	41	32
<u>總計</u>	<u>193</u>	<u>193</u>

■ 手臂向前之上下擺動

實驗環境如圖 3-26 所示，於手臂上架設加速度計，將手臂向前伸直做出上下擺動的姿勢，分別記錄擺動速度較快與較慢的三軸加速度值及相對應之一維狀態空間。

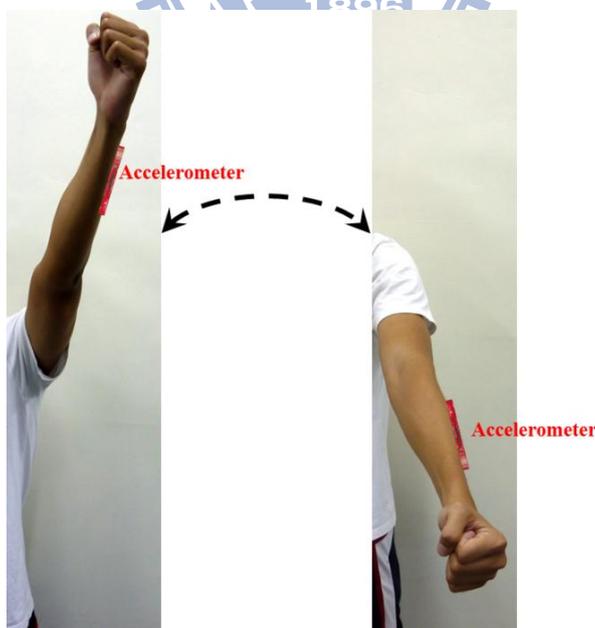


圖 3-26 手臂向前上下擺動示意圖

由圖 3-27(a)可知三軸在手臂擺動較快時，分別之加速度值，並且對應至一維狀態空間，取出兩段動作序列的數據做分析，見圖 3-27(b)。

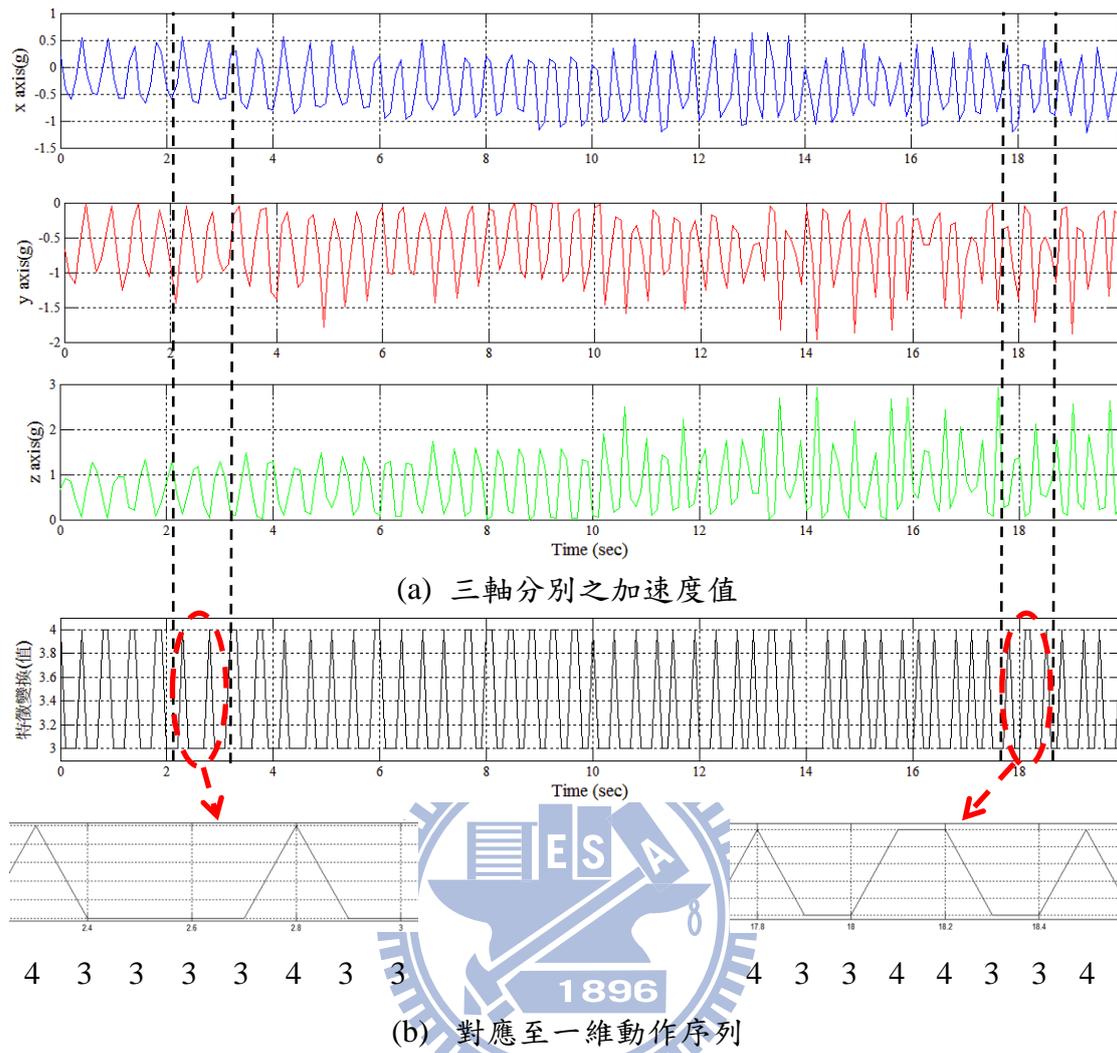
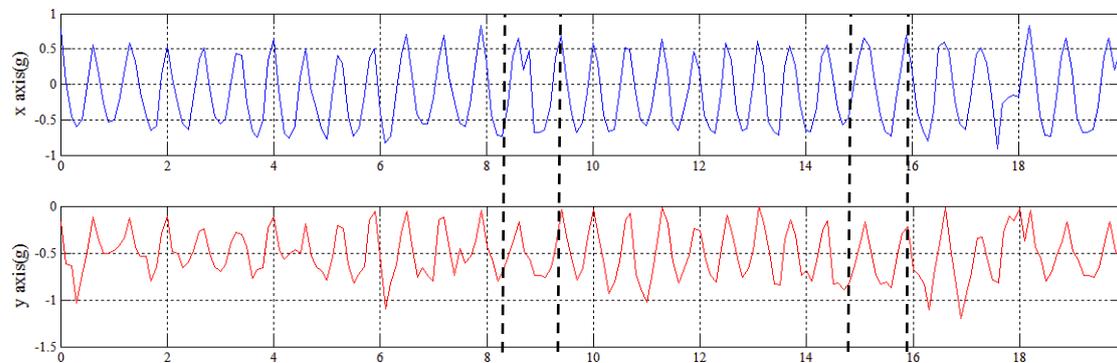


圖 3-27 擺動較快之情況(量測數列約為 44334433，頻率約 2.5 Hz)

由圖 3-28(a)可知三軸在手臂擺動較慢時，分別的加速度值，並且對應至一維狀態空間，取出兩段動作序列的數據做分析，見圖 3-28(b)。



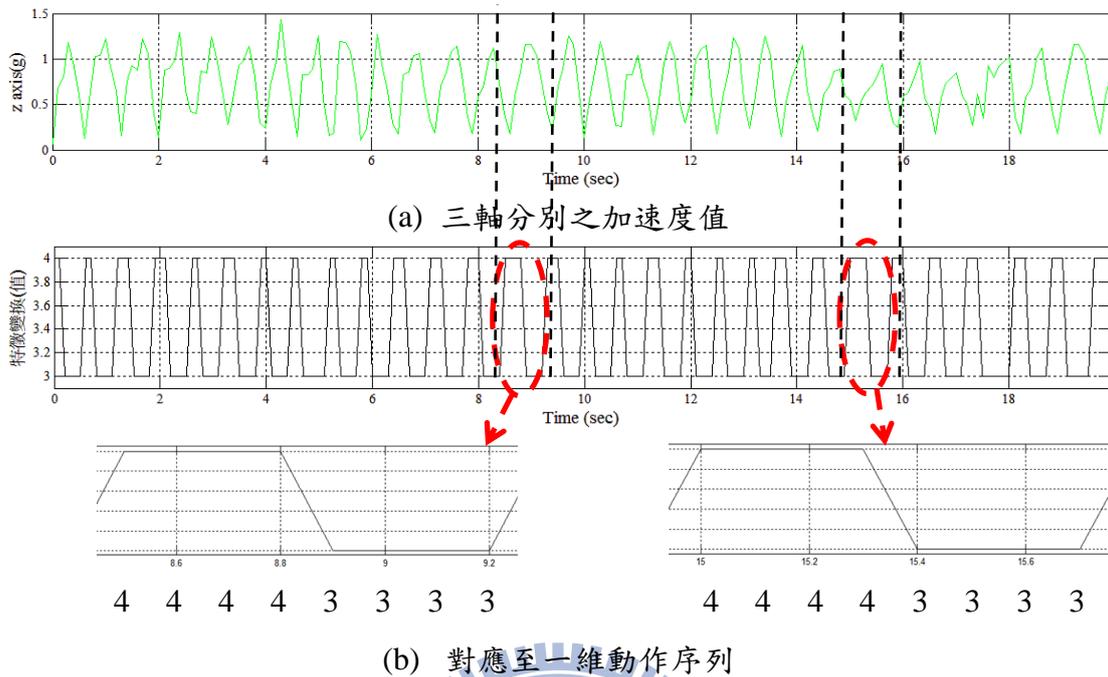


圖 3-28 擺動較慢之情況(量測數列約為 44443333，頻率約 1.25 Hz)

