

國立臺灣師範大學應用電子科技研究所

碩士論文

指導教授：曾煥雯博士

結合地板壓力與紅外線影像之跌倒偵測系統

Design of Fall Detection System with Floor Pressure and Infrared  
Image



研究生：陳佳鈺 撰

中華民國九十七年六月

## 謝 誌

首先誠摯的感謝指導教授曾煥雯博士，老師悉心的教導使我得以一窺控制領域的深奧，不時的討論並指點我正確的方向，使我在這些年中獲益匪淺。老師對學問的嚴謹更是我輩學習的典範。

本論文的完成另外亦得感謝口試委員陳俊良博士以及王順源博士對於本論文提供寶貴的意見以及建議，有了您們使得本論文能夠更完整而嚴謹。

感謝松林、智相以及明霖學長們不厭其煩的指出我研究中的缺失，且總能在我迷惘時為我解惑，也讓煩悶的實驗室增添許多歡樂的氣氛。感謝崇溢、楷翔同學的幫忙，讓我在研究所的求學生涯可以順利走過。實驗室的柏志學弟當然也不能忘記，你的幫忙及搞笑我銘感在心。

往後人生路途上尚會遭遇許多困難，我會帶著老師們的教誨以及各位的祝福，勇敢面對這些挑戰。最後，謹以此文獻給我摯愛的家人。

陳佳鈺 謹致

中華民國九十七年 六月

# 結合地板壓力與紅外線影像之跌倒偵測系統

學生：陳佳鈺

指導教授：曾煥雯博士

國立臺灣師範大學應用電子科技研究所碩士班

## 摘 要

由於科技發展與醫療技術的精進，大家對病人照護品質也日益重視。據相關研究顯示跌倒住院約占意外事件的 60%，且跌倒將導致老人健康惡化、產生併發症，除了增加家庭負擔也嚴重耗用社會醫療成本，因此跌倒意外的防範與即時偵測是提升現代生活品質的重要課題之一。本文提出一套可應用於醫療照護機構或居家的跌倒偵測系統，旨在即時偵測出跌倒行為並通報醫護人員，避免延誤就醫，減輕醫護人員及醫療成本的負擔。

本論文不同於一般的看護系統在於，使用紅外線攝影機來擷取看護環境的影像輸入，其優點在於黑暗中也可正常運作；另外本系統結合了地板壓力感測的輔助，藉此減少不必要的警報。

實驗結果驗證，在正常環境下使用簡單的偵測演算法搭配地板感測效果可提高系統偵測的正確率與可靠度。實驗結果也證實本論文所提出之跌倒偵測法，在室內環境中且允許各種路徑以及跌倒方向下，有不錯的成效。

關鍵字：紅外線、跌倒偵測、壓力感測、專家系統

# Design of Fall Detection System Compound with Floor Pressure and Infrared Image

Student : Jia-Yu Chen

Advisors : Dr. Huan-Wen Tzeng

Institute of Applied Electronics Technology  
National Taiwan Normal University

## ABSTRACT

Due to the advancement of technology and medicine, people begin to pay more attention to the quality improvement of health care. Many researches show that the fall accident occupies 60% of all accidents in a home. The fall accident may cause the condition of an elder deteriorated or producing complications. As a result, it increases the burden of a family and seriously wastes medical resources from the society. Thus, preventing the fall accident and detect it immediately is one of the important topics regarding the quality improvement of health care. This thesis proposes a reliable tele-care system that can detect the fall accident immediately, notify medical personnel when the accident occurs, prevent the patient's condition from deteriorating due to late treatment, and reduce the burden of medical personnel.

A unique feature of the proposed system is that we use a Infrared Camera to capture images simultaneously and eliminate any blind spot. We can adjust the detection sensitivity on a case by case basis to reduce unnecessary alarms, and put more attention on the elderly with special diseases or conditions.

The experimental results show that using a simple fall detection algorithm and combining it with simple personal information can raise fall detection accuracy and reliability effectively in a particular environment. The experimental results also show that the fall detection algorithm proposed here can do a good job in an indoor environment for all fall cases.

Keywords: Infrared, Fall detection, Pressure sensor, Expert system

# 目 錄

謝 誌 .....	i
摘 要 .....	ii
ABSTRACT.....	iii
目 錄 .....	iv
圖 目 錄 .....	vii
表 目 錄 .....	ix
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究動機與目的 .....	2
1.3 研究方法 .....	3
1.4 研究限制 .....	4
1.5 研究步驟 .....	5
第二章 文獻探討與回顧 .....	7
2.1 老年人之跌倒分析 .....	7
2.1.1 跌倒定義 .....	7
2.1.2 跌倒成因 .....	8
2.1.3 動作分析 .....	9
2.1.4 相關研究 .....	10
2.2 地板壓力感測器 .....	12
2.2.1 感測器基本原理 .....	12
2.2.2 壓力感測器 .....	14

2.2.3 負載元件.....	14
2.2.4 線性可變差動變壓器.....	18
2.3 紅外線影像理論.....	19
2.3.1 紅外線簡介.....	19
2.3.2 紅外線成像的原理.....	21
2.3.3 紅外線攝影機之應用.....	22
2.4 專家系統.....	23
2.4.1 專家系統之定義.....	23
2.4.2 專家系統的發展.....	24
2.4.3 專家系統架構.....	24
2.4.4 知識擷取.....	26
2.4.5 知識表現與知識推理.....	29
2.4.6 專家系統的特色與比較.....	30
第三章 系統架構與方法.....	33
3.1 跌倒偵測系統的架構與流程.....	33
3.2 地板壓力感測判斷.....	36
3.3 紅外線影像處理技術.....	37
3.3.1 影像平滑處理.....	38
3.3.2 臨界值化.....	39
3.3.3 影像標記.....	41
3.3.4 影像膨脹與消蝕.....	45
3.4 特徵擷取.....	48
3.4.1 投影直方圖標準差.....	48
3.4.2 長寬比.....	50
3.5 影像和壓力感測結合專家系統判斷跌倒流程.....	51
第四章 系統實驗與分析.....	54
4.1 軟硬體環境.....	54

4.2 評估方法 .....	56
4.3 研究實施 .....	58
4.3.1 地板壓力 .....	59
4.3.2 影像感測 .....	61
4.3.3 實驗結果 .....	63
4.4 研究討論 .....	68
第五章 結論與後續研究 .....	72
5.1 結論 .....	72
5.2 後續研究 .....	73
參考文獻 .....	74
附    錄 .....	77
自    傳 .....	81

## 圖目錄

圖 1-1	研究步驟流程圖 .....	6
圖 2-1	人體跌倒時之可能姿勢分析 .....	10
圖 2-2	感測器的模型圖 .....	13
圖 2-3	壓力感測器主要應用領域 .....	14
圖 2-4	用於 LVDT 為感應器之彈性元件 .....	16
圖 2-5	LVDT 概要圖 .....	18
圖 2-6	電磁輻射光譜圖 .....	20
圖 2-7	專家系統的基本觀念 .....	23
圖 2-8	專家系統基本架構圖 .....	26
圖 2-9	知識擷取的三種方式 .....	27
圖 2-10	知識擷取的四個步驟 .....	28
圖 2-11	前向式推理系統運作原理 .....	30
圖 3-1	跌倒偵測平台架構 .....	34
圖 3-2	系統流程圖 .....	35
圖 3-3	壓力感測流程圖 .....	36
圖 3-4	地板原始信號與處理後的信號比較 .....	37
圖 3-5	紅外線影像圖 .....	39
圖 3-6	理想的紅外線影像之直方圖 .....	40
圖 3-7	紅外線影像臨界值化圖 .....	41
圖 3-8	標記的可能情形 .....	44
圖 3-9	標記的第二步驟 .....	44
圖 3-10	紅外線照片 .....	45
圖 3-11	影像膨脹過程 .....	46
圖 3-12	影像 A 經過影像 B 銷蝕後的結果 .....	47
圖 3-13	紅外線影像膨脹實際效果 .....	47
圖 3-14	水平與垂直投影直方圖 .....	49
圖 3-15	紅外線投影直方圖 .....	50
圖 3-16	特徵長寬比 .....	50
圖 3-17	紅外線影像和壓力結合專家系統判斷跌倒流程 .....	52

圖 3-18	專家系統跌倒規則庫 .....	53
圖 4-1	紅外線攝影機實體圖 .....	55
圖 4-2	壓力地板及 LVDT 感測器 .....	55
圖 4-3	分析記錄器實體圖 .....	56
圖 4-4	場景示意圖 .....	58
圖 4-5	實際場景圖 .....	59
圖 4-6	無人情況下的地板壓力 .....	59
圖 4-7	人站立在地板的壓力 .....	60
圖 4-8	人走路情況下的地板壓力 .....	60
圖 4-9	跌倒發生時的地板壓力 .....	61
圖 4-10	房間區塊示意圖 .....	62
圖 4-11	各方向的跌倒結果 .....	62
圖 4-12	實驗流程圖 .....	63
圖 4-13	系統初始畫面 .....	64
圖 4-14	波形輸入的兩種情況 .....	65
圖 4-15	影像輸入的兩種情況 .....	66
圖 4-16	拍攝角度與跌倒方向的關係 .....	69
圖 4-17	衣著厚度不同，輻射量不同 .....	70
圖 4-18	距離鏡頭太近 .....	71

