

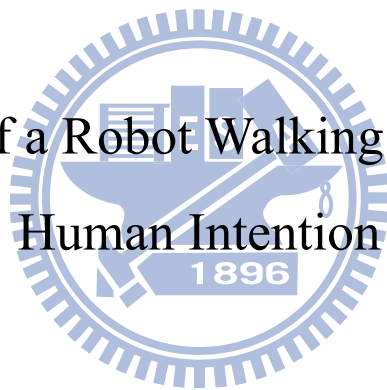
國立交通大學

電控工程研究所

碩士論文

基於使用者意圖之行動輔具設計

On the Design of a Robot Walking Helper Based on
Human Intention



研究生：楊翔斌

指導教授：楊谷洋教授

中華民國九十九年六月

基於使用者意圖之行動輔具設計

On the Design of a Robot Walking Helper Based on
Human Intention

研究生：楊翔斌

Student: Hsiang-Pin Yang

指導教授：楊谷洋 博士

Advisor: Dr. Kuu-Young Young



A Thesis

Submitted to Department of Electrical and Control Engineering

College of Electrical and Computer Science

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

of the Degree of

Master

in

Electrical and Control Engineering

June 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十九年 六月

基於使用者意圖之行動輔具設計

研究生：楊翔斌

指導教授：楊谷洋教授

國立交通大學電控工程研究所

摘要

近年來，醫療技術的革新為人類帶來了較長的壽命，妥善照顧這群日益龐大的銀髮族群成了社會上很重要的一項議題，在老人常見的問題中又以行動不便的問題最常遇到，因此在本論文中，我們設計一能有效辨識使用者意圖的力感握把，將其配置於命名為i-go的被動式機器人行動輔具，利用i-go幫助銀髮族穩健行走，並藉由此握把有效辨識使用者意圖，以降低銀髮族行走時跌倒的可能性。本文也提出了使用者意圖辨識演算法，藉由Lasso模型推論出使用者意圖與實際推拉力、旋轉力矩的關係，並通過PCA演算法得出各種意圖的權重值，在銀髮族施加各種意圖時，可以該意圖的權重值及本論文提出的模糊控制演算法，控制i-go選擇相對應的煞車力輸出。此外，為了因應個別使用者操作習慣的不同，使用了ANFIS演算法改善我們設計的模糊控制器以適應不同的使用者，達到更精確的煞車力輔助。

On the Design of a Robot Walking Helper Based on Human Intention

Student: Hsiang-Pin Yang

Advisor: Dr. Kuu-Young Young

Department of Electrical and Control Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

In recent years, the progress in medical innovation has contributed to longer life-span for human being. How to take good care of the large amount of the elderly now becomes an important social issue. Among the general health problems for the elderly, disabilities surge as major issues to face. Hence, in this thesis, upon a robot walking helper developed in our laboratory, we attach force-sensing grip handle which can be used to effectively recognize the intention of the users. We use Lasso model for user intention recognition that we can infer the relationship between users' intention and measured pushing-pulling force with rotating torque. We also use the algorithm of PCA to get every intension's weight. When the aged use different intention, they can use this intension's weight and the algorithm of fuzzy to control the i-go to choose corresponding output of braking force. Besides, to adapt ever user's different habits, we apply the algorithm of ANFIS to improve self-designed fuzzy controller to adapt to different users in achieving accurate assistance in braking force.

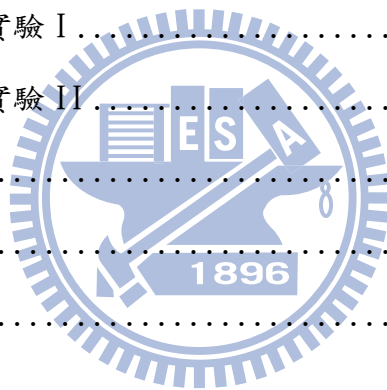
致謝

首先感謝我的指導教授 - 楊谷洋博士，在兩年的指導、鼓勵及諄諄教誨下，使我的碩士論文得以順利完成。同時，也要感謝口試委員：陳永平老師、柯春旭老師及蔡文祥老師撥冗參與論文口試，並給予許多寶貴的建議與指導，使我獲益良多。需要感謝義守大學電機所的柯春旭教授，在實驗方法的選擇上給予我非常多的建議與幫助，感謝勝雄、杰絃在助行器的外觀設計上付出了許多的心力，同時也感謝實驗室的學長：修任、豪宇、木政與一哲，在我困惑的時候伸出援手，幫助我解決研究上的問題，感謝專題生昌翰、葉耕、長翰陪伴著我做了一年的實驗，感謝萱萱當我數學問題的諮詢師，感謝蕙婷當我的英文諮詢師，有了你們幫忙實驗才能夠順利完成。我還要感謝我的好搭擋方翔，在過去這兩年我們一起討論、一起研究、一起實驗也一起創造了碩士生涯的回憶，其他還有「人與機器實驗室」的同學明勳、鎧銜，以及學弟育傑、權哲與柏穎，這兩年實驗室的生活中有你們的陪伴使我的生活多采多姿，讓我深感欣慰。最後，我要感謝我的家人的支持，提供我穩定的經濟使我得以生活，讓我能夠心無旁騖的專心致力於研究上；感謝我的女朋友乃禎在我遇到難題還是挫折時，總是在我身邊給我安慰與支持；還有感謝許許多多我的朋友們，願意傾聽我的抱怨，分享我的快樂，在我失落的時候給予我鼓勵，在我需要幫助的時候扶我一把，讓我得以完成學業。有了你們大家一點一滴的幫助，才有這份研究論文的完成，我會在我的生命中謹記你們的貢獻。

目錄

中文摘要.....	1
英文摘要.....	II
致謝.....	III
目錄.....	III
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
1. 導論.....	1
1.1 引言.....	1
1.2 研究動機.....	2
1.3 相關研究.....	2
1.3.1 力感應器.....	3
1.3.2 主動式行動輔具.....	5
1.3.3 被動式行動輔具.....	9
1.4 研究目標.....	11
1.5 論文架構.....	12
2. 機器人行動輔具意圖辨識系統.....	13
2.1 i-go 動態系統分析.....	14
2.2 使用者意圖與施力關係辨識.....	17
2.3 具辨識使用者意圖之模糊控制器設計.....	20
2.4 具適應性之意圖辨識模糊控制器設計.....	28
3. 意圖辨識與控制系統實現.....	33
3.1 i-go 硬體架構.....	35

3.1.1 行動輔具之車體.....	36
3.1.2 握力資訊擷取機構.....	38
3.1.3 伺服煞車器.....	42
3.1.4 力感應器.....	45
3.2 i-go 控制系統架構.....	48
3.2.1 核心控制晶片 TMS320F2812.....	49
3.2.2 周邊控制晶片 PIC18F4520.....	52
3.2.3 握力資訊擷取系統.....	55
4. 實驗與分析.....	58
4.1 意圖辨識與施力關係實驗.....	58
4.2 意圖操控 i-go 實驗 I.....	65
4.3 意圖操控 i-go 實驗 II.....	75
5. 結論與未來展望.....	79
5.1 結論.....	79
5.2 未來展望.....	80
參考文獻.....	81



表目錄

表 2.1 P C A 特徵向量規劃.....	22
表 2.2 模糊控制 I/O	23
表 4.1 意圖辨識與施力關係實驗受測者資料.....	60
表 4.2 意圖操控 i-go 實驗 I 受測者資料.....	69



圖目錄

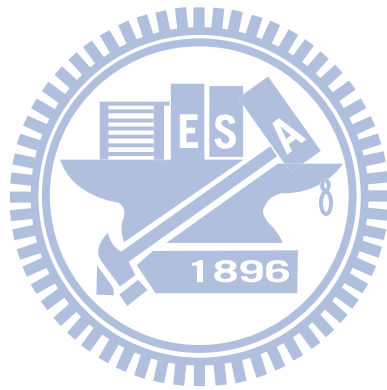
圖 1.1	電容式力感應器[4].....	4
圖 1.2	電阻式力感應器[4].....	4
圖 1.3	應變規式力感應器[4].....	4
圖 1.4	SmartCane[5].....	5
圖 1.5	SmartWalker[6].....	6
圖 1.6	(a)XR4000 和(b)XR4000 上的手把[8].....	6
圖 1.7	guido 的外觀架構[9].....	7
圖 1.8	Kosuge 教授提出之主動式行動輔具[10].....	8
圖 1.9	(a) InBOT 外觀和(b) InBOT 意圖辨識握把[11].....	8
圖 1.10	(a)RT-Walker 和(b)搭載伺服煞車器的後輪[12].....	10
圖 1.11	Hiroyuki 提出之 Four-Castered Walker : (a)設計架構圖和(b)使用者操作的情形[13].....	10
圖 2.1	i-go 意圖辨識功能示意圖.....	14
圖 2.2	行動輔助器結構圖.....	15
圖 2.3	意圖辨識握把示意圖.....	17
圖 2.4	輸出煞車力震盪情況[17].....	20
圖 2.5	整體模糊控制系統架構圖.....	21
圖 2.6	具辨識使用者意圖之模糊控制器輸入變數歸屬函數：(a)左前進力歸屬函數，(b)右前進力歸屬函數，和(c)下壓力歸屬函數.....	24
圖 2.7	具辨識使用者意圖之模糊控制器輸出變數歸屬函數：(a)左輪程度歸屬函數和(b)右輪程度歸屬函數.....	25
圖 2.8	左輪輸出力矩程度模糊控制規則.....	26
圖 2.9	右輪輸出力矩程度模糊控制規則.....	27

圖 2.10	ANFIS 架構.....	29
圖 3.1	助行器 i-go 外觀.....	34
圖 3.2	系統架構圖.....	34
圖 3.3	i-go 硬體架構圖.....	35
圖 3.4	(a)車下體尺寸與(b)車身尺寸.....	36
圖 3.5	(a)i-go 行動輔助器底部示意圖和(b)皮帶輪與後輪配置圖.....	37
圖 3.6	i-go 行動輔具外殼.....	37
圖 3.7	握把上視圖尺寸.....	38
圖 3.8	握把側面圖尺寸.....	39
圖 3.9	握把成品上視圖.....	39
圖 3.10	(a)握把成品側視圖和(b)握把成品拆解圖.....	40
圖 3.11	握把兩手實際使用情形.....	40
圖 3.12	(a)握把實際使用情形側面和(b)握把實際使用情形正面.....	41
圖 3.13	兩軸力感應器裝置於車體.....	41
圖 3.14	(a)RD-2087-01 伺服煞車器和(b)輸入電流與輸出力矩關係[22].....	43
圖 3.15	(a) Wonder Box 裝置控制器和(b)輸入電壓與輸出電流關係[22].....	44
圖 3.16	電阻式壓力感應器.....	45
圖 3.17	(a)FSR 施力與電阻的關係和(b)FSR 施力與電導的關係.....	46
圖 3.18	實驗驗證用兩軸力感應器.....	46
圖 3.19	實驗驗證用兩軸力感應器濾波器.....	46
圖 3.20	(a)兩軸力感應器輸出電壓與旋轉力矩關係圖和(b)兩軸力感應器輸出電壓與推拉力關係圖.....	47
圖 3.21	i-go 環境資訊感測流程.....	48
圖 3.22	(a) easy-DSP 正面圖和(b) easy-DSP 側面圖.....	50
圖 3.23	TMS320F2812 腳位圖[23].....	50
圖 3.24	TMS320F2812 系統架構圖[23].....	51

圖 3.25	PIC18F4520 腳位圖[24]	53
圖 3.26	PIC18F4520 外觀	53
圖 3.27	PIC18F4520 系統架構圖[24]	54
圖 3.28	OP 放大電路	56
圖 3.29	OP 放大電路實體圖	56
圖 3.30	邏輯電路示意圖	56
圖 3.31	電位轉換電路板	57
圖 3.32	兩軸力感應器用加法電路	57
圖 4.1	力感應器壓力與電壓的關係	59
圖 4.2	意圖辨識與施力關係實驗場景	60
圖 4.3	受測者 A 實驗結果	63
圖 4.4	受測者 B 實驗結果	64
圖 4.5	使用者意圖擷取介面(a)設定串列傳輸功能介面，(b)獲取意圖介面，(c)顯示握力值介面，和(d)控制煞車器介面	66
圖 4.6	力感應握把位置與結果位置對照圖	67
圖 4.7	前進意圖	67
圖 4.8	後退意圖	68
圖 4.9	下壓意圖	68
圖 4.10	右轉意圖(a)單手施力右轉和(b)雙手施力右轉	68
圖 4.11	左轉意圖(a)單手施力左轉和(b)雙手施力左轉	68
圖 4.12	(a)實驗場地和(b)實驗場地尺寸	70
圖 4.13	實驗操作呈現：(a)i-go 沿著實驗軌跡行走和(b) i-go 沿著實驗軌跡行走近照	70
圖 4.14	受測者 A 下坡時仰俯角變化之重力補償	71
圖 4.15	受測者 D 實驗結果	73
圖 4.16	具適應性之意圖辨識模糊控制器輸入變數歸屬函數：(a)左前進力歸屬	

函數，(b)右前進力歸屬函數，和(c)下壓力歸屬函數 76

圖 4.17 受測者 E 實驗結果 77



第一章

導論

1.1 引言

隨著科技的高度發展，醫療領域的專業技術越臻成熟，伴隨著人類的平均壽命也逐年提高，老年人口在社會上所佔的比率也越來越多，在 1993 年，國內 65 歲以上人口占總人口比例首度突破 7%，正式步入老齡化社會，預計到了 2010 年，台灣老年人口將佔總人口數的 10.6%，不僅僅是台灣，不久前，美國人口普查局所提出的調查數據顯示，全球老年人口(65 歲以上)正以空前的速度攀升，截至 2008 年中，全球老年人口已高達 5.06 億人，估計到了 2040 年，將激增 1 倍達到 13 億人，佔全球總人口數的 14%。該份研究報告並顯示，預估到 2017 年，全球 65 歲以上的人口將超越 5 歲以下的幼童人口。

老人照顧成為新時代的新課題，在許多老人問題中又以行動不便及肌肉無力問題最常遇到，現階段改善的方法往往是使用拐杖或輪椅等輔助工具幫助行走，然而拐杖對於肌肉的輔助往往稍嫌微弱，另外有研究指出當使用者一旦開始使用輪椅的生活將加速下肢肌肉的萎縮[1]，並且銀髮族也不喜歡坐在輪椅上低人一等的感覺。

一個新的觀念指出，我們可以採用機器人取代居家看護來服務銀髮族，形形色色的機器人也相繼被製造出來。居家輔助型機器人的服務範圍非常的廣泛，其中行動輔助機器人被大量應用在輔助銀髮族移動。Kosuge 等[12]提出了被動式行動輔具的概念，有別於傳統的主動式行動輔具機器人，被動式行動輔具更重視使

用者的安全性，排除了主動式行動輔具的馬達容易暴衝的問題，被動式行動輔具採用了伺服煞車器做為制動器，隨著使用者的意圖及環境資訊來調整煞車器的輸出力矩，藉著兩輪阻力的改變，達成轉彎或移動的功能。

1.2 研究動機

儘管市面上有多種型態的行動輔助機器人可用來幫助行動不便的銀髮族，使他們可以行走得更穩，然而複雜的操作方式讓老年使用者覺得生疏，現階段的助行器操作方式不論主動被動，都是以機器的角度來思考操作方式，在使用者意圖的辨識上是很薄弱的。舉例來說許多助行機器人具備有觸控銀幕，使用者在操作時需要先做許多的設定，另外標榜有使用者意圖辨識功能的助行機器人使用非常陽春的力感應器，僅能辨別一些基本意圖；少數配備有高級多軸力感應器，又會使助行器本身變的非常昂貴，且這種力感應器常常因無法適應太劇烈變動的力改變而損壞。因此若能發展一套低成本、高可靠度，又具有有效的意圖辨識系統，達到機器與人類共同控制，將使得使用者在操作上更順手，對銀髮族來說也不需要學習複雜的設定方式，在操作上可以更心安。

1.3 相關研究

機器人輔助系統在老化的社會中將扮演重要的角色，這類的機器人輔助系統，最重要就是要達到使用方便、高效能、以及使用者的安全性與穩定性[2,3]，因此，提供介於人與機器人輔助系統之間安全的控制策略是非常重要的，有了好的控制策略，還須要搭配能有效感測的感測器及符合人體工學的硬體構造，才能達到這些要求。目前有多種壓力感測器被應用在主動及被動式行動輔具辨識使用者意圖的功能上，以下針對這些研究進行概略性的介紹。

1.3.1 力感應器

目前市面上所見之力感應器(force sensor)主要可分為電容式、電阻式及應變規式[4]，電容式力感應器於施力時將使感應器相對的表面之距離改變，因距離的改變會使感應器的內電容值產生變化，藉由偵測電容值的變化將可以推算出施力的大小，如圖1.1所示，當使用者出力時將會改變圖中的距離d值，這將使感應器的輸出電容改變。電容式力感應器有較高的精度，但是校準困難，價格也比較高昂。

電阻式力感應器主要是用壓導性的聚合物製作而成，如圖1.2所示，當使用者尚未出力時，A點與B點間為不導通的狀態時，阻抗是無窮大，一但使用者對感應器施力時會使Resistive Film產生導電性，電阻值將會下降到可量測的範圍，藉由偵測電阻值的大小可以推算出施力的大小。電阻式力感應器的精度較低但價格低廉，校準也較為容易，目前被廣泛使用在各種醫療電子領域。

應變規式的力感應器主要乃運用電阻值的改變推算出施力的大小，由於施力時會造成應變規產生形變，其內部的線圈將因應變造成長度增加、截面積減少，而電阻值與線圈長度成正比，與線圈截面積成反比，我們可以用圖1.3所示的惠斯同電橋電路得出應變規的電阻值 R_g ，進一步推算出應變的大小，最後由於應變量與施力成正比關係，我們可以輕易的得出使用者的施力大小值。應變規式的力感應器精度非常的高，應變規本身的價格也不算昂貴，但由於惠斯同電橋極容易受雜訊及溫度的干擾，因此還需要額外的放大電路及濾波器來處理雜訊，成本反而變的非常的高，且因為應變規的高精確性，讓使用者很容易因為一些操作上的不慎造成應變規的損壞。

整體來說，全組的應變規式力感應器成本最為昂貴，其次是電容式力感應器，最便宜的則是電阻式力感應器，其價格與精度成正比關係，使用者可以依據其對操作精度及預算的需求，選擇最適合的力感應器。

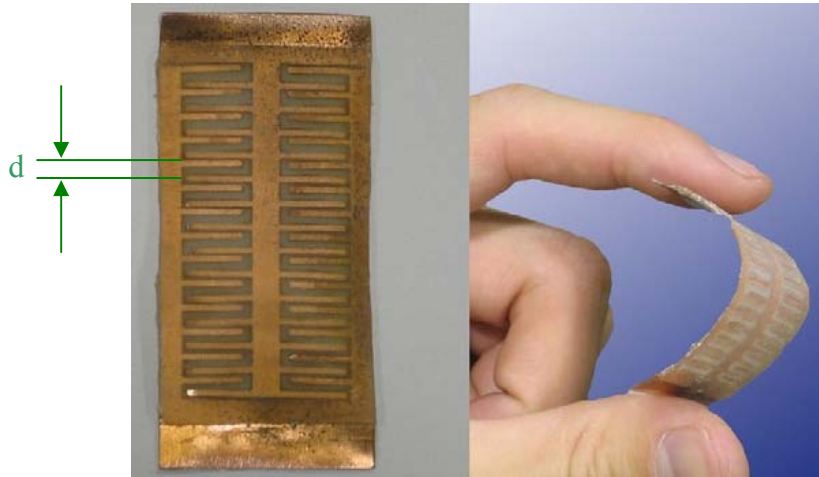


圖1.1 電容式力感應器[4]

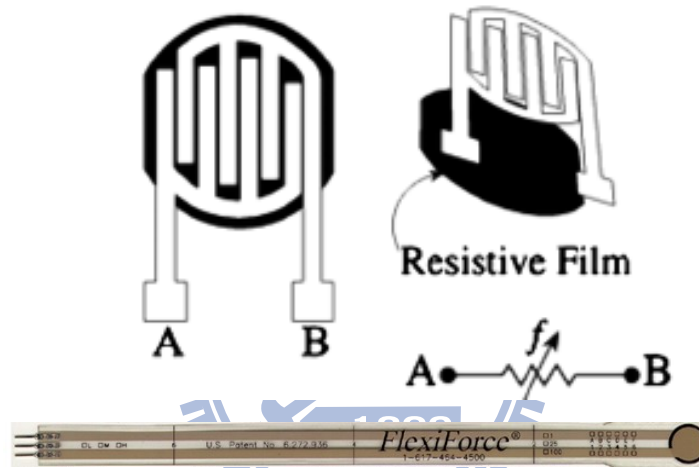


圖1.2 電阻式力感應器[4]

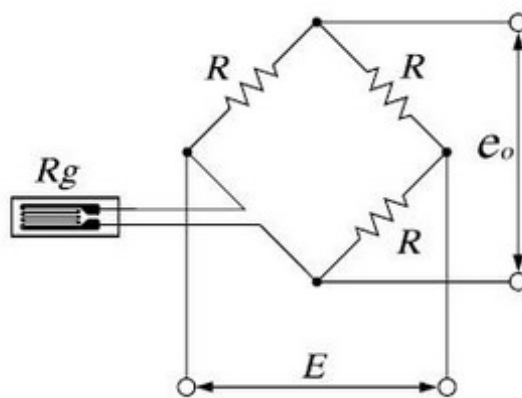


圖 1.3 應變規式力感應器[4]

1.3.2 主動式行動輔具

主動式行動輔具因搭配馬達，本身在重量上相當大，若是不具有適當的意圖操控系統，將會使得輔具本身存在危險性，因此主動式輔具上常會裝置力感應器以便及時瞭解使用者意圖，在最短的時間內做出反應。

在2000年的時候，由MIT的Dubowsky等所提出的PAMM(Personal Aid for Mobility and Monitoring)系統[5]，設計成拐杖的樣式，稱為SmartCane，如圖1.4所示，SmartCane利用了超音波感測器與CCD攝影機來進行避障控制與定位控制，在操作上，運用了六軸力感測器來感測使用者對於SmartCane的操作意圖，透過直流馬達來改善拐杖的操縱性及移動速度。PAMM 本身搭載一個可以連續監控使用者生命訊號的感測器，且裝置了一台電腦，目的在儲存房間的地圖，如樓梯與障礙物的位置，以及記錄使用者的概況，而PAMM本身的定位功能可以在移動的過程中傳回使用者的位置，並將健康狀況傳給遠端的醫護監控人員。但是，拐杖缺乏穩定度一直是其天生的缺點，容易讓使用者在崎嶇的路面上失去重心而跌倒；為了解決這個問題，Dubowsky等在2006年以助行器為平台搭載PAMM，完成了SmartWalker系統[6]，如圖1.5所示，SmartWalker大致上的功能皆與SmartCane相仿，並提供更好的移動性與穩定性。

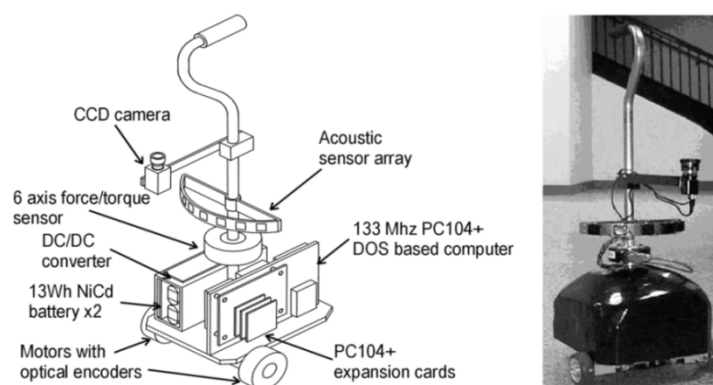


圖1.4 SmartCane[5]

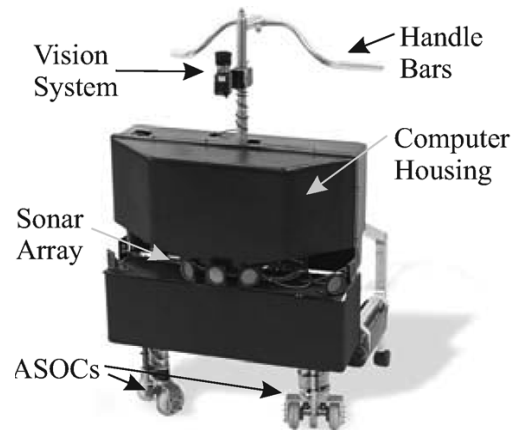
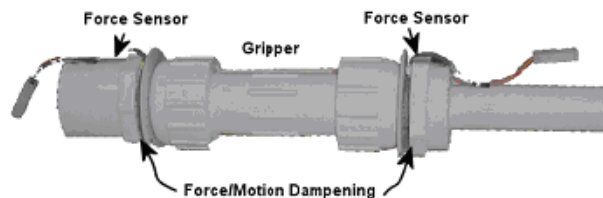


圖 1.5 SmartWalker[6]

在 2003 年，卡內基美濃大學的 Morris 等提出的 XR4000 移動機器人平台[8]中，如圖 1.6(a)所示，並設計了一種特別的手把，如圖 1.6(b)所示，其操作法有點類似機車的油門，使用者可以透過 XR4000 上的兩個手把來支撐，而兩手把上有力感測器可用來啟動/停止機器人 XR4000 的移動。此系統有三種不同的控制模式：(1) 被動模式：機器人在從出發地到目的地的預設軌跡是被忽略的，其移動是靠使用者自行移動，而機器人此時的主要功能是避免與障礙物發生碰撞；(2) 主動模式：機器人會將使用者的移動軌跡與預設軌跡比較，當發現使用者有偏航時，機器人將會變慢，直到使用者回歸到原來軌跡；和(3)強迫模式(Forced mode)：機器人將完全按照預設路徑移動，使用者無法去控制機器人的移動。



(a)XR4000



(b)XR4000上的手把

圖 1.6 (a)XR4000和(b)XR4000上的手把[8]

在2005年時，由Haptica公司提出的主動式行動輔助機器人guido[9]，是一款兩輪驅動兩個被動輪的居家看護機器人，如圖1.7所示，裝備雷射測距儀使其具有避障、主動式導引、路徑規畫、環境地圖建置及定位等功能，同時擁有語音警示的功能也是它的一項特點，未來該公司還會朝語音辨識的方面研究。它配備有單軸力矩感測器，主要用來辨識使用者轉彎的指令，藉由這個感測器量到的數值可以讓guido在地圖建置上的精確度提高。

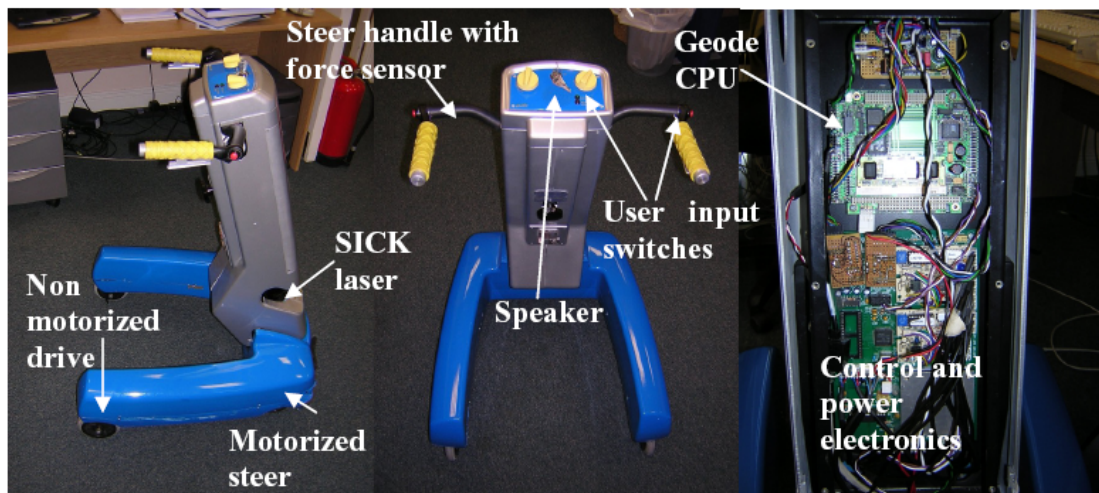


圖1.7 guido的外觀架構[9]