此部分由圖 3-27 與圖 3-28 分別在手臂向內上下擺動速度快(約 2.5 Hz)與慢(約 1.25 Hz)的情況下之動作序列值可知，當設定之序列為 44443333，此序列表示速度較慢的情況，故在擺動速度較快時，兩序列與設定之序列比對之最大共同子序列長度分別為 4 與 5，相似度比率為 50% 與 62.5%；另外，很明顯的在擺動速度較慢時，兩序列相似度的比率皆為 100%。

由以上序列比對說明後，同樣整理擺動速度較快與速度匹配分別之 200 筆數值，以每 8 筆依序與設定的序列做 LCS 比對，共計比對 193 筆，並得到序列比對之辨識率，茲整理如表 3-4，由表可知在擺動速度較快(約 2.5 Hz)的情況下，序列比對辨識率在 75% 以上只有 21 筆，而速度匹配(約 1.25 Hz)的情況下，實際擺動的序列比對辨識率有 100 筆在 75% 以上，依此實驗數據可將 100% 設定為此動作序列比對條件較嚴謹之門檻值，而 75% 設定為此動作序列比對條件較寬鬆之門檻值。

表 3-4 193 筆序列比對之比較(手臂向前擺動)

	2.5 Hz	1.25 Hz
100%	0	2
87.5%	0	34
75%	21	64
62.5%	134	60
50%	38	33
<u>總計</u>	<u>193</u>	<u>193</u>

由以上兩個動作的例子之分析可知，利用特徵變換將一連串之動作簡化成一段序列，並利用最長共同子序列做相似度的比對，當應用在不同情況下，只需預設比對之動作序列的數值，以及設定相似度比率之門檻值，以作為動作匹配判斷之依據，便可完成動作辨識的功能。



第四章 建立人形機器人與自閉症孩童之互動教學

動作模仿是認知發展中一個很重要的環節，模仿具備了學習、溝通與人際互動等功能，對社會性的正常發展有一定的影響，Rogers et al 便指出了早期的模仿能力缺陷對於表達情感與社會認知的發展有很顯著的影響[29]；且經由模仿可以學習到許多複雜的行為並建立起自我與他人的連結，以增加社會性動機與行為，不過對於自閉症孩童而言，模仿能力的缺陷卻影響了許多正常發展的面向，像是情感的交流與分享等等。

有鑑於自閉症孩童的發育障礙，為了使自閉症孩童在人與人之間的互動提升，與機器人互動作為媒介已逐漸地發展，本章節將以第三章所提出的上肢感測技術，建立一套人形機器人與自閉症孩童相互模仿的互動教學，分別為靜態、伴隨與動態三種互動教學，目的為了提升自閉症孩童的專注力與行為能力，且透過模仿可降低刺激，讓自閉症孩童逐步接納外界的人、事、物。以下將針對此三種教學作介紹。



4.1 靜態互動教學(人模仿機器人之靜態姿勢)

靜態互動教學主要由人形機器人示範一系列的上肢動作，製造一個學習的環境，供自閉症孩童模仿人形機器人的動作，並藉由手臂與肩上所配戴之紅色手套與紅布透過章節3.1所介紹的影像處理技術，得到手臂姿態的資訊，並加以判斷姿勢的正確與否，當自閉症孩童能跟隨機器人的姿勢，將產生正面鼓勵之環境；反之，設計適當的音效作為提示，產生誘導之輔助環境，希望藉由此迴路教學提升自閉症孩童與人形機器人的互動，靜態互動教學動作流程如圖4-1所示。

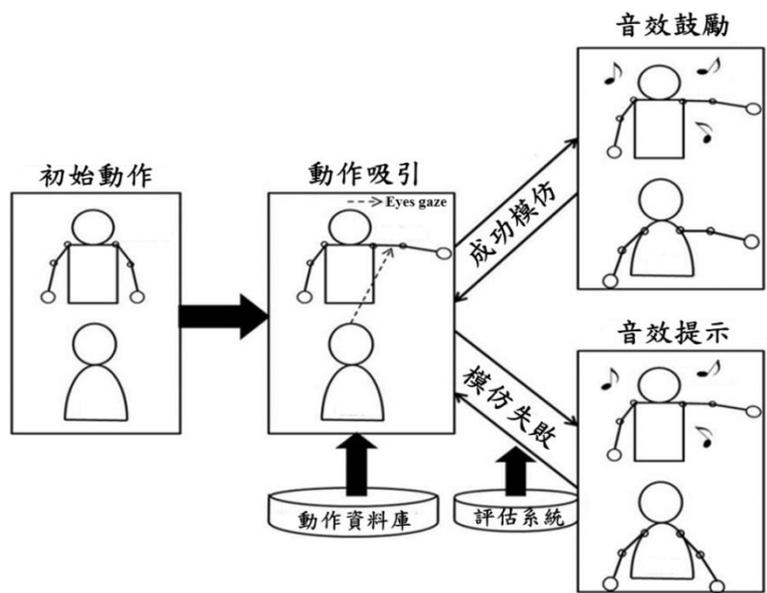
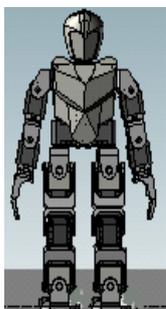


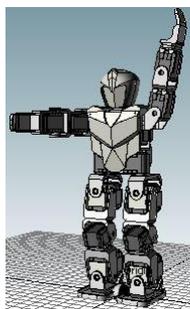
圖 4-1 孩童與機器人靜態互動教學之動作流程

■ 機器人動作樣本

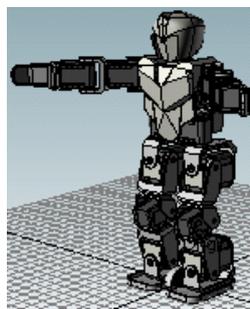
靜態互動教學以人形機器人的動作為樣本，此部分設計了12種上肢動作，人形機器人的動作，皆由電腦端透過ZigBee無線控制，每個動作皆給予不同的口語姿勢名稱，如圖4-2所示。



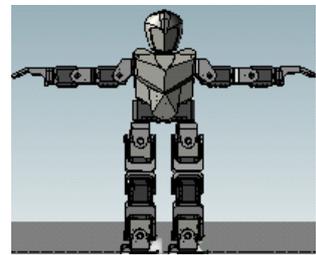
雙手放下
(a)



左手向前，右手舉高
(b)



來個擁抱
(c)



雙手打平
(d)

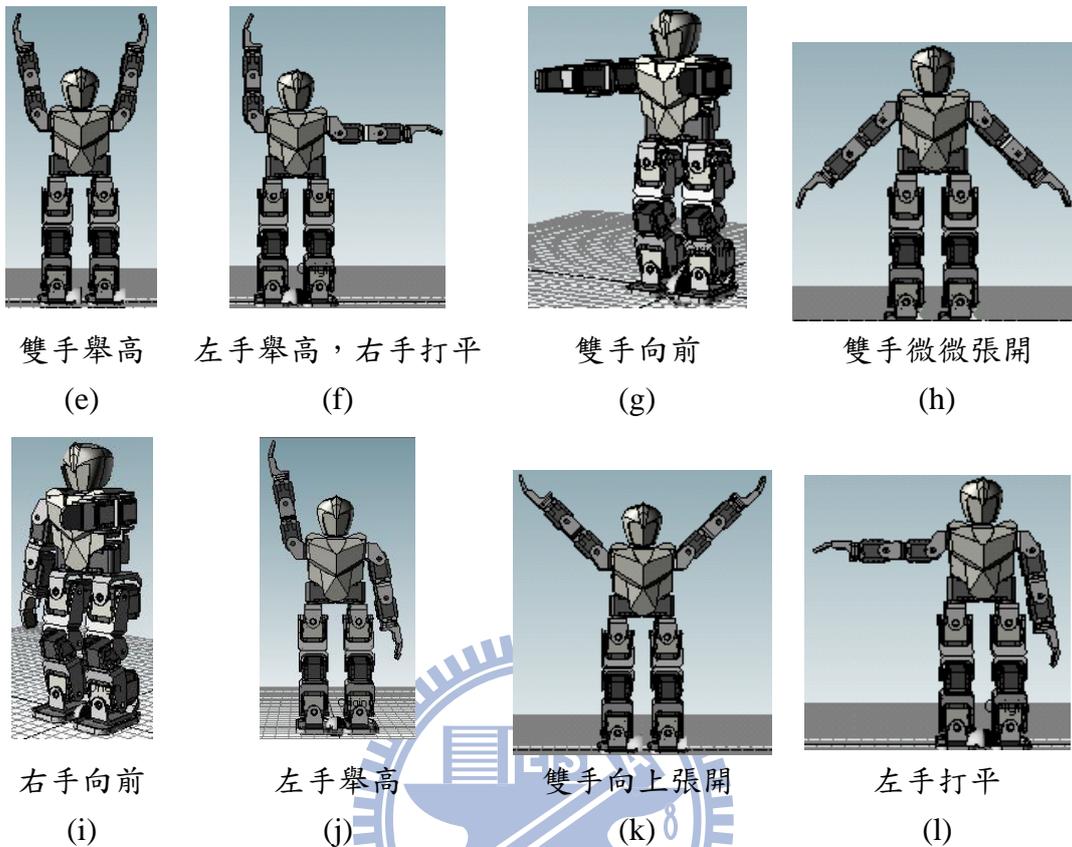


圖 4-2 12 種人形機器人動作樣本與口語姿勢名稱

■ 靜態互動教學流程

一次完整的靜態互動教學由上述的12個人形機器人動作樣本任意選擇數個動作，對應至動作資料庫中，將依序做出動作，接著在測試者身上配戴紅色手套與肩上紅布，機器人會在教學開始前，做出手臂打平的動作，請受試者模仿，目的為了得到手臂影像初始的長度，以利教學的正確判斷。