## 表 目 錄

表 2-1	紅外線之種類及應用 .....	20
表 2-2	專家系統發展史 .....	24
表 2-3	專家系統與傳統程式比較(a).....	30
表 2-4	專家系統與傳統程式比較(b) .....	31
表 4-1	系統使用軟硬體規格 .....	54
表 4-2	紅外線攝影機工作規格 .....	55
表 4-3	LVDT 工作規格 .....	56
表 4-4	評估參數示意 .....	57
表 4-5	實驗結果 .....	67
表 4-6	系統性能指標 .....	67
表 4-7	各研究系統性能指標比較 .....	68

# 第一章 緒論

依聯合國世界衛生組織的定義，65 歲以上之人口，佔總人口數 7% 以上的國家，就可稱為「老人國」。根據資料統計，台灣地區已步入老人國之林。而且，老人人口比例仍在持續成長中，預估至民國 100 年老人人口約佔總人口數 10% 以上，是所有不同年齡族群人口中增加最快速的。由於社會型態的變遷，大量人力投入就業市場，獨居老人人數日漸增多，獨居老人的居家生活照料、安全考量及對醫療的需求等是大家關注的焦點。本研究旨在進行居家安全中的跌倒偵測系統建構，為銀髮族的安全與健康把關，減少跌倒所帶來的傷害威脅。

## 1.1 研究背景

「老人跌倒」為什麼要特別重視這個問題？因為根據統計，「跌倒」是六十五歲以上老人事故傷害死亡的第二大原因，更是事故傷害住院的主因。由於老年人健康逐漸衰退與惡化，平衡感及靈活度也降低，因此跌倒、摔跤的發生傷害危險性也就相對的提高。

在美國，約三分之一的老人每年曾經跌倒過，其中二分之一的老人有再發性的跌倒(recurrent falls)，過去台灣的研究約 13.6% 的老人每年曾經跌倒

過，跌倒對社區老人身體功能有顯著而直接的影響，由於老人常有高盛行率的共存疾病(comorbid diseases) 如：骨質疏鬆，及老化相關的功能減退，如：反射變慢等問題，即使輕微的跌倒，也常造成很大的危險。每十次的跌倒就有一次會造成嚴重的傷害，包括：髖關節骨折、其他部位骨折、硬腦膜下出血、其他嚴重的軟組織傷害或頭部外傷等，5%跌倒的老人有住院必要[1]。

跌倒傷害對老年人而言是一件影響嚴重的健康問題，跌倒後果可能會導致失去獨立自主的生活能力、長期失能，嚴重甚至死亡。其實老年人之跌倒後果不僅只限於身體上的傷害，亦包含了對心理上的影響傷害。老年人跌倒後可能會失去自信心，有25%以上的老年人因為跌倒而限制了自己日常生活的活動力，因為他(她)們害怕會再次發生跌倒。

## 1.2 研究動機與目的

目前有越來越多人投入紅外線感測方面的研究，這是因為紅外線影像幾乎不受亮度的影響，可以在明亮或者黑暗的環境中工作。這項特性，使得紅外線感測能夠在軍事、監控、醫療、交通安全和工業製程檢測等方面，提供更多以及更加完善的應用。紅外線影像相較於一般可見光攝影機所拍攝的影像，具有隱私性以及簡化背景的好處，故本論文採用紅外線感測的方式進行研究。

人類每年因跌倒所引起的傷害造成了許多醫療資源的浪費與損失，這是值得思考及討論的公共議題，這類型的傷害若能夠在意外發生時的第一時間進行搶救，不僅可以使傷害與損失降至最低點，亦可能避免二次傷害的發生。

在本研究中，期望開發出用於老人或在療養照護機構內較偏僻的地方所使用的跌倒偵測系統。若在人多之處，老人或患者的跌倒行為馬上會被發現並且進行需要的後援照護，但是在身旁無人的環境之中，即使身上配有緊急按鈕等需使用者觸發的被動型警報器，也可能因中風或癲癇等猝發狀況，導致使用者無法自行按鈕呼救而錯過第一時間的急救處理。

因此本篇論文提出一個主動式跌倒偵測系統。當中使用紅外線攝影機來觀察整個環境，還可以自行設定偵測區域，並且結合地板壓力感測器來分析跌倒動作，並且在跌倒動作發生後以簡訊或警報方式告知護理人員或家屬。

### 1.3 研究方法

為達成預定的研究目的，本研究將採取以下的研究方法：

1. 相關文獻之探討：對遠距居家照護、跌倒偵測以及專家系統進行文獻探討與回顧，瞭解國內外相關研究及應用，同時評估專家系統用於跌倒偵測系統之可行性。
2. 設計跌倒偵測平台：首先在地板上裝置壓力感測器，若感測器被觸

發時，則紅外線攝影機啟動。攝影機將影像拍攝下來，針對圖片進行分析。若分析結果發現有人跌倒，則發動警報求救。若無異狀，則持續更新拍攝的照片。

3. 特徵擷取：將地板壓力感測器的訊號透過記錄器傳送至電腦中，然後透過紅外線攝影機。攝影機將拍攝下來的照片傳送至電腦，透過攝影機可以擷取出物體的長寬比、垂直投影直方圖的標準差以及水平投影直方圖的標準差三個特徵。
4. 專家系統建構：將跌倒的相關知識以及診斷規則轉換成知識庫，儲存於知識庫之中。根據上述的儀器所測得的參數進行判斷之功能。

## 1.4 研究限制

本研究探索期間，發現有關於跌倒偵測的文獻並不多，再者國內書籍、期刊對於這方面的介紹研究也不是很充足。另外跌倒事件於現實生活中並不是這麼常見，在樣本數上會偏少，而以人為的方式去產生，在數據真實性上則可能有失偏頗；實驗的對象，原本應該為老年人，不過基於某些因素(時間、空間等)，受實驗者為年輕力壯的青年人，效果可能就有所差別；基於物力的限制下，場景由整個家庭縮小為臥室起居，由實驗室模擬之。

## 1.5 研究步驟

研究的方法提出之後，本研究應先定義出明確的執行步驟，按部就班去執行，步驟說明如下：

1. 建立明確的研究目標-「跌倒偵測」。
2. 擬定研究計畫：探討文獻，確定方向；擬定研究目的、方法與研究步驟。
3. 理論分析與文獻探討：搜尋有關跌倒感測之相關論文與書籍，進行研讀並與教授討論，作為本研究之理論基礎。
4. 規劃系統架構雛形。
5. 程式撰寫、除錯與精簡。
6. 發展跌倒診斷之專家系統。
7. 專家系統測試、分析與建議。
8. 系統分析、結論與建議。
9. 研究報告的撰寫與整理。