在2007年時，日本東北大學的Kosuge等提出了主動式行動輔助機器人[10]，此機器人是力感應器偵測操控者所施予在輔助器上的力資訊，進一步控制伺服馬達，這種控制稱為順應性控制，如圖1.8所示，它具有全向輪，驅動是由多組直流馬達組成，並且有力/力矩的感應器測量使用者移動過程中施加輔助器上的力/力矩，透過改變使用者施力的旋轉中心點的位置，來改善不同使用者操作的特性，增加操作上的穩定性，同時具備雷射測距儀測量環境的資訊來進行適當的避障策略。

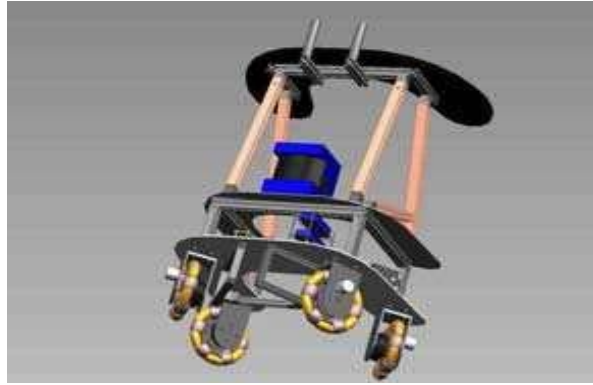


圖1.8 Kosuge教授提出之主動式行動輔具[10]

在2009年時，由德國的Dillmann等人提出的力感操控購物車InBOT[11]，如圖1.9(a)所示，配備兩顆雷射測距儀處理避障及定位等問題，以及四顆主動全向輪輔助購物車移動，其操控採用應變規式的力感應握把，來辨別使用者前進、停止、靠牆、轉彎等意圖，如圖1.9(b)所示。此系統有兩種操作模式：(1)基本行為模式：使用者不需控制購物車，購物車本身將提供避障及目標導引的功能，將使用者準確又安全的帶領到目的地，和(2)進階行為模式：使用者藉由握把控制購物車移動、轉彎、靠牆等動作，同時購物車將持續維持避障的能力，讓使用者得以避開危險的環境。



(a) InBOT外觀



(b) InBOT意圖辨識握把

圖1.9 (a) InBOT外觀和(b) InBOT意圖辨識握把[11]

1.3.3 被動式行動輔具

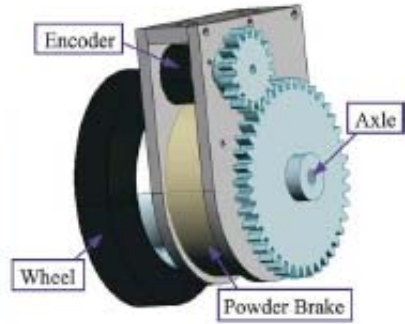
相較於主動式的行動輔具，必須依靠力感應器或其他感應器來傳達使用者的意圖來操控輔具，被動式行動輔具在使用者意圖辨識操控的研究相對比較少，因被動式輔具不需要操控馬達移動，然而具備力感應器的被動式輔具仍具有其優勢。

在被動式行動輔具相關研究中，在2007年時，日本東北大學的Kosuge等提出了被動式行動輔具RT-Walker[12]，如圖1.10所示，它的特點是機器人是以前服煞車器來提供煞車力，其配備有力/力矩感測器，當使用者施予輔助器力/力矩時，輔助器將會移動，否則輔助器本身是不會移動的，而雷射測距儀則是在測量環境的資訊，達到避障與避階梯功能，另外，其備有傾斜儀，以偵測輔具與地面的傾斜角度，利用前服煞車器預先補償地心引力影響，使得在斜坡的道路上輔具不會因為地心引力的影響而下滑，增加操控上的穩定性。

在2008年時，日本島根大學的Hiroyuki等也提出被動式行動輔具[13]，如圖1.11所示，其運用三軸加速度計來辨識使用者意圖，主要針對於四輪輔助器的前服煞車器控制，提出了演算法來評估使用者的行走狀態，其定義三種狀態：(1)為了避免使用者滑倒，緊急煞車到輔具停止；(2)使用者推著輔助器因速度太快，為了限制速度提高安全性，前服煞車器持續慢慢煞車至輔助器慢下來；和(3)使用者可以保持正常行走，煞車器不需提供煞車力。他們利用演算法評估三種使用者行走狀態，並施予適當的煞車力大小。

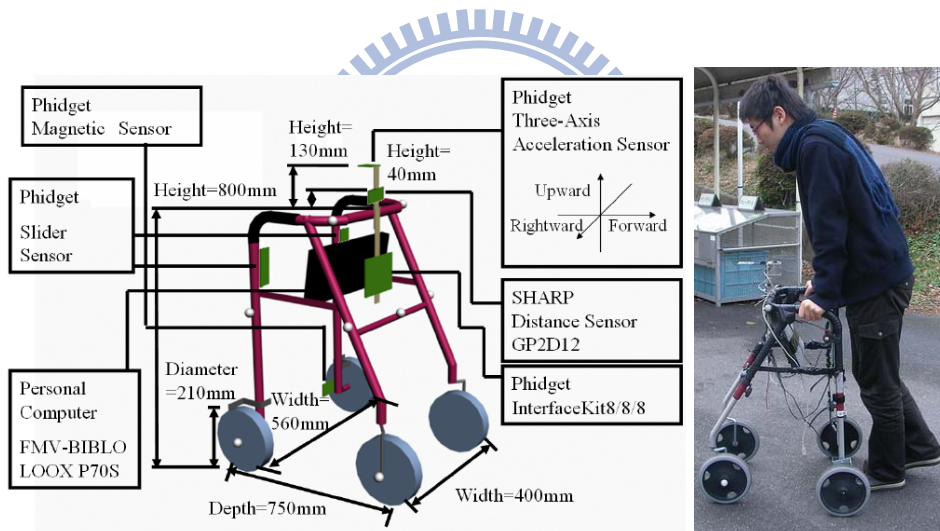


(a)RT-Walker



(b)搭載伺服煞車器的後輪

圖1.10 (a)RT-Walker和(b)搭載伺服煞車器的後輪[12]



(a)設計架構圖

(b)使用者操作的情形

圖1.11 Hiroyuki提出之Four-Castered Walker : (a)設計架構圖和(b)使用者操作的情形[13]

1.4 研究目標

基於上述討論，主動式輔具往往需要透過力感應器來傳達使用者的意圖以便操控機器，如果控制不當可能導致輔助器爆衝，發生危險；而被動式輔助器之動態完全由操控者所施予的力所決定，乃利用伺服煞車器來限制輔助器的速度。利用輔助器來幫助銀髮族行走，首先需要考量的是使用者的安全性，在考慮安全的觀點下，本論文以本實驗室所設計之被動式行動輔具『i-go』作為實驗平台，而由於近年來對於被動式行動輔具操控者的意圖辨識研究相對較少，我們也針對辨識使用者意圖的需求，設計了一款握力感應握把，經由迴歸模型找出使用者操作握把時的意圖與推力、旋轉力矩間的關連性；而當使用者意圖直接融入運動控制時，因輔助力的瞬間出現及消失會對系統產生振盪問題，對此我們另外提出了一套基於使用者意圖，運用模糊理論控制助行器的方法，除了可以有效避免震盪問題，也能讓使用者在移動及轉彎上操作的更平順、更省力；並且為了因應不同的使用者操作時的習慣不同，我們提出了一套運用適應性神經模糊推論來自動學習模糊控制參數的方法，以適應不同的使用者。

1.5 論文架構

我們在第二章介紹所發展的機器人行動輔具意圖辨識系統，先運用Laeo迴歸模型找出使用者的意圖與推力、旋轉力矩的關係，同時利用PCA演算法辨識使用者意圖，並運用模糊理論設計使用者意圖控制器，讓使用者可利用意圖操控助行器，更進一步，我們運用ANFIS來找出針對個別使用者操作習慣的控制參數，並將所設計的順應性控制器進行使用者意圖控制助行器的任務；第三章為系統實現，此章節為行動輔具的硬體介紹，主要分為兩個部分：系統硬體架構與系統控制架構；第四章為實驗與結果，此章為利用所設計的行動輔具系統進行實驗，並進行實驗結果的討論；第五章為結論，提出本論文的結論與未來發展。



第二章

機器人行動輔具意圖辨識系統

本章重點在於針對機器人輔助器 i-go 使用的意圖辨識演算法及藉由意圖控制煞車器的方式進行介紹，當使用者操作 i-go 時，我們可以由握把上的壓力感應器量測出使用者的握力分佈，進而分辨出使用者的意圖，i-go 握把上的感測器量測出使用者施加的握力與握力分佈時，會將這些資訊送入意圖辨識控制模組中，如圖 2.1 所示，這個辨識控制模組內含的意圖辨識器可以辨識使用者的施力意圖，通過 Lasso 迴歸模型，推論出使用者意圖與實際推拉力、旋轉力矩間的關係，藉著推論出來的推拉力與旋轉力矩帶入車體運動控制方程式中，可使車體達到精確穩定的控制，意圖模糊控制器適用於大眾使用者，通過 PCA 演算法得出使用者各個意圖的權重，將這些意圖權重值輸入模糊控制器中，可使車體隨著使用者的意圖，適當穩定的移動；為了因應每個使用者操作習慣上的不同，可以將適用於大眾的意圖模糊控制器換成適應個人的適應性意圖模糊控制器，此控制器可自行學習適當的模糊歸屬函數的方式，通過該控制器，使用者可以得到適合自己的控制參數，穩定地依據自身意圖移動車體。

基於上述，我們將在本章節詳細介紹行動輔具系統中的各個元件；在 2.1 節，我們介紹輔助器的動態系統分析；在 2.2 節介紹推論使用者意圖與推拉力、旋轉力矩間的關係的方式，並利用 Lasso 迴歸模型來幫助推論；在 2.3 節介紹具辨識使用者意圖之模糊控制器設計，利用 PCA 演算法辨識使用者意圖，並運用模糊控制器達成控制車體移動；在 2.4 節則介紹意圖適應性模糊控制器的設計，利用 ANFIS 的方法，學習出適合個別使用者的控制參數達成控制車體移動。

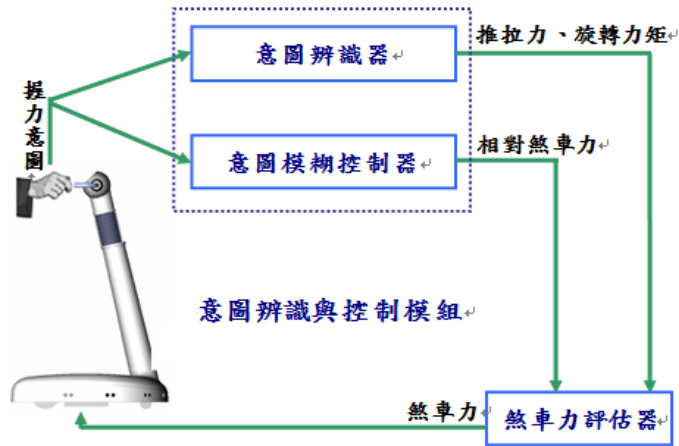


圖 2.1 i-go 意圖辨識功能示意圖

2.1 i-go 動態系統分析

當銀髮族推著輔助器時，其運動方式與輔助器本身的系統參數有關，當使用者施予力在輔助器時，我們需考慮系統參數與使用者所施予的力之間關係，進而分析輔助器的動態；從行動輔助器的結構圖來看，如圖 2.2 所示，其中 Applied Force(f_h/n_h)為使用者所施予在輔助器上的力/力矩，Brake Force(f_b/n_b)為兩輪上伺服煞車器各別所輸出煞車力矩影響在整個輔助器上的煞車力/煞車力矩，而在卡氏座標系中，我們將輔助器空間中座標的位置與朝向角表示成(2.1)式：

$$q = [x_c \quad y_c \quad \theta]^T \quad (2.1)$$

其中 x_c 、 y_c 為輔助器兩後輪旋轉中心的座標， θ 為輔助器朝向角。

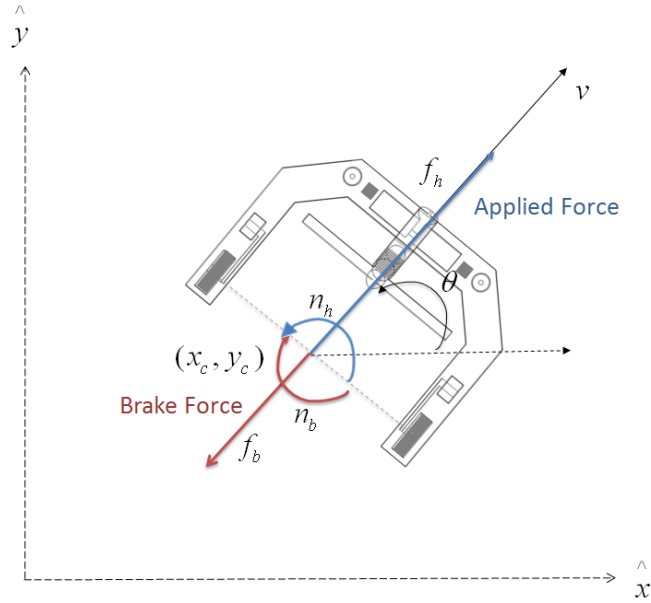


圖2.2 行動輔助器結構圖

假設在輪子不會滑動的情況下，由於輔助器在運動上有所限制，所以無法進行橫向平移的動作，移動方式必須依照輔助器車體有限的迴轉角度前進，所以我們可以得到一個non-holonomic限制為[14]：

$$C(q)\dot{q} = 0 \quad (2.2)$$

其中，

$$C(q) = [\sin \theta \quad -\cos \theta \quad 0] \quad (2.3)$$

假如行動輔助器的速度以及角速度表示為 v 和 ω ，我們可以得到 $C(q)$ 的子空間矩陣為 S ，使得

$$\dot{q} = EV \quad (2.4)$$

其中，

$$E = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$V = \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

輔助器之動態系統在滿足(2.2)式的條件下，我們將行動輔助器運動的動態方程式

表示為(2.7)式，即可利用此關係進而分析輔助器之動態：

$$M\ddot{q} + D\dot{q} = E\tau_h + E\tau_b \quad (2.7)$$

其中，

$$M = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} d & 0 & 0 \\ 0 & d & 0 \\ 0 & 0 & d_\theta \end{bmatrix}$$

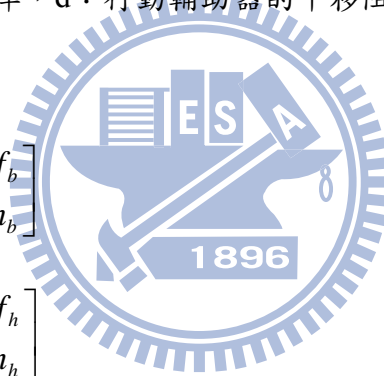
M ：行動輔助器之質量矩陣， m ：行動輔助器的質量， I ：行動輔助器轉動慣量，

D ：行動輔助器之阻尼矩陣， d ：行動輔助器的平移阻尼， d_θ ：行動輔助器的轉

動阻尼，

$$\tau_b : \text{煞車器的施力 } \tau_b = \begin{bmatrix} f_b \\ n_b \end{bmatrix}$$

$$\tau_h : \text{使用者的施力 } \tau_h = \begin{bmatrix} f_h \\ n_h \end{bmatrix}$$



並且我們可以將左右輪各別所輸出之煞車力矩(t_{br}, t_{bl})對整個行動輔具所產生的

煞車力/煞車力矩(f_b, n_b)之間關係，表示成(2.8)式：

$$\begin{bmatrix} t_{br} \\ t_{bl} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2b} \\ \frac{r}{2} & \frac{-r}{2b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_b \\ n_b \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

其中，

b ：兩車輪之間距離的一半

r ：車輪的半徑

2.2 使用者意圖與施力關係辨識

由上一節推得之(2.7)式可知，一旦我們能夠知道使用者施加在 i-go 上的推拉力與旋轉力矩，配合已知的 i-go 質量、阻尼、煞車力的大小等，即可透過(2.7)式精確地控制 i-go 達到所要求的運動狀態。然而我們要如何得到使用者的推拉力與旋轉力矩，方法有許多種，最直接的就是透過兩軸的應變規式力感應器直接量測出來，但是我們在第一章時提到過，應變規式的力感應器都非常的昂貴，且很容易因為操作不慎而損壞，因此在本節我們提出了另一種可能性，藉由所設計的可辨識使用者意圖之握把判斷出使用者的意圖，並透過實驗找出使用者意圖與推拉力、旋轉力矩間的關係。

我們設計的握把為圓柱型，如圖 2.3 所示，左右手把各覆有 13 個力感應器對應我們認為手掌上比較重要的 13 個位置，其標示於圖 4.4 上的 01~13 號位置，當使用者對握把施予其想要的意圖時，我們可以由握把上的力感應器量測到 26 筆數值。

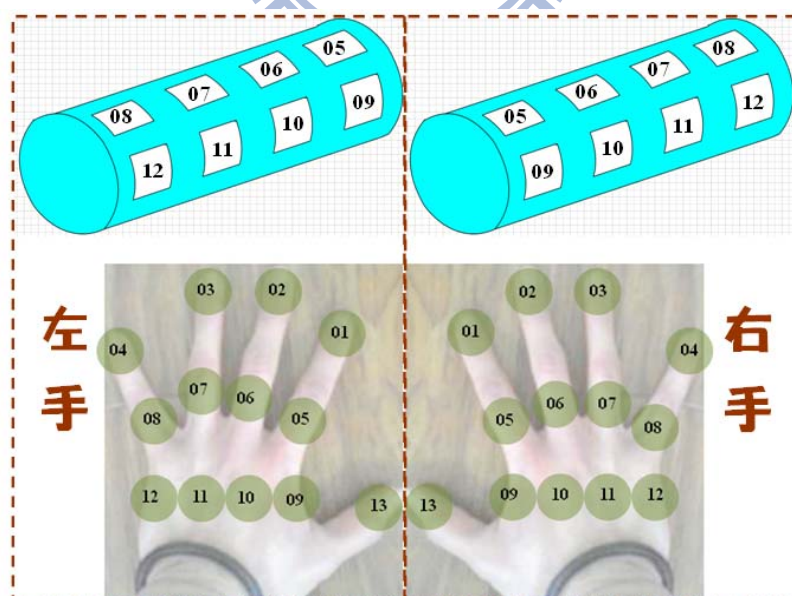


圖 2.3 意圖辨識握把示意圖

目前有許多種方法可以處理多變數的分群問題，常見的如類神經網路(NN)、支持向量機(SVM)或迴歸分析，然而考量到我們的輸入變數有 26 個，使

用 NN 或 SVM 在訓練或分割上會花費相當多的時間，且準確率未必相對精準，這時候使用迴歸分析是一種省時又能精確建出分群模型的方法。迴歸方法有許多種，在這篇論文中我們使用的是 Lasso(Least absolute shrinkage and selection operator)迴歸模型，這種模型是 1996 年由加拿大多倫多大學的 Tibshirani 教授所提出[15]，此模型比起其它迴規模型的優點在於其被證明能有效排除變數間的相依性，達到比較精確的估測，且 Tibshirani 教授也在他發表的論文中提供幾種迴歸模型的比較，結果證明當解釋變數量超過十個且變數彼此間的關聯性中等時，Lasso 模型可以得到比較好的估測。

我們將訓練資料模型表示為(2.10)式：

$$Y = X\hat{\beta} + e_i \quad (2.10)$$

其中，

$$X = [x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_{26}] \quad (2.11)$$

$$\hat{\beta} = [\beta_0 \quad \beta_1 \quad \cdots \quad \beta_{26}] \quad (2.12)$$

X 代表握把上的 26 個力感應器量測到的數值， Y 表示經由兩軸力感應器所量測出之使用者對 i-go 的推拉力及旋轉力矩， $\hat{\beta}$ 為訓練數據中握把上的力感應器數值與對應欲估測出的推拉力、旋轉力矩間的關係係數向量， e_i 為估計誤差，我們希望能由樣本訓練資料中找出一組 $\hat{\beta}$ ，將這組 $\hat{\beta}$ 重新乘以 X ，可以得到估測的推拉力、旋轉力矩，如(2.13)式所示；

$$\hat{Y} = X\hat{\beta} \quad (2.13)$$

\hat{Y} 為根據訓練數據後所估測出之推拉力、旋轉力矩。根據 Lasso 的公式定義， $\hat{\beta}$ 可以表示成(2.14)式；

$$\hat{\beta} = \arg \min \left\{ \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^P x_{ij} \beta_j)^2 + \lambda \sum_{j=1}^P \beta_j^2 \right\} \quad (2.14)$$

其中， P 表示輸入的變數個數，在本論文的情況下， $P = 26$ ， N 表示訓練資料的數量， λ 表示對個別變數貢獻性的加權項，當 $Y - \hat{Y}$ 的差距越小，代表我們的估測越接近原始訓練資料，因此找出一個 $\hat{\beta}$ 讓 $Y - \hat{Y}$ 的誤差最小即是(2.14)式的目的，我們將(2.14)式表示成向量形式，令

$$Q(\hat{\beta}) = \left\{ \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^P x_{ij} \beta_j)^2 + \lambda \sum_{j=1}^P \beta_j^2 \right\} = (Y - X\hat{\beta})^T (Y - X\hat{\beta}) + \lambda \hat{\beta}^T \hat{\beta} \quad (2.15)$$

將(2.15)式乘開後可得到(2.16)式：

$$Q(\hat{\beta}) = Y^T Y - Y^T X \hat{\beta} - \hat{\beta}^T X^T Y + \hat{\beta}^T X^T X \hat{\beta} + \lambda \hat{\beta}^T \hat{\beta} \quad (2.16)$$

欲得到 $Q(\hat{\beta})$ 有最小值時的 $\hat{\beta}$ 值，我們需要對 $Q(\hat{\beta})$ 中的 $\hat{\beta}$ 取微分等於 0，可得(2.17)式：

$$\frac{\partial Q(\hat{\beta})}{\partial \hat{\beta}} = -Y^T X - X^T Y + 2X^T X \hat{\beta} + 2\lambda \hat{\beta} = 0 \quad (2.17)$$

由(2.17)式可得出 $\hat{\beta}$ 的解為

$$\hat{\beta} = (X^T X + \lambda I)^{-1} X^T Y \quad (2.18)$$

有了這個迴歸模型，經過訓練後，我們可以對推拉力及旋轉力矩各做一次訓練，並將訓練得的兩個 $\hat{\beta}$ 與一組經握把上的 26 個力感應器新量測到的數值代入(2.10)式中，可以推論出該意圖的推拉力與旋轉力矩，而不需要使用昂貴又易損壞的兩軸力感應器。

2.3 具辨識使用者意圖之模糊控制器設計

經過我們的測試，雖然將得到的推拉力與旋轉力矩帶入(2.7)式可以精確地控制 i-go 達到所要求的運動狀態，但使用者操作上卻會感覺到很不適應，主要是因為直接將精確的力資訊帶入 i-go，運動方程式會使得煞車器的力輸出產生震盪的效應，日本東北大學的 Kosuge 教授也曾在他的論文中提到這個問題[17]，會造成這個問題是因為當使用者在目前的時刻中給予 i-go 一個正向推力或旋轉力矩，i-go 的煞車器在下一時刻隨即給予相應的反應力，使用者在下一個時刻會突然感覺到自己施加了太多的力，而下意識的給予 i-go 一個反向的推拉力或旋轉力矩，這時候 i-go 的煞車器又會在下一時刻給予這個反向的補償力，此時使用者又會覺得自己應該再施加一個正向推力或旋轉力矩，如此反覆將會使煞車器的力輸出一直處於震盪情況，如圖 2.4 所示。

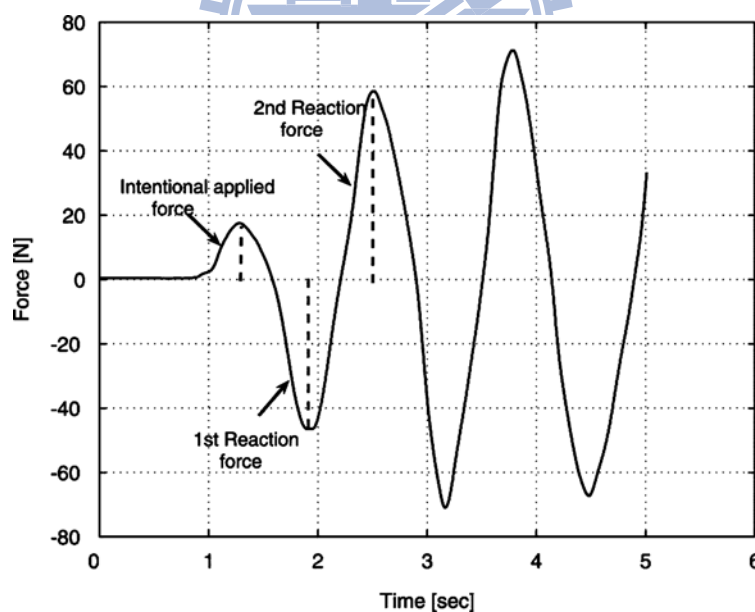


圖2.4 輸出煞車力震盪情況[17]

本論文於是提出了一種使用Fuzzy控制器來達到i-go控制的方法，我們設計的模糊控制器是將i-go握把上的壓力感應器測得的握力值進行意圖的分類，並將這些意圖所形成的變數加以模糊化(Fuzzification)，並由設計者所建立經驗規則庫

(Rule Base)，配合模糊推論(Inference mechanism)決定其規則，再透過解模糊化界面(Defuzzification)，以兩個模糊控制器分別決定使用者意圖對i-go所產生的左、右輪相對煞車力，進一步控制兩輪煞車力矩大小，達到意圖控制的目的。所設計的兩個模糊控制器皆採用相同的意圖作為輸入，以模糊控制方式，達到控制目的，整體模糊控制系統架構圖如圖2.5所示，其中當使用者在依賴i-go時，會對握把產生一組下壓力 U ，此下壓力代表使用者對輔具的依賴程度，而當使用者欲移動輔具時，左手與右手分別會對左右握把各產生一組移動力 FL 、 FR (可能是拉力或推力)，由左右手施力的不同將可以辨別出使用者是要轉彎、前進或是停止，最後經過模糊控制器後得到相對於前一時刻的左輪扭力輸出 $Ltorque$ 及右輪扭力輸出 $Rtorque$ 。

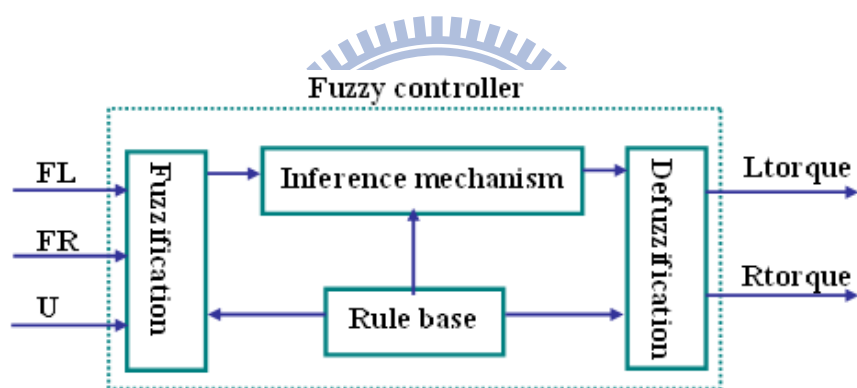


圖 2.5 整體模糊控制系統架構圖

有了這些概念後，我們可以採用fuzzy控制的方式[18]將使用者意圖輸入分為左右手移動力，各四種程度，分別為左拉力、左推力小、左推力中、左推力大、右拉力、右推力小、右推力和右推力大；下壓力分為下壓力小及下壓力大兩種程度，拉力的部分沒有分程度主要是由於拉力通常代表的是一個需要煞車的意圖，基於安全性考量煞車應該盡速完成而不應有程度之別，然而我們左右手各有13個感應器，要如何才能歸類出這10種狀態，是一個重要課題，在這篇論文中我們採用主成分分析的演算法，先判別出所有力感應器對每一種意圖的貢獻程度向量。