教學開始時，完全由電腦自主判斷動作與操控機器人及音效，人形機器人起初做出自我介紹且於環境中產生教學音效的氛圍，步驟如圖4-3所示，教學開始後，機器人會依序做出設定的數個動作，直到全部動作結束。

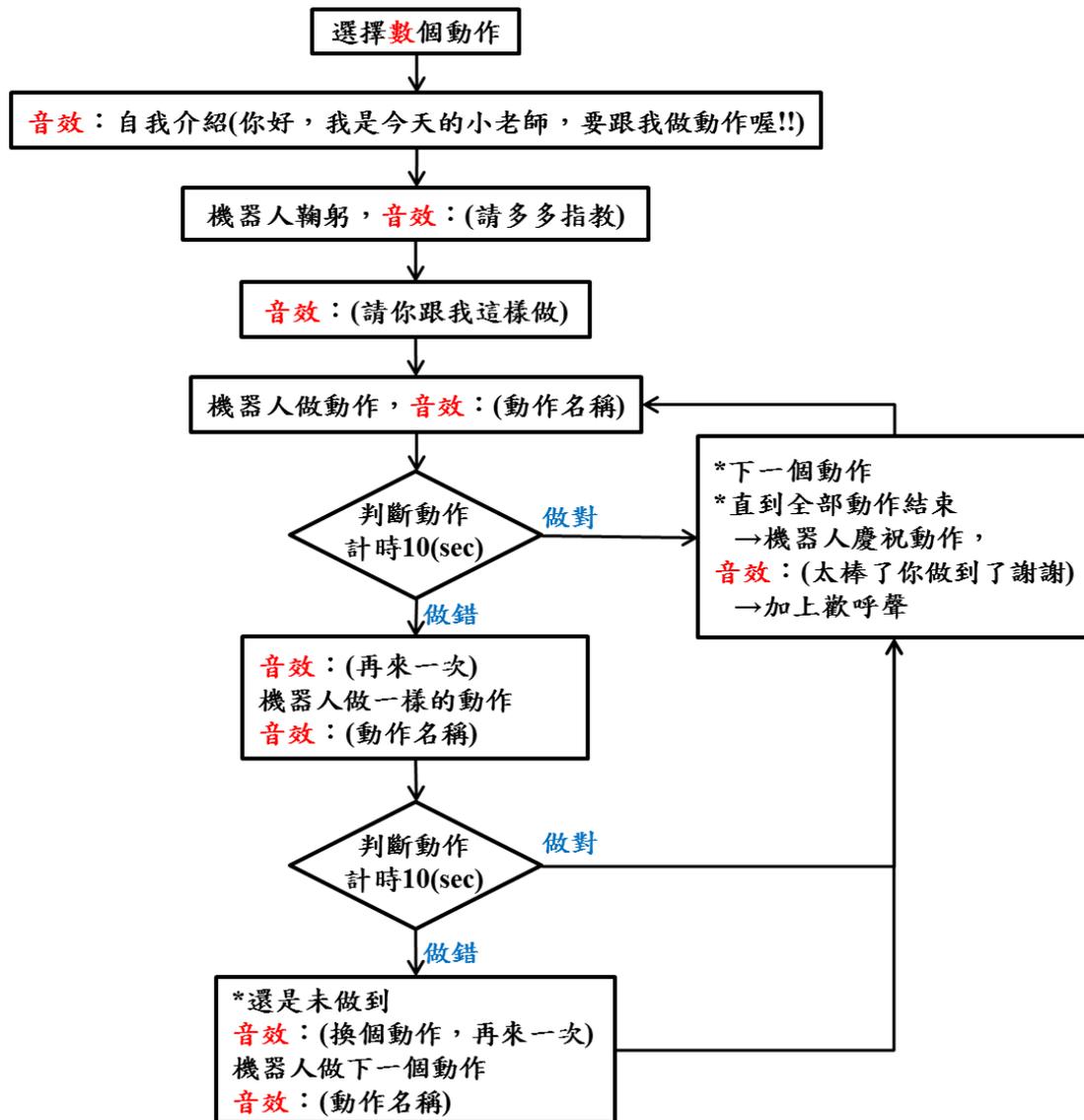
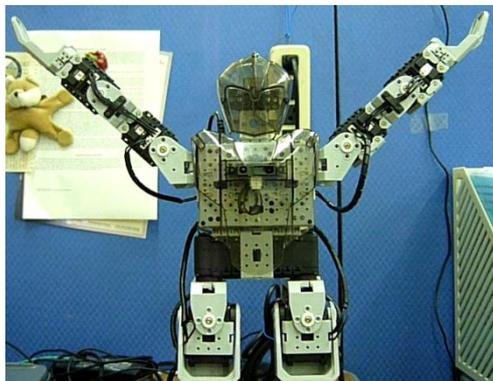


圖 4-3 靜態互動教學完整流程

動作的判斷將由得到的手臂之垂直與水平角度，對應動作資料庫中動作的角度，當偵測的角度範圍介於正確動作的角度 ± 10 度內，則動作判斷為正確，並將產生正面鼓勵的音效，且持續進行下一個動作，直到全部動作結束；反之，當動作不匹配，為避免教學中斷，計時十秒後，還未達成，機器人便回到初始狀態並重做一次同樣的動作，並由適當音效產生提示，若再經過十秒還是未完成，機器人將進行下一個動作，來避免教學無法順利進行，全部動作結束後，機器人將做出歡呼的動作並配上音效以茲正面的鼓勵，透過此部分的靜態互動教學，初步訓練自閉症孩童的專注力，並藉由做出不同的動作改善固著專注力的遷移，進而培養個人行為能力，提升社會性的模仿意願，如圖4-4與圖4-5分

別為動作做對與做錯之情形。

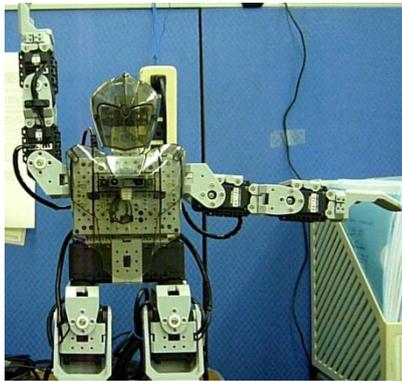


(a) 動作樣本



(b) 監控端

圖 4-4 動作正確情況



(a) 動作樣本



(b) 監控端

圖 4-5 動作錯誤情況

4.2 伴隨互動教學(機器人模仿人之手臂動作)

伴隨教學的過程與靜態教學類似，同樣藉由手臂與肩上所配戴之紅色手套與肩上紅布透過章節3.1所介紹的影像處理技術，得到手臂變化的資訊，不同的部分是由螢幕上分別顯示設定的數個動作，作為自閉症孩童的動作範本，由螢幕上顯示動作的主要原因是根據目前學者研究指出[30]，自閉症認知的缺陷在於各種的符號資訊，且相較於一般人，自閉症患者對於非立即消失的訊息，如圖片、照片等，比停留時間短暫的訊息有較佳的處理能力。

因此，將藉由螢幕上顯示的圖片作為教學提示線索，並帶領著機器人，不

論孩童的手臂如何擺動，人形機器人將伴隨同樣的姿勢，當自閉症孩童能跟隨螢幕所顯示的動作，將產生正面鼓勵之環境；反之，將設計適當的音效作為提示，產生誘導之輔助環境，藉由帶領著機器人，以期能提升自閉症孩童互動意願的主動性。

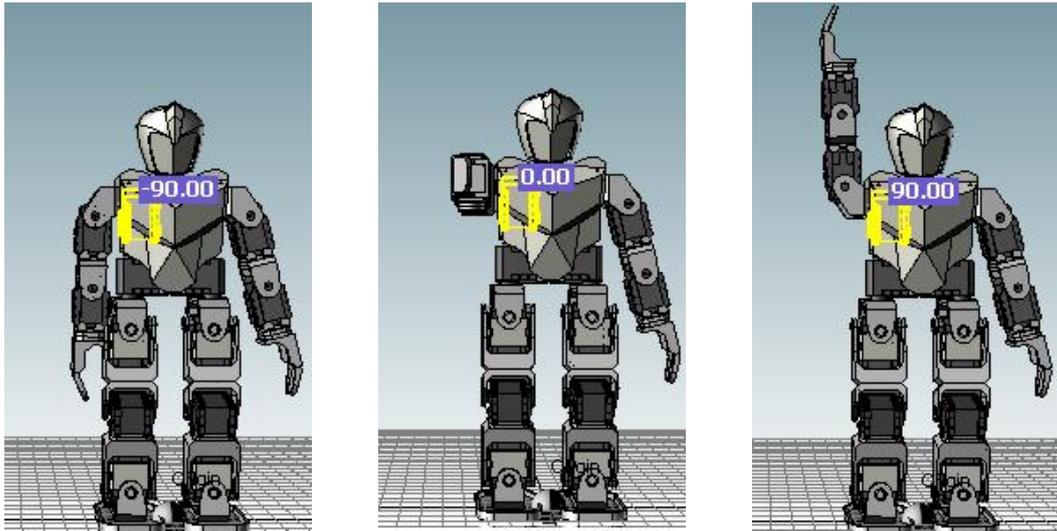
■ 機器人的操控

本研究使用的是ROBOTIS出產的人形機器人，由18顆AX-12馬達所組成，如圖4-6所示為主要控制手臂之四顆馬達，ID1~ID4，其位置命令為0~1023，由於正常的手臂擺動大約介於 ± 90 度內，故需將手臂轉動的角度轉換至馬達對應之位置命令。



圖 4-6 人形機器人手臂馬達位置

- a. 首先以ID1的馬達為例，由圖4-7可得知機器人右手臂由-90度向上轉至90度之位置命令為204至818，因此，可求得角度 ϕ_1 對應位置命令 P_1 的之方程式，如式(4-1)所示，同理也可求得ID2角度 ϕ_2 對應位置命令 P_2 的之方程式，見式(4-2)。