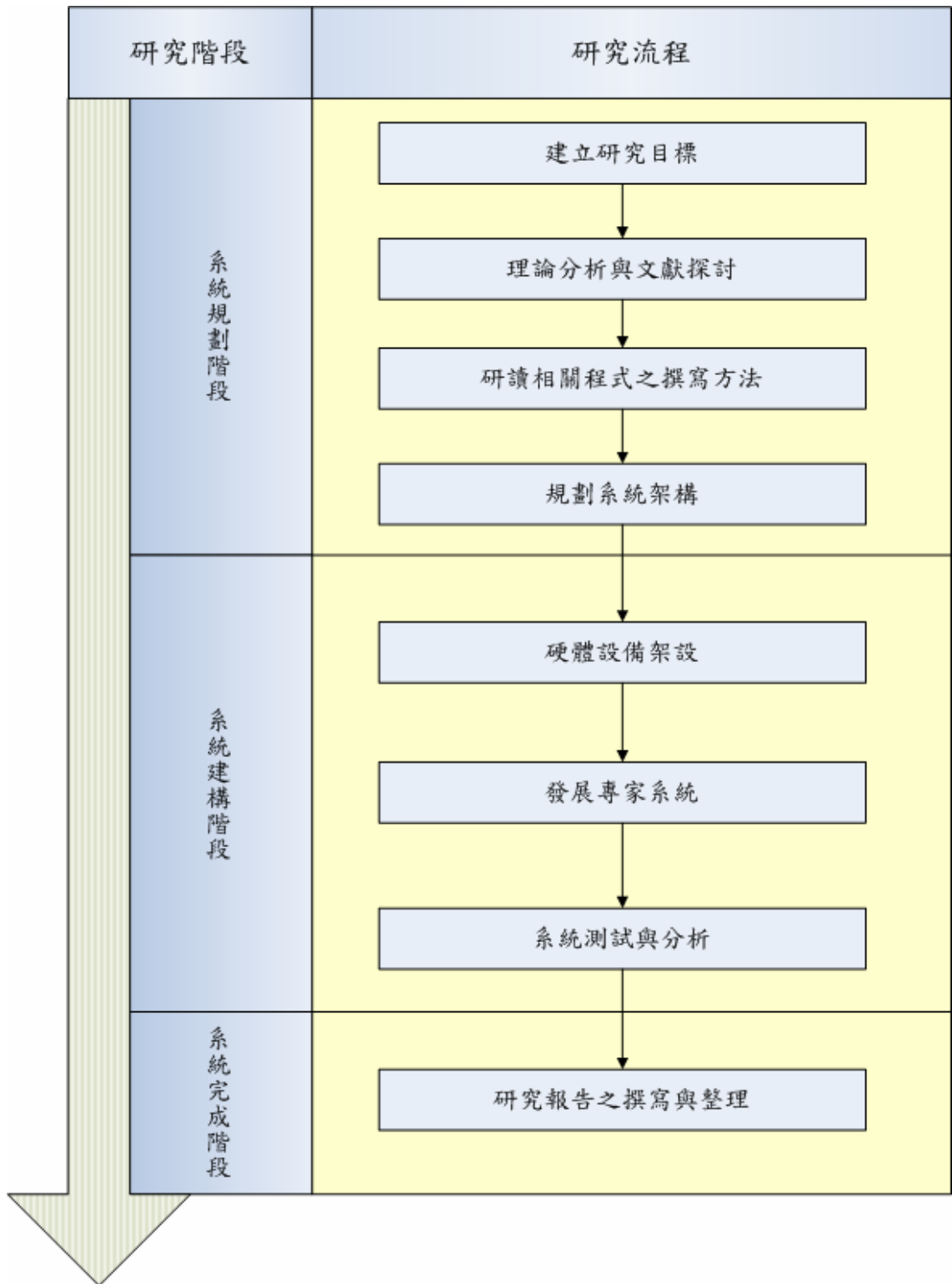


圖 1-1 研究步驟流程圖

## 第二章 文獻探討與回顧

在建構與完成本系統的建立，最主要的文獻探討與基本相關理論分為四節，第一節為老年人之跌倒行為的分析，將跌倒的前因後果以及風險因子鉅細靡遺的分析介紹；第二節為壓力感測器的介紹；第三節為紅外線理論；第四節是專家系統的簡介。

### 2.1 老年人之跌倒分析

論及跌倒相關之研究，不得不探討老年人之跌倒相關情形。因為老年人是發生跌倒的高危險群，在歐美國家有許多此方面的相關研究，且已成為被重視的公共衛生議題。

#### 2.1.1 跌倒定義

跌倒事件是醫院常見的事件，所以在國外例如：美國、英國或加拿大等，對醫院裡的病人跌倒事件視為一件重要的公共衛生議題。至於「跌倒」在一些文獻裡對它的定意有不同的看法與解釋，在本研究裡對「跌倒」之定義為參考台灣財團法人醫院服務暨醫療品質策進會（簡稱「醫策會」），其將「跌倒」定義如下：凡是發生在任何場所、任何情境下、不論有無造成身體傷害之「非預期性地」跌坐或滑坐於地面，包括因肢體無力或扶持不住而不得不緩緩坐於地上。在其他文獻裡將跌倒定義

為：不慎地跌落於地面或其他平面，但排除以下情形:暴力、失去意識或者是中風或癲癇所造成的突然性癱瘓發作[2]；突然及無意間地跌落於地面或其他平面[3]。簡單來說，當個人失去平衡後無法以雙腳支撐身體重量，造成身體其他部位接觸地面，來支撐部份或全身的重量，就稱為跌倒。

### 2.1.2 跌倒成因

一個人要維持步伐的穩定度需要以下四個步驟均配合良好方可：

1. 感覺神經的輸入
2. 中樞神經的整合
3. 認知功能的完好
4. 肌肉骨骼的執行

由於人是靠雙腳行動來達到移動的動作，在利用雙腳行動的同時，全身相關的肢體及器官就要互相作用以維持平衡。人體在平衡的過程中，經過一連串複雜而有系統的神經肌肉傳導。傳導的過程中主要是由感覺神經、中樞神經和運動神經三大系統來負責。跌倒是因為平衡過程出現干擾現象，干擾而導致失去平衡時，就會有跌倒的情況發生[4]。

造成老年人跌倒原因的複雜，至今仍無被廣泛接受的分類方式，大都將危險因子分為內因性(intrinsic)與外因性(extrinsic)。內在危險因子與

老人本身的特性相關，如下肢無力、握力不足、平衡功能不良、日常生活活動功能障礙、認知功能障礙、視力或聽力不佳、急性與慢性疾病、藥品使用等。外在危險因子與環境因素相關，如照明不佳、地面不平、浴室沒安裝扶手與防滑地板等安全措施或雜物凌亂放置未擺放整齊等。

### 2.1.3 動作分析

所謂姿勢（posture），是意味著姿態、樣子或身體的姿態的名詞。從人體的運動學立場給姿勢下定義時，大致可分為兩種。

#### 1. 姿態(attitude)

所謂姿態是指身體的各部份，即頭部、軀幹、四肢的相對產位置關係的意思，是以所謂頭部前屈位、上肢外轉位、軀體後屈的形態來表現的並依體節相互位置關係的關節角度來測定。

#### 2. 體位（position）

所謂體位，是表示身體與重力的方向位於何種關係，以立體、背臥位或側臥位的形態來表示。即指身體被安置的狀態之面與軸的重力方向，也就是與垂直軸相對的關係。

一般人體因某些因素而失去平衡時，便有可能會發生跌倒的情況，此時身體會呈現傾向一方向傾倒的狀態，其經身體一連串的作用結果，可能發生的姿勢包含如圖 2-1 這幾種可能：

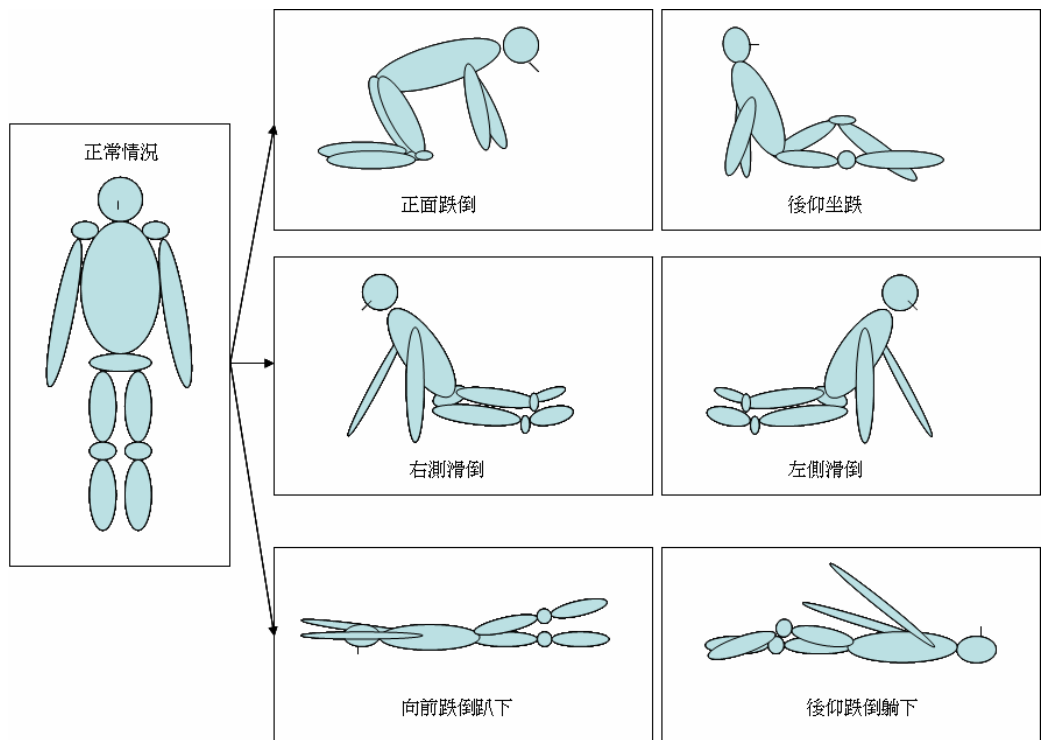


圖 2-1 人體跌倒時之可能姿勢分析

跌倒的發生是身體不自主失去平衡的行為，在發生跌倒時通常是自己本身所無法控制的傾倒動作，因此在跌倒時，一般都只發生在短暫時間，比起一般的正常動作（如蹲下或躺下等等）要短上許多，也因為身體會在一瞬間傾倒，致使身體重心瞬間朝傾斜方向移動，如此的身體動作結果便會產生加速度值，國內外有許多針對跌倒偵測的研究，就是以跌倒發生時所產生的加速度值來作為判斷跌倒的重要參考依據[5]。