主成分分析(Principal components analysis, PCA)是一種簡化變數量、取其特徵向量的統計方法，我們將其運用在找出力感應器對每一種意圖的貢獻程度特徵向量，首先令

$$X = [x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_n]^T \quad (2.19)$$

其中，n表示這個意圖會用到的力感應器數量，我們用PCA取五種意圖的特徵向量，如表2.1所示(感應器編號可參考圖2.3)。

表2.1 PCA特徵向量規畫

意圖	運用到的力感應器編號	運用到的力感應器數量
左拉力	左手01~13號	13
左推力	左手01~13號	13
右拉力	右手01~13號	13
右推力	右手01~13號	13
下壓力	左手01~13號和右手01~13號	26

我們希望找到一組特徵向量 a ，滿足 $a^T a = 1$ ，且 $a^T X$ 的變異量要最大，才足以代表各組資料間的差異，其中

$$a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

n表示這個意圖會用到的力感應器數量。我們對 $a^T X$ 取變異數得到(2.21)式：

$$\text{var}(a^T X) = \text{cov}(a^T X, a^T X) \quad (2.21)$$

將(2.21)式展開後得到(2.22)式：

$$\text{cov}(a^T X, a^T X) = a^T \text{cov}(X, X) a = a^T \Sigma a \quad (2.22)$$

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \text{cov}(x_1, x_1) & \text{cov}(x_1, x_2) & \cdots & \text{cov}(x_1, x_n) \\ \text{cov}(x_2, x_1) & \text{cov}(x_2, x_2) & \cdots & \text{cov}(x_2, x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{cov}(x_n, x_1) & \text{cov}(x_n, x_2) & \cdots & \text{cov}(x_n, x_n) \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

因為 Σ 為共變異矩陣，其至少滿足半正定矩陣，根據正定、半正定矩陣定義，可以得到(2.24)式：

$$\text{Max} \frac{a^T \Sigma a}{a^T a} = \lambda_{\text{Max}}, a^T \neq 0 \quad (2.24)$$

其中 λ_{Max} 為 Σ 的最大特徵值，滿足(2.24)式時的 a 為 λ_{Max} 的特徵向量，將這5組特徵向量對各個力感應器值取內積，可得到5種意圖權重值，且

$$\text{左移動力權重值} = \text{左推力權重值} - \text{左拉力權重值} \quad (2.25)$$

$$\text{右移動力權重值} = \text{右推力權重值} - \text{右拉力權重值} \quad (2.26)$$

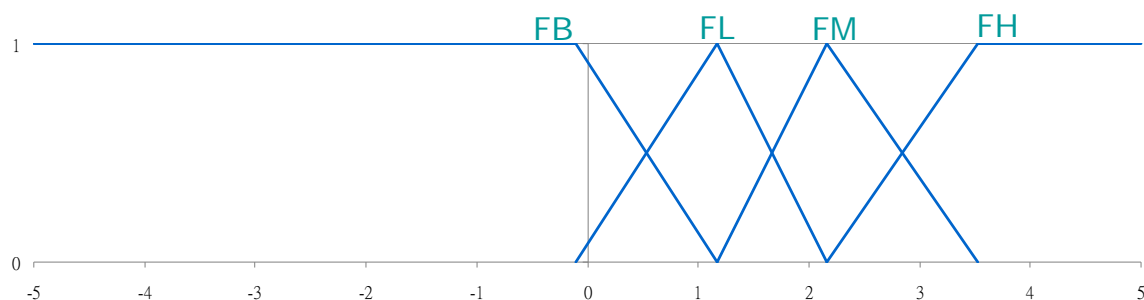
即可以得出左移動力、右移動力及下壓力的權重值做為模糊控制器的輸入。

輸出的部分則是左右輪煞車力矩與目前的煞車力矩相比的狀態，有各九種程度，如表2.2所示，其中「+」代表增加煞車力，「-」代表減少煞車力，將輸入與輸出變數的操作範圍定義出各變數模糊化程度，再利用輸入變數資料的值定義歸屬函數(membership function)。

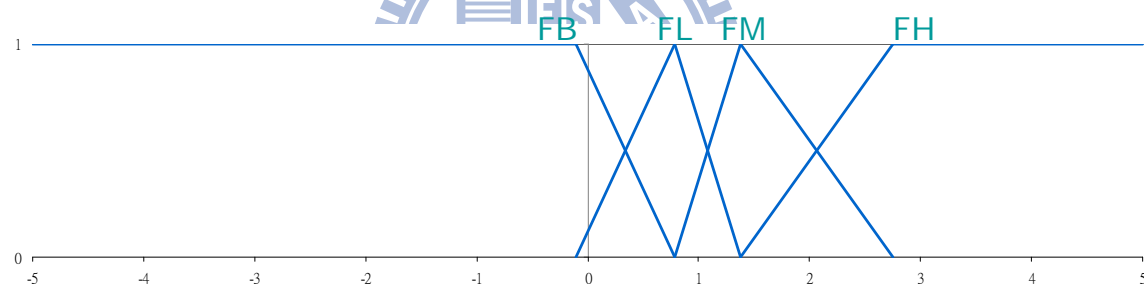
表 2.2 模糊控制 I/O

輸入			輸出	
左前進力	右前進力	下壓力	左輪程度	右輪程度
FB(拉)	FB	UL(下壓力小)	+4 (加 4 級扭力)	+4
FL(推力小)	FL	UH(下壓力大)	+3 (加 3 級扭力)	+3
FM(推力中)	FM		+2 (加 2 級扭力)	+2
FH(推力大)	FH		+1 (加 1 級扭力)	+1
			0 (扭力不變)	0
			-1 (減 1 級扭力)	-1
			-2 (減 2 級扭力)	-2
			-3 (減 3 級扭力)	-3
			-4 (減 4 級扭力)	-4

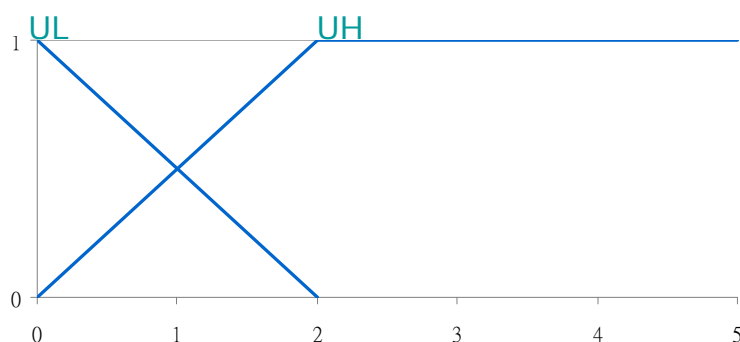
在模糊化的階段裡最重要的是設計歸屬函數，而歸屬函數的外型與設計者需求的特性與經驗有關，一般常見的是用三角形或梯形來描述歸屬函數的外型，在這個模糊控制器中使用的是三角形的歸屬函數。圖2.6與圖2.7為分別為本論文所使用的輸入與輸出歸屬函數，利用這些函數來描述使用者意圖對i-go的煞車狀態，進一步達到控制i-go伺服煞車器輸出之煞車力矩。



(a)左前進力歸屬函數

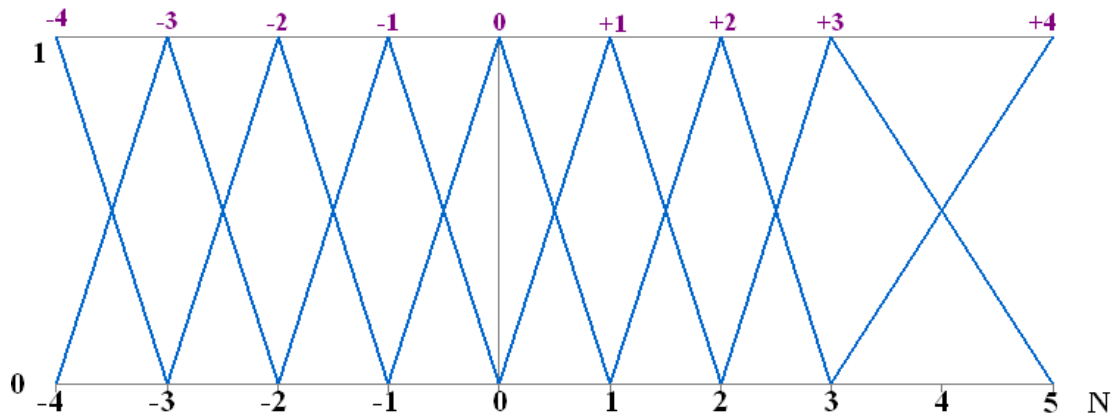


(b)右前進力歸屬函數

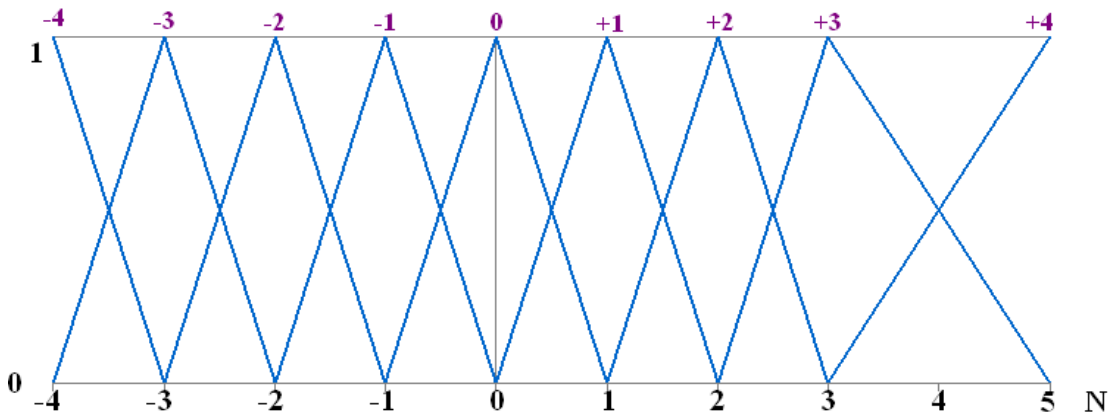


(c)下壓力歸屬函數

圖2.6 具辨識使用者意圖之模糊控制器輸入變數歸屬函數：(a)左前進力歸屬函數，(b)右前進力歸屬函數，和(c)下壓力歸屬函數



(a)左輪程度歸屬函數



(b)右輪程度歸屬函數

圖2.7 具辨識使用者意圖之模糊控制器輸出變數歸屬函數：(a)左輪程度歸屬函數和(b)右輪程度歸屬函數

在設計模糊控制器中，模糊規則也是相當重要的一部份，因為所有的狀態都必須根據我們所定義的規則庫裡的規則進行操作，所以制定一組好的模糊規則是必要的。一般而言，模糊規則的產生方式主要有下列四點：

- (1) 由使用者的經驗與控制行為獲得；
- (2) 由專家的知識自定規則；
- (3) 根據被控系統的特性獲得；
- (4) 藉由自我學習的方式獲得。

在本節中，我們採用上述(1)之方法來獲得所使用的32條模糊控制規則，此32條控制規則是以IF~THEN模式陳述的模糊控制規則來表示，左輪輸出力矩程度模糊控制規則，如圖2.8所示，右輪輸出力矩程度模糊控制規則，如圖2.9所示，舉例來說，當左手的施力是推力小、右手施力是推力小、下壓力為大的時候，左輪跟右輪的輸出力矩都減1級，來表示使用者此時想前進，我們就需要減少煞車力。

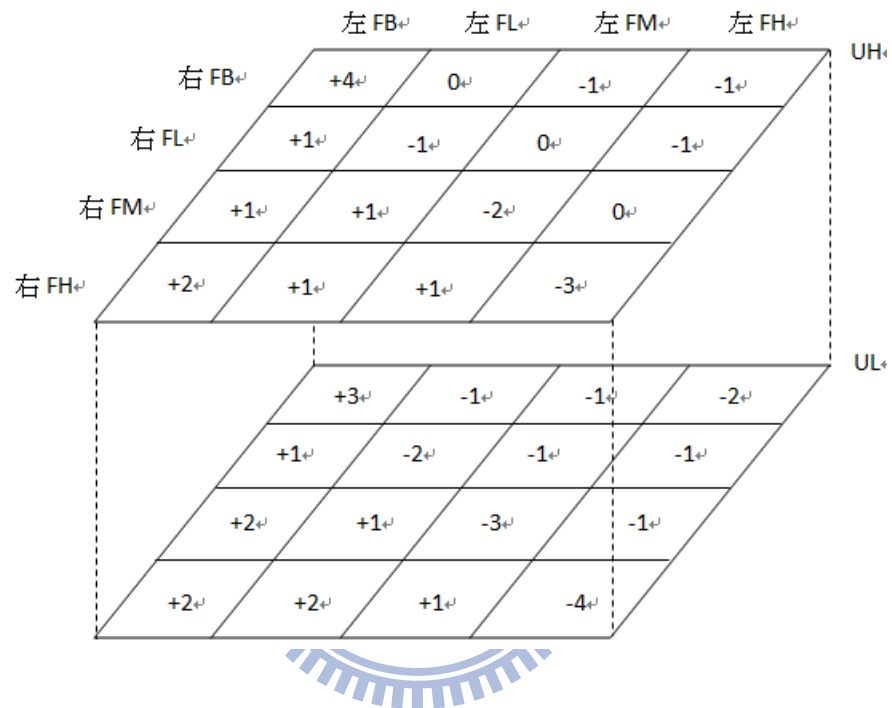


圖 2.8 左輪輸出力矩程度模糊控制規則

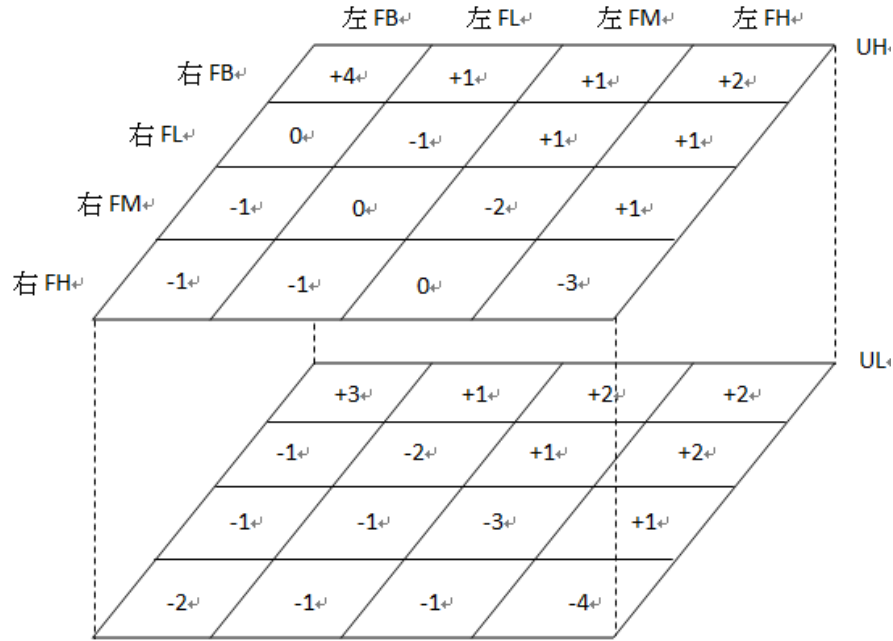


圖 2.9 右輪輸出力矩程度模糊控制規則

模糊推論的方式有許多種，常見的有代數乘積和MAX-MIN法則，在本論文中使用的是MAX-MIN法則。而解模糊化是將模糊推論輸出值對應到實際控制動作空間的數值，提供受控系統操作使用；解模糊化的方式有很多種，常見的有mean of maximum 和 center of area，本論文採用center of area 的方法來完成解模糊化的過程，此種方法也叫重心法(center of gravity)，重心法是採用各控制力之中心平均來產生平均控制力，也就是求出推論結果面積的重心，並加以對應的輸出操作量，其公式如 (2.27)式所示：

$$C_{crisp} = \frac{\sum_{j=1}^n C_j [\mu(C_j)]}{\sum_{j=1}^n [\mu(C_j)]} \quad (2.27)$$

其中， C_j 表示第j個模糊歸屬函數的中心值， $\mu(C_j)$ 表示第j個模糊規則經推論的適合程度， C_{crisp} 表示模糊控制器的輸出量。最後得到使用者意圖對i-go所影響的左/右輪輸出力矩程度，跟前一時刻的煞車力相比後輸出適當的的煞車力給雙輪，達到控制i-go移動的目的。

2.4 具適應性之意圖辨識模糊控制器設計

在上一節中，我們提出的具辨識使用者意圖之模糊控制器，其歸屬函數的定義是根據我們的經驗法則得到，使用者必須以群體所推出的方式來操控 i-go，然而，各個使用者的操作習慣並不會完全相同，每一個人所呈現出的意圖也不盡相似，因此，在本節中，我們提出一種可以藉由學習得到歸屬函數的方式，並將學習後的歸屬函數應用到 i-go 的控制中。

在學習上，神經網路是一種很常用到的方法，在本節中我們使用適應性神經網路模糊推論系統(Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems, ANFIS)的方法，這個方法最早在1993年由Jang所提出[19]，指出這個方法可以由類神經網路架構來替代Sugeno模糊模型，Sugeno模糊模型最早是由Takagi、Sugeno與Kang共同發展出來[20][21]，有別於2.2節所用到的Mamdani模糊模型系統的輸出為模糊量，Sugeno模型的特色是可以由輸入輸出的範例中，有系統的產生所需要的if-then規則的前提部與推論部，將Sugeno模糊模型以ANFIS架構來表示時，我們就可以利用神經網路自我學習調整的演算法，來決定Sugeno模糊模型的前提部及推論部的參數。

在本論文中我們使用的是一階的Sugeno模糊模型(first-order Sugeno fuzzy model)，以兩個輸入變數、兩個模糊規則、一個輸出變數為範例，其模糊規則可以表示如下：

$$\text{規則1: } \textit{if } x_1 \textit{ is } A_1 \textit{ and } x_2 \textit{ is } B_1 \textit{ then } f_1 = \alpha_1 x_1 + \beta_1 x_2 + \gamma_1 \quad (2.28)$$

$$\text{規則2: } \textit{if } x_1 \textit{ is } A_2 \textit{ and } x_2 \textit{ is } B_2 \textit{ then } f_2 = \alpha_2 x_1 + \beta_2 x_2 + \gamma_2 \quad (2.29)$$

其中， A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 為輸入的歸屬函數， x_1 、 x_2 為輸入變數，

α_1 、 β_1 、 γ_1 、 α_2 、 β_2 、 γ_2 為推論部參數， f_1 、 f_2 則是模糊規則的推論輸出，我們用

圖2.10表示這個ANFIS架構，基本的ANFIS系統可分為五層，分述如下：

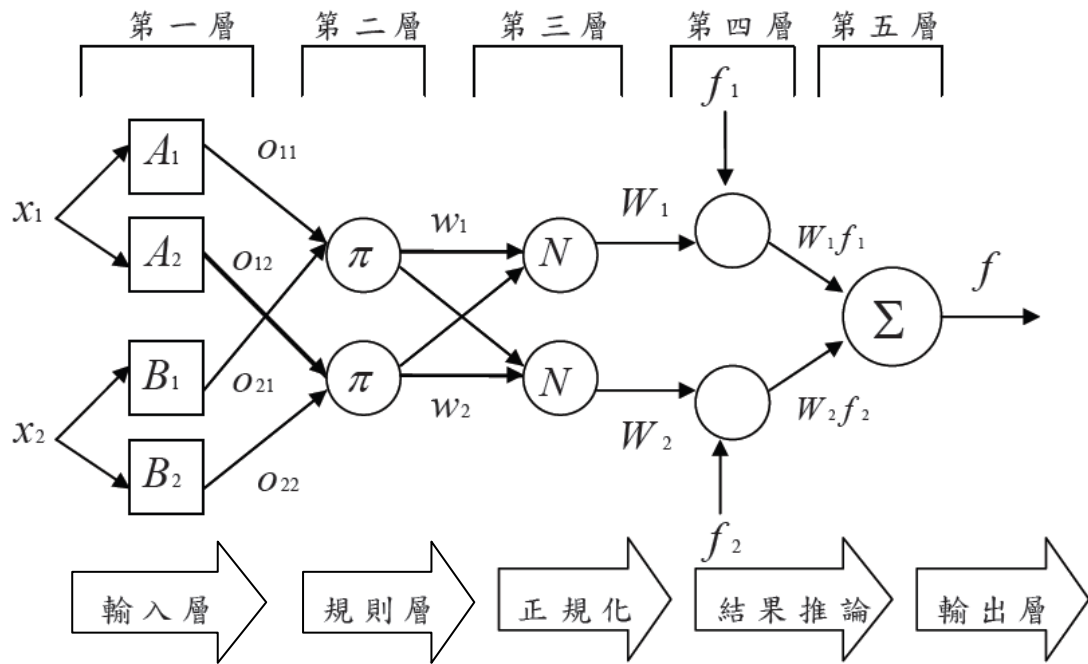


圖2.10 ANFIS架構

第一層：輸入層

這一層中決定輸入變數 x_1 、 x_2 屬於歸屬函數 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 的程度，在本論文的設計中，歸屬函數使用的是鐘形的歸屬函數，根據圖2.10及鐘形函數的公式可得

$$O_{11} = \mu_{A_1}(x_1) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_1 - c_1}{a_1} \right|^{2b_1}} \quad (2.30)$$

$$O_{21} = \mu_{B_1}(x_2) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_2 - c_2}{a_2} \right|^{2b_2}} \quad (2.31)$$

$$O_{12} = \mu_{A_2}(x_1) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_1 - c_3}{a_3} \right|^{2b_3}} \quad (2.32)$$

$$O_{22} = \mu_{B_2}(x_2) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_2 - c_4}{a_4} \right|^{2b_4}} \quad (2.33)$$

這裡的 a_i 、 b_i 、 c_i ， $i=1,2,3,4$ 為前提部參數。

第二層：規則層

這一層中決定各模糊規則的適合度，在本論文中運用的是t-norms代數乘積運算， $t(p,q) = p \cdot q$ ，其運算如下：

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), i=1,2 \quad (2.34)$$

其中 w_i 表示兩輸入變數在其所屬的歸屬函數中的歸屬值之乘積，也代表對該模糊規則的適合度。

第三層：正規化層

這一層中將適合度作正規化的處理(Normalized)，使其值介於0~1之間，如式(2.35)所示：

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_i w_i}, i=1,2 \quad (2.35)$$

其中 W_i 表示正規化後兩歸屬函數歸屬值的乘積。

第四層：結果推論層

這一層中處理每條模糊規則的推論運算，其公式如下：

$$W_i f_i = W_i(\alpha_i x_1 + \beta_i x_2 + \gamma_i), i=1,2 \quad (2.36)$$

第五層：輸出層

這一層負責解模糊化的動作，將各條模糊規則推論出來的結果相加，作為最後的輸出，其公式如下：

$$f = \sum_i W_i f_i, i=1,2 \quad (2.37)$$

其中 f 代表解模糊化後的最後輸出。

有了標準的 ANFIS 的架構後，我們需要經過訓練才可以得到我們所需要的參數，我們已知欲訓練的參數為前提部參數 P ，如(2.38)式，與推論部參數 Q ，如(2.39)式：

$$P = \{a_1 \ b_1 \ c_1 \ a_2 \ b_2 \ c_2 \ a_3 \ b_3 \ c_3 \ a_4 \ b_4 \ c_4\} \quad (2.38)$$

$$Q = \{\alpha_1 \quad \beta_1 \quad \gamma_1 \quad \alpha_2 \quad \beta_2 \quad \gamma_2\} \quad (2.39)$$

為了訓練這些參數，需要經過 ANFIS 演算法學習的過程，我們先將(2.37)式重新整理成(2.40)式，

$$f = \sum_i W_i (\alpha_i x_1 + \beta_i x_2 + \gamma_i), \quad i=1,2 \quad (2.40)$$

$$= \sum_i \alpha_i (W_i x_1) + \sum_i \beta_i (W_i x_2) + \sum_i \gamma_i (W_i), \quad i=1,2 \quad (2.41)$$

我們可以用 A 、 B 兩個矩陣來代表(2.41)式，表示成(2.42)式：

$$f = AB \quad (2.42)$$

其中，

$$A = \begin{bmatrix} W_1(1)x_1(1) & W_1(1)x_2(1) & W_1(1) & W_2(1)x_1(1) & W_2(1)x_2(1) & W_2(1) \\ W_1(2)x_1(2) & W_1(2)x_2(2) & W_1(2) & W_2(2)x_1(2) & W_2(2)x_2(2) & W_2(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_1(n)x_1(n) & W_1(n)x_2(n) & W_1(n) & W_2(n)x_1(n) & W_2(n)x_2(n) & W_2(n) \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

$$B = [\alpha_1 \quad \beta_1 \quad \gamma_1 \quad \alpha_2 \quad \beta_2 \quad \gamma_2]^T \quad (2.44)$$

其中 n 為訓練資料數。令 n 筆原始訓練資料輸出為 Y ，運用最小平方估測法 (Least-Square Estimator, LSE)，可得到(2.45)式：

$$B = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (2.45)$$

由(2.45)式可以求出最佳的推論部參數 Q ，將 Q 代回(2.37)式，可以得到一組輸出 f ，為了瞭解學習結果與訓練資料間還有多大的差距，可以通過(2.46)式得到原始訓練資料輸出與我們推論輸出之差值的平方 E ：

$$E = (Y - f)^2 \quad (2.46)$$

利用最陡坡降法 (Steepest Descent) 使 E 的值最小，即可得到最佳的前提部參數，如(2.47)式所示：

$$\Delta p = -\eta \frac{\partial E}{\partial p} \quad (2.47)$$

其中， p 為任一個前提部參數， η 為學習速率常數。

以上的步驟為一次的訓練，隨著訓練次數的增加， E 的值將會越來越小，最後收斂到我們所容許的誤差範圍內，訓練即結束。然而一開始我們並不知道前提部參數的正確數值應該是多少，因此在訓練前我們必須先設定一組前提部參數 P ，接著依循下列學習步驟完成訓練：

Step1. 因為目前的推論部參數未知，為了得到第一組推論部參數，先由設定的前提部參數 P 通過(2.30)式到(2.35)式得到一組 W_1 、 W_2 。

Step2. 將 Step1 的結果運用(2.45)式得出一組推論部參數，且將此推論部參數通過式(2.37)得到一個輸出 f 。

Step3. 將 f 帶入(2.46)式和(2.47)式，可得到新的前提部參數。

Step4. 將這個新的前提部參數帶進(2.30)式到(2.35)式得到新的一組 W_1 、 W_2 。

Step5. 回到 Step2，繼續學習，直到輸出誤差夠小為止。

這種反覆學習的方法又稱為混合式學習(Hybrid learning)。

以上是由兩個輸入變數，兩條規則組成的範例，隨著輸入變數及規則的增加將會使得學習的運算越趨複雜，本論文中，我們所設計的具適應性之意圖辨識模糊控制器，具有 3 個輸入變數，2 個輸出變數，32 條規則，這些輸入、輸出變數的決定方式與上一節提到的具辨識使用者意圖之模糊控制器的輸入、輸出變數決定方式相同，不同點在於具適應性之意圖辨識模糊控制器的歸屬函數產生方式，是經由個別使用者通過實驗決定出一組其最適應的輸入輸出值，將該組輸入輸出值做為訓練數據，得到適合該使用者的歸屬函數，通過這組學習過的歸屬函數，可以適應使用者個別的操作習慣，更有效達到透過意圖控制 i-go 的效果。