(a) -90度對應204

(b) 0度對應512

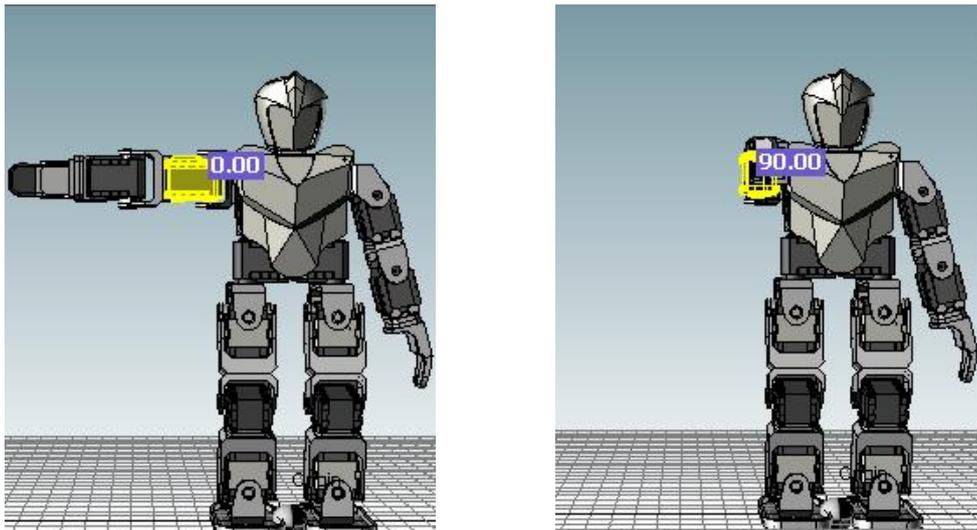
(c) 90度對應818

圖 4-7 ID1 馬達轉動角度對應位置命令

$$P_1 = \frac{307}{90} \times \phi_1 + 511 \quad (4-1)$$

$$P_2 = -\frac{307}{90} \times \phi_2 + 511 \quad (4-2)$$

- b. 另外由手臂上的ID3馬達，由圖4-8可得知機器人右手臂由0度向內轉至90度之位置命令為512至239，可求得角度 ϕ_3 對應位置命令 P_3 之方程式，如式(4-3)所示，同理也可求得ID4角度 ϕ_4 對應位置命令 P_4 之方程式，見式(4-4)。



(a) 0度對應512

(b) 90度對應239

圖 4-8 ID3 馬達轉動角度對應位置命令

$$P_3 = -\frac{91}{30} \times \phi_3 + 512 \quad (4-3)$$

$$P_4 = \frac{91}{30} \times \phi_4 + 512 \quad (4-4)$$

因此透過以上所描述的角度對應機器人位置命令的方程式，便可利用感測器所得到的姿態資訊，將手臂的垂直與水平角度，轉換至人形機器人的手臂位置命令，進而控制人形機器人。

■ 伴隨互動教學流程

一次完整的伴隨互動教學，起初與靜態教學步驟相同，由圖4-2所列的12個人形機器人動作樣本任意選擇數個動作，並對應至動作資料庫中，將依序在螢幕上顯示出動作，接著同樣在測試者身上配戴紅色手套與肩上的紅布，機器人會在教學開始前，做出手臂打平的動作，請測試者模仿，目的為了得到手臂影像初始的長度，以利教學的正確判斷與確實的控制機器人。

教學開始時，完全由電腦自主判斷動作與操控機器人及音效，人形機器人起初做出自我介紹且於環境中產生教學音效的氛圍，步驟如圖4-9所示，教學開始後，螢幕上會依序顯示設定的數個動作，機器人將會不斷的由測試者手臂之感測資訊改變自身的動作，直到全部動作顯示結束。

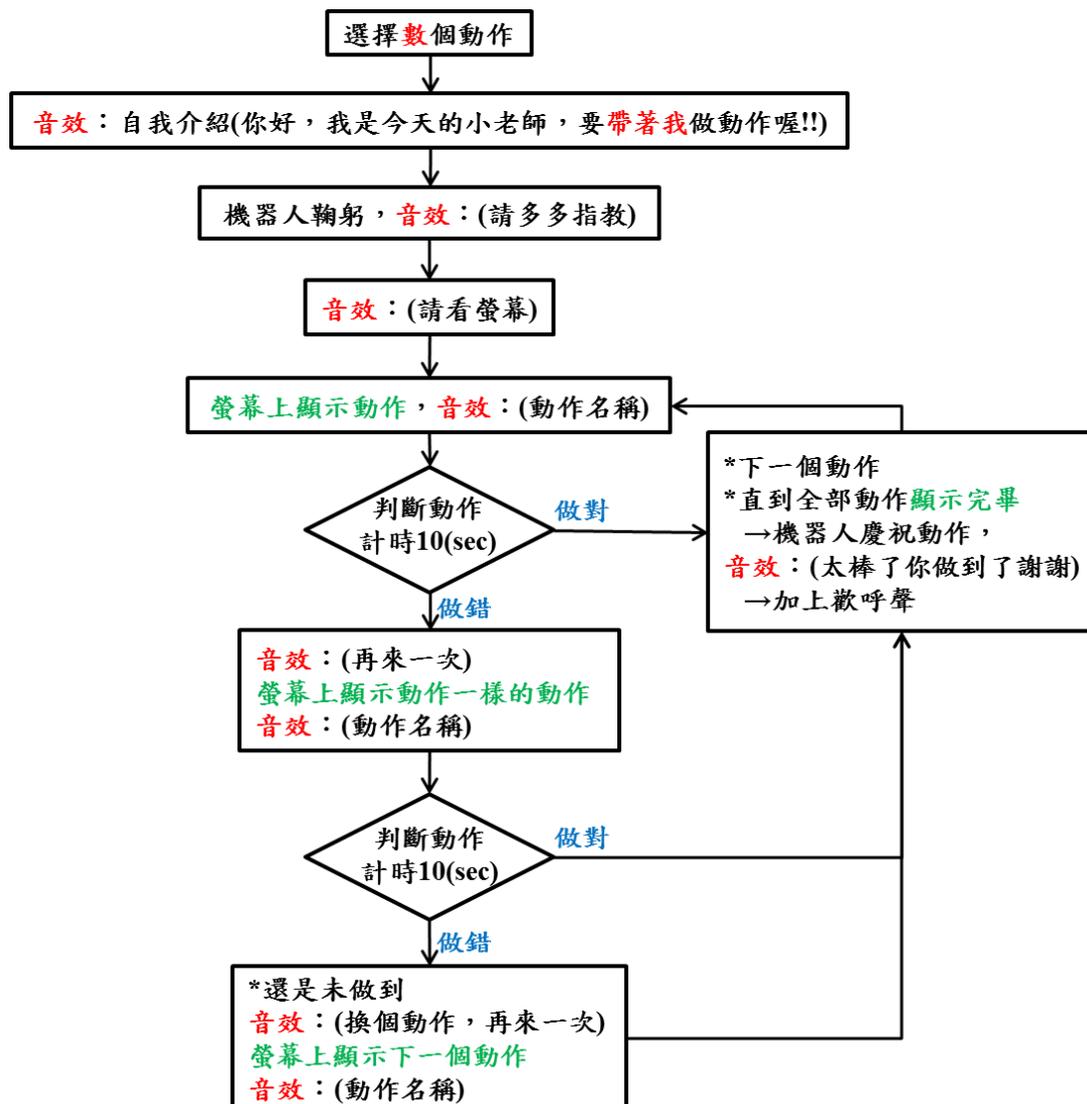
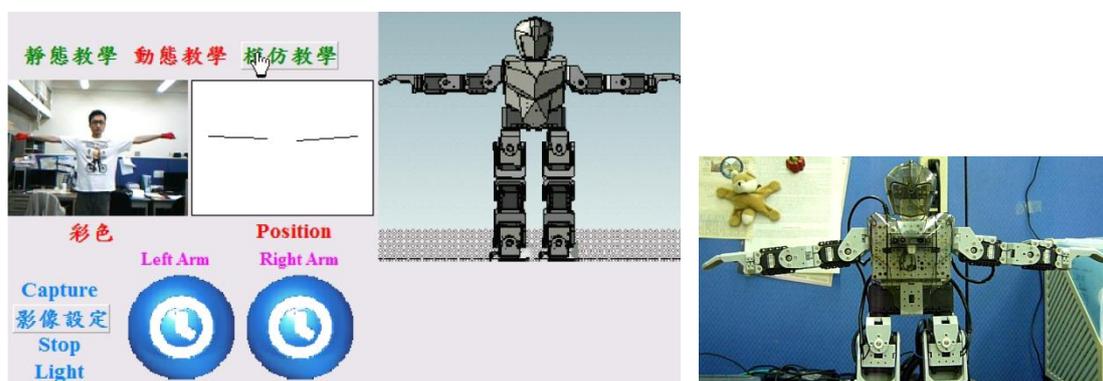


圖 4-9 伴隨互動教學完整流程

動作的判斷同靜態互動教學，將由得到的手臂之垂直與水平角度，一方面以頻率10 Hz控制人形機器人，另一方面，對應動作資料庫中動作的角度，當偵測的角度範圍介於正確動作的角度 ± 10 度內，則自閉症孩童動作與螢幕顯示的動作匹配，環境將產生正面鼓勵的音效，且持續顯示下一個動作，直到全部動作結束；反之，當動作不匹配，為避免教學中斷，計時十秒後，還未達成，螢幕上便重新顯示同樣的動作，並由適當音效產生提示，若再經過十秒還是未完成，螢幕上將顯示下一個動作，來避免教學無法順利進行，全部動作顯示結束後，