#### 2.1.4 相關研究

國內外有許多相關文獻當中包含了各種不同的跌倒偵測方式，有的是使用特殊感應器或硬體裝置輔助偵測[5-8]。例如：Allen 等人使用適應性的高斯混合模型方法基於加速度計來做各式動作分類判別[6]。維

京尼亞大學的 Alwan 等人提出壓電換能器放置於地板上，用地板振動的偵測來辨識是否有跌倒的行為[7]。而有的則是利用監視器建構出一個智慧型監控系統來輔助看護使用者判別是否發生跌倒的狀態，幫助醫護人員或家屬進行遠距照護的工作[9-15]。

使用監視系統概念的看護系統是利用攝影機擷取到的視訊影像，進行人員的偵測與行為分析。舉凡人體最常出現的日常活動的行為（跑、蹲、跳、爬、走...等）的分類辨識；分析人是否攜帶物體、放置物體等簡單行為，皆是近年來影像辨識熱門的研究領域。大體來說，人體動作的行為分析主要有以下兩種方式：

#### 1. 樣板比對法(Template Matching)：

此類方法先將影像資料流轉換為特殊的靜態模型並且抽取特徵訓練。進行辨識行為時，再將所得到的影像和預先訓練儲存的樣本模型做比對。使用樣板比對技術的優點是計算複雜度低、容易實現，但是這種方法對於雜訊和運動時間間隔的變化非常敏感。

#### 2. 狀態空間法(State Space Approaches)：

此類方法利用狀態空間模型將每一個靜態姿勢定義為一個狀態，並且利用一些數學模型計算各狀態間的相關機率與聯合機率。即任何影像序列都可以看成是這些姿勢不同狀態間的歷程，在此歷程內計算其聯合機率，其中最大值的就被挑選為此分類行為的標準。目前在此分類分析中最有代表性的是隱藏式馬可夫模型

(Hidden Markov Models, HMMs)。

一般使用影像看護系統通常必須使用多台攝影機分別架設在空間不同的位置，這樣在佈線與架設位置需要事先計算外也免不了一筆額外的花費。因此 Greiffenhagen 等人[11]於 2001 年提出一種不同以往的監視系統，他們利用一個 CCD 攝影機和一個凸面鏡組合成一個全向(omni-direction)之監視系統，不但可以解決死角問題，又可以降低花費。此種特殊的監視系統被提出後，許多與此相關的研究與應用也陸續被探討應用 [13]。

## 2.2 地板壓力感測器

感測器(sensor)的種類非常多，而且依照技術來分類的範圍很廣。小的如導線開關等級的零件，大到對圖案(pattern)辨識的系統等級，皆包含在感測器的範圍之內。

### 2.2.1 感測器基本原理

簡單來說，所謂「感測器是對所有的對象去檢測其能量的方法」。除了包括一般檢測元件外，還包括檢測化學反應與生物變化，包含以上的所有範圍都可以稱為感測器。

圖 2-2 是感測器的模型圖。從圖中可以知道感測器可以將所有的對象之能量變化，包括物理的、化學的與生物的方法作檢測，而這些資訊的輸出信號是利用一般電子信號作輸出。

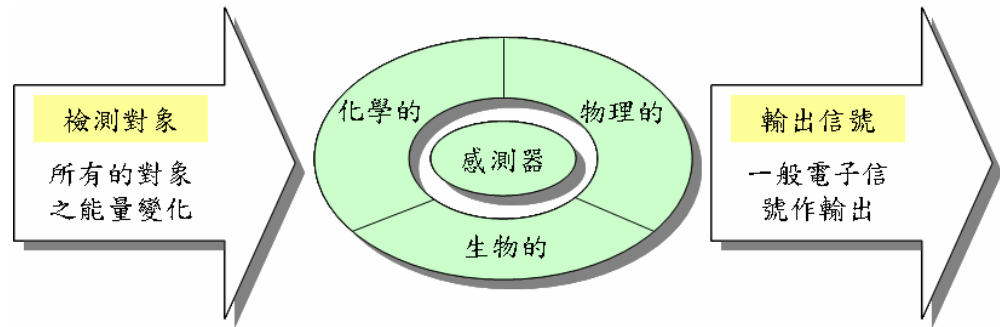


圖 2-2 感測器的模型圖

感測器的基本原理是將欲量測之物理量或化學量，如溫度、壓力、濕度、速度、震動、聲音、PH 值及化學成份等，轉換成可紀錄之形式，通常為電訊號，再以資料擷取儀器將此電訊號進行紀錄、顯示或分析。

感測器通常與轉換器(transducer,亦稱為換能器或傳感器)並稱，實際上所有的感測器都需要有轉換器的存在，轉換器可將待測量之物理或化學量轉換成另一種能量形式(電訊號)，轉換器可分為主動式及被動式兩種。主動式轉換器不需外加激發電源，待測量的改變可直接產生電壓或電流，如熱電偶；被動式轉換器則需外加激發電源才能產生電訊號輸出，如應變規[16]。

## 2.2.2 壓力感測器

「壓力感測器」為檢出氣體、液體與固體等在物質之間作用的力學能量感測器的總稱。它是屬於一種力學量的檢出領域，壓力本身包含物體的重量、轉矩(迴轉力)與物體之間作用力等。由於壓力(應力)與力學為共通概念的結合，不論哪一種力學量的檢測都可以使用壓力感測器。圖 2-3 是壓力感測器的應用範圍。從圖可以看出壓力、重量、轉矩等在力學上並不相同，不過都與壓力感測有關，必須要針對不同的作用力而選擇不同的壓力感測器。

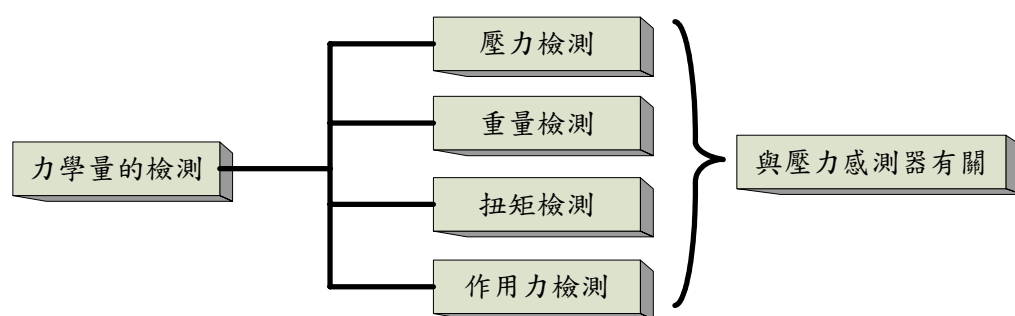


圖 2-3 壓力感測器主要應用領域

## 2.2.3 負載元件(Load Cell)

量測力、轉矩或壓力之電能轉換器通常包含一彈性部份而可藉以轉換成為一種偏向或張力；一偏向感應器或一組張力規可間接地用來測出有興趣的量(力、轉矩或壓力)[17]。

使用在負載元件上的彈性元件普通為連桿，橫桿，環。這些電能轉換器之操作形式將再分別敘述如下：

一簡單的單軸向連桿型負載元件使用張力規為其感應器。負載壓力  $P$  可為依張力負載獲一壓縮負載四個張力規黏合於連桿上並使兩個張力規放置在橫軸上，而另兩個則在縱軸方向上，此四個張力規被連接到惠斯登電橋橫軸向。

當負載壓力  $P$  施加於連桿時則連桿內橫軸向  $\varepsilon_a$  及縱軸  $\varepsilon_i$  內張力將與負載形成下列關係，

$$\varepsilon_a = \frac{P}{AE} \quad (2.1)$$

其中  $A$  為連桿之橫截面積， $E$  為連桿之彈性係數， $\nu$  為連桿之普氏比率

在電橋沒有作動的情況下  $R1 = R2 = R3 = R4$ ，則  $V_{out}=0$  假設當施予一力，造成電阻值改變，在理想狀況下，

$$\varepsilon_i = \frac{-\nu P}{AE} \quad (2.2)$$

施加負載  $P$  後與電橋結合之靈敏度為

$$S_g \varepsilon_a = \frac{S_g P}{AE} \quad (2.3)$$

$$S = \frac{E_o}{P} = \frac{1}{C} = \frac{S_g (1 + \nu) E_i}{2AE} \quad (2.4)$$

一般橫桿型負載元件被採用在連桿型負載元件無法量測之低水準負載中。橫桿型負載元件之靈敏度與範圍均隨負載加入點之變化而改變。當接近橫桿長度時可得最大靈敏度及最小範圍而當施加之負載點移向靠近計規時靈敏度降低且範圍增加。