第三章

意圖辨識與控制系統實現

前一章說明了我們使用的意圖辨識演算法及基於使用者意圖的控制方式，這一章將介紹如何將這些演算法實現在系統上。我們選用本實驗室所開發的行動輔具『i-go』作為實驗平台，其外型如圖3.1所示，i-go為一多工能智慧型行動輔具，本身具有避障、重力補償功能，擁有以被動方式達到主動導引功能，並可辨識使用者意圖，其架構如圖3.2所示，本論文的重點集中在使用者意圖辨識的功能上面，為了能有效辨識使用者意圖，我們替i-go設計了一款具有意圖辨識功能的握把，上方覆有壓力電阻式的 force sensor作為感測器(FSR)，左右握把上各有13個FSR，然而電阻與施力間的關係並不適合於一般晶片運算，因此我們將其轉換為電壓與施力間的正比線性關係，隨著使用者施力增加後，輸出電壓也將會逐漸變大，將輸出電壓經過8bits AD轉換後，總共可以得到26筆握力特徵資料。i-go使用DSP晶片作為核心處理器，為了使用者的安全，我們另外使用2顆PIC晶片分別處理左右手資訊，以達到及時運算的目的，讓我們的核心控制器DSP能在使用者遇到危險狀況時有最快速的反應。將PIC晶片處理後的26筆資料配合邏輯電路，可以隨時用DSP晶片藉由並列存取的方式讀取所需要的手之握力資訊。為了客觀證明我們的實驗結果，在i-go車體軸心處裝置了一套兩軸應變規式力感應器，來進行推拉力、旋轉力矩的量測，以量測出來的數值驗證我們的實驗結果。3.1節介紹i-go及所會用到的硬體設備與架構，3.2節介紹i-go及力感應器的控制系統與架構。



圖3.1 助行器i-go外觀

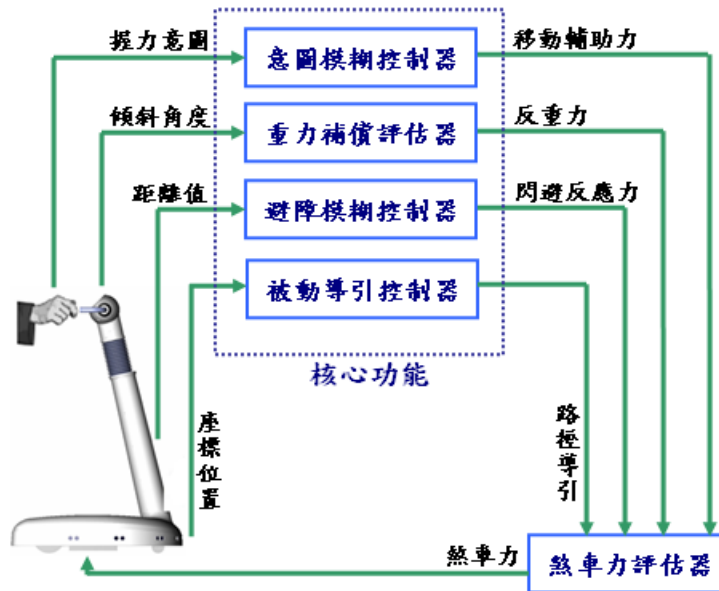


圖 3.2 系統架構圖

3.1 i-go 硬體架構

i-go 硬體架構如圖 3.3 所示，其配備有一顆德州儀器公司(TI)出產的 DSP 核心處理器 TMS320F2812 來運算與煞車力輸出相關的演算法，搭配兩顆 Microchip 公司出產的 PIC18F4520 晶片，分別處理兩手各 13 個 force sensor 握力資訊，來達到左右手判斷使用者意圖的目的，一顆雷射測距儀偵測障礙物與 i-go 的距離，達成避障的功能，兩顆傾斜儀分別計算兩個方向與水平面的傾斜角度，以一顆 PIC18F4520 晶片搭配兩顆 500 pulse per revolution 的軸編碼器分別計算左右輪的角速度，以即時達成 i-go 位置與速度的更新。

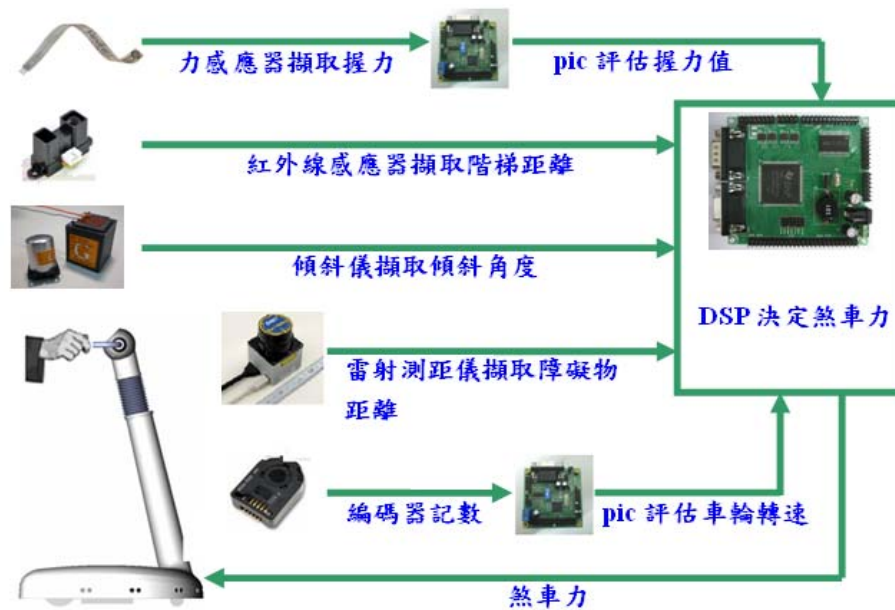
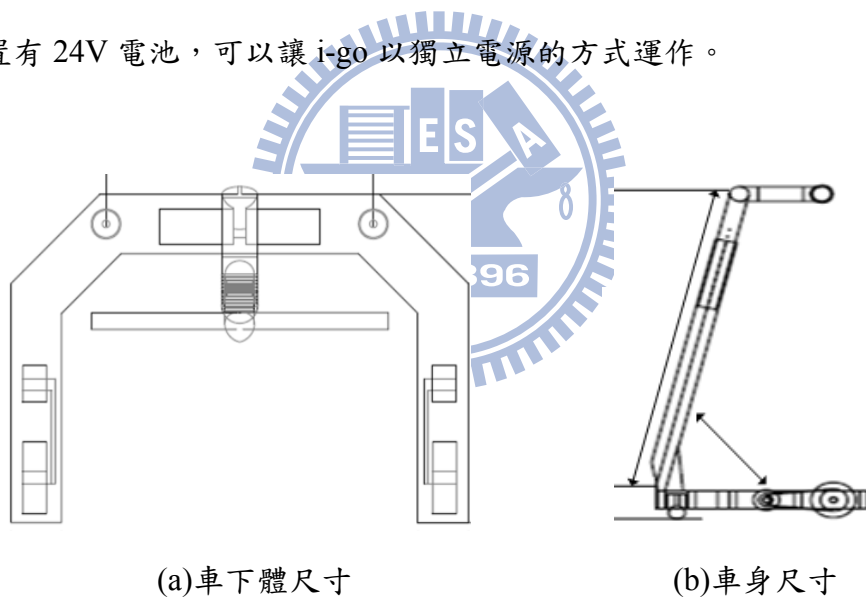


圖 3.3 i-go 硬體架構圖

3.1.1 行動輔具之車體

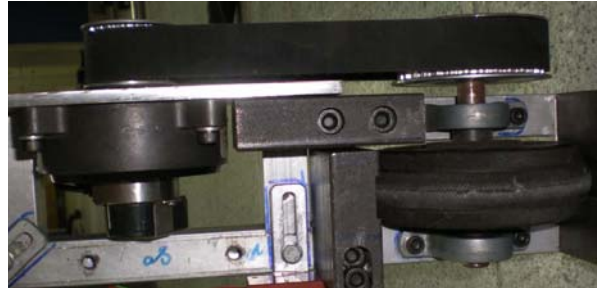
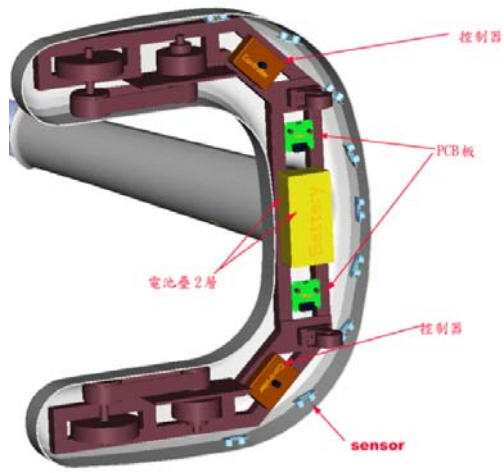
所設計行動輔具車體結構是以鋁合金方管為材料，長 770 mm、寬 550 mm、高 1050 mm，其高度可以上下調整 100 mm，以配合不同身高之使用者；下車體成一門字型，相關尺寸如圖 3.4(a)、(b)所示，其設計為門字型，可以讓使用者行走在輔具中門字型中間，以提供較好的輔助與穩定性；行動輔具最底層放置驅動部分，如圖 3.5(a)所示，是由後方兩個直徑為 5 inch 的橡膠輪加上前面兩個輔助輪以保持車體平衡，橡膠輪再經由皮帶連結到煞車器，此外，皮帶上我們使用 1：2 的齒輪比將煞車器輸出的煞車力放大 2 倍，如圖 3.5(b)所示；i-go 的外殼則是採用流線型的設計，如圖 3.6 所示，以增加使用者使用的意願；另外在底盤的位置，裝置有 24V 電池，可以讓 i-go 以獨立電源的方式運作。



(a)車下體尺寸

(b)車身尺寸

圖 3.4 (a)車下體尺寸和(b)車身尺寸



(a)i-go 行動輔助器底部示意圖

(b)皮帶輪與後輪配置圖

圖3.5 (a)i-go行動輔助器底部示意圖和(b)皮帶輪與後輪配置圖

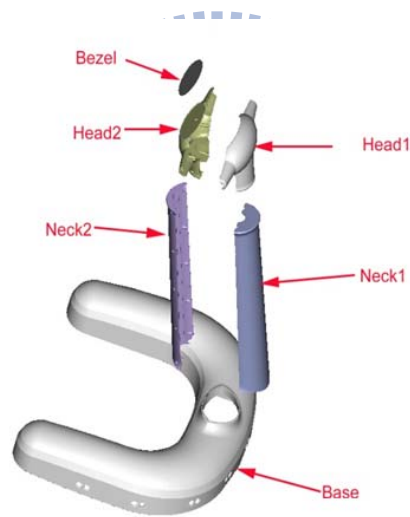


圖 3.6 i-go 行動輔具外殼

3.1.2 握力資訊擷取機構

為了偵測使用者的意圖，我們設計了一款力感應握把，其相關尺寸如圖3.7與3.8所示，結構主要是由中間的骨幹與外側的16片孔蓋組成，骨幹為一四角柱，四面構造皆同，內部為空心，圖3.7的灰色正方形區塊為力感應器的放置位置，每個力感應器旁邊的灰色長條方塊為一個細孔，用途是將電線從外側穿到車體內部，成品的外觀如圖3.9與3.10所示。骨幹上一共有16個力感應器放置區，每一放置區塊皆可上蓋，但由於有三處是手掌、手指無法觸及的，故力感測器每隻握把僅配置13個，由於力感測器在使用時必須讓力均勻地分布在感測片的圓形感測範圍內，因此每個力感應器上，我們用一顆比感測器感測面積略小的磁鐵將感測器吸附在握把骨幹上，同時可以確保施力集中於力感應器的感測範圍，磁鐵的另一端則吸附一個孔蓋，孔蓋只與磁鐵有接觸，與骨幹則沒有接觸面，如此的設計可使使用者的施力不會分散到力感應器以外的地方；當使用者左右手各握住一支握把，如圖3.11與3.12所示，即可由這兩支握把上的力感應器得知左右手的施力大小及施力分佈方式，其感測器與手掌的相對位置可參考圖2.3。

為了驗證使用者意圖與實際量測施力值之間的關係，我們將兩軸力感應器裝置在助行器的中心軸上，如圖3.13所示，裝置在這裡的兩軸力感應器可以非常精確地量測到使用者的推拉力及旋轉力矩。

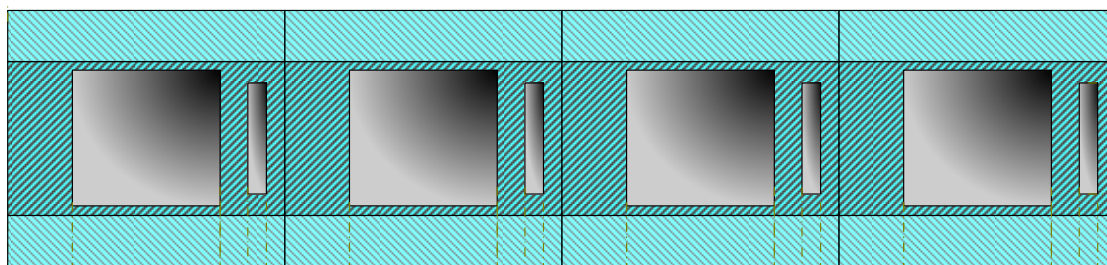


圖3.7 握把上視圖尺寸

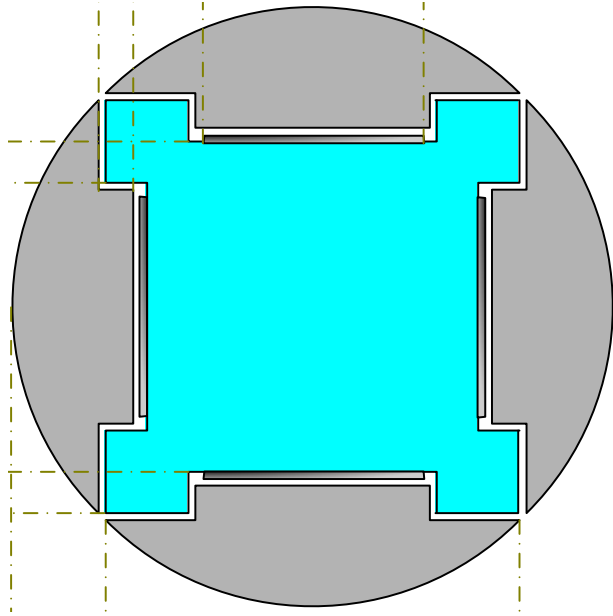


圖3.8 握把側面圖尺寸

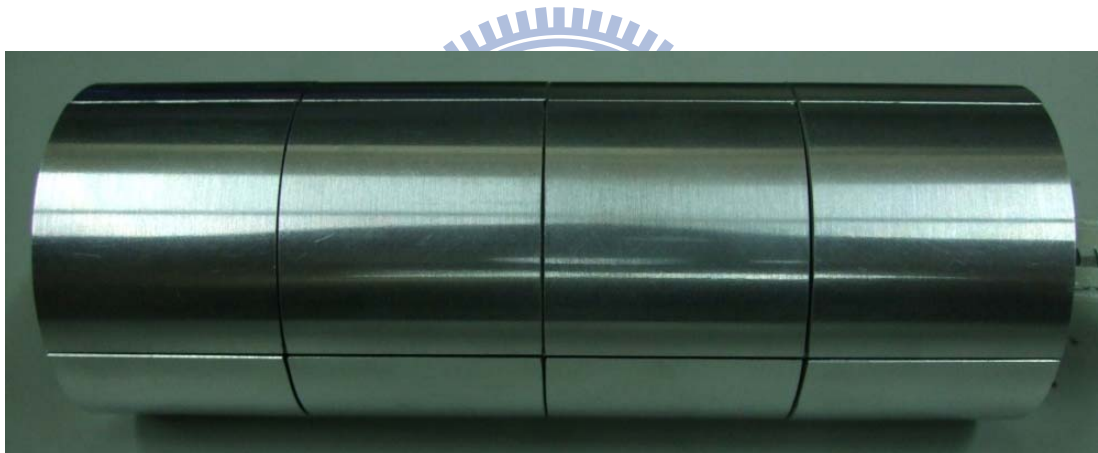
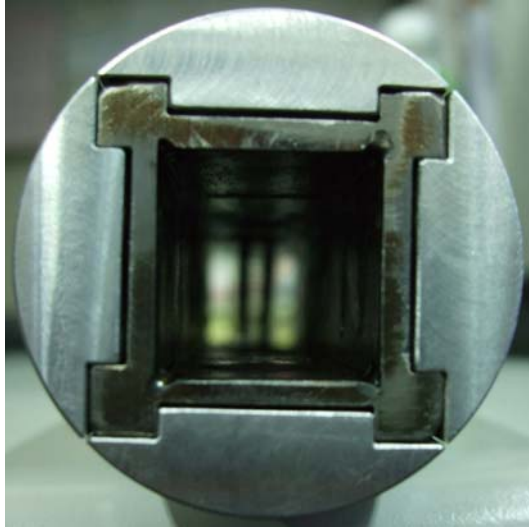


圖3.9 握把成品上視圖



(a)握把成品側視圖



(b)握把成品拆解圖

圖3.10 (a)握把成品側視圖和(b)握把成品拆解圖

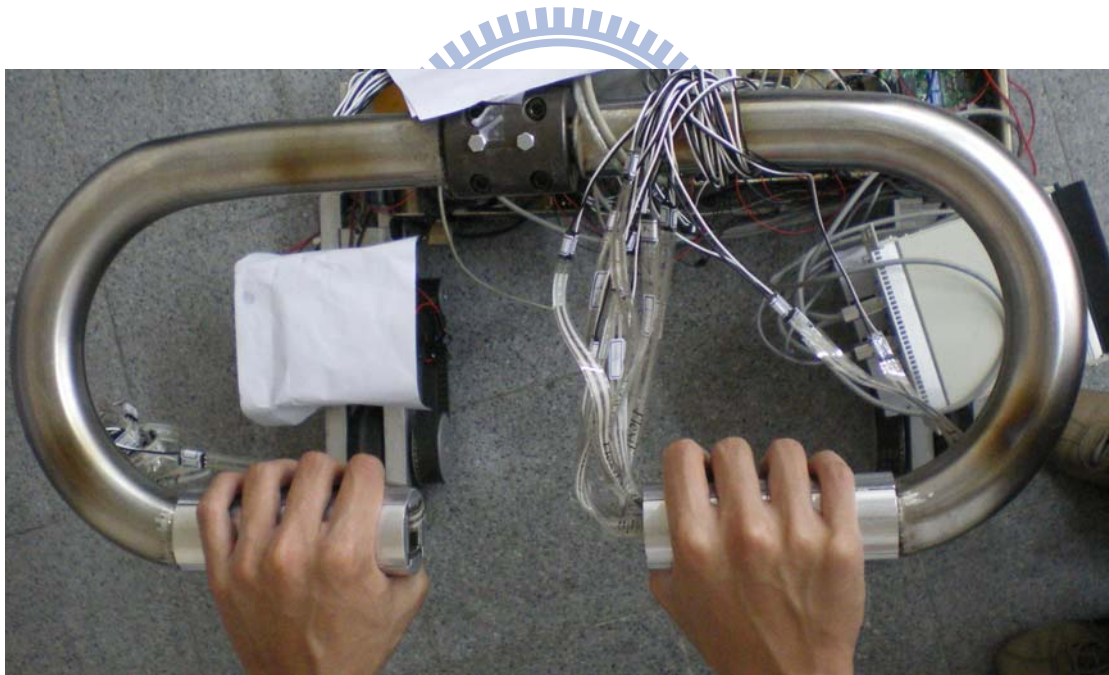
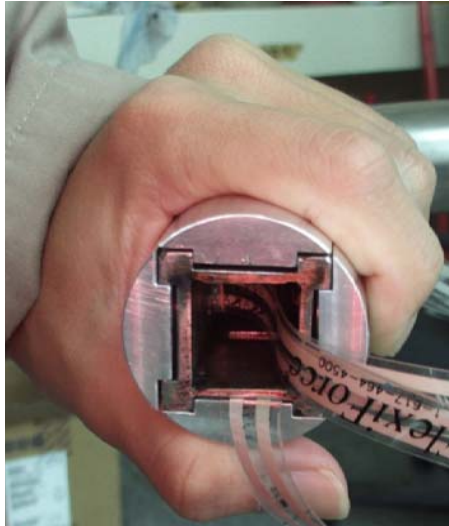


圖 3.11 握把兩手實際使用情形



(a)握把實際使用情形側面



(b)握把實際使用情形正面

圖 3.12 (a)握把實際使用情形側面和(b)握把實際使用情形正面

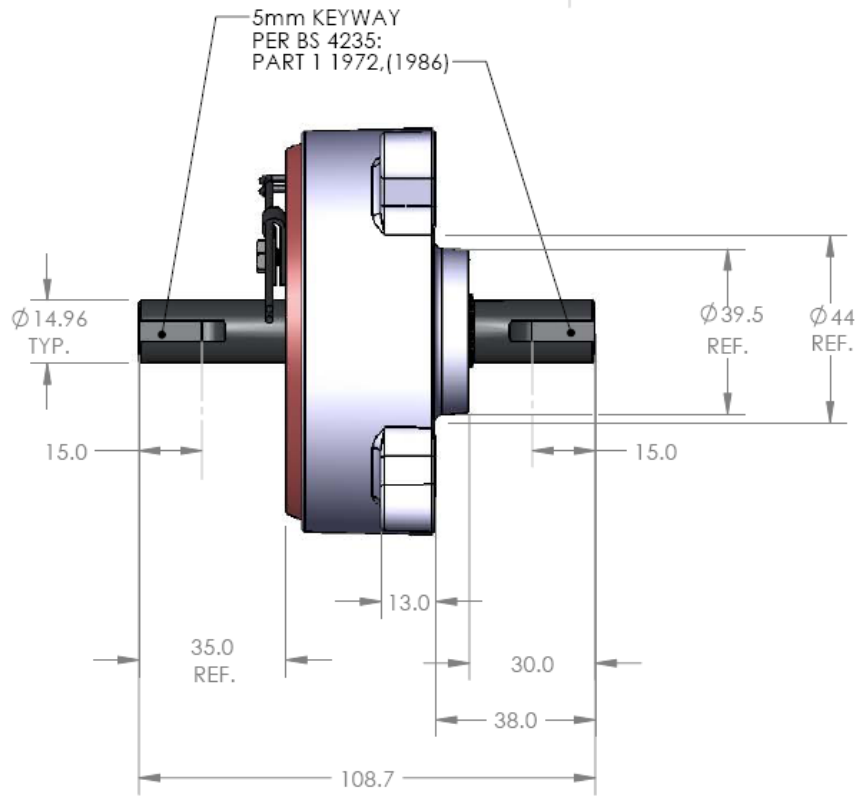


圖3.13 兩軸力感應器裝置於車體

3.1.3 伺服煞車器

系統採用RD-2087-01伺服煞車器，如圖3.14(a)所示，為LORD公司製作的旋轉式剎車器，系統結構中具有一個置於磁黏滯液體中的轉動鋼盤，環型電磁線圈可產生剎車阻尼所需的磁場，磁黏滯液體以剪力方式產生黏滯阻尼力，最大輸入電流為1.5 A，工作電壓為12-24 Volts，最大輸出力矩4 Nm，其輸入電流與輸出力矩如圖3.14(b)所示，作動反應時間可達10~30 ms。操作上，我們使用DSP控制器內部的PWM功能來執行控制，不過由於PWM為電壓調變訊號，而煞車器則是運用電流控制扭力，因此在DSP與煞車器間需要一套將電壓轉換成電流的裝置，我們使用的是LORD公司製作的Wonder Box裝置控制器，如圖3.15(a)所示[22]，其最大輸入PWM頻率30K HZ，最大輸出電流為2 A，輸入電壓與輸出電流關係如圖3.15(b)所示，將PWM電壓作整流轉換成類比電壓輸入Wonder Box裝置控制器後，會輸出對應的電流至伺服煞車器決定輸出的力矩，以控制煞車力大小。

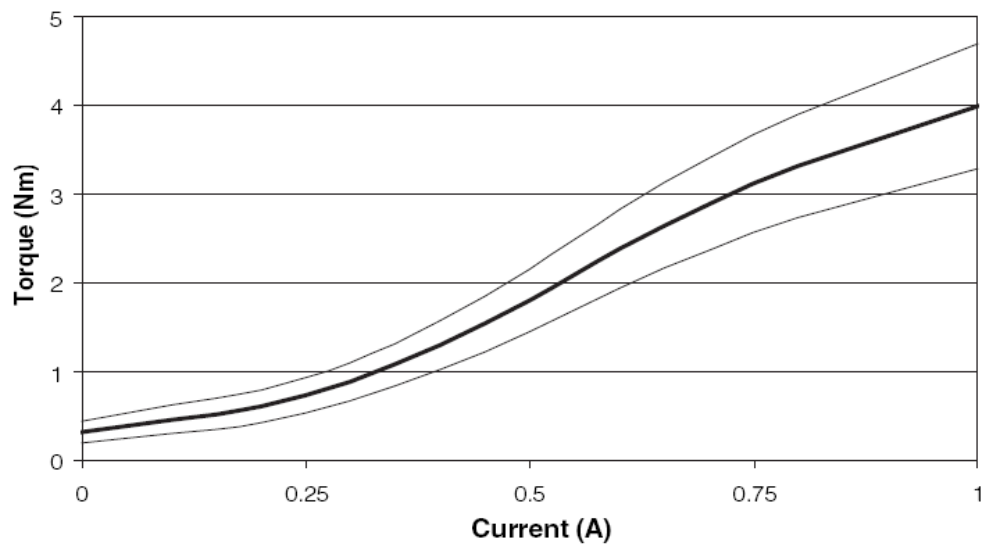




(a) RD-2087-01 伺服煞車器



Typical Torque Curve

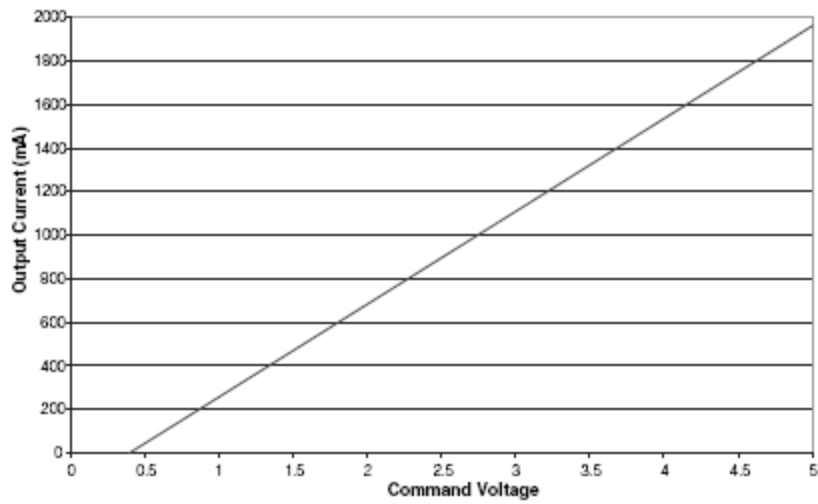


(b) 輸入電流與輸出力矩關係

圖3.14 (a) RD-2087-01 伺服煞車器和 (b) 輸入電流與輸出力矩關係 [22]



(a) Wonder Box 裝置控制器



(b) 輸入電壓與輸出電流關係

圖 3.15 (a) Wonder Box 裝置控制器和(b)輸入電壓與輸出電流關係[22]