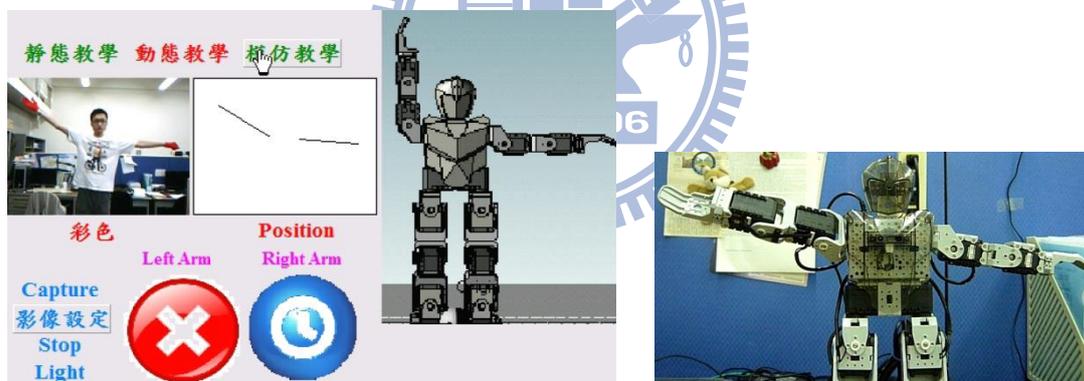
機器人將做出歡呼的動作並配上音效以茲正面的鼓勵，透過此部分的伴隨互動教學，訓練自閉症孩童的專注力與行為能力，提升自閉症孩童互動意願的主動性，如圖4-10與圖4-11分別為動作做對與做錯之情形。



(a) 螢幕上動作樣本與監控端

(b) 機器人伴隨動作

圖 4-10 動作正確情況



(a) 螢幕上動作樣本與監控端

(b) 機器人伴隨動作

圖 4-11 動作錯誤情況

4.3 動態互動教學(人模仿機器人之重複擺動動作)

動態教學主要由人形機器人示範一系列動態的動作，製造一個學習的環境，供自閉症孩童模仿人形機器人的動作，此部分專為較高功能的自閉症孩童所設計，因為需於手臂上配戴三軸加速度計、Jennic無線微控制器與微小震動馬達，對高功能的孩童較不會排斥，根據前面章節3.2所介紹的動態辨識的方法，教學

中，我們可以計算出自閉症孩童動作與預設動作的相似程度，得到正確的運動方向，並藉由影像處理的輔助，確定運動區域的正確性，當自閉症孩童能跟隨機器人的動作，將產生正面鼓勵之環境；反之，設計適當的音效作為提示，產生誘導之輔助環境，希望藉由此迴路教學更進一步提升自閉症孩童與人形機器人的互動。

■ 機器人動作樣本

動態互動教學以人形機器人的動作為樣本，此部分設計了四種簡易的上肢擺動動作，分別為：手臂張開的上下擺動(對稱/不對稱)與手臂向前的上下擺動(對稱/不對稱)，每個動作皆由電腦端控制，並給予不同的口語姿勢名稱。

■ 動態互動教學流程

一次完整的動態互動教學由上述的4個人形機器人動作樣本任意選擇數個動作，對應至動作資料庫中，將依序做出動作，接著在測試者身上配戴三軸加速度計、無線微控制器、震動馬達、紅色手套及肩上的紅布，機器人會在教學開始前，做出手臂打平的動作，請測試者模仿，目的為了得到手臂影像初始的長度，以利教學的正確判斷。

教學開始時，完全由電腦自主判斷動作與操控機器人及音效，人形機器人起初做出自我介紹且於環境中產生教學音效的氛圍，步驟如圖4-12所示，教學開始後，機器人會依序做出設定的數個動作，直到全部動作結束。

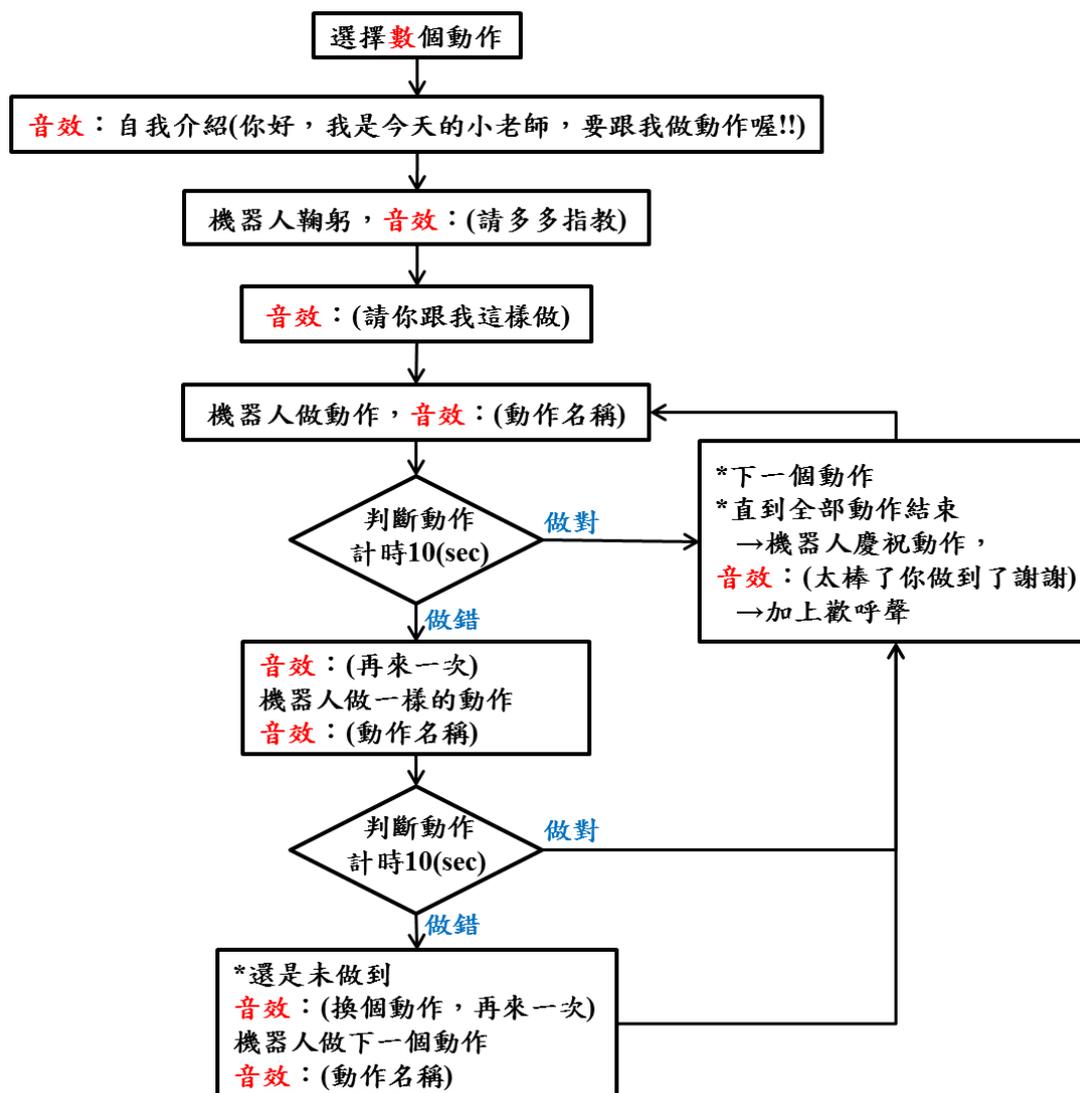


圖 4-12 動態互動教學完整流程

動態教學中，動作的判斷將由前述之動態辨識演算法判斷運動區域的相似程度百分率，有鑒於自閉症孩童行為能力的缺乏，故此部分動作相似度門檻值調整約75%，接著利用影像處理的輔助，得到手臂水平移動的角度，對應動作資料庫中動作的角度，當偵測的角度範圍介於正確動作的角度 ± 10 度內，則運動區域判斷為正確，並將產生正面鼓勵的音效，且持續進行下一個動作，直到全部動作結束；反之，當動作不匹配，將產生些微的震動於手臂上，且為避免教學中斷，計時十秒後，還未達成，機器人便回到初始狀態並重做一次同樣的動

作，並由適當音效產生提示，若再經過十秒還是未完成，機器人將進行下一個動作，來避免教學無法順利進行，全部動作結束後，機器人將做出歡呼的動作並配上音效以茲正面的鼓勵，透過此部分的動態互動教學，同樣訓練自閉症孩童的專注力，並做出不同的動作改善固著專注力的遷移，藉由較困難的動態動作進一步培養個人行為能力，提升社會性的模仿意願。

4.4 小結

本研究針對自閉症孩童本身的自發性的眼神注視能力缺乏與互動行為能力的缺陷，故根據第三章所提出之上肢感測技術，建立起三項互動教學，分別為人形機器人與自閉症孩童的相互模仿，藉由多樣的動作與回饋的互動環境，產生一系列的誘發教學，提升學習的動機，以人形機器人作為人與人互動之媒介，期待進一步能提高自閉症孩童互動意願的主動性。



第五章 實地測試結果與效能評估分析

基於本研究所建立起之三項自閉症孩童與人形機器人的互動教學，於民國 100 年 5 月 27 日、6 月 3 日、6 月 17 日實地參訪新竹市東園國小特教班的學生，目的主要探討透過此三種教學系統對於三位國小自閉症孩童的影響，採取一對一的教學介入，以期了解教學是否增進孩童的社會性模仿意願，與改善其自發性的眼神注視能力和個人行為能力。本章就研究對象、教學介入程序、評估辦法、評估資料蒐集與數據分析，分別一一說明。