最大負載下之電壓比  $\left(\frac{E_o}{E_i}\right)_{\max}$  如下可得其中  $S_f$  為疲乏強度

$$\left(\frac{E_o}{E_i}\right)_{\max} = \frac{S_g S_f}{AE} \quad (2.5)$$

環型負載元件由一試驗環作為彈性元件所構成如下圖 2-4。改變環的直徑厚度或深度可使用於很寬的負載範圍。

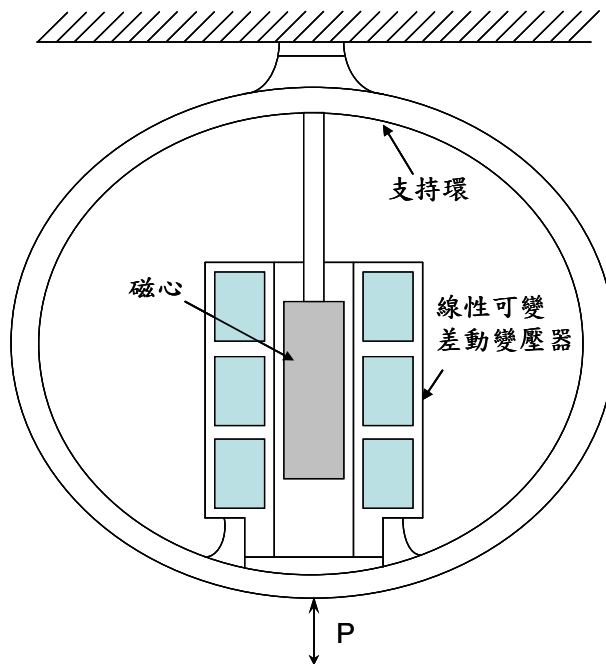


圖 2-4 用於 LVDT 為感應器之彈性元件

我們可使用一線性可變差動變壓器(LVDT)或張力規為感應器。如果用 LVDT 來測量環的直徑的壓縮或伸張  $\delta$ ，位移  $\delta$  與負載  $P$  之關係可由下列近似方程式表示：

$$\delta = 1.79 \frac{PR^3}{Ewt^3} \quad (2.6)$$

方程式(2.6)為近似值因為環的上及下端的加力區域會容納負載之

附著，但在試驗中未予以考慮。LVDT 之輸出電壓  $E_o$  可表示為

$$E_o = S \delta E \quad (2.7)$$

式中  $S$  為 LVDT 之靈敏度

$E_i$  為施加於 LVDT 初級繞線之電壓

將方程式(2.6)代入方程式(2.7)可得輸出電壓  $E_o$  與負載  $P$  相關之方程式。亦即

$$P = CE_o \quad (2.8)$$

其中  $C$  為比例常數或校正常數

由方程式(2.8)可知負載  $P$  與輸出電壓  $E_o$  成線性比例。

環-LVDT 結合後之靈敏度  $S_t$  為

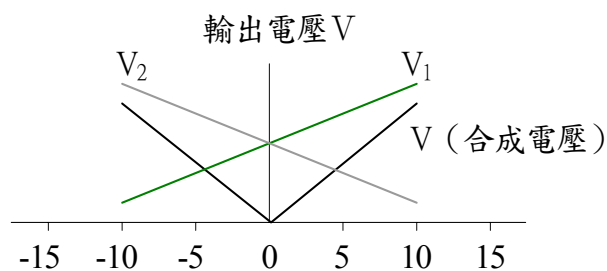
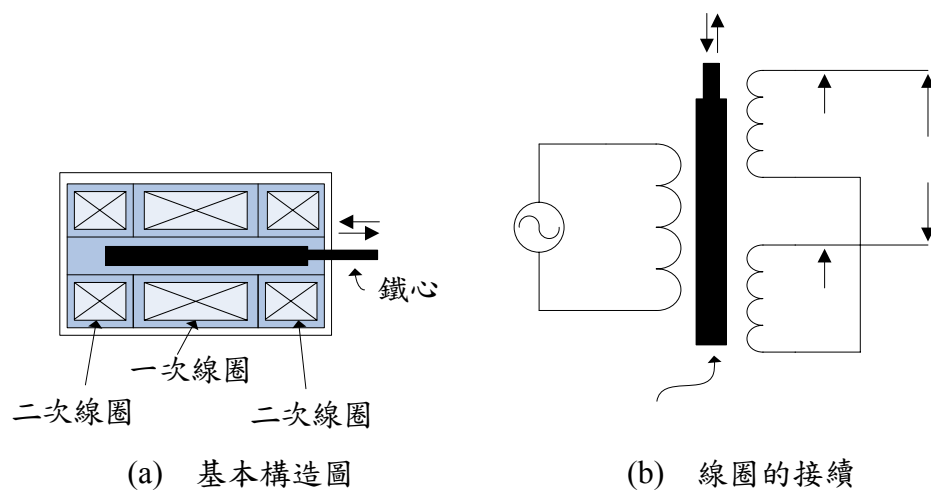
$$S_t = \frac{E_o}{P} = \frac{1}{C} \quad (2.9)$$

所以我們可知環型負載元件用 LVDT 作感應器其靈敏度將隨著幾何形狀，環的構成材料之彈性係數( $E$ )，與 LVDT 之特性( $S$  及  $E_i$ )之改變而不同。使用 LVDT 感應器的環型負載元件的額定輸出比用張力規作感應器所能得到的輸出高很多。

本論文在系統裡使用的是線性可變差動變壓器(Liner Variable Differential Transformer, LVDT)來量測地板壓力變化，量測的是地板位移，再將位移訊號搭配地板的壓力靈敏度即可轉換成壓力值。

## 2.2.4 線性可變差動變壓器

線性可變差動變壓器概要圖如圖 2-5 所示，其工作原理是由振盪器產生一高頻的參考電磁場，並內建一支可動的鐵心主軸以及兩組感應線圈，當主軸移動造成強度改變由感應線圈感應出兩電壓值，相比較後即可推算出移動量，若需感測移動的方向則只需在電源側再加入一組一次線圈，藉由感應電壓的相位判讀出運動方向。一般的量測範圍為 0.1mm 至 1m，解析度為  $0.1\mu\text{m}$ ，精確度為全刻度之 0.01-0.05%。



(c) 鐵心的位移與輸出電壓

圖 2-5 LVDT 概要圖

## 2.3 紅外線影像理論

這裡僅介紹紅外線的簡介與攝影機的應用。紅外線影像處理，則在下一個章節作詳細的介紹。

### 2.3.1 紅外線簡介

紅外線約有 200 年歷史，1800 年威廉薛爾爵士 (William Herschel) 用稜鏡把太陽分光而得的放射於水銀溫度計黑化的水銀囊部分，測定其吸收能量所致的溫升，並以未被投射的溫度計為標準，發現紫色光升  $2^{\circ}\text{C}$ ，紅色光升  $7^{\circ}\text{C}$ ，紅色外肉眼看不到的光比紅色光高  $2^{\circ}\text{C}$ ，這是首次發現紅外線實驗，並發現可視域長波長端外有熱作用的放射譜。

1951 年 Brngel 將紅外線的歷史分為：黎明期 (1800~1880 年)、開拓期 (1881~1950 年)、發展期 (1951 年~)，不過在 1951 年後就快速發展，在 1960~1970 年以後可說是展開期。

克希荷夫(Kirchhoff) 提出黑體 (black body) 的概念，史蒂芬(J. Stefan) 在 1879 年以經驗求得在黑體條件，為放射能正比於溫度  $T$  的 4 次方。此經驗律在 1884 年由波茲曼(L. Boltzman) 理論化，建立史蒂芬-波茲曼(Stefan-Boltzman) 定律。1865 年馬克思威爾(C. Maxwell)預見電磁波，1887 年赫茲(H. Hertz) 實證此理論會影響放射理論，而統一建立電磁波譜。此理論經韋恩(W. Wein)、雷利(L. Rayleigh)之修改，在 1900 年由普朗克(Planck) 完成，有關熱放射能譜分布理論體系獲得證實。

紅外線是電磁波領域的一部份定義為：是一種電磁波，當任何物體的溫度在絕對溫度(-273°C)以上時，都會釋放出紅外線，而波長在0.7 $\mu\text{m}$ ~1000 $\mu\text{m}$  (1mm) 之間。依其能量含量的不同，又可分成近紅外線(0.7 $\mu\text{m}$ ~4 $\mu\text{m}$ )、中紅外線(4 $\mu\text{m}$ ~40 $\mu\text{m}$ )、遠紅外線(40 $\mu\text{m}$ ~1000 $\mu\text{m}$ )三個範圍，如圖 2-6 所示。應用在各種不同的用途[18]，如表 2-1 所示。