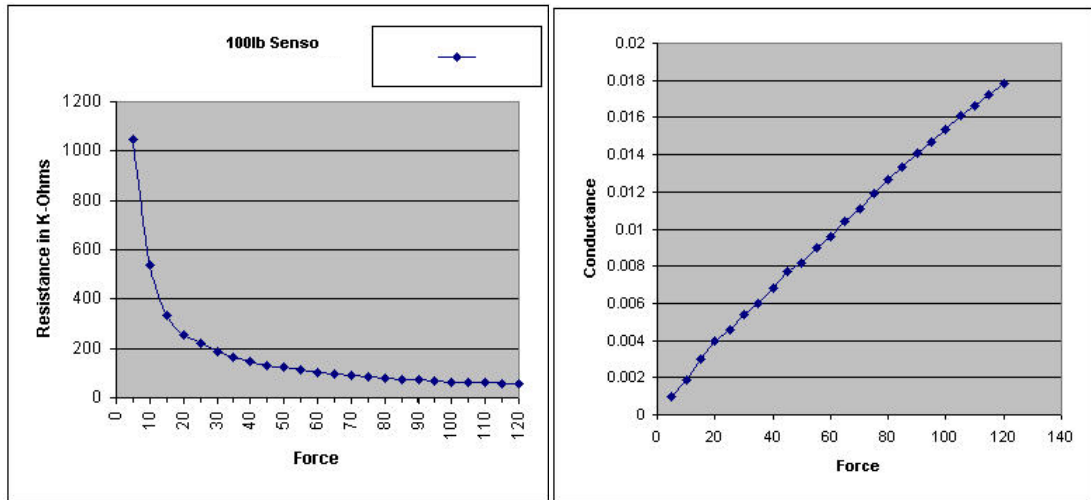
3.1.4 力感應器

在握把上，我們採用的力感應器型號是Tekscan公司出廠的A201-25-8 Flexiforce Sensor，如圖3.16所示，是屬於電阻式壓力感應器的一種，量測力的範圍介於0lb~25lb，在沒有負載的情況下，電阻值非常的大(20M Ω)，隨著施加在感應器頂端的圓形感應區塊內(直徑9.53mm)的負載增加，電阻值將會下降。感應器電阻值與施力成反比關係，如圖3.17所示。

另一方面，在實驗驗證部分，我們採用了鴻讚科技所生產的兩軸力感應器來執行精確的力資訊擷取，如圖3.18所示，兩軸力感應器可以精確的量測出推拉力與旋轉力矩，最大量測推拉力為正負100N，最大量測旋轉力矩則為正負10Nm，精度可達0.2%。此款力感應器屬於應變規式的力感應器，訊號輸出後需再經過濾波器及運算放大器做訊號的處理，如圖3.19所示，處理過後的施力與電壓的關係如圖3.20所示。



圖3.16 電阻式壓力感應器



(a)FSR施力與電阻的關係

(b) FSR施力與電導的關係

圖3.17 (a)FSR施力與電阻的關係和(b) FSR施力與電導的關係



圖3.18 實驗驗證用兩軸力感應器

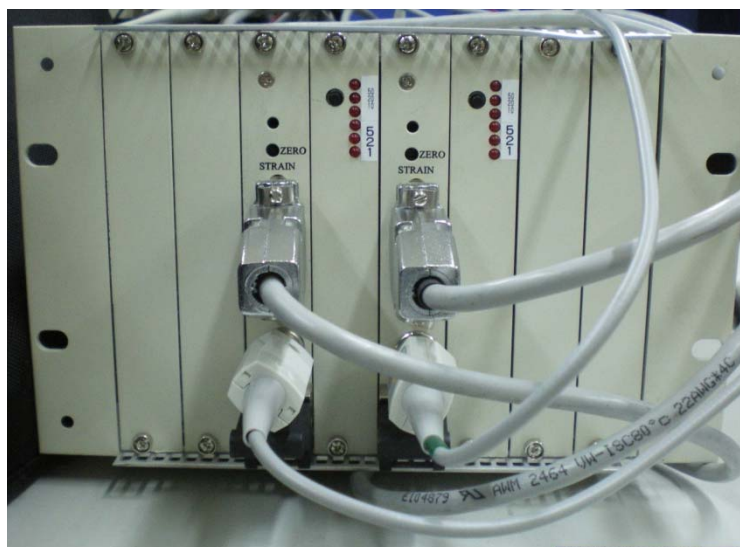
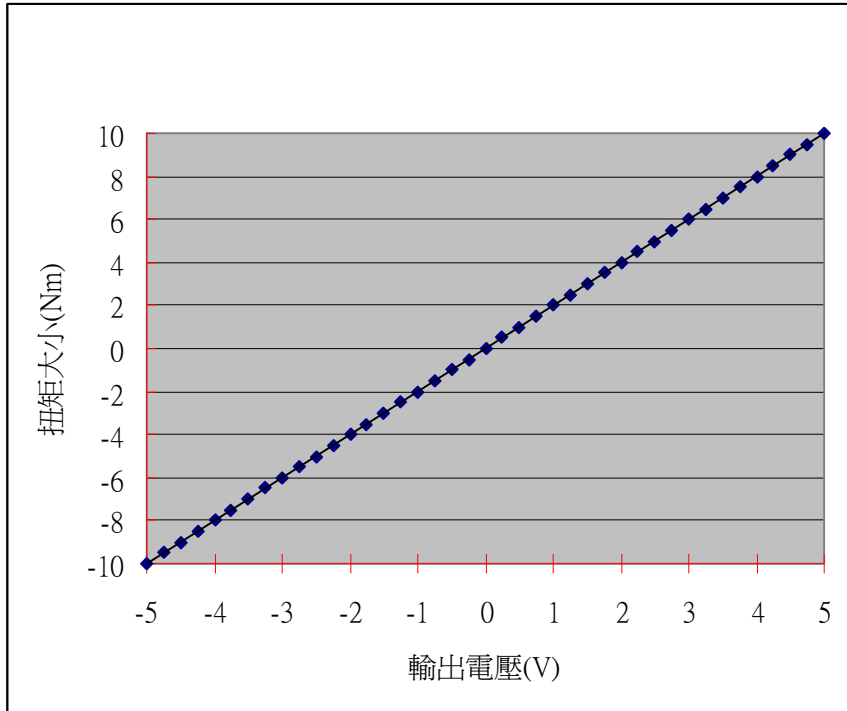
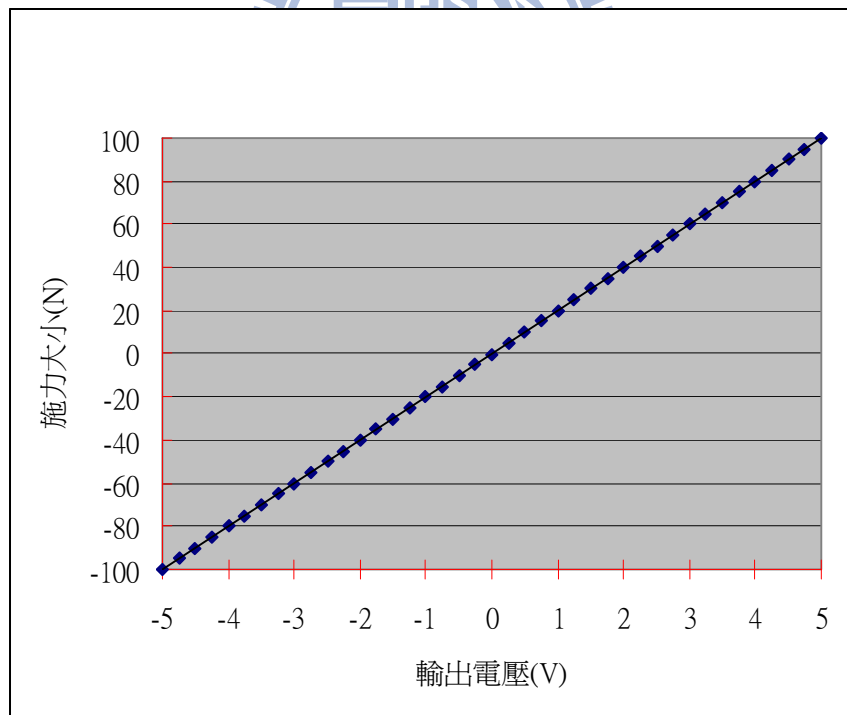


圖3.19 實驗驗證用兩軸力感應器濾波器



(a) 兩軸力感應器輸出電壓與旋轉力矩關係圖



(b) 兩軸力感應器輸出電壓與推拉力關係圖

圖3.20 (a)兩軸力感應器輸出電壓與旋轉力矩關係圖和(b)兩軸力感應器輸出電壓與推拉力關係圖

3.2 i-go 控制系統架構

行動輔具硬體架構如之前圖 3.3 所示，以 DSP 為控制核心，周邊輔以 3 顆 PIC18F4520 分別處理左右手的力感應資訊以及軸編碼器偵測的速度及位置資訊。銀髮族在推行動輔具的安全性往往是最需要密切注意的，會使用三顆 PIC18F4520 的主要原因就是希望在接收力資訊及偵測速度、位置時可以達到及時的功能，使我們的核心控制器 DSP 能在使用者遇到危險狀況時做最快速的反應。PIC 與 DSP 之間主要透過 UART 與並列傳輸的方式達到彼此溝通的功能，DSP 同時需驅動雷射測距儀來獲取環境與障礙物的距離，並且讀取兩顆傾斜儀的類比電壓變化以得到環境中車身傾斜角度，最後將所有資訊透過運動控制及行為控制演算法決定出兩組伺服煞車器所需輸出的煞車力度，其流程如圖 3.21 所示。

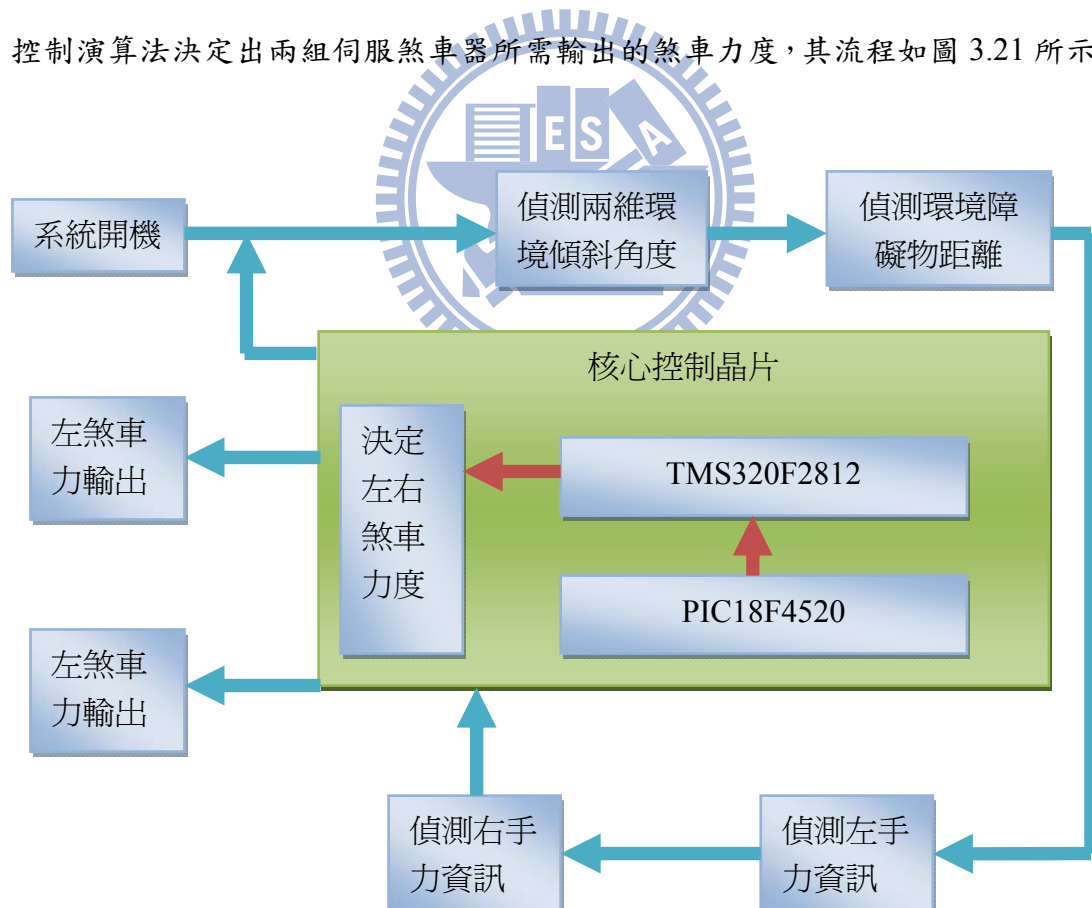


圖 3.21 i-go 環境資訊感測流程

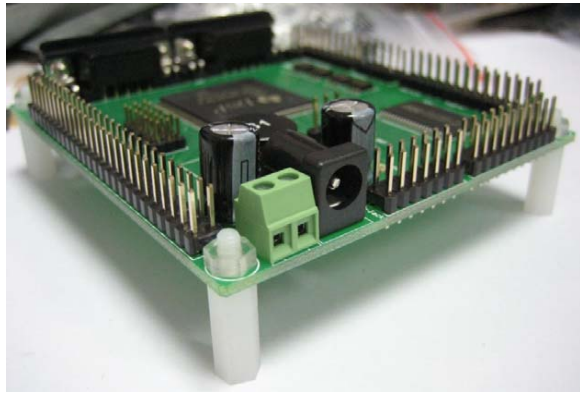
3.2.1 核心控制晶片 TMS320F2812

i-go 核心使用的是智控科技的 easy-DSP 實驗板，大小約 90x80mm，可支援 12V~36V 的電源輸入介面，如圖 3.22 所示，裡面搭載的核心晶片是德州儀器公司開發的 TMS320F2812 系列，是一個 16 位元定點運算處理器，並配備有 32 位元乘法器以支援 32 位元運算，擁有 176 個接腳，如圖 3.23 所示，最高操作時脈可達 150Mhz，獨特的硬體多工加速功能非常適合用來處理需要高速大量運算的 i-go，另外它的穩定性也是我們選擇的主要原因，TMS320F2812 的系統架構如圖 3.24 所示，其硬體功能尚有：

- 18 K words on chip RAM
- 128 K words on chip FLASH ROM
- 128 K words on board RAM
- 16 位元x16 位元和32 位元x32 位元乘加(MAC)運算操作
- 雙16 位元x16 位元乘加(MAC)運算操作
- 哈佛匯流排結構、強大的操作能力和即時中斷響應和處理
- 支援各式程式碼(C/C++ & Assembly)
- 通用式I/O(GPIO)
- 馬達控制周邊包含兩個Event Managers (EVA, EVB)
- 串列周邊介面(SPI)
- 兩個串列通訊介面(SCI)
- 增大的控制器區域網路(eCAN)
- 16 個通道的 ADC 轉換(12 位元解析度)
- 擴充連結頭



(a) easy-DSP正面圖



(b) easy-DSP側面圖

圖3.22 (a) easy-DSP正面圖和(b) easy-DSP側面圖

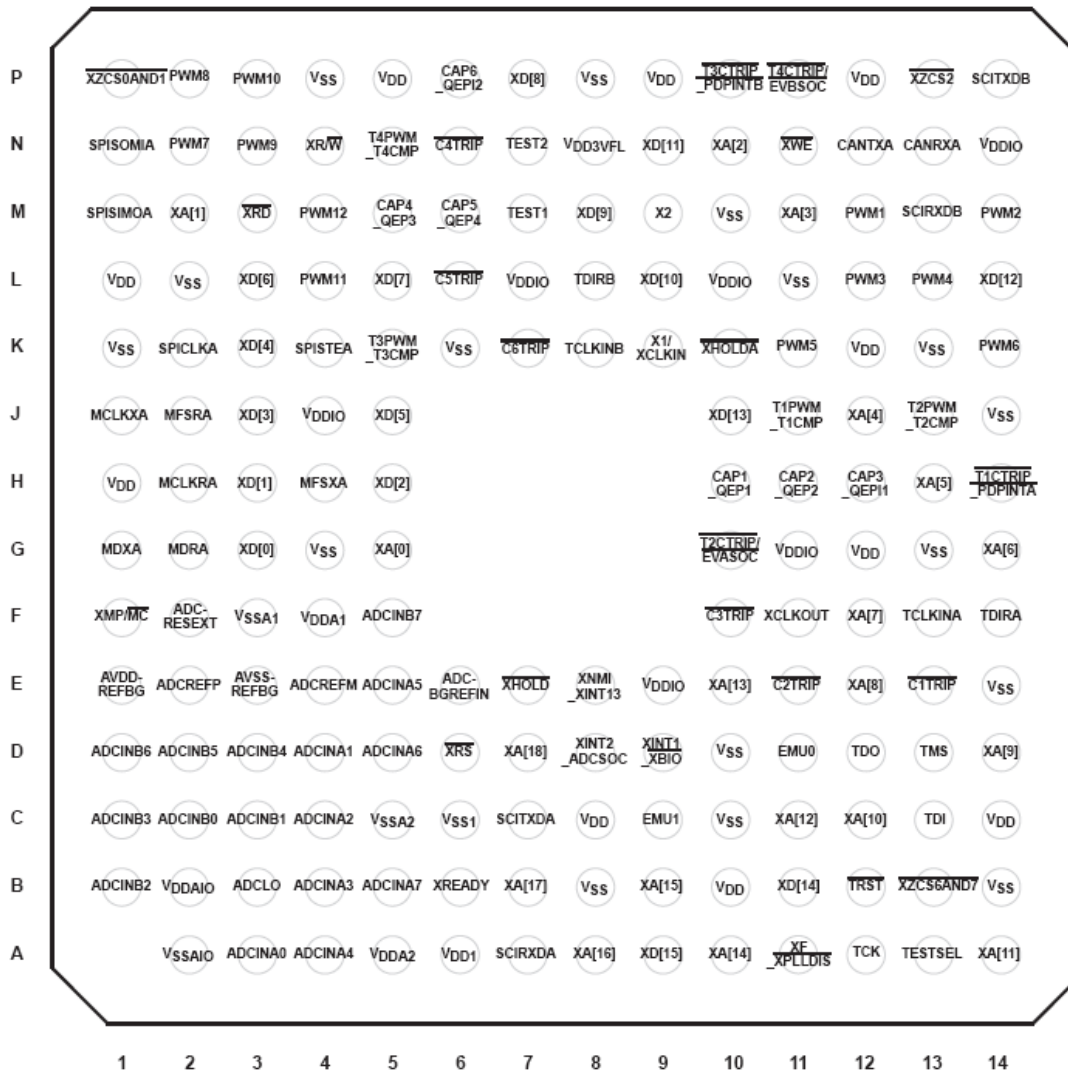


圖 3.23 TMS320F2812 腳位圖[23]

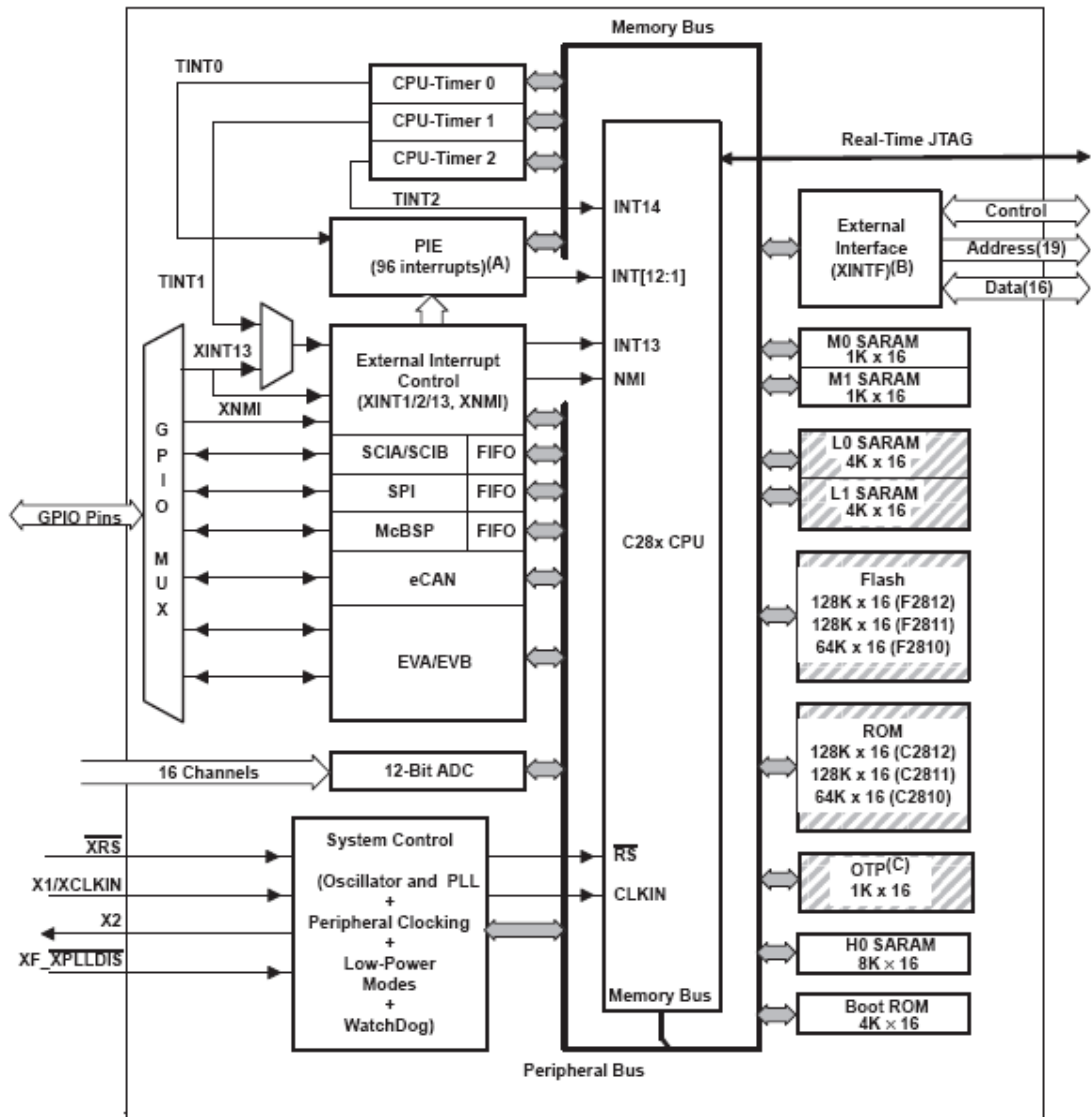


圖 3.24 TMS320F2812 系統架構圖[23]

3.2.2 周邊控制晶片 PIC18F4520

為了增加使用者操作的安全性，我們需要持續將量測的力感應器資訊送至兩顆額外的單晶片處理，讓 DSP 可以專司演算法的運算，如此的設計可以避免 DSP 晶片在做演算法的計算時一直被 A/D 轉換等工作中斷。美國 Microchip 公司所開發生產的 PIC 單晶片是一種很常使用在控制的單晶片，我們選擇的型號是 PIC18F4520 系列，其為一款具 Harvard 架構的 8 位元單晶片，有 44 個接腳，腳位圖如圖 3.25 所示，採用精簡指令架構(RISC)，總共只有 75 個指令，最高工作時脈可達 40MHz，PIC18F4520 的外觀如圖 3.26 所示、系統架構如圖 3.27 所示，其硬體功能尚有：

- 33 個中斷源及兩個高低優先權中斷向量
- 33 個數位 I/O
- 可預先設倍率的 16 位元計時或計數器
- 兩個捕捉(Capture)、比較(Compare)以及脈波可調變(Plus Width Modulation PWM)模組：捕捉為 16 位元，解析度為 12.5 奈秒；比較為 16 位元，解析度為 200 奈秒；脈波可調變的解析度為 10 位元
- 13 個通道的 ADC 轉換(10 位元解析度)
- 8 位元的並列被動埠(Parallel Slave Port：PSP)
- 串列通訊介面(SCI)
- 同步的串列埠(MSSP)模組具有串列週邊界面(SPI)主模式(Master Mode)以及 I2C 的主從模式(Master/Slave)

44-pin TQFP

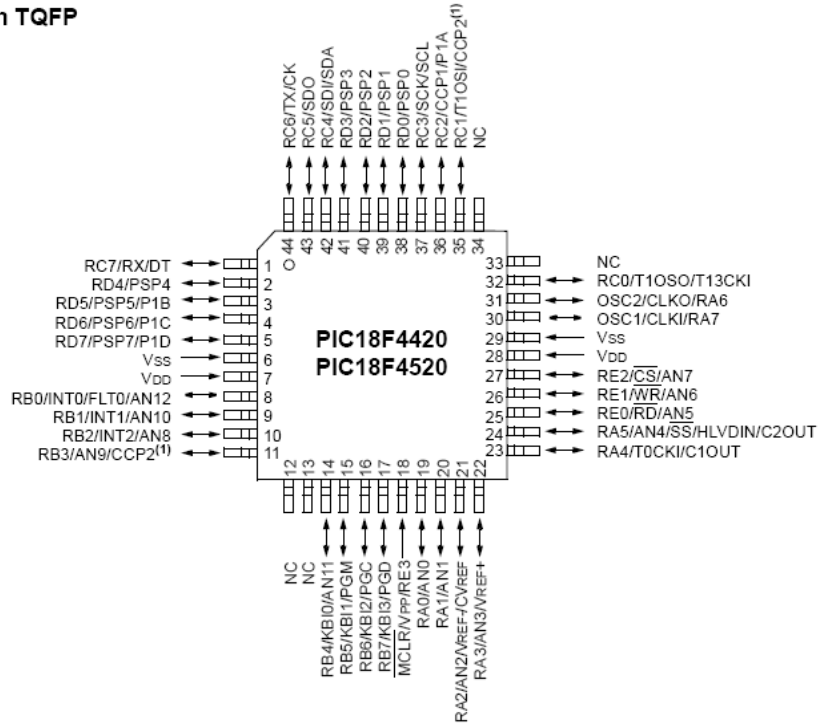


圖 3.25 PIC18F4520 腳位圖 [24]



圖 3.26 PIC18F4520 外觀

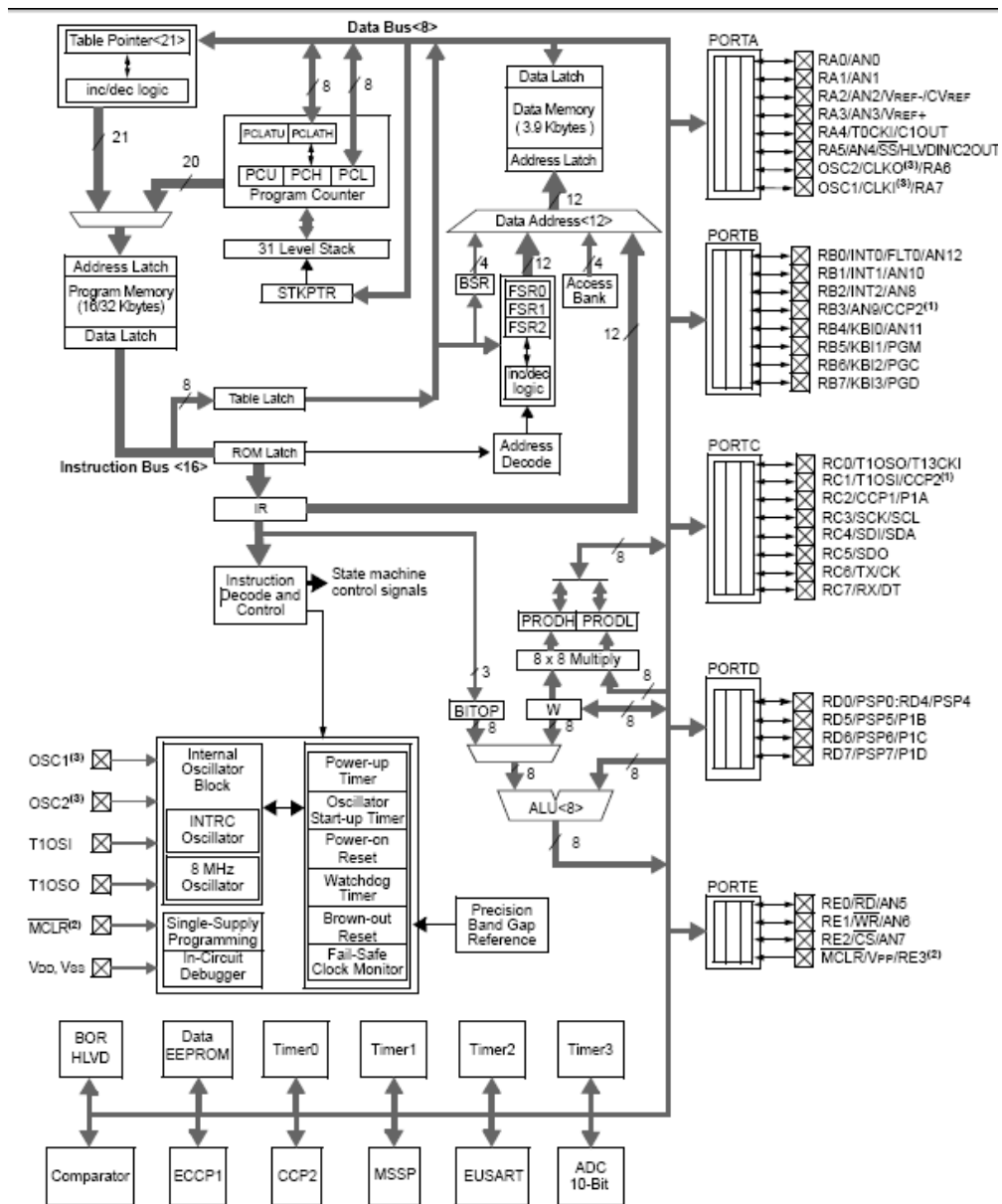


圖 3.27 PIC18F4520 系統架構圖[24]