5.1 研究對象

研究對象為三位來自新竹市東園國小特教班的自閉症孩童，分別是 12 歲的受試者甲、11 歲的受試者乙與 11 歲的受試者丙。三位受試者皆經過公私立醫院兒童精神科醫師鑑定為自閉症孩童並領有身心障礙手冊且經「特殊教育學生鑑定及就學輔導委員會」認定需進入特教班教育。進班實測前的了解，經過 100 年 5 月 27 日一個上午的實地認識並與孩童建立關係且向特教班老師進行測試前的評估資料收集，以便了解三位自閉症孩童日常生活的互動，並取得家長與特教班的同意，(家長同意書如附錄一)。三位受試孩童的基本資料如下：

■ 受試者甲的基本資料

受試者甲為實歲 12 歲就讀國小六年級的男孩，家中尚有一位弟弟，經醫院診斷為中度自閉症且認定需進入特教班學習。

受試者甲的老師表示，受試者甲的口語能力佳，閱讀能力好，平時喜歡玩電腦，聰明又活潑；經過實地觀察發現，受試者甲與人的眼神注視能力不佳，不喜歡與人有眼神注視，且對新奇的事物感到好奇，會主動詢問，行為能力十分過動，但遇到不想回答之問題，便會默默地離開來逃避問題。

■ 受試者乙的基本資料

受試者乙為實歲 11 歲就讀國小五年級的女孩，經醫院診斷為重度自閉症且認定需進入特教班學習。

受試者乙的老師表示，受試者乙常有不當的行為表現，如隨意碰觸身體，故常常需要一位老師隨時陪伴，且情緒容易受影響，低落時，常常哭鬧；經過實地觀察發現，受試者乙上課時常常玩弄自己的手指，沉浸在自己的世界中，與人的眼神注視能力不佳，常刻意避開與人的眼神接觸。

■ 受試者丙的基本資料

受試者丙為實歲 11 歲就讀國小五年級的男孩，經醫院診斷為重度自閉症與多重障礙且認定需進入特教班學習。

受試者丙的老師表示，受試者丙的閱讀能力普通，平常喜歡玩電腦，做事情需多加督促；經過實地觀察發現，受試者丙常常自言自語，說出一連串與當下無關的話語，上下課容易沈浸在自己的世界裡，幾乎與同學間沒有互動，與人的眼神注視能力較差，幾乎不與人有眼神的接觸。

綜合以上所述，茲整理受試者的基本資料如表 5-1：

表 5-1 三位受試者的基本資料

	受試者甲	受試者乙	受試者丙
性別	男	女	男
年齡	12 歲	11 歲	11 歲
鑑定	中度	重度	重度與多重障礙
日常表現	活潑主動	需常常陪伴	需不斷督促

5.2 教學介入程序

於 6/3 上午實地讓受試者熟悉機器人的互動教學後，正式於 6/17 上午做實地教學測試，將第四章所建立之三種互動教學納入特教班的課程，由特教班老師帶領一系列的課程，視為主教者，三位受試者都將進行第一類靜態互

動教學及第二類伴隨互動教學；因受試者甲為中度自閉症孩童，較不排斥於手臂上配戴工具，故將持續測試第三類動態互動教學。

教學中，先由主教者示範每一種教學的流程，並逐漸安排三位受試者上台測試，每個教學中，受試者皆需配戴紅色手套與肩上紅布，但經由實地觀察發現自閉症孩童可能容易受肩上的紅布的影響，無法專注在機器人上，容易使教學失焦，故為使教學順利，在測試地點上標記測試位置，使自閉症孩童固定於一個偵測區域，並在初始化後，如圖 5-1 所示，固定肩膀上於影像中的位置座標，三位受試者實際測試初始化如圖 5-2 所示，完成後由主教者將肩上紅布拿下。

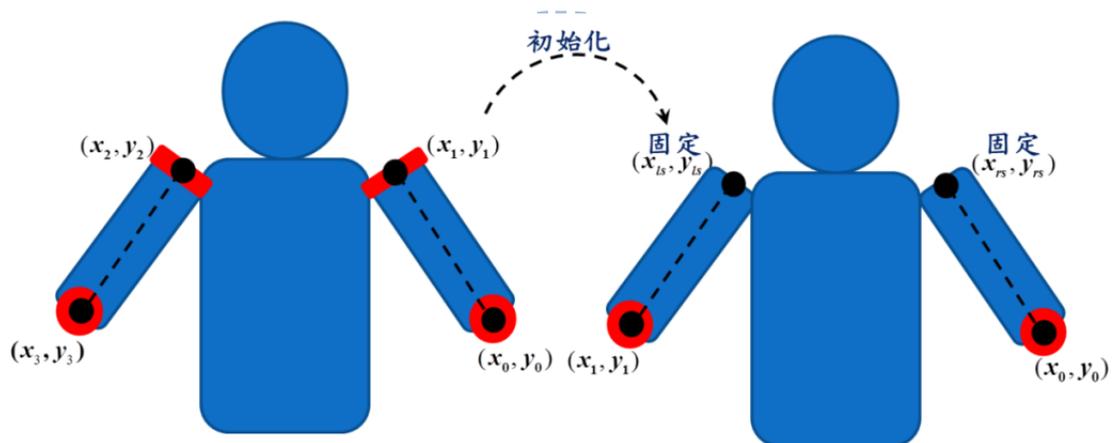


圖 5-1 影像標記由四點改為兩點



(a) 受試者甲



(b) 受試者乙



(c) 受試者丙

圖 5-2 三位受試者初始化過程

■ 靜態互動教學實測流程

教學前，先由人為操控機器人的動作，讓主教者帶著孩童們模仿機器人的數個動作，如圖 5-3 所示，讓孩童們熟悉此教學的目的，接著讓孩童個別上台測試。



圖 5-3 主教者帶領孩童模仿人形機器人

三位受試者將一一上台，接受一次靜態教學的模仿學習，影像初始化後，教學全程交給機器人小老師，一次共六個動作，供自閉症孩童模仿，模仿成功與否和專注力的程度好壞將由兩位特教班老師評量，過程中，製造出誘發學習的環境，三位受試者實際測試的部分過程如圖 5-4 所示。



(a) 受試者甲



(b) 受試者乙



(c) 受試者丙

圖 5-4 三位受試者靜態教學實際測試過程

■ 伴隨互動教學實測流程

伴隨互動教學將反向操控人形機器人，其過程較為複雜，故先由主教者示範如何操控人形機器人，再實際操作一次伴隨互動教學給孩童觀摩，接著三位受試者個別上台測試。影像初始化後，教學全程交給機器人小老師，一次共六個動作，顯示在前方螢幕上，供自閉症孩童參考，同樣地，模仿成功與否和專注力的程度好壞將由兩位特教班老師評量，過程中，製造出誘發學習的環境，三位受試者實際測試的部分過程如圖 5-5 所示。



(a) 受試者甲



(b) 受試者乙



(c) 受試者丙

圖 5-5 三位受試者操控機器人過程

■ 動態互動教學實測流程

動態教學需於手臂上配戴硬體，故此部分考慮受試者乙和丙為重度自閉症，十分排斥配戴非自身的物品於身上，容易使情緒受到影響，導致教學中斷；故此部分將只由中度自閉症的受試者甲做測試，由於此部分類似靜態互動教學，故不需由主教者實際操控一遍。實際配戴硬體與影像初始化後，教學全程交給機器人小老師，一次共三個動作，供自閉症孩童模仿，同樣地，模仿成功與否和專注力的程度好壞將由兩位特教班老師評量，過程中，製造出誘發學習的環境，受試者甲實際測試的部分過程如圖 5-6、圖 5-7 所示。

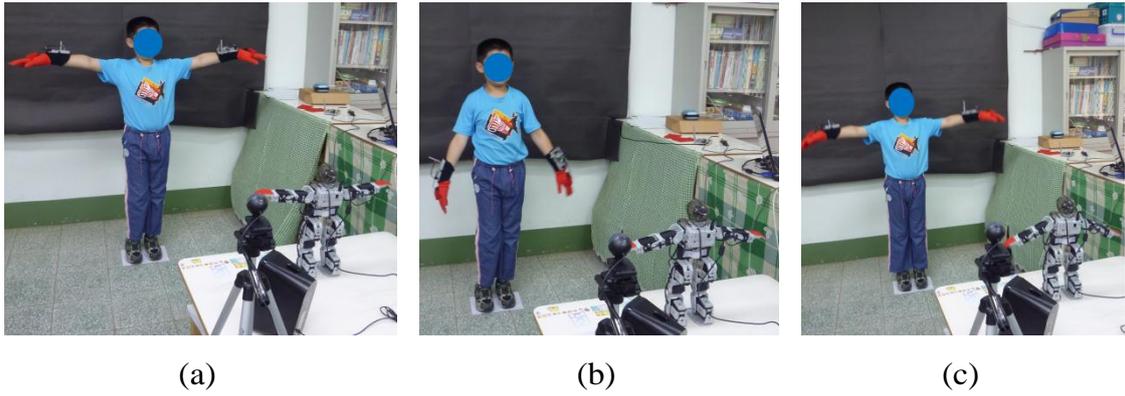


圖 5-6 左右擺動過程



圖 5-7 上下擺動過程

5.3 評估辦法

此部分為了驗證互動教學的可行性，將採用編制相當容易且最常使用的李克特量表(Likert Scale)，作為實地測試的評量，李克特量表是由美國學者 Rensis Likert 於 1932 年首創[31]，是一種評分加總式的量表，可針對某一個概念設計出數個項目，每一個項目表達出其認同的強度，加總起來得到受訪者對該概念的態度，大部分以奇數點的等級為主，故本研究將採用最常用的 5 等級來評估本教學的可行性，由於每個人對量表選項的認知不一，可能導致不專業的評量，使測量值有所誤差，故為解決此問題，協請東園國小特教班兩位專業的老師做評估，如此將可提高評量之可信度。