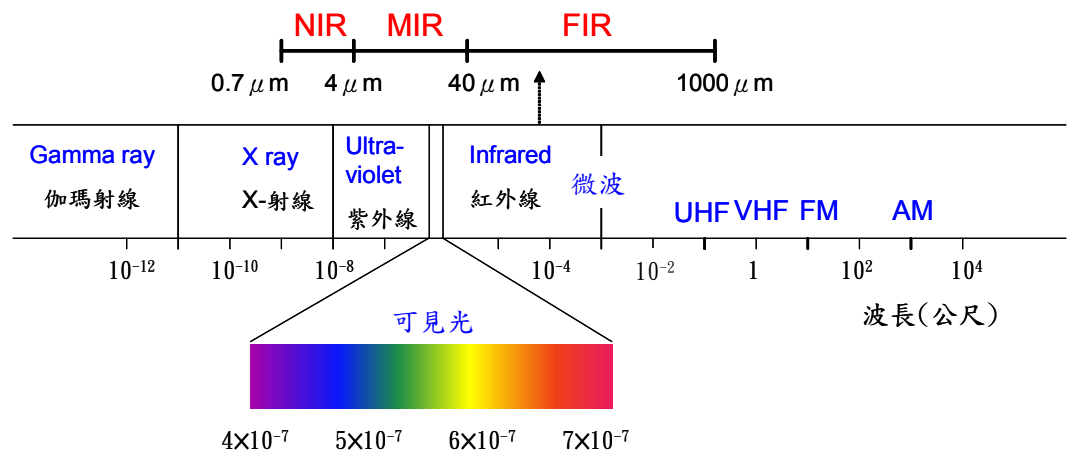


圖 2-6 電磁輻射光譜圖

表 2-1 紅外線之種類及應用

類別	波長範圍	應用
近紅外線 (Near Infrared)	0.7至4 $\mu\text{m}$	電耦合裝置(Charge Coupled Device, CCD)攝影機、點對點式人體溫度移動感應檢測器。
中紅外線 (Middle Infrared)	4至40 $\mu\text{m}$	紅外線氣體分析儀及紅外線熱影像儀。
遠紅外線 (Far Infrared)	40至 1000 $\mu\text{m}$	除加熱的用途外，僅少部份應用在氣體分析上面，應用面不如近、中紅外線廣泛。

不同的應用技術所引用的紅外線波長，皆有其基礎理論上之限制，因此往往無法互相取代。此外，紅外線之所以如此重要，並非因其為不

可見光，而是許多自然界物質運動現象(分子的轉動與振動)所釋放或吸收的輻射能量恰巧落在紅外線能量區，因此可用紅外線來探知待分析物存在的種類、數目甚至外觀形象。

### 2.3.2 紅外線成像的原理

要了解紅外線的成像原理，就必須要先知道黑體(black body)，所謂黑體，簡單地講就是在任何情況下對一切波長的入射輻射吸收率都等於 1 的物體，也就是說完全吸收。作為自然界中實際存在的任何物體對不同波長的入射輻射都有一定的反射(吸收率不等於 1)，所以黑體只是人們抽象出來的一種理想化的物體模型。但黑體熱輻射的基本規律是紅外線研究及應用的基礎，它揭示了黑體發射的紅外熱輻射隨溫度及波長變化的定量關係，也是紅外成像的基本出發點。

黑體定律分別由以下三個基本定律構成：(1)輻射的光譜分佈規律—普朗克(Planck)輻射定律；(2)輻射功率隨溫度的變化規律—史蒂芬-波茲曼 (Stefan – Boltzmann) 定律；(3)輻射的空間分佈規律—朗伯(Lambert)餘弦定律。以上三個定律共同闡述了凡是溫度高於凱氏零度(絕對零度)的物體都會自發地向外發射紅外熱輻射，而且黑體單位面積發射的總輻射功率與凱氏溫度的四次方成正比，溫度只要有較小的變化，就會引起物體的輻射功率發生較大變化。以上定律正是紅外線成像的原理基礎，即只要有溫度存在，就有紅外線攝影的可能。

理論上，自然界中的一切物體，只要它的溫度高於絕對零度(-273.15°C)，就存在分子和原子無規則的運動，其表面就會不斷地輻射紅外線。任何存在有溫度的物體，除可以發出波長在 380~770nm 的可見光外，還可以發射不為人眼所見的波長為 770~1350nm 範圍的紅外線。因此，紅外線的最大特點就是普遍存在於自然界中，也就是說，任何「熱」物體雖然不發光但都能輻射紅外線，因此紅外線又稱為熱輻射線，簡稱為熱輻射。

### 2.3.3 紅外線攝影機之應用

紅外線攝影機最早是做為軍事用途之夜視功能，但隨著科技進步與生活方式及需求的改變。紅外線攝影機的主要應用領域已涵蓋包括環保(大氣污染監測)、製程監控(機器之溫度變化感測或保養的監控)、治安保全(家庭保全系統)、交通(汽車夜間輔助駕駛)、醫療診斷(癌症腫瘤診斷)、地球資源及衛星氣象偵測等與人類工作及生活息息相關之應用領域上。

1. 目標搜尋(如海上搜尋、要點防禦、空中搜尋等)。
2. 研究發展(如引擎燃燒、複合材料、建築材料、電路板設計檢測、熱傳導研究、輪胎設計等)。
3. 預防保養、設備檢查(如發電、變電、輸電、配電設備、鍋爐、儲槽、蒸氣管線等)。
4. 污染防治、資源探測(如空氣、水污染偵測、海洋溫域、地熱

平衡等)。

5. 醫學診斷 (如燒燙傷、血管疾病、脊椎病變、皮膚病變等)。

## 2.4 專家系統

### 2.4.1 專家系統之定義

1985 年 Feigenbaum 博士定義「專家系統」是:

「一個有智慧的電腦程式，以知識和推理(Inference)來解決需高度專家智慧的問題。」

簡單來說，專家系統是以電腦能看得懂的形式將專家知識儲存起來，並加入控制策略(Control strategy)，使電腦能像專家一樣，利用這些知識和經驗法則來解決問題 [19]。圖 2-7 描述知識庫專家系統的基本概念。基本上，一個專家系統是以知識庫為核心。依使用者輸入事實描述，並應用知識庫中的知識，透過一定的推理步驟解決問題。

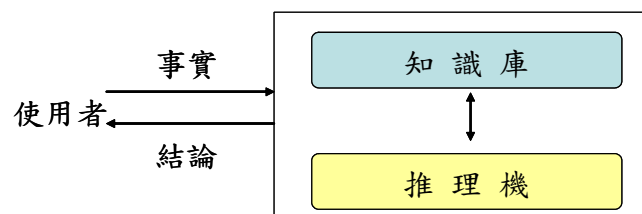


圖 2-7 專家系統的基本觀念

## 2.4.2 專家系統的發展

五十年代中期，科學家試圖建立一個模擬人腦的智能機制，PERCEPTRON 是代表的系統，具備了自我學習的功能，但這個系統並未達到理想標準。此後的十年期間，科學家的研究主要集中在定理證明、問題求解等具有明確定義和結構的問題上。於 1960 年發展出一個名為通用問題求解器(General Problem Solver, GPS)的系統。GPS 的通用性在於它並不侷限於特定的問題，但它只能在狀態集合相對較少和形式規則都有完整定義的領域內使用。由於通用問題求解器的目標太大，導致系統太過複雜，因此一直沒有很深入的成果與表現。專家系統的演進過程，歸納在表 2-2[20]。

表 2-2 專家系統發展史

時期	年代	建構工具	發展理論	專家系統
孕育期	1960 年以前	-	GPS	-
誕生期	1960 年~1970 年	LISP	模糊理論	DENDRAL
開創期	1970 年~1980 年	EMYCIN OPS	法則式系統 框架理論	MTCIN XCON
成長期	1980 年~1990 年	KEE CLIPS	類神經網路	XSCAL
成熟期	1990 年以後	DRAMA	-	Hwang99

## 2.4.3 專家系統架構

專家系統架構包含六大部分，如圖 2-8 所示，分別為：

1. 知識庫(Knowledge Base)：

專家系統主要核心部份，儲存用以解決處理問題之知識，包含了領域資料、事實及領域專家的經驗及知識。

2. 推理引擎(Inference Engine)：

用以處理、控制專家系統推理過程的機制，模仿專家解題的技巧，使用邏輯思考的方式來解決問題。

3. 工作記憶區(Working Memory)：

暫時儲存推理過程中所產生之資料、知識等資料暫存區域。

4. 解釋能力(Explanation Facility):