3.2.3 握力資訊擷取系統

為了精確辨識使用者的意圖，我們使用到的力感應器數量眾多，因此需要一套握力資訊擷取系統來專門處理兩手的握力資訊，由於 FSR 屬於壓阻式感應器，然而電阻與施力間的關係並不適合一般晶片運算，因此我需要將其轉換為電壓與施力間的關係，轉換電路如圖 3.28 所示，其中 R_s 為 FSR 偵測出的電阻值， R_f 則採用 $100k\Omega$ 的電阻，輸出電壓 V_{OUT} 與輸入電壓 V_T 的關係如(3.1)式所示：

$$V_{OUT} = -V_T \times \left(\frac{R_f}{R_s}\right) \quad (3.1)$$

當輸入電壓 $V_T = -5V$ 時，隨著使用者施力變大， R_s 值將會漸漸變小， V_{OUT} 也會由 $0V$ 逐漸變大成 $5V$ ，由 V_{OUT} 的值將可以推算出施力的大小，完成後的實體電路如圖 3.29 所示。我們使用 2 顆 PIC 晶片分別處理左右手資訊，每隻手有 13 個 FSR，將 V_{OUT} 經過 8bits AD 轉換後總共可以得到 26 筆握力特徵資料，將這 26 筆資料配合邏輯電路，如圖 3.30 所示，可以讓 DSP 晶片可以隨時使用並列存取的方式讀取所需要的那一隻手的握力資訊。由於兩顆 PIC 的 8bits 握力輸出都接在 DSP 板的同一組 8bits 腳位中，為了防止短路，必須再接一顆 74541 三態閘，將不需要傳輸的那顆 PIC 做高阻抗隔離，最後因為 PIC 採用 TTL 電位，為 $0\sim 5V$ ，而 DSP 則使用 $0\sim 3.3V$ 作為工作電壓，因此在訊號傳遞時需作電位的轉換，我們使用智控科技所生產的電位轉換電路板，如圖 3.31 所示。

兩軸力感應器是使用應變規及橋式電路組成，由於產品本身已具備有濾波器及放大電路，我們額外需要進行的硬體處理在於因兩軸力感應器的輸出為正負 $5V$ ，然而負電壓無法做 AD 轉換，因此我們先外加一組 $5V$ 的加法電路，下圖 3.32 所示，其中 V_{force} 代表未經轉換過的電壓輸入端，此加法電路會先將電壓範圍改變成 $0\sim 10V$ ，再使用一組線性電路將輸出範圍等比例縮小到 $0\sim 5V$ ，最後即可由控制晶片做 AD 轉換處理，取得到我們需要的推拉力、旋轉力矩數值。

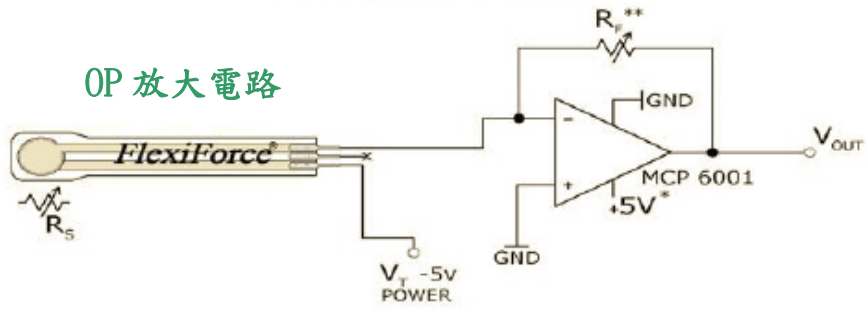


圖 3.28 OP 放大電路

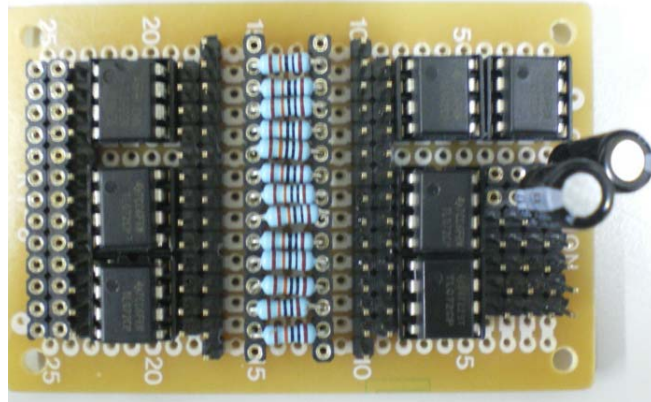


圖 3.29 OP 放大電路實體圖

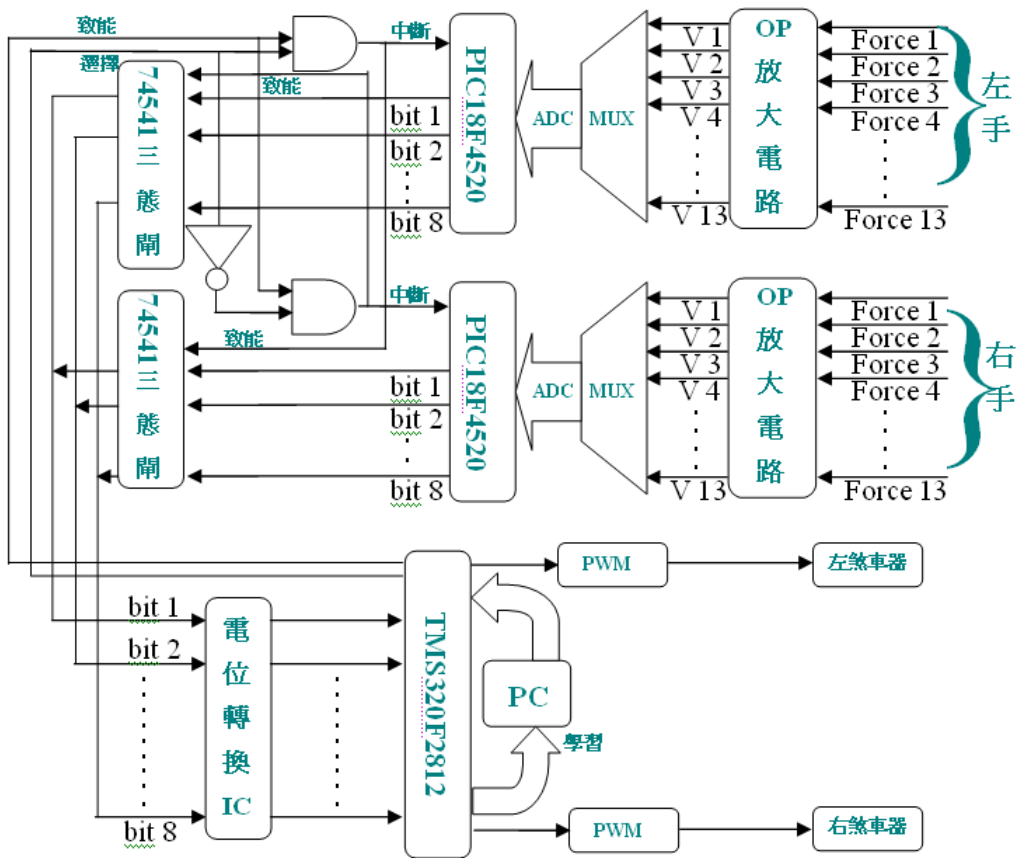


圖 3.30 邏輯電路示意圖

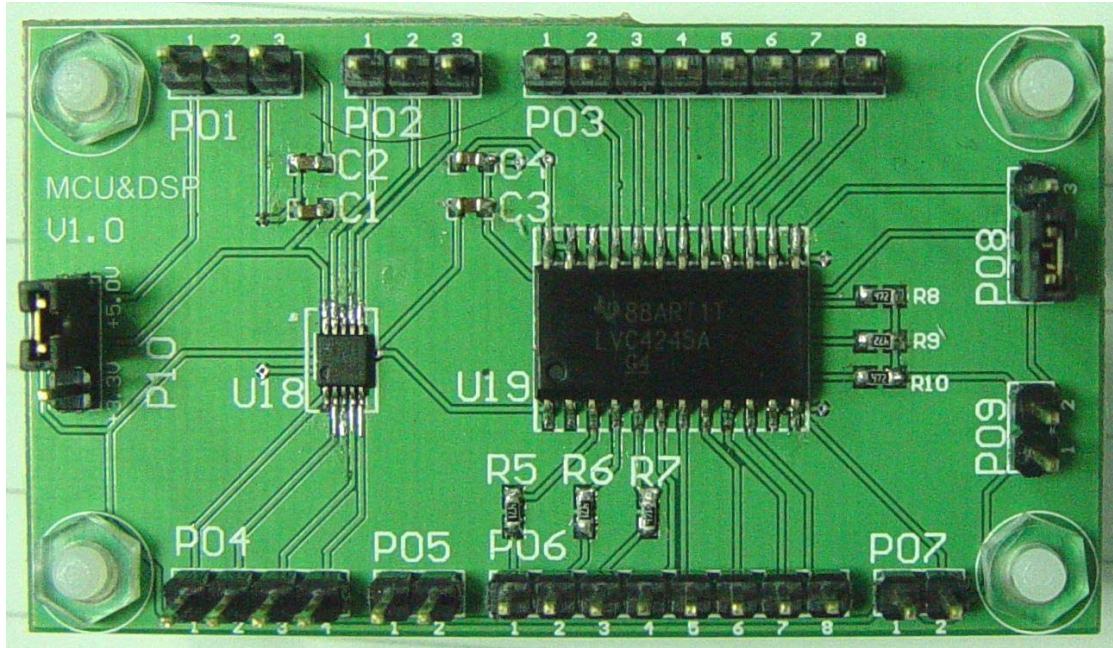


圖 3.31 電位轉換電路板

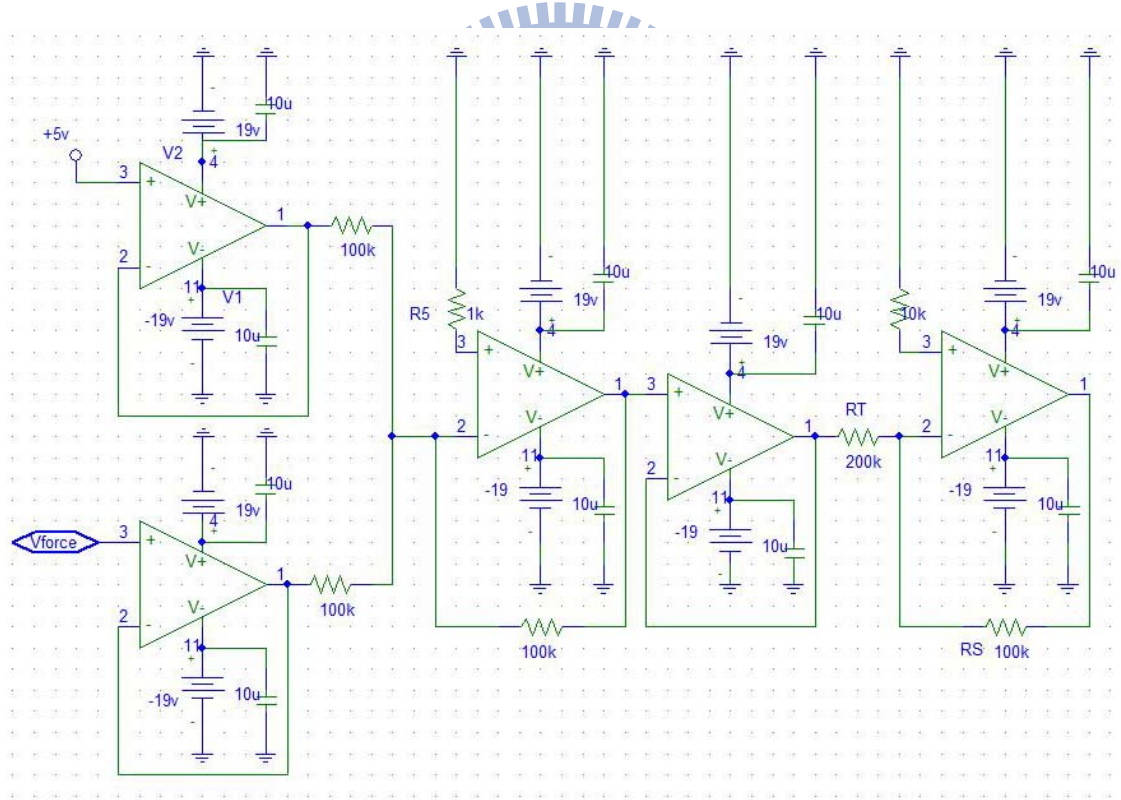


圖 3.32 兩軸力感應器用加法電路

第四章

實驗與分析

由前兩章提出了研究方法及系統的架構，在本章將在我們的系統上，針對提出的研究方法進行實驗，並對於使用者意圖辨識及i-go控制的成效進行探討，為了驗證在意圖辨識上，通過我們提出的迴歸模型能準確推論出意圖與實際推拉力、旋轉力矩的關係，設計了意圖辨識與施力關係實驗，將在4.1節進行介紹；為了驗證我們所設計的具意圖辨識之模糊控制器，在一般環境中能輔助銀髮族穩定行走，並在老人欲轉彎或遭遇危險時給予煞車力輔助，設計了意圖操控i-go實驗I，將在4.2節介紹；為了驗證我們設計的適應性意圖辨識模糊控制器能達到自主學習模糊歸屬函數，並在一般環境中輔助銀髮族穩定行走，且在轉彎或遭遇危險時給予煞車力輔助，設計了意圖操控i-go實驗II，將在4.3節進行介紹。

4.1 意圖辨識與施力關係實驗

此實驗的設計目的是希望能驗證我們設計的意圖辨識握把，能經由Lasso迴歸模型推論出相對應於此意圖的推拉力與旋轉力矩。實驗開始前我們先對每個力感應器做線性校正，校正方式是透過精確的砝碼逐漸對力感應器施壓，先找出壓力與電壓的關係，其結果如圖4.1所示，再透過軟體作線性化調整，使得相同的力道施加在各個力感應器上能測到相同的數值，掌握力感應器量測的壓力值與電壓的關係後，我們請了兩位受測者來執行這個實驗，實驗場景如圖4.2所示，通道寬度約為3 m，上方設有若干障礙物。

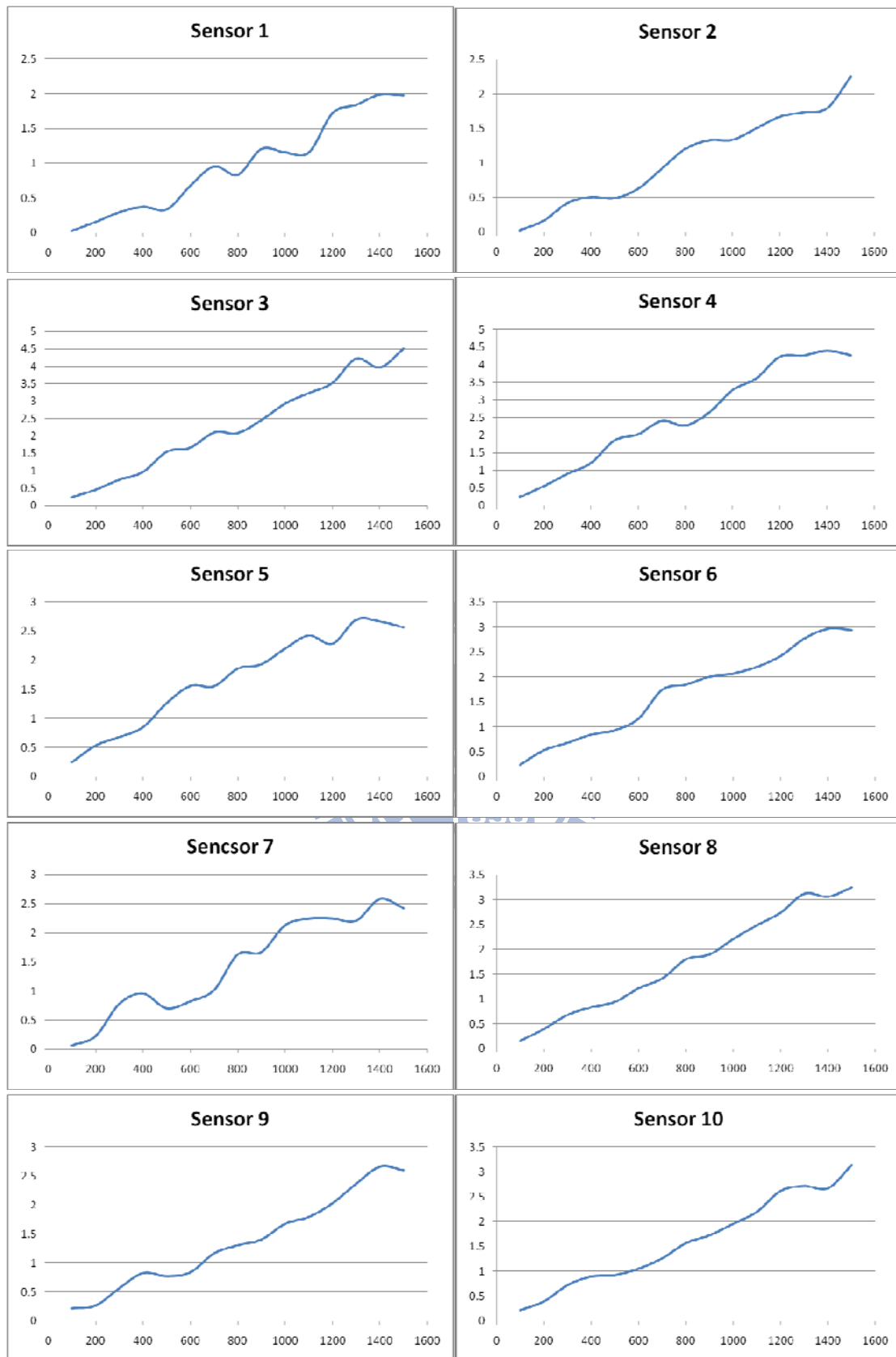


圖 4.1 力感應器壓力與電壓的關係



圖4.2 意圖辨識與施力關係實驗場景

在實驗中，受測者以自身的操作習慣自由行走於場景中，但不可以撞到障礙物或牆壁，在這個實驗過程中，我們每隔0.5秒通過意圖辨識握把收集一次使用者當下移動的意圖所造成的壓力值，以及通過兩軸力感應器得到在該意圖下的推拉力與旋轉力矩，共收集1100筆的訓練資料，經過短暫休息後，重複相同的實驗步驟，再收集400筆的驗證資料，表4.1為實驗受測者資料。

表4.1 意圖辨識與施力關係實驗受測者資料

受測者	性別	年齡	身體狀況
A	女	25	四肢健全
B	男	22	四肢健全

為了要找出使用者意圖與施力之間的關係，根據前一章提到的Lasso定義公式，我們需要將收集到的訓練資料通過(2.18)式計算出一組關係參數 $\hat{\beta}$ ，此 $\hat{\beta}$ 參數為一個27個數所組成的一維向量，該向量可以代表訓練資料中經由握把上26個力感應器所量測出來的數值和經由兩軸力感應器所量測出來精確的推拉力、旋

轉力矩之間的關係，有了這個 $\hat{\beta}$ 向量後，使用者只要對i-go施加任何一種意圖，透過裝置在i-go力感應握把上的26個力感應器可以量出26個壓力值，將這些壓力值與 $\hat{\beta}$ 向量取內積，即可推論出使用者在此意圖下的推拉力及旋轉力矩的大小。

我們將收集到的400筆經由握把上力感應器所量測出來的驗證資料與 $\hat{\beta}$ 向量取內積後，可以估測出400筆推拉力與旋轉力矩，欲得知估測出來的推拉力、旋轉力矩究竟存在多少可信度，可經由下方(4.1)式，來做計算，

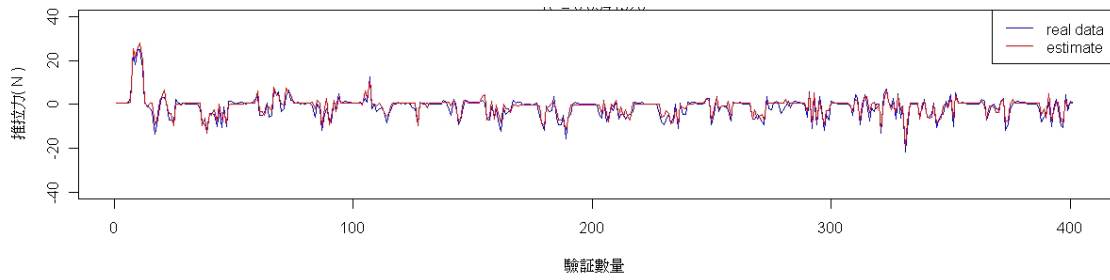
$$CF = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (4.1)$$

其中CF代表可信度，SSE代表驗證資料誤差，SST代表訓練跟驗證資料的總變異量，我們透過將實際經由兩軸力感應器量測出來的精確值與估測的結果代入(4.1)式即可算出我們的估測結果有多少的可信度。

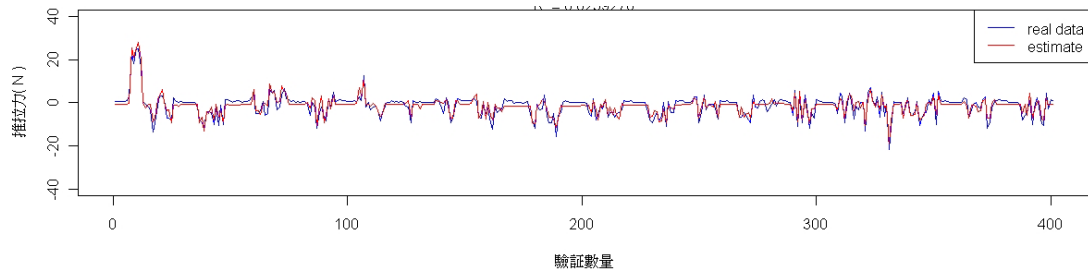
前一章提到Lasso的優點在於可以避免因各個輸入變數間的相依性太高所導致的估測誤差，相依性越高代表著在同一種意圖下有越多的力感應器呈現相同的變化趨勢，我們可以藉著調整(2.14)式中的 λ 值來達到排除相依性的目的，當輸入變數(由握把上力感應器所量測出來的數值)之間的相依性越高的時候，使用較高的 λ 可以得到比較準確的估測結果，反之則使用較低的 λ 。我們針對兩位受測者使用 λ 等於1~5來做估測，圖4.3所示為受測者A的結果，其中圖4.3(a)~(d)呈現使用不同 λ 估測出來的結果，藍線代表經由兩軸力感應器實際量測到的精確值，紅線則代表經由Lasso迴歸方法所推論出來的估測值，其中推拉力正的數值代表拉力，負的數值代表推力；旋轉力矩正的數值代表左轉旋轉力矩，負的數值代表右轉旋轉力矩，由實驗結果可以發現在推拉力的部分， λ 等於2的時候，估測結果準確率最高，可信度為85.4%， λ 等於5的時候準確率最低，可信度為82.4%；旋轉力矩在 λ 等於2到5的時候估測結果準確率差不多，其可信度約為81.5%，圖4.4所示為受測者B的結果，其中圖4.4(a)~(d)呈現使用不同 λ 估測出來的結果，由實驗結果可以發現在推拉力的部分 λ 等於2的時候估測結果準確率最高，可信度為

84.4%， λ 等於5的時候準確率最低，可信度為75.5%；旋轉力矩在 λ 等於3的時候估測結果最好，其可信度約為80.1%， λ 等於5的時候準確率最低，可信度為78.7%。由兩位受測者的結果得知當 λ 等於2到3時有較好的估測結果，這也代表著每個壓力感應器之間的相依性並沒有太高，如此的實驗結果證明了我們每隻手使用13個力感應器並不會過多，且配置的位置得當。此外由兩位受測者的實驗表現，可以證明我們藉由Lasso迴歸方法可以有效推論出使用者的意圖與推拉力、旋轉力矩間的關係，至於造成旋轉力矩在估測上的準確度比推拉力來的低，是由於旋轉力矩的變異幅度比較大，會造成誤差量稍微大一點。