5.4 評估資料蒐集

本研究所建立之互動教學，主要以人形機器人作為媒介，以提升自發性的眼神注視與提高行為能力，並透過李克特量表分析教學測試前後的專注力與行為能力。

■ 實地測試前，請兩位特教班的老師，分別為專家 A 與專家 B，填寫兩份問卷(評估問卷如附錄二)：

a. 日常生活中，學生受老師指導之“行為表現”與“動作反應”程度為何？

此部分針對自閉症孩童受老師指導之行為能力分為五點項目：差(較自我)、慢、中(需叮嚀)、快與佳(主動)，差的得分為 1 分，佳的得分為 5 分，當受試者的分數越高，表示整體行為能力越好，三位受試者在兩位老師的專注力評估，如表 5-2 所示。

表 5-2 受試者平日老師指導之行為能力評分

	專家 A	專家 B	<u>平均</u>
受試者甲	5	4	4.5
受試者乙	3	3	3
受試者丙	3	4	3.5

說明：

由表 5-2 可知受試者甲平常的行為能力在兩位專家的眼中，是十分佳的，而受試者乙和丙，由於身為重度自閉症患者，相較起來，平常的行為表現就需要老師們多加叮嚀。

b. 當學生碰到新事物時，其“專注力表現”為何？

此部分針對專注力分為五點項目：差、短、中、久與佳，差的得分為 1 分，佳的得分為 5 分，當受試者的分數越高，表示專注力表現越好，三位受試者在兩位老師的專注力評估，如表 5-3 所示。

表 5-3 受試者測試前平日的專注力評分

	專家 A	專家 B	平均
受試者甲	5	4	4.5
受試者乙	3	3	3
受試者丙	3	2	2.5

說明：

由表 5-3 可知受試者甲平常對新事物的好奇心，伴隨著專注力在兩位專家的眼中，是十分好的，而受試者乙的專注力在專家的眼中就比較一般，受試者丙為重度自閉症患者與多重障礙，對不感興趣的東西，一向置之不理，相較起來，專注力的表現就更不佳了。

- 實地測試時，評估量表分為教學中機器人指導之行為能力及專注力的程度好壞，專注力評估請兩位特教班的老師填寫(評估問卷如附錄三)；"靜態"與"動態"教學皆由孩童模仿機器人動作，"伴隨"教學由機器人模仿孩童之動作：

- a. 教學中機器人指導動作之完成與否，影響到孩童於教學中的行為能力，每位學生於教學中的成功與否是絕對的，分別針對五點項目：未完成、兩次口語提示後做對、機器人重作動作後做對、一次口語提示後做對與一次馬上做對，未完成的得分為一分，一次馬上做對的得分為五分，靜態與伴隨教學的六個動作，分別得到六個分數；動態教學三個動作，分別得到三個分數，三種教學各自分數加總平均結果如表 5-4 所示。

表 5-4 受試者教學中機器人指導之行為能力評分

	靜態教學	伴隨教學	動態教學
受試者甲	5	4.3	5
受試者乙	5	5	——
受試者丙	4.7	4.7	——

說明：

教學上，受限於受試者乙與受試者丙為重度自閉症患者，身上配戴感測工具易使情緒不穩，影響教學進行，故動態教學只由中度自閉症的受試者甲進行，因此動態教學之行為能力評分只記錄受試者甲的分數

由表 5-4 可知受試者甲平時的行為能力就不錯，教學介入時，整體的行為表現非常佳，除了伴隨教學中，部分不對稱的動作因為個性過急的關係，沒有確實做到，但是三項教學的整體行為能力還是很好的；至於受試者乙和丙，很明顯的機器人教學介入中的行為能力相較於受測前，分別由 3 分增加到 5 分與 3.5 分增加到 4.7 分，整體行為表現十分佳。

- b. 教學中，人形機器人的移動，可以吸引自閉症孩童的注意，整個教學對於自閉症孩童注視力的影響，將由兩位專業者來評估，分別針對注視程度五點項目：差、短、中、久與佳，差的得分為一分，佳的得分為五分，靜態與伴隨教學的六個動作，分別得到六個分數；動態教學三個動作，分別得到三個分數，三種教學各自分數加總平均結果與兩位老師個別分數如表 5-5 所示。

表 5-5 三位受試者教學中之專注力評分

	靜態教學			伴隨教學			動態教學		
	A	B	平均	A	B	平均	A	B	平均
受試者甲	5	5	5	4.8	5	4.9	5	5	5
受試者乙	4.7	5	4.85	4.3	5	4.65	—————		
受試者丙	4	4.3	4.15	4.8	4.7	4.75	—————		

說明：

教學上，受限於受試者乙與受試者丙為重度自閉症患者，身上

配戴感測工具易使情緒不穩，影響教學進行，故動態教學只由中度自閉症的受試者甲進行，因此動態教學之專注力評分只記錄受試者甲的分數。

由表 5-5 可知，專家 A 與專家 B 在專注力之評分上，三位受試者在教學介入時，分別由 4.5 分、3 分與 2.5 分增加至將近 5 分，尤其以受試者乙和丙的漲幅最明顯，可見以機器人之互動教學對整體的注視是十分有吸引力的。

5.5 數據分析與小結

根據章節 5.4 的數據整理，可以得知人形機器人的動作很成功地吸引自閉症孩童，並且能在機器人教學中增進各自的行為能力，以下將針對三位受試者測試前後的質性觀察與數據分析。

■ 受試者甲

- a. 行為能力在專家眼中，平時就達 4.5 分，教學中動作完成度皆接近 5 分，除了伴隨教學中，部分動作因本身較於過動，影響動作的判斷，導致左右分辨不清，造成動作未做完整。
- b. 平時對新事物之專注力達 4.5 分，在教學中，機器人的介入，專注力更略為提高，將近 5 分，機器人十分吸引受試者甲之注意。
- c. 故由測試前後的數據，可知受試者甲本身的好奇心，專注力已較佳，且在機器人介入教學後，與機器人的互動動機很高，對機器人的注視程度及持續度極佳，進而使得動作完成度提高。

■ 受試者乙

- a. 測試前在專家眼中，行為能力與專注力只有中等的 3 分，但機器人的

出現，吸引受試者乙的注意，專注力提升至將近 5 分且動作皆一次就完成，教學完成度皆得到 5 分。

- b. 受試者乙測試當天雖然情緒上出現問題，而導致心情低落，但在與機器人的互動上，可以改善情緒，且注視力的持續度較平日的課程中較為拉長，根據測試前後的數據，專注力與行為能力改善的最明顯。

■ 受試者丙.

- a. 平日行為能力在專家眼中只有 3.5 分，但以機器人教學之情況下，反而動作完成度皆達到 4.7 分，行為能力大幅的提升。
- b. 平時的專注力只有 2.5 分，注視力極為短暫，但機器人的動作，大大的吸引受試者丙之注意，靜態教學之評分達 4.17 分，且在較為複雜之伴隨教學上，帶領著機器人，專注力更提升至 4.75 分。
- c. 受試者丙為重度自閉症患者與多重障礙，因此，剛開始測試時，主教者需在旁提醒，但機器人的動作可以成功地吸引其注意，由數據顯示，對於機器人的專注力還是極佳，進而動作完成度就會提高。

針對三位受試者的測試結果，可由李克特量表經由專業的評估，得到可信度較高的結果，且經由數據的分析，可驗證三項與機器人互動教學的可行性，成功將機器人作為人與人之間互動的媒介。

第六章 結論與未來發展

6.1 結論

根據以上的實驗與測試結果，在此為本論文做出以下幾點結論：

1. 感測器訊號之處理與人體姿勢判斷：
 - a. 由簡易之網路攝影機，配合影像處理技術，擷取上肢四個特徵點，並計算手臂角度資訊，達到靜態手臂姿勢的擷取；並利用實驗所得知角度結果，因影像易受光源影響，角度誤差範圍皆於 ± 5 度以內，並評估自閉症孩童的行為能力，故適當調整判斷動作角度門檻範圍為 ± 10 度。
 - b. 利用低成本之非視覺式三軸加速度感測器，納入動態辨識演算法，將手臂的移動運動方向與快慢，以 LCS 演算法辨識一連串之動作序列，並根據實驗結果與自閉兒教學應用，設定相似度門檻值為 75%；並以影像處理輔助運動區域的正確性，彌補加速度計的不足，以完成動作追蹤的目的。
 - c. 建立起 ZigBee 星狀拓撲網路，使活動性增加，並以電腦為核心，建構起整個無線感測整合系統。

2. 回饋互動教學的建立與教學可行性評估：
 - a. 以上述之無線感測網路技術，建立起靜態互動教學、伴隨互動教學與動態互動教學，並配合音效回饋系統，以此迴路互動教學，協助自閉症孩童正確的復健與提升之間的互動，並提升自發性的眼神注視、改善固著專注力的遷移與提高社會性行為的模仿意願。
 - b. 實地測試後，將資料以李克特量表做數據彙整，以驗證教學的可行性；且由數據可知，三位受試者的專注力與個人行為能力在與機器人互動上有明顯地改善，故機器人能做為自閉症孩童與人互動間，一個很好的教學媒介。

6.2 未來發展

本論文為自閉症孩童發展了一系列與人形機器人互動的教學架構，包含感測、通訊與機器人介面，未來還有許多地方可以繼續研究發展下去，在此列出數點未來發展的方向：

1. 感測器方面：

- a. 影像處理姿態擷取方面，由於目前身上的感測點只有四點，感測到的姿態訊息有限，未來可以增加身體感測點的數量，達到更多元化的姿態擷取特徵。
- b. 動作追蹤方面，可以利用較昂貴之磁力計取代影像輔助的功能，進而增加處理的速度，並增加多個感測器，以追蹤更多部位之動作。