讓使用者對系統結果有更深入的了解。

5. 知識取得介面(Knowledge Acquisition Interface)：

將知識工程師取得的知識或經驗轉換成電腦可使用的架構。

6. 使用者介面(User Interface)：

提供使用者親切的溝通介面，讓使用者能與專家系統溝通。

其中又以知識庫、推論引擎和使用者介面最為重要。

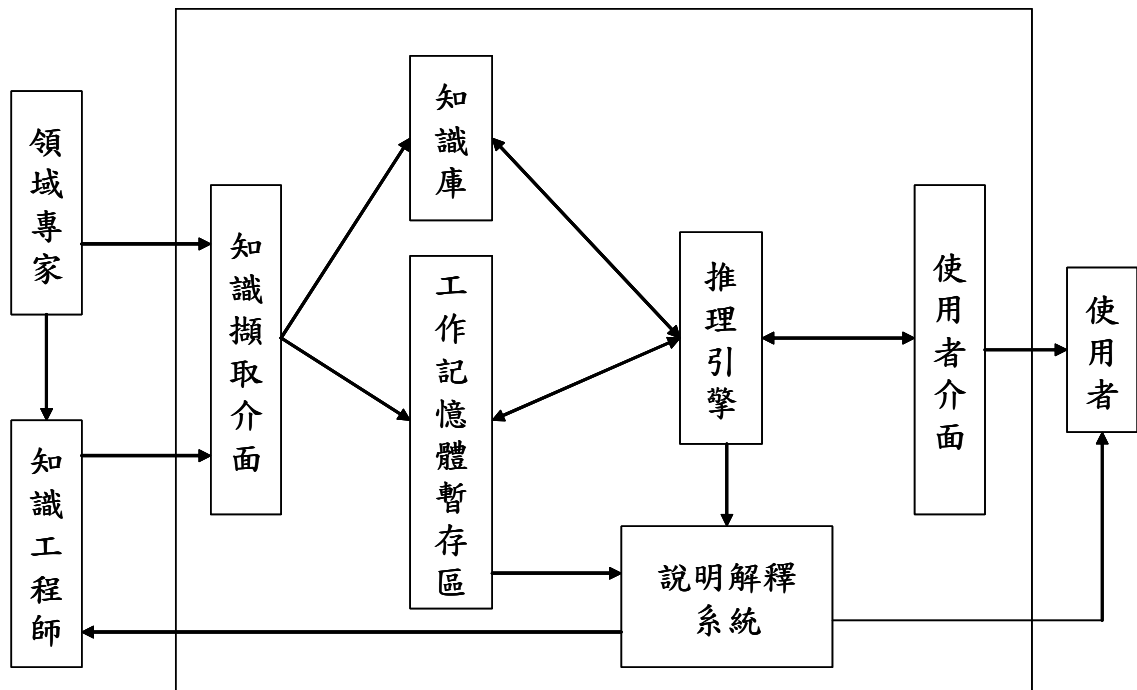


圖 2-8 專家系統基本架構圖

從專家系統的運作方式中可得知，在建立專家系統的過程中，有三個主要的程序，其詳細內容將於下一小節說明。

1. 知識擷取(Knowledge Acquisition)
2. 知識表現(Knowledge Representation)
3. 知識推論(Knowledge Inference)

#### 2.4.4 知識擷取

在專家系統的發展過程中，最重要的不外乎知識取得、知識表示與知識推理，也是系統發展的關鍵所在。以知識存在的具體性來看，可以分為兩類：

1. 內隱知識(Implicit Knowledge)：

指的是存在於專家腦中，由許多知識的彙集，必須由專家解釋，才能被理解或應用的知識。這類型的知識，通常很難直接被應用到專家系統中，因為這類知識的擷取非常地複雜，這也是建立專家系統所面臨最困難的問題之一。

## 2. 外顯知識(Explicit Knowledge):

指的是清楚明確而且條理分明的知識。這類知識容易被歸納，應用於專家系統中。

知識擷取的方式分成圖 2-9 之三種模式，人際溝通模式、人機交談模式和機器學習模式。

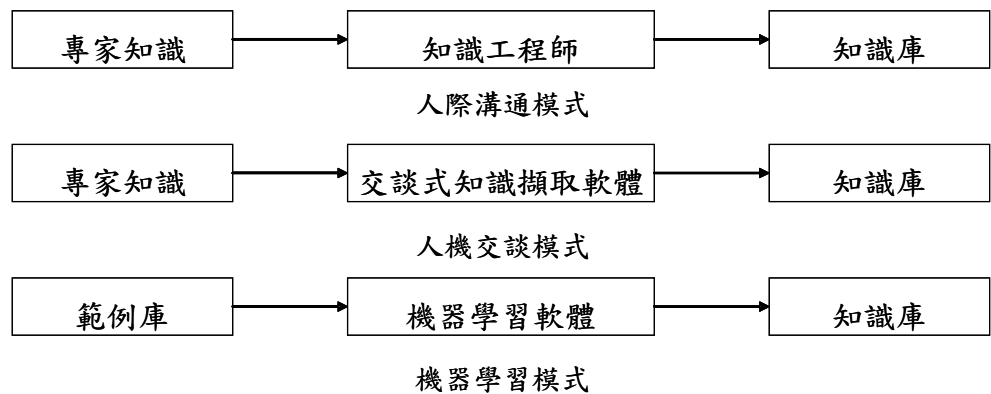


圖 2-9 知識擷取的三種方式

而知識擷取的過程可分成四部份，指認、結構化、關聯化和測試，如圖 2-10 所示。指認是只確定問題與答案之間的關連。結構化是指架構問題的模式，包含解決問題相關變數間的階層關係、因果層次及程序關係等，以便將問題加以分成許多獨立較小的次問題。關聯化是指建立

知識法則的過程。測試是擷取知識的檢查，實際上在知識工程流程的每一階段，皆有其階段性的測試，合於預定目標後再進入次一步驟。

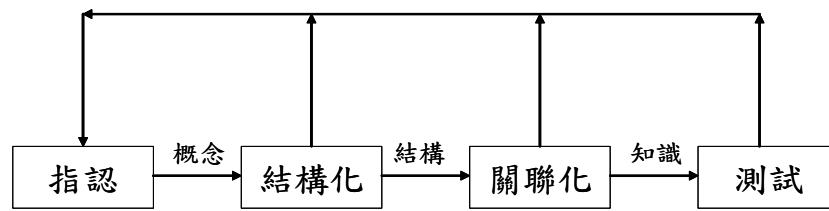


圖 2-10 知識擷取的四個步驟

人際溝通模式可細分兩大類，一為直接人際溝通模式：是以語言或文字等方式直接與人類專家溝通，將知識擷取出來。這類的方法還包含：陳述法、交談法、觀察法、閱讀法、問卷法和草案法六種。

而間接人際溝通模式是指間接以特殊的表格、圖形及數學分析方式為工具，間接從這些工具的分析來擷取資料。這類方法有決策表、決策樹、且或樹、故障樹、展開樹、流程圖、模式圖、階層集群分析樹和多維尺度分析樹九種。本研究所使用的為且或樹。

且或樹：

且或樹是由一些決策因子的「且」和「或」的關聯所組成，每一個且或樹代表一個決策值的決策因子的組合方式。

## 2.4.5 知識表現與知識推理

專家系統的知識表現與知識推理包含下列五種方式，一、法則式系統。二、框架式系統。三、邏輯式系統。四、物件式系統。五、語意式系統。在此僅介紹本研究使用到的法則式系統。

法則式系統(Rule-based System)是最早的知識表現與知識推理模式，也是最普遍使用的系統。其方式最接近人類的思考，也最能表達人類的推理方式。基本格式是 IF...,THEN....。IF 部份稱為前提(premise)或條件(condition)。THEN 部份則稱為行為(action)或結論。當 IF 的部份為事實所吻合，則 THEN 部份的行為就會執行，也就是此法則已被觸發。然而，依知識推論的方式不同，法則式系統又可分成前向式推理系統、後向式推理系統。本文針對前向式推理系統作介紹。

前向式推理系統：

前向式推理是最早期使用的推理系統，它比後向推理更適用於設計和規劃等問題的應用。例如 1978 年~1982 年 DEC 公司所開發的 XCON 專家系統，便是使用此一推理系統。前向式推理系統運作原理如圖 2-11 所示。當使用者選擇一資料後，程式依據使用者回答，依據條件成立與否，而選擇所成立事實，程式再依據使用者回答事實是否成立，而得不同之結論。

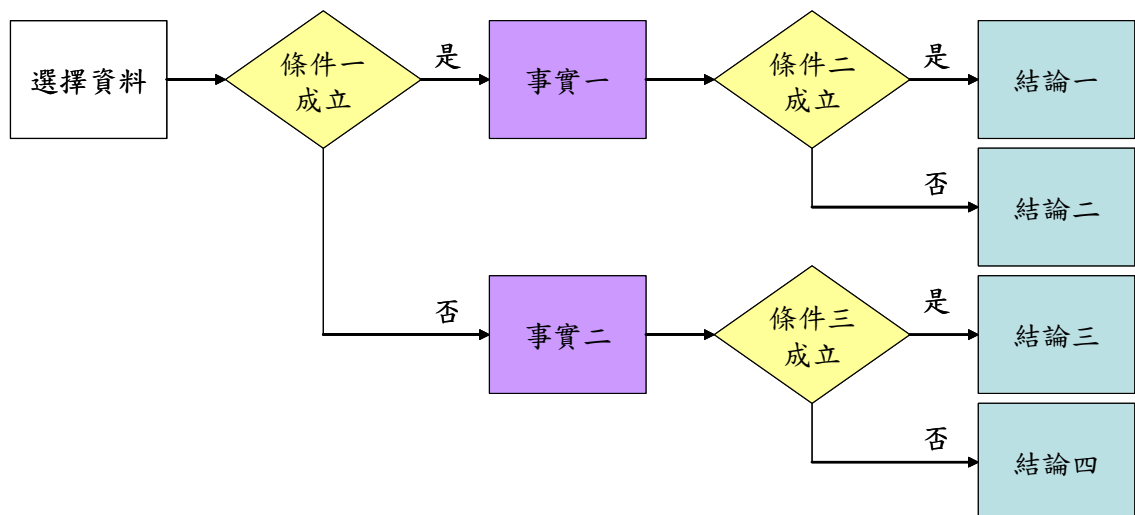


圖 2-11 前向式推理系統運作原理

## 2.4.6 專家系統的特色與比較

專家系統和傳統程式設計方式有很大的差異。如表 2-3 與表 2-4 所示[19]，專家系統解題的知識是與推理機制(程式)分開的；因此，只要修正知識庫的內容，即可強化其解題模式，與傳統程式動輒要修改程式有很大的不同。