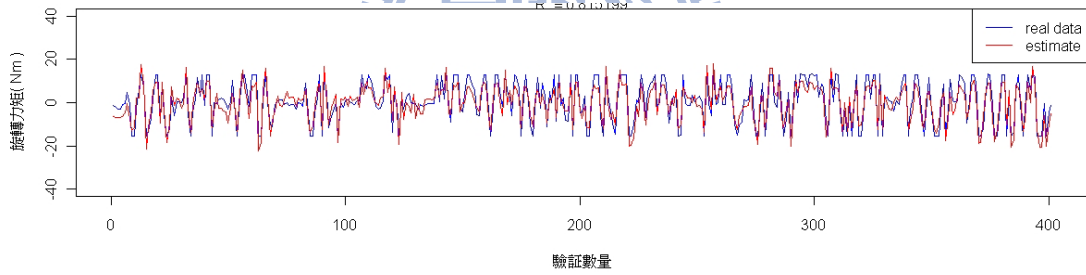




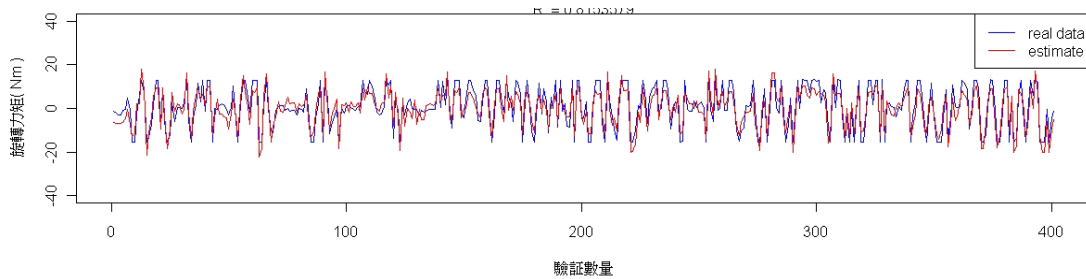
(a)推拉力於 $\lambda=2$ 的估測結果，可信度為85.4%



(b)推拉力於 $\lambda=5$ 的估測結果，可信度為82.4%

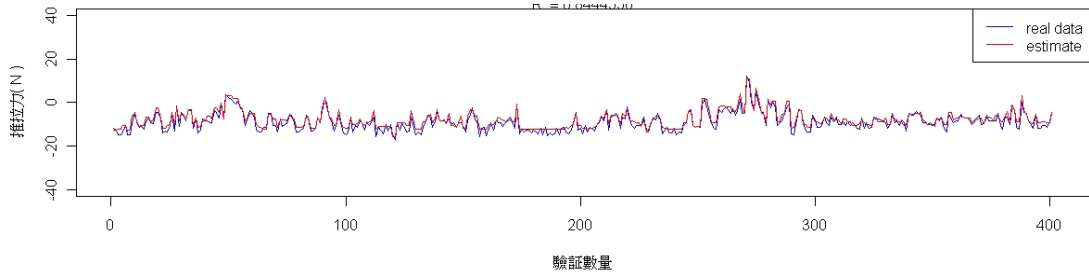


(c)旋轉力矩於 $\lambda=2$ 的推論結果，可信度為81.5%

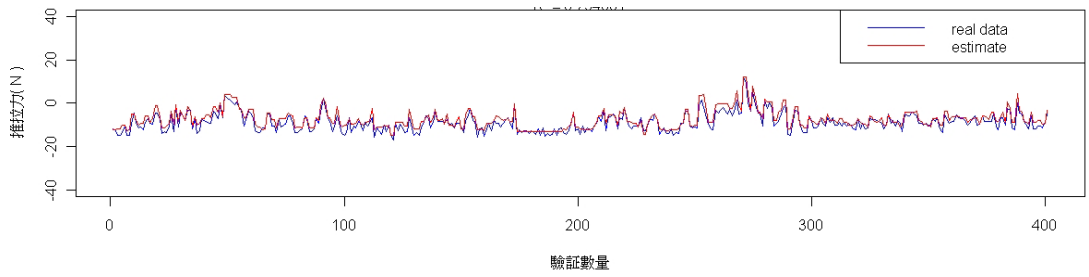


(d)旋轉力矩於 $\lambda=5$ 的推論結果，可信度為81.5%

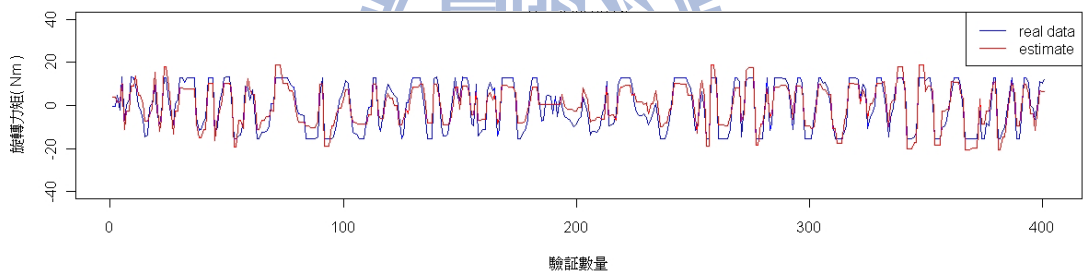
圖4.3 受測者A實驗結果



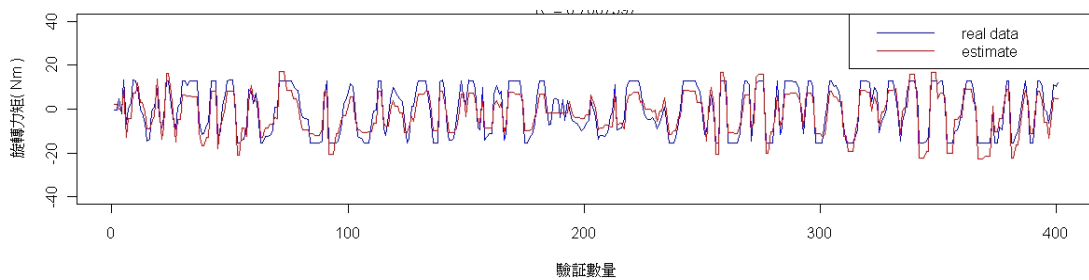
(a) 推拉力於 $\lambda=2$ 的推論結果，可信度為84.5%



(b) 推拉力於 $\lambda=5$ 的推論結果，可信度為75.5%



(c) 旋轉力矩於 $\lambda=3$ 的推論結果，可信度為80.1%



(d) 旋轉力矩於 $\lambda=5$ 的推論結果，可信度為78.7%

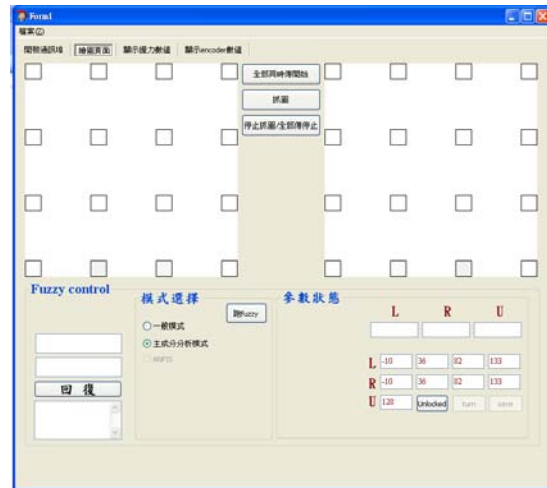
圖4.4 受測者B實驗結果

4.2 意圖操控i-go實驗I

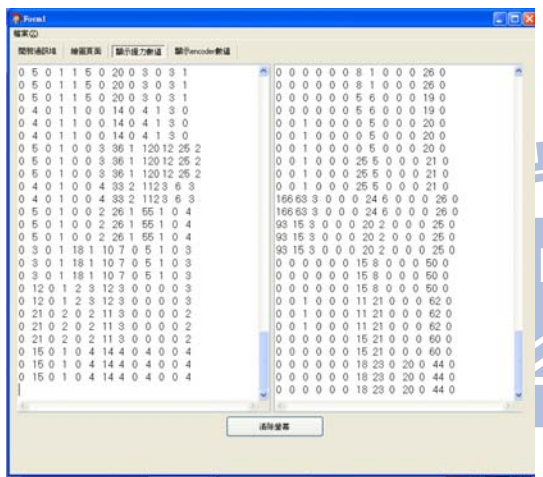
此實驗之設計目的是希望能驗證藉由我們設計的意圖辨識握把能有效辨識使用者意圖，並透過我們提出的模糊控制系統，運用意圖辨識握把所辨識到的意圖資訊來控制i-go，使i-go能產生對應該意圖的煞車力輔助。實驗開始前我們必須先了解使用者常見的意圖有哪些，藉由本實驗室自行設計的電腦軟體介面，將使用者的意圖擷取出來，如圖4.5所示，此程式由四個主要功能組成，圖4.5(a)所示為設定串列傳輸功能介面，圖4.5(b)所示為獲取意圖介面，圖4.5(c)所示為顯示握力值介面，此介面能接收PIC晶片傳回的力感應握把上各個力感應器的數值，圖4.5(d)所示為控制煞車器介面，此介面能接收兩軸力感應器數值並直接控制兩輪的煞車器扭力輸出的大小。握把與意圖介面獲取的結果相對應位置關係如圖4.6所示，由結果我們可以發現到當使用者施加前進意圖時，兩手09~12號位置受力較大，如圖4.7所示；施加後退意圖時，兩手01~04號位置受力較大；施加下壓意圖時，兩手05~09號位置受力較大，如圖4.8所示；施加右轉意圖時，有兩種方式可以完成右轉，一種是對右手09~12號位置施力，左手不要施力，如圖4.10(a)所示，另一種是對右手09~12號位置施力，左手01~04號位置施力，如圖4.10(b)所示；要完成左轉同樣有兩種方式，一種是對左手09~12號位置施力，右手不要施力，如圖4.11(a)所示，另一種是對左手09~12號位置施力，右手01~04號位置施力，如圖4.11(b)所示。因為左轉與右轉意圖都有兩種方式可以達成，且左轉與右轉會壓到的位置又與下壓意圖會壓到的位置不重疊，因此證明我們可以透過PCA演算法對左右手分別取其推力與拉力意圖的特徵向量，仍可以明確判斷使用者的意圖。



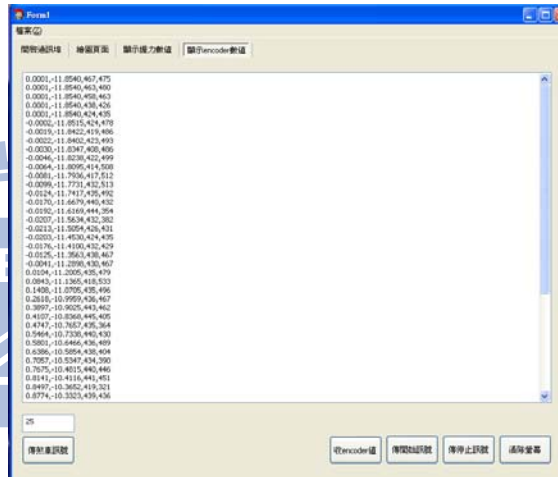
(a)設定串列傳輸功能介面



(b)獲取意圖介面



(c)顯示握力值介面



(d)控制煞車器介面

圖4.5 使用者意圖擷取介面：(a)設定串列傳輸功能介面，(b)獲取意圖介面，(c)顯示握力值介面，和(d)控制煞車器介面

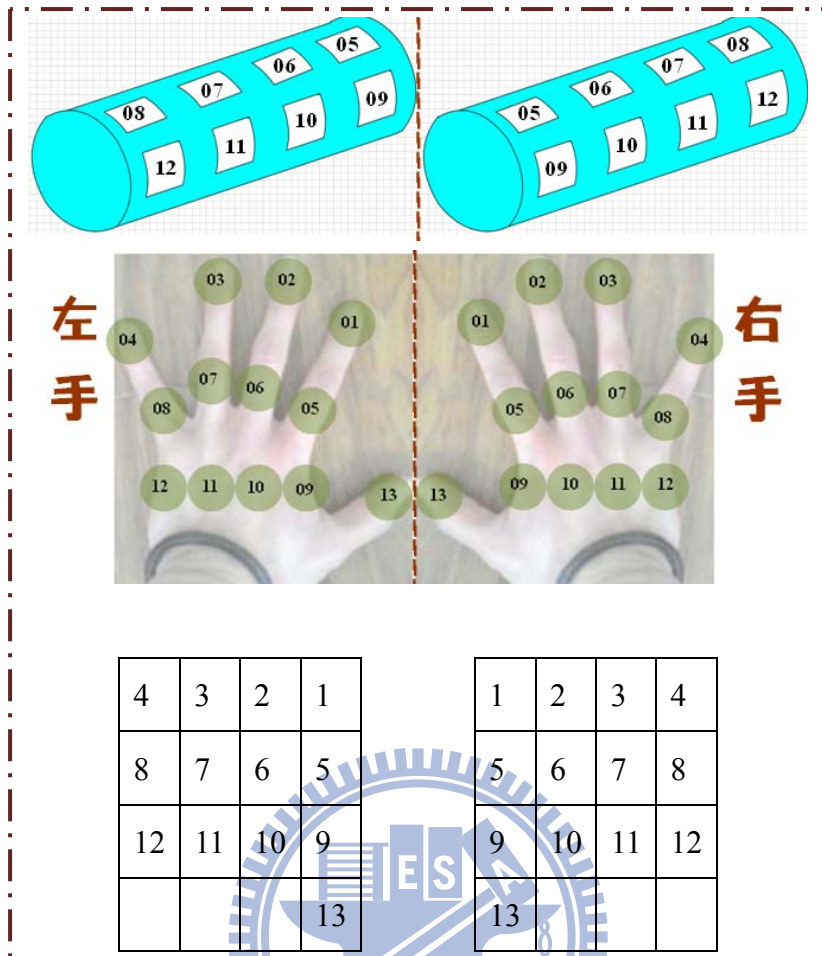


圖4.6 力感應握把位置與結果位置對照圖

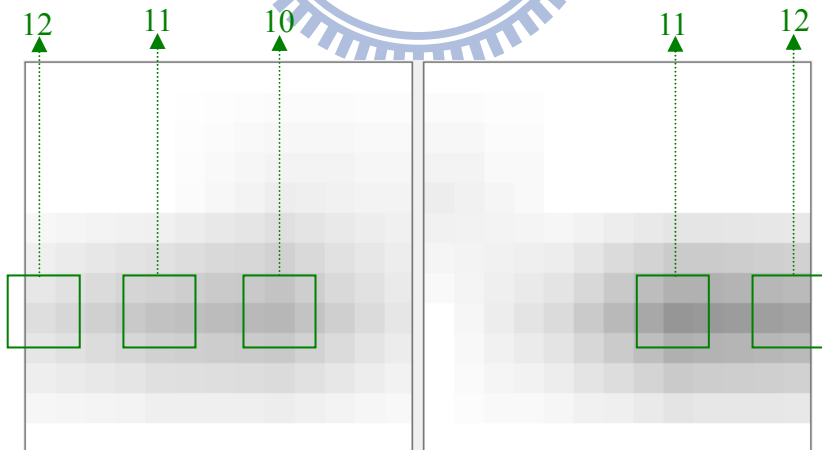


圖4.7 前進意圖

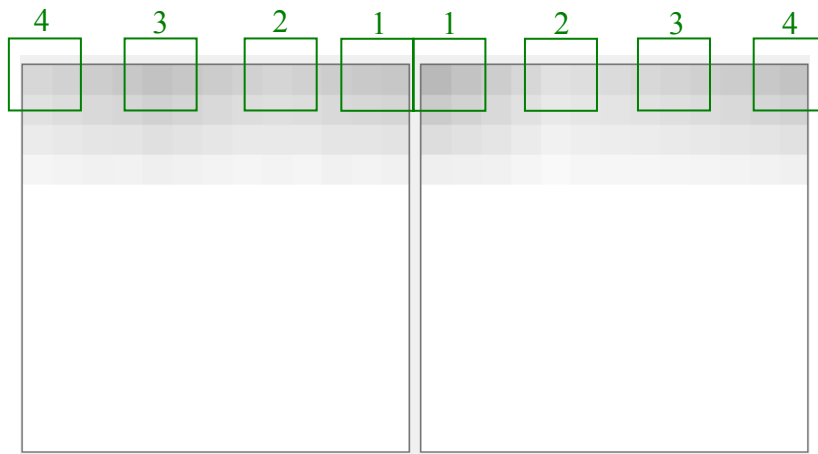


圖4.8 後退意圖

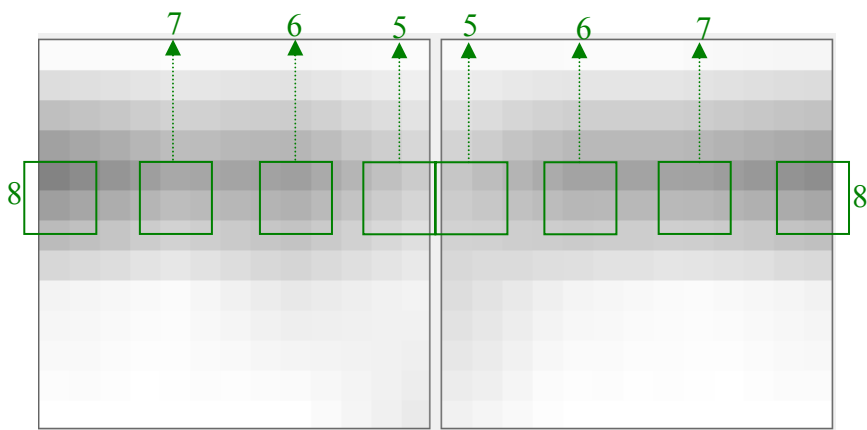
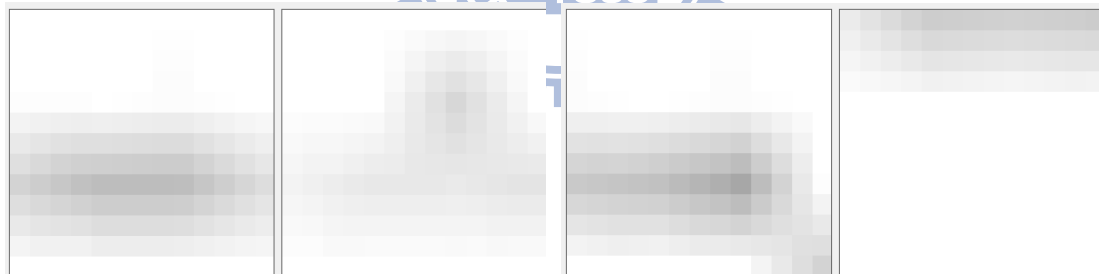


圖4.9 下壓意圖



(a)單手施力右轉

(b)雙手施力右轉

圖4.10 右轉意圖(a)單手施力右轉和(b)雙手施力右轉



(a)單手施力左轉

(b)雙手施力左轉

圖4.11 左轉意圖(a)單手施力左轉和(b)雙手施力左轉

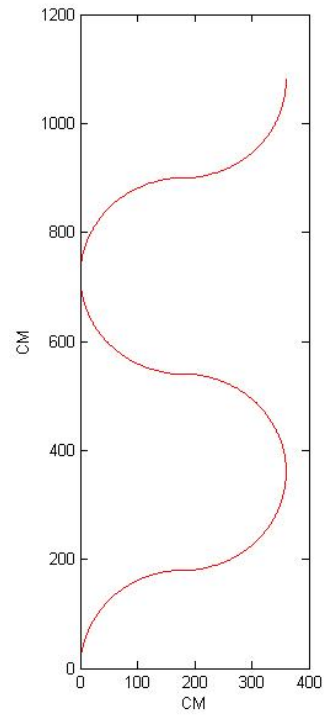
我們找了兩位受測者來進行這個實驗，實驗場景是一個連續的S型，場地上我們繪有使用者必須走過的軌跡，如圖4.12(a)所示，圖4.12(b)為實驗場地的尺寸圖，使用者依循該軌跡緩慢移動，如圖4.13所示，i-go上的軸編碼器會計算出使用者移動的軌跡，i-go上的兩軸力感應器則可以準確量測出使用者施加在i-go上的推拉力及旋轉力矩，由於此具意圖辨識之模糊控制器能適用於大部分的使用者，在控制參數的調整上會趨向大部分使用者的習慣，因此在開始實驗之前，會先讓受測者練習若干次，使其熟悉此控制器，表4.2為實驗受測者資料。圖4.14所示為受測者C的結果，其中4.14(a)表示受測者的移動軌跡圖，其中，紅色線段表示場地軌跡，綠色線段表示在沒有煞車力輔助時受測者的移動軌跡，藍色線段表示加入煞車力輔助後受測者的移動軌跡，4.14(b)表示在沒有煞車力輔助時兩軸力感應器量測到的推拉力值，其中，正的數值代表拉力，負的數值代表推力，4.14(c)表示加入煞車力輔助後兩軸力感應器量測到的推拉力值，4.14(d)表示在沒有煞車力輔助時，兩軸力感應器量測到的旋轉力矩值，其中，正的數值代表左轉旋轉力矩，負的數值代表右轉旋轉力矩，4.14(e)表示加入煞車力輔助後兩軸力感應器量測到的旋轉力矩值，4.14(f)表示加入煞車力輔助後煞車器輸出的力矩值，其中，紅色線段表示右輪煞車器輸出力矩，藍色線段表示左輪煞車器輸出力矩。圖4.15所示則為受測者D的結果，其中4.15(a)表示受測者的移動軌跡圖，4.15(b)表示在沒有煞車力輔助時，兩軸力感應器量測到的推拉力值，4.15(c)表示加入煞車力輔助後兩軸力感應器量測到的推拉力值，4.15(d)表示在沒有煞車力輔助時兩軸力感應器量測到的旋轉力矩值，4.15(e)表示加入煞車力輔助後，兩軸力感應器量測到的旋轉力矩值，4.15(f)表示加入煞車力輔助後，煞車器輸出的力矩值。