2. 教學與評估方面：

- a. 本論文所設計之迴路教學，只以上肢擺動的動作為主，未來可以將動作延伸至更多部位，並建立更豐富的教學環境與工具，以提升教學的複雜度，建立更多元化的教學。
- b. 本研究所評估的受試者年齡較為成熟，行為能力皆有一定的程度，未來可考慮將受試者的生理年齡向下延伸，把握發展早期的時期，探討教學介入之成效性。

參考文獻

- [1] 聯合國發布的數據表明。
- [2] 張豔勻，“模仿自閉症幼兒對其社會性趨向行為成效之研究”。國立台北教育大學特殊教育學系碩士班論文，台北，中華民國97年。
- [3] 高玉馨，“比較介入模仿與情感交流活動對提升自閉症幼兒社會性趨向行為之差異”。國立台北教育大學特殊教育學系碩士班論文，台北，中華民國98年。
- [4] 吳進欽，“自閉症兒童模仿能力之研究”。國立中正大學心理學系碩士論文，嘉義，中華民國93年。
- [5] 劉嫚妮，“應用體感互動遊戲於自閉症兒童認知學習之研究”國立台北科技大學創新設計研究所碩士論文，台北，中華民國97年。
- [6] Meltzoff, A. N. & Moore, M. K. (1994). “Imitation, memory, and the representation of persons.” *Infant Behavior and Development*, 17, 83-99.
- [7] Carpenter, M., Nagell, K., & Tomasello, M. (1998). “Social cognition, joint attention, and communicative competence from 9 to 15 months of age.” *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 63, 1-142
- [8] Roeyers, H., Oodt, P. V., & Bothuyne, S. (1998). “Immediate imitation and joint attention in young children with autism.” *Development and Psychopathology*, 10, 441-450
- [9] 葉俊，“3D 虛擬學習環境之建置及其提升自閉症主社會性互動能力之應用”國立彰化師範大學數位學習研究所碩士論文，彰化，中華民國97年。
- [10] Grynspan, O., Martin, J.-C. ; Nadel, J.; “What influences human computer interaction in autism?” *Development and Learning, 2007. ICDL 2007. IEEE 6th International Conference*.

- [11] D. Feil-Seifer and M. J. Mataric, "B3IA: A control architecture for autonomous robot-assisted behavior intervention for children with Autism Spectrum Disorders", *Robot and Human Interactive Communication*, pp.328-333, 2008
- [12] B. Robins, N. Otero, E. Ferrari, and K. Dautenhahn, "Eliciting requirements for a robotic toy for children with autism - Results from user panels", *Robot and Human interactive Communication*, pp.101-106, 2007
- [13] B. Robins, K. Dautenhahn, R. T. Boekhorst, and A. Billard, "Robotic assistants in therapy and education of children with autism: can a small humanoid robot help encourage social interaction skills?", *Universal Access in the Information Society*, pp.105-120, 2005
- [14] B. Robins, P. Dickerson, P. Stribling, and K. Dautenhahn, "Robots as embodied beings - Interactionally sensitive body movements in interactions among autistic children and a robot," *Proc. 14th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication -ROMAN '05*, 2005.
- [15] B. Robins, K. Dautenhahn, "The role of the experimenter in HRI research – A case study evaluation of children with autism interacting with a robotic toy", *Robot and Human Interactive Communication*, pp.646-651, 2006
- [16] B. Robins, K. Dautenhahn, "Robot as assistive technology – Does appearance matter." *Proc. 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication -ROMAN '09*, 2004.
- [17] H. Kozima, C. Nakagawa, Y. Yasuda, "Interactive robots for communication-care: a case-study in autism therapy", *Robot and Human Interactive Communication*, pp.341-346, 2005
- [18] H. Kozima, Y. Yasuda, C. Nakagawa, "Social interaction facilitated by a minimally-designed robot: Findings from longitudinal therapeutic practices for autistic children", *Robot and Human interactive Communication*, pp.599-604,

2007

- [19] H. H. Lund, M. D. Pedersen, and R. Beck, “Modular robotic tiles experiments for children with autism”, *Artificial Life and Robotics*, pp. 394-400, 2009
- [20] Sam Naghshineh, Golafsoun Ameri, Mazdak Zereshki & Dr. S. Krishnan, Dr. M.Abdoli-Eramaki “Human Motion capture using Tri-Axial accelerometers”
- [21] Davey T. W. Fong, Joe C. Y. Wong, Alan H. F. Lam, Raymond H.W. Lam and Wen J. Li “A Wireless Motion Sensing System Using ADXL MEMS Accelerometers for Sports Science Applications” *Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation*, June 15-19. 2004, Hangzhou, P.R. China
- [22] Jihong Lee and Insoo Ha “Real-Time Motion Capture for a Human Body using Accelerometers” *Robotica (2001) volume 19*, pp. 601–610. Printed in the United Kingdom © 2001 Cambridge University Press
- [23] Dean M. Karantonis, Michael R. Narayanan, Merryn Mathie, Nigel H. Lovell, and Branko G. Celler, “Implementation of a Real-Time Human Movement Classifier Using a Triaxial Accelerometer for Ambulatory Monitoring” *IEEE Transactions on information technology in biomedicine*, vol.10, No.1, January 2006
- [24] Pedram Azad, Ales Ude, Tamim Asfour, Gordon Cheng, and Ruediger Dillmann “Image-Based Markerless 3d Human Motion Capture using Multiple Cues” *Neuroscience (2006)*
- [25] 吳怡明，“手勢辨識應用於遙控音樂播放系統” 國立台灣科技大學電機工程系碩士論文，台北，中華民國98年。
- [26] D.S. Hirschberg, “A Linear Space Algorithm for Computing Maximal Common Subsequence”, *Communication of ACM*, Vol.18, pp.341-343, 1975
- [27] NI Developer Zone, <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/6242>

- [28] ADXL335: Small, Low Power, 3-Axis $\pm 3g$ iMEMS Accelerometer, <http://www.analog.com/en/mems-sensors/inertial-sensors/adxl335/products/product.html>
- [29] Rogers, S. J. & Pennington, B. F. “A theoretical approach to the deficits in infantile autism.” 1991, *Development and Psychopathology*, 3, 137-162.
- [30] Hermelin, B. and O' Connor, N. “Psychological experiments with autistic children.” 1970, Oxford: Pergamon Press
- [31] Likert, Rensis, “A Technique for the Measurement of Attitudes, *Archives of Psychology*.” 1932, 140: pp. 1-55



附錄一：家長同意書

新竹東園國小 家長同意書

填表日期：___年___月___日

親愛的貴家長您好：

交通大學電控工程研究所徐保羅教授研究團隊目前致力於孩童互動能力之復健教育的開發，主要透過小型人形機器人(高約 30 公分)，設計一系列與孩子的互動遊戲教學，希望藉此改善孩子的「注意力」與增進「人際互動」。

※ 本互動遊戲教學會基於保護學生立場，將所有關於孩子的照片或影像做臉部模糊處理，請您放心！ 也歡迎貴家長至現場參與本遊戲教學。

遊戲教學時間：(每次兩小時：09:30 ~ 11:10AM)

1. 5/27(五)上午：認識並與孩子建立關係
2. 6/3(五)上午：第一次互動遊戲教學
3. 6/17(五)上午：第二次互動遊戲教學



孩童姓名：	性別：	年齡：
-------	-----	-----

請問您是否同意讓您的小孩參與本互動遊戲教學：

- 同意
不同意

家長簽章：

主持人：徐保羅教授

研究成員：蔡政宏(交通大學) e-mail: chtsai1025@gmail.com

黃思翰(交通大學)

胡秀娟(新竹教育大學)

Tel. 5712121 ext.54417 新竹市大學路 1001 號 國立交通大學電機系

感謝您！

附錄二：實地測試前問卷

老師您好：

1. 此部分目的是詢問學生在學校遇到新事物的喜好程度，請依照直覺作答即可。請問當學生碰到新事物時，其“注視程度”為何？

	差	短	中	久	佳
受試者甲	<input type="checkbox"/>				
受試者乙	<input type="checkbox"/>				
受試者丙	<input type="checkbox"/>				

2. 此部分目的是透過老師的專業，詢問學生在日常生活中，整體的行為能力，請依照直覺作答即可。請問平常學生的“行為表現”與“動作反應”的程度為何？

	差(較自我)	慢	中(需叮嚀)	快	佳(主動)
受試者甲	<input type="checkbox"/>				
受試者乙	<input type="checkbox"/>				
受試者丙	<input type="checkbox"/>				

附錄三：實地測試評估表

一、靜態教學 → 名 字

動作	教學成功與否	注視次數	注視力的程度好壞	備註
	<p><u>一次馬上</u> 做對</p> <p><u>十秒內口語提示</u> 後做對</p> <p>機器人 <u>重做動作</u> 後做對</p> <p><u>兩次口語提示</u> 後做對</p> <p><u>未完成</u></p>	<p>正 字 標 記</p>	<p>差 短 中等 久 佳</p>	
一	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
二	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
三	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
四	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
五	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
六	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

二、伴隨教學 → 名字

動作	教學成功與否	注視次數	注視力的程度好壞	備註
	<p><u>一次馬上</u>做對</p> <p><u>十秒內口語提示</u>後做對</p> <p>機器人<u>重做動作</u>後做對</p> <p><u>兩次口語提示</u>後做對</p> <p><u>未完成</u></p>	正字標記	<p>差 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>短 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>中等 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>久 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>佳 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	
一	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
二	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
三	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
四	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
五	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
六	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

三、動態教學 → 名字

動作	教學成功與否	注視次數	注視力的程度好壞	備註
	<p><u>一次馬上</u>做對</p> <p><u>十秒內口語提示</u>後做對</p> <p>機器人<u>重做動作</u>後做對</p> <p><u>兩次口語提示</u>後做對</p> <p><u>未完成</u></p>	正字標記	<p>差 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>短 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>中等 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>久 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>佳 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	
一	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
二	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
三	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
四	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
五	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
六	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	