表4.2 意圖操控i-go實驗I受測者資料

受測者	性別	年齡	身體狀況
C	男	22	四肢健全
D	男	24	四肢健全

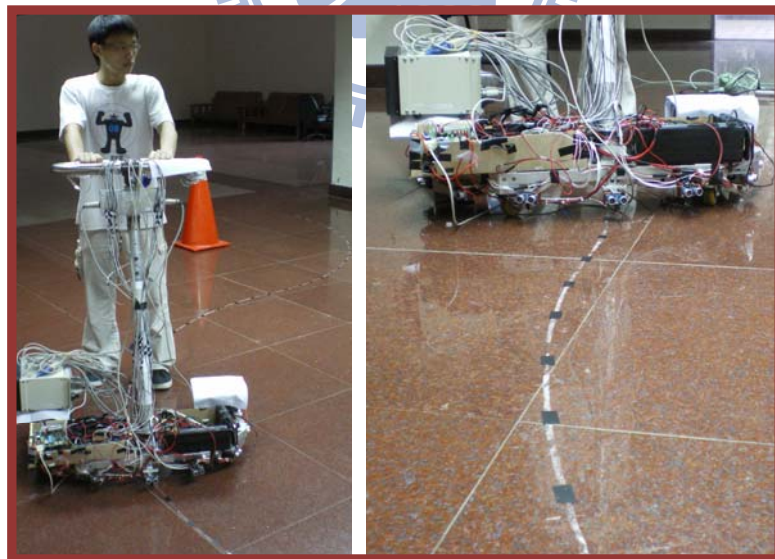


(a)實驗場地



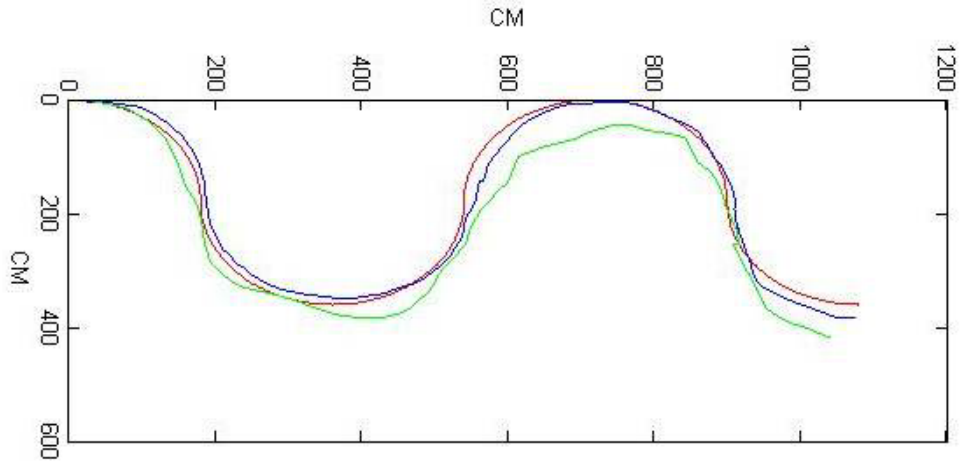
(b)實驗場地尺寸

圖4.12 (a)實驗場地和(b)實驗場地尺寸

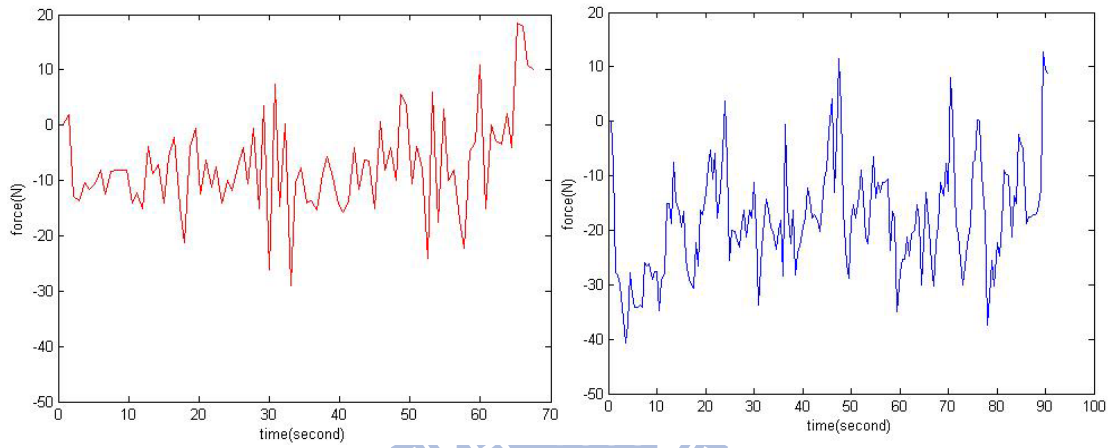


(a)i-go沿著實驗軌跡行走 (b) i-go沿著實驗軌跡行走近照

圖4.13 實驗操作呈現:(a)i-go沿著實驗軌跡行走和(b) i-go沿著實驗軌跡行走近照

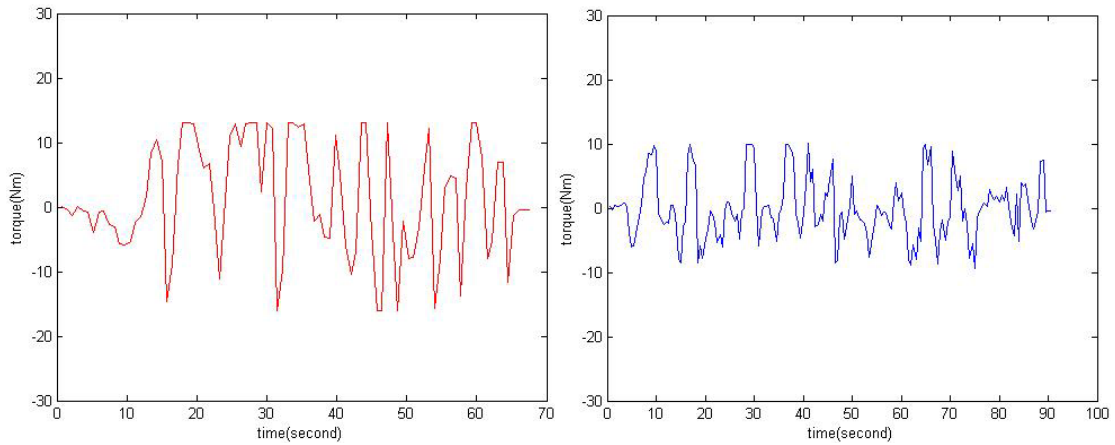


(a)移動軌跡



(b)無煞車力輔助時的推拉力值

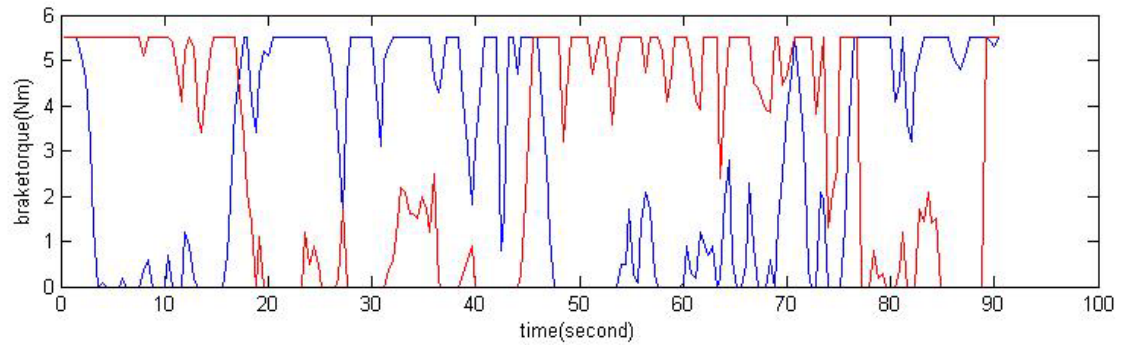
(c)具煞車力輔助時的推拉力值



(d)無煞車力輔助時的旋轉力矩

(e)具煞車力輔助時的旋轉力矩

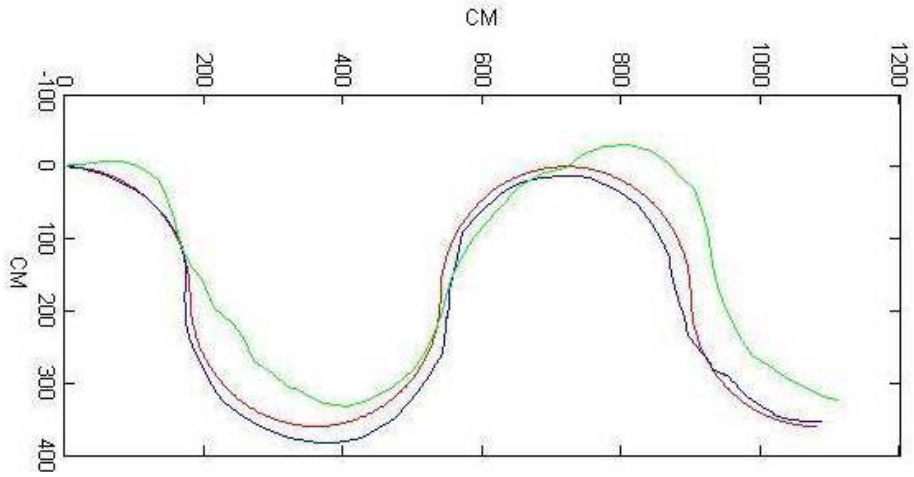
圖4.14 受測者C實驗結果



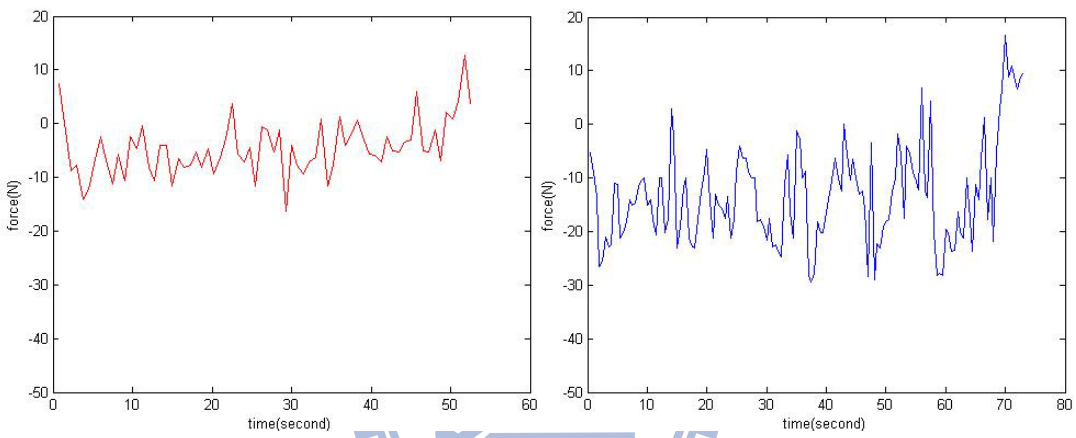
(f)加入煞車力輔助後煞車器輸出的力矩值

圖4.14(續) 受測者C實驗結果



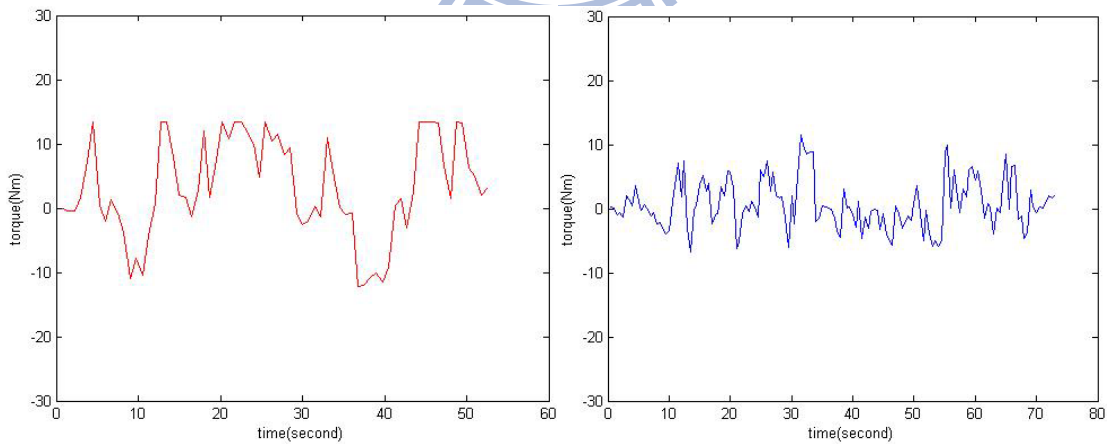


(a) 移動軌跡



(b) 無煞車力輔助時的推拉力值

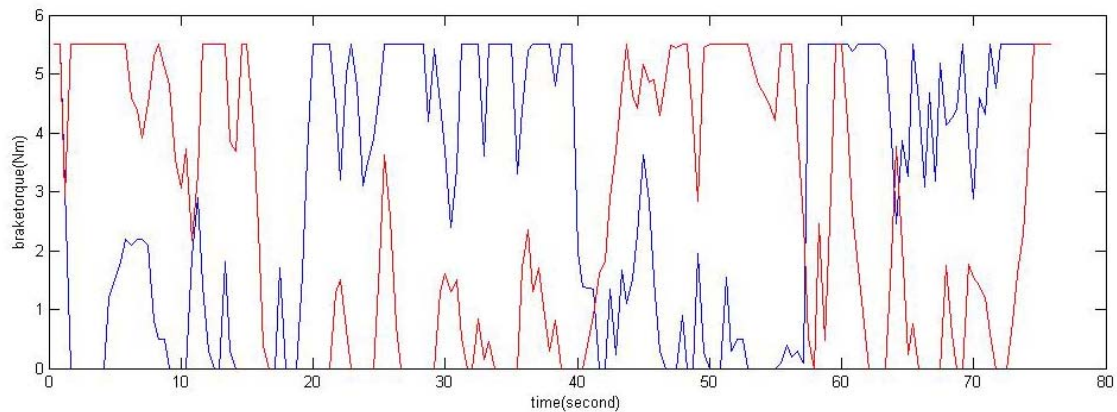
(c) 具煞車力輔助時的推拉力值



(d) 無煞車力輔助時的旋轉力矩

(e) 具煞車力輔助時的旋轉力矩

圖4.15 受測者D實驗結果



(f)加入煞車力輔助後煞車器輸出的力矩值

圖4.15(續) 受測者D實驗結果

由兩位受測者的實驗結果可以發現在S型路徑移動上，加入煞車力輔助控制時，受測者的移動軌跡比起沒有加入煞車力時，在移動準確度上有明顯的提高，更接近我們所設定的移動軌跡；在推拉力部分，因為加入了輔助煞車力，由兩位受測者的實驗結果，都可以發現推力比起沒有加入煞車力時增加了一些，這部分主要是由於加入煞車力輔助後，使用者在每次起步前左右輪的煞車器是鎖死的，這會使得受測者要移動時需要付出較多的推力，但受測者實驗後的感想都認為，儘管需要額外施加較大的推力，但這個施力並不會大到造成移動上的負擔；在旋轉力矩的部分，加入煞車力輔助控制時，受測者操作i-go轉彎比起沒有加入煞車力時，在旋轉力矩上有明顯的減少，由這些數據證明我們提出的具意圖辨識之模糊控制器能有效降低使用者旋轉時所需要施加的力矩，並達到準確穩定的移動。

4.3 意圖操控i-go實驗II

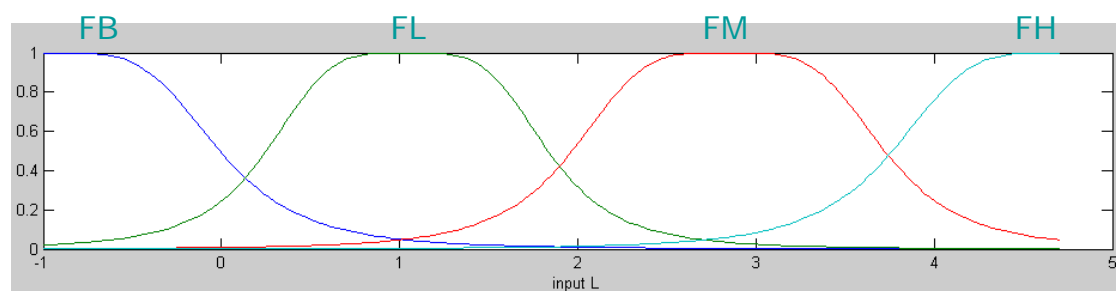
此實驗之設計目的是希望能驗證藉由ANFIS的演算法，能學習出適合個別使用者的控制參數，並運用這些參數來控制i-go，使i-go能產生對應該意圖的輔助煞車力。此實驗我們找了一位男性受測者E，其年齡為22歲，四肢健全，i-go握把的操作方式則如前一節所示，在實驗開始前必須先訓練，訓練步驟如下：

1. 使用者推動i-go，由握把上的26個力感應器得出握力值；
2. 將握力值通過PCA演算法得到左移動力、右移動力、下壓力這三種意圖的權重值作為訓練輸入；
3. 設定煞車器，給予受測者認為在此意圖下最適合的左、右輪煞車力作為訓練輸出；
4. 反覆步驟1-3取得32筆訓練資料。

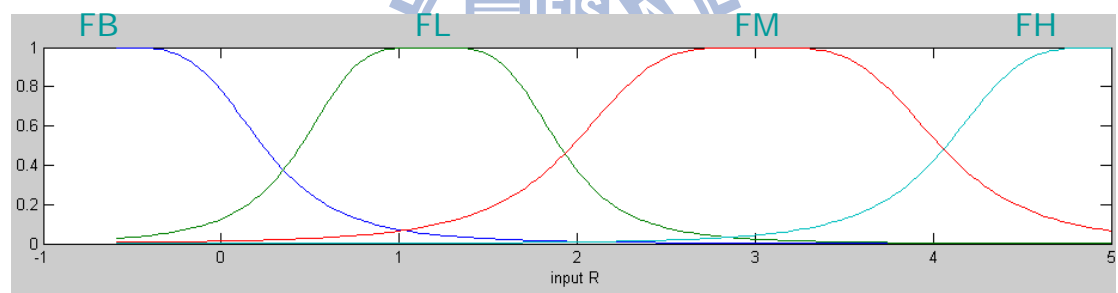
將訓練出來的數據經過 Matlab 的 ANFIS 運算指令運算後，可以學習出受測者對 i-go 的意圖輸入歸屬函數，如圖 4.16 所示，及推論部的參數，有了這些意圖輸入歸屬函數及推論部的參數，將其帶入我們設計的具適應性之意圖辨識模糊控制器，即可根據受測者的意圖操作 i-go 移動。

訓練完後，我們在實際的場地中進行測試，實驗場景如前一節圖 4.12 所示，i-go 上的軸編碼器會計算出使用者移動的軌跡，i-go 上的兩軸力感應器則可以準確量測出使用者施加在 i-go 上的推拉力及旋轉力矩，由於此具適應性之意圖辨識模糊控制器是根據受測者 E 的操作習慣所設計，因此受測者 E 在開始實驗之前僅讓其練習一次。圖 4.17 所示為受測者 E 的結果，圖 4.17(a)表示受測者的移動軌跡圖，其中，紅色線段表示場地軌跡，綠色線段表示在沒有煞車力輔助時受測者的移動軌跡，藍色線段表示加入煞車力輔助後受測者的移動軌跡，圖 4.17(b)表示在沒有煞車力輔助時兩軸力感應器量測到的推拉力值，其中，正的數值代表拉力，負的數值代表推力，圖 4.17(c)表示加入煞車力輔助後，兩軸力感應器量

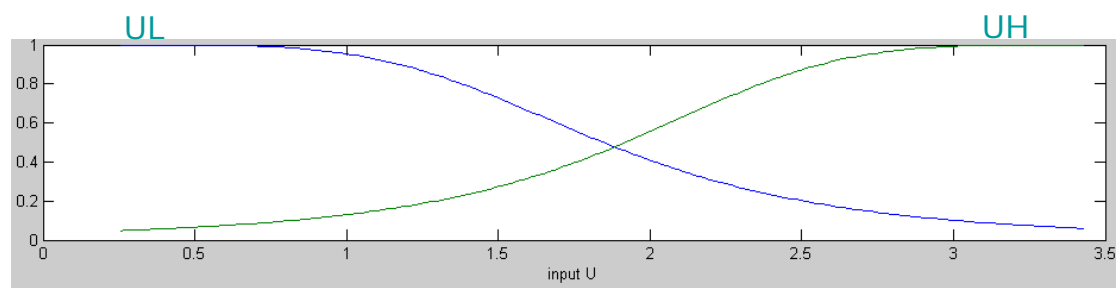
測到的推拉力值，圖 4.17(d)表示在沒有煞車力輔助時，兩軸力感應器量測到的旋轉力矩值，其中，正的數值代表左轉旋轉力矩，負的數值代表右轉旋轉力矩，圖 4.17(e)表示加入煞車力輔助後，兩軸力感應器量測到的旋轉力矩值，圖 4.17(f)表示加入煞車力輔助後，煞車器輸出的力矩值，其中，紅色線段表示右輪煞車器輸出力矩，藍色線段表示左輪煞車器輸出力矩。



(a)左前進力歸屬函數

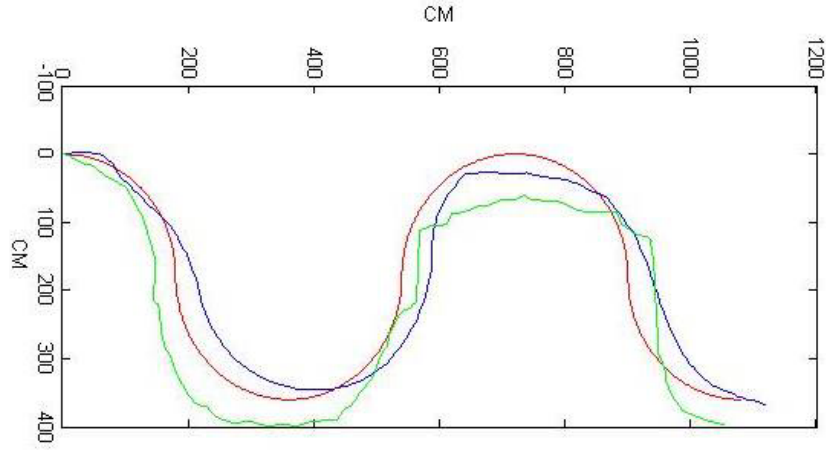


(b)右前進力歸屬函數

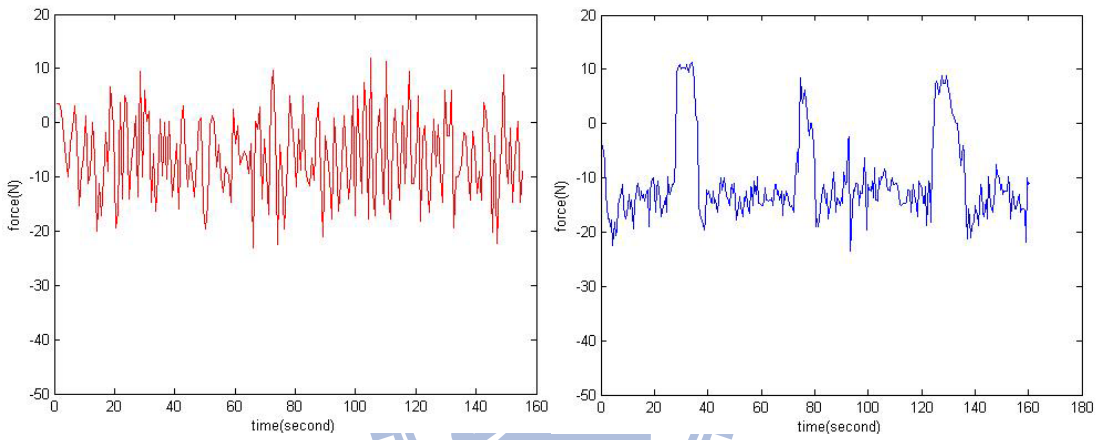


(c)下壓力歸屬函數

圖 4.16 具適應性之意圖辨識模糊控制器輸入變數歸屬函數：(a)左前進力歸屬函數，(b)右前進力歸屬函數，和(c)下壓力歸屬函數

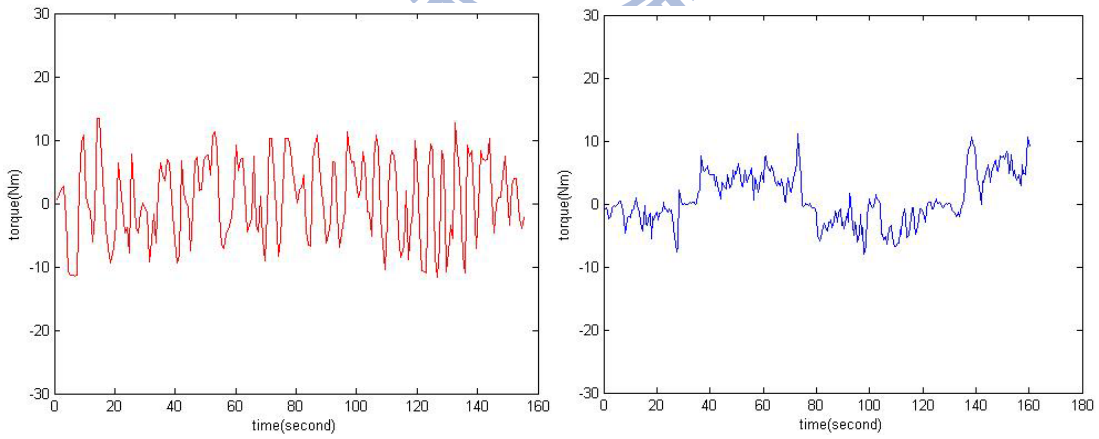


(a) 移動軌跡



(b) 無煞車力輔助時的推拉力值

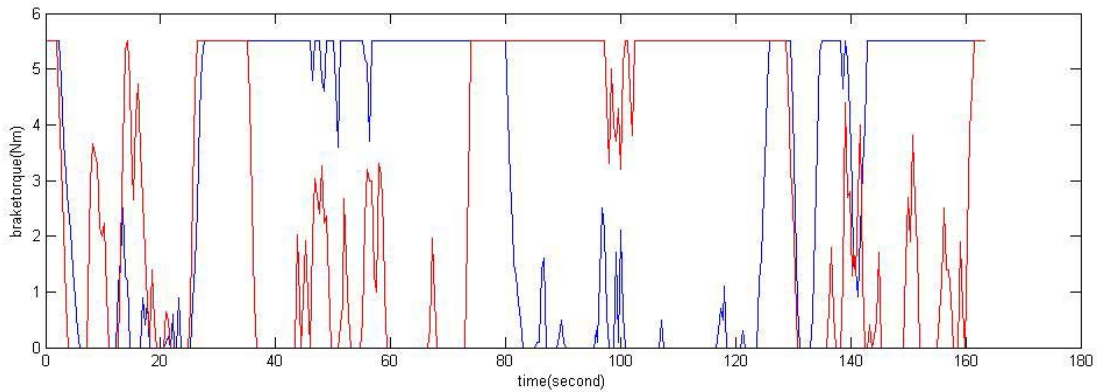
(c) 具煞車力輔助時的推拉力值



(d) 無煞車力輔助時的旋轉力矩

(e) 具煞車力輔助時的旋轉力矩

圖4.17 受測者E實驗結果



(f)加入煞車力輔助後煞車器輸出的力矩值

圖4.17(續) 受測者E實驗結果

由實驗結果可以發現在加入煞車力輔助控制時，受測者的移動軌跡比起沒有加入煞車力時，在移動準確度上有明顯的提高；在推拉力部份，因為控制器是根據受測者 E 的操作習慣來設計，因此反應比較即時，推力並不會像通用的控制器一樣會增加推力的數值，整個推拉力的數值變化量也比較小；在旋轉力矩的部分，加入煞車力輔助控制時，受測者操作 i-go 轉彎，比起沒有加入煞車力時，在旋轉力矩上同樣有明顯的減少，此外受測者因為使用順手，所以不用經常調整 i-go 角度，整個旋轉力矩的變動量也比較小，順著 S 型轉彎的意圖造成的力矩變化也非常明確，由這些數據證明，我們提出的具適應性之意圖辨識模糊控制器能有效降低使用者旋轉時所需要施加的力矩，並達到精確穩定的移動，比起未加入適應性的控制器，還能改善需要施加更大的推力移動 i-go 的狀況。

第五章

結論與未來展望

5.1 結論

因應全球高齡化的來臨，走在科技前端的我們，必須提供銀髮族更完善的照顧，此本論文提出了使用者意圖辨識模組來輔助銀髮族行走，並通過行動輔助平台「i-go」，得到實現。為了有效辨識使用者意圖，我們設計了一款能量測使用者意圖的握把，並在意圖辨識與施力關係實驗中，通過提出的Lasso迴歸模型估測的方法，成功找出了使用者意圖與推拉力、旋轉力矩的關係，其有效的辨識率呈現出，藉由我們的力感應握把取代昂貴的兩軸力感應器的可能性；在意圖操控i-go實驗I中，通過PCA演算法得出使用者各種意圖的權重值，以這些權重值作為模糊控制器的輸入，得到能夠輔助使用者的煞車力輸出，由實驗結果證明，加入煞車器力輔助後可以令使用者移動軌跡更平順，更接近我們要求的路線，且使用者可以較小的旋轉力矩達到轉彎的目的；在意圖操控i-go實驗II中，通過ANFIS的演算法，依據每個使用者不同的操作方式，找出適合該使用者的歸屬函數及控制參數，由實驗結果證明，加入適應性後煞車器力輔助可以令使用者移動軌跡比未加入前更平順，更接近我們要求的路線，且使用者可以較小的旋轉力矩達到轉彎的目的，還能克服需要施加更大的推力移動i-go的問題。整體來說意圖辨識模組可以幫助銀髮族或肌肉、關節受傷者在轉彎動作上更省力，移動軌跡更精確貼近自身的意圖，行動上更加安全，並且在遇到緊急危險的狀況時能以最短的時間停下i-go，行動不便的銀髮族將因為這些優點而更加願意走出家門與社會互動。

5.2 未來展望

我們提出的意圖辨識及控制方法可以有效幫助銀髮族在移動上更加安全省力，然而目前所設計的模組，在意圖辨識系統的穩定度及透過意圖控制i-go移動上仍有改進的空間，茲討論如下：

1. 意圖辨識握把的調整：目前所設計的握把尺寸長度是120mm，不過根據我們實驗後發現，手掌如此大的人屬於少數，對大部份的使用者來說120mm還是太長了，比較適合大部份使用者的長度目前認定是100mm，且握把機構可改良製作成對其骨幹軸心可旋轉，如此在辨識意圖上可以獲得更明確的數值。
2. 力感應器的種類：目前使用的力感應器量測範圍為0lb~25lb，但經過我們的實驗，一般常見的意圖，其大小僅在0lb~5lb之間，因此我們用的力感應器在解析度上會比較差，然而Tekscan公司較小一級的感測器範圍為0lb~1lb，這樣又太小，如果能找到適合範圍的感應器對意圖辨識會有更好的效果。
3. 濾波電路的設計：由於i-go系統結構越來越複雜，許多訊號間不免會產生干擾，會使力感應器經過A/D轉換後的數值產生誤差，儘管可以用軟體補償的方式降低誤差量，但是若能從硬體上著手加強，會使系統運作更順暢、對意圖的辨識也能更精確。
4. 意圖辨識演算法：目前的意圖判斷主要是針對轉彎、前進、緊急煞車等意圖，希望未來能加入跌倒意圖的判定，讓銀髮族在即將跌倒的時候能提供煞車力，防止其跌倒。

未來期待將 i-go 及本論文提出的方法廣泛運用在醫院及安養中心，取代輪椅，讓還擁有行動能力的銀髮族穩健的踏在地板上，此外我們希望能製作縮小版的 i-go，並將此技術運用在幼童學步的意圖辨識上，讓 i-go 不僅僅是幫助銀髮族行走，還能幫助幼童學習走路，達到老少咸宜的目標。

参考文献

- [1] D. Chugo, W. Mastuoka, S. Jia, and K. Takase, "The Wheel Control of a Robotic Walker for Standing and Walking Assistance with Stability," *IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 297-302, 2008.
- [2] O. Chuy, Y. Hirata, and K. Kosuge, "A New Control Approach for a Robotic Walking Support System in Adapting User Characteristics," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C*, vol. 36, no. 6, pp. 725-733, 2006.
- [3] Y. Hirata, A. Hara, and K. Kosuge, "Motion Control of Passive Intelligent Walker Using Servo Brakes," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 23, no. 5, pp. 981-990, 2007.
- [4] D. J. Heever, K. Schreve, and C. Scheffer, "Tactile Sensing Using Force Sensing Resistors and a Super-Resolution Algorithm," *IEEE Sensors Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 29-35, 2009.
- [5] S. Dubowsky, F. Genot, S. Godding, H. Kozono, A. Skwersky, H. Yu, and L. S. Yu, "PAMM - A Robotic Aid to the Elderly for Mobility Assistance and Monitoring: A "Helping-Hand" for the Elderly," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 570-576, 2000.
- [6] M. Spenko, H. Yu, and S. Dubowsky, "Robotic Personal Aids for Mobility and Monitoring for the Elderly," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 14, no. 3, pp. 344-351, 2006.
- [7] A. M. Sabatini, V. Genovese, and E. Pacchierotti, "A Mobility Aid for the Support to Walking and Object Transportation of People with Motor Impairments," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and*

- System*, pp. 1349-1354, 2002.
- [8] A. Morris, R. Donamukkala, A. Kapuria, A. Steinfeld, J. T. Matthews, J. Dunbar-Jacob, and S. Thrun, "A Robotic Walker That Provides Guidance," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 25-30, 2003.
- [9] D. R. Losada, F. Matia, A. Jimenez, R. Galan, and G. Lacey, "Guido, the Robotic SmartWalker for the Frail Visually Impaired," *First International Congress on Domotics, Robotics and Remote Assistance for All*, pp. 155-169, 2005.
- [10] O. Chuy, Y. Hirata, and K. Kosuge, "A New Control Approach for a Robotic Walking Support System in Adapting User Characteristics," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C*, vol. 36, no. 6, pp. 725-733, 2006.
- [11] M. Goller, T. Kerscher, M. Ziegenmeyer, A. Ronnau, J.M. Zollner, and R. Dillmann, "Haptic Control for the Interactive Behavior Operated Shopping Trolley InBOT," *Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour Convention*, 2009.
- [12] Y. Hirata, A. Hara, and K. Kosuge, "Motion Control of Passive Intelligent Walker Using Servo Brakes," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 23, no. 5, pp. 981-990, 2007.
- [13] T. Hirotsu, Y. Hosomi, and H. Yano, "Brake Control Assist on a Four-Castered Walker for Old People," *International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, pp. 1269-1276, 2008.
- [14] J. C. Ryu, K. Pathak, and S. K. Agrawal, "Control of A Passive Mobility Assistive Robot," *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, pp. 1-10, 2006.
- [15] R. Tibshirani, "Regression Shrinkage and Selection via the Lasso," *Journal of the Royal Statistical Society : Series B (Methodological)*, vol. 58, no. 1, pp.

267-288, 1996.

- [16] N. Nejatbakhsh and K. Kosuge, "User-Environment Based Navigation Algorithm for an Omnidirectional Passive Walking Aid System," *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp.178-181, 2005.
- [17] O. Y. Chuy, Y. Hirata, Z. Wang, and K. Kosuge, "A Control Approach Based on Passive Behavior to Enhance User Interaction," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 23, no. 5, pp. 899-908, 2007.
- [18] A. Zhu and S. X. Yang, "Neurofuzzy-Based Approach to Mobile Robot Navigation in Unknown Environments," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part C: Applications and Reviews*, vol. 37, no. 4, pp. 610-621, 2007.
- [19] J. S. R. Jang, "ANFIS: Adaptive-Neuro-Based Fuzzy Inference System," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 23, no. 3, pp. 665-685, 1993.
- [20] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and its Applications to Modeling and Control," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 1, no. 1, pp. 116-132, 1985.
- [21] M. Sugeno and G. T. Kang, "Structure Identification of Fuzzy Model," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 15-33, 1988.
- [22] Lord Corporation , <http://www.lord.com/> [Accessed: May. 9, 2010]
- [23] Texas Instruments Corporation, <http://www.ti.com/> [Accessed: May. 9, 2010]
- [24] Microchip Corporation , <http://www.microchip.com/> [Accessed: May. 9, 2010]
- [25] Tekscan Corporation , <http://www.tekscan.com/> [Accessed: May. 9, 2010]
- [26] 王進德、蕭大全 編譯，類神經網路與模糊控制理論入門，全華科技圖書，民國九十四年九月。
- [27] 王進德 編譯，類神經網路與模糊控制理論入門與應用，全華科技圖書，民

國九十七年四月。

- [28] 周鵬程 著，類神經網路入門—活用 Matlab，全華科技圖書，民國九十七年十月。
- [29] 曾百由 著，微處理器原理與應用—組合語言與 PIC18 微控制器，五南圖書，民國九十五年十月。
- [30] 林容益 著，DSP 數位化機電控制—TMS320 F2812 系統，全華科技圖書，民國九十七年十月。
- [31] 游勝雄，基於環境感測之行動輔具設計，國立交通大學電機與控制工程所碩士論文，2009。
- [32] 許育誌，適應性類神經模糊系統於二足機器人 ZMP 之應用，國立中央大學光機電工程研究所碩士論文，2007。