表 2-3 專家系統與傳統程式比較(a)

專家系統	傳統程式
表示知識	表示資料
知識庫與推論機制分開	資料與演算法交織在一起
高度交談式處理	批次式順序處理
知識密集型	知識不密集
特定領域的應用	屬於較一般性的應用

表 2-4 專家系統與傳統程式比較(b)

專家系統程式寫作	傳統程式寫作
使用推論引擎	使用演算法
偏重符號處理	偏重數值計算
採用以符號為主的知識庫	採用數位定址的資料庫
可以提供推論、解釋的功能	無法提供推論、解釋的功能

從這個角度來說，專家系統並非要取代系統的程式，它只是提供另一種選擇，企圖解決另一類的問題。傳統程式語言(如：FORTRAN)在處理數值問題上，仍有不可取代的優越性，硬是用專家系統及人工智慧語來解決計算問題反而會顯得格格不入。

專家系統的核心是一個會隨系統的建構而逐漸累積的知識主體。這些知識清楚而有系統，能簡化做決定的過程。一個專家系統設計，具有下列特性：

1. 高效能：一個專家系統必須有能力勝任一個領域專家的工作甚至更好。
2. 可靠性高：專家系統由於知識庫的完整與固定，所以解決問題的可靠性也就相對提高。
3. 提供幫助問題解決的高層次專門技術：這種專門技術代表在某方面頂尖專家們最好的思考方式，於是能正確地、有效地解決問題。
4. 提供預測能力：對某些不確定的問題，專家系統可藉由某個既定的推理方式，給予問題的結果做某些程度的預估，提供決策者做決定的參考。

5. 提供人員做訓練或經驗的傳承：因為它包含了所需的知識並有能力來解釋它推理的過程。只要加上軟體的設計，提供被訓練者或使用更平易且友善的介面就可以了。

由以上特性可知，專家系統不只是建構一個程式來執行某些工作，因為供給專家系統的知識是清楚且專門，這和大多數傳統的程式不同，它的價值就在於專家系統能完成一件像一位真正的專家做的成果，因此任何大量的知識都可以被廣泛地傳播開來。

## 第三章 系統架構與方法

在本章節將系統的架構以及所使用的方法，以紅外線影像為主要的系統跌倒偵測的主要判斷，地板壓力感測予以輔助。第一節：跌倒偵測系統的架構與流程；第二節：壓力感測器判斷；第三節：紅外線影像處理技術；第四節：特徵擷取；第五節：影像與壓力結合專家系統判斷流程。

### 3.1 跌倒偵測系統的架構與流程

本研究之跌倒偵測系統構想如圖 3-1 所示，我們使用 Borland C++ Builder 所開發的系統透過 View for Windows 函式庫(vfw.h)來連結裝在電腦上的影像擷取卡之驅動程式，經過與驅動程式的連結後便可以設定攝影機的基本參數，並且可以取得連結到影像擷取卡上的紅外線攝影機之影像。當地板上的壓力感測器感應到有力的變化時，會將訊號紀錄下來藉由記錄器傳送至電腦中。而攝影機會啟動追蹤物體並且記錄下來。經過影像的濾波、膨脹等後，得到了乾淨的物體影像並且抽取其特徵值；接著將所得到的特徵值送入專家系統診斷。當系統判斷人跌倒時，則會發出警報通知醫護人員以及家屬前往照護。

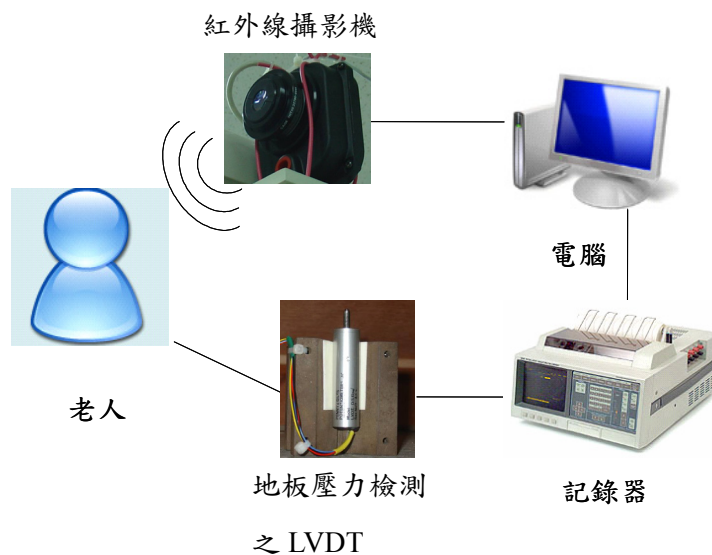


圖 3-1 跌倒偵測平台架構

數位式 Charge-Coupled Device (CCD)攝影機之錄放系統為現今應用最廣之居家安全系統，但此系統有如下之缺點：

1. 無自動監測和辨識能力，需要保全人員不時監視電腦螢幕監控，經常會因人為之疏忽造成重大損失和傷害。
2. 數位式 CCD 攝影機必需在白天或有燈光照明下才能成像，當夜晚或燈光不能抵達處，影像會模糊失去其功能。
3. 數位式 CCD 攝影機對可見光敏感，包括陰影、顏色和遮蔽，當光線變化太大時，容易使影像失真，增加自動辨識之難度。
4. 無隱密性，住戶的一舉一動被清楚監視著，使用者會感到無隱私、不自在。

有別於數位 CCD 攝影機，紅外線熱影像儀器具有的優點是全天候不受

光線影響且拍攝時不會有物體的陰影、顏色，不會讓使用者的舉動被清楚記錄下來，保有私密性，並且可以直接擷取物體熱影像作辨識處理。

圖 3-2 是系統流程圖，首先設定一個地板壓力的門檻值，等待地板壓力的輸入。若輸入的壓力大於門檻值，則啟動紅外線攝影機去找尋目標，同時也將所得到的壓力數據傳送到專家系統中，而紅外線攝影機將目標影像做擷取動作，並且開始處理影像圖片，將所需要的特徵值過濾出來送到專家系統中，由專家系統來判斷是否跌倒。若判斷為跌倒，則發出警報；反之，則繼續讀取地板壓力值。

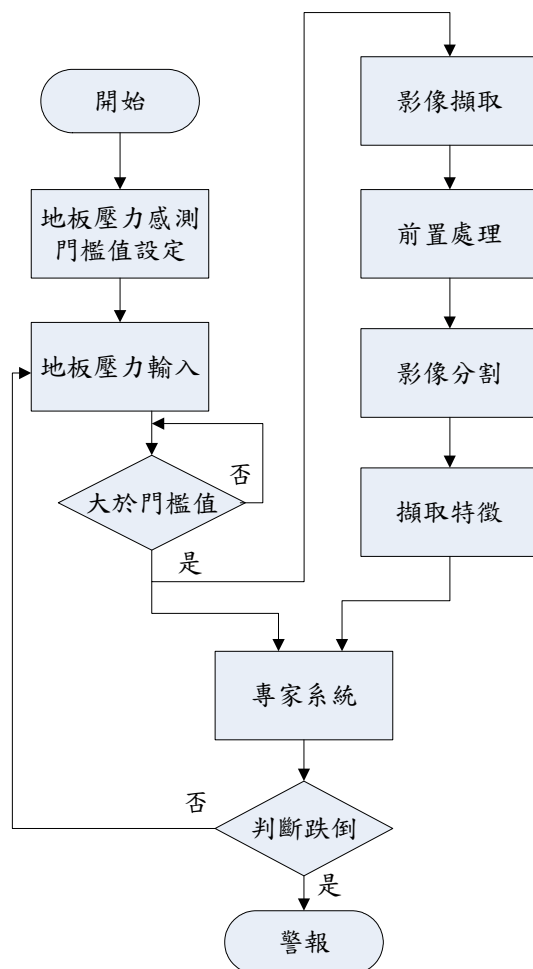


圖 3-2 系統流程圖

### 3.2 地板壓力感測判斷

如圖 3-3 所示提出了一地板壓力感測數據處理流程：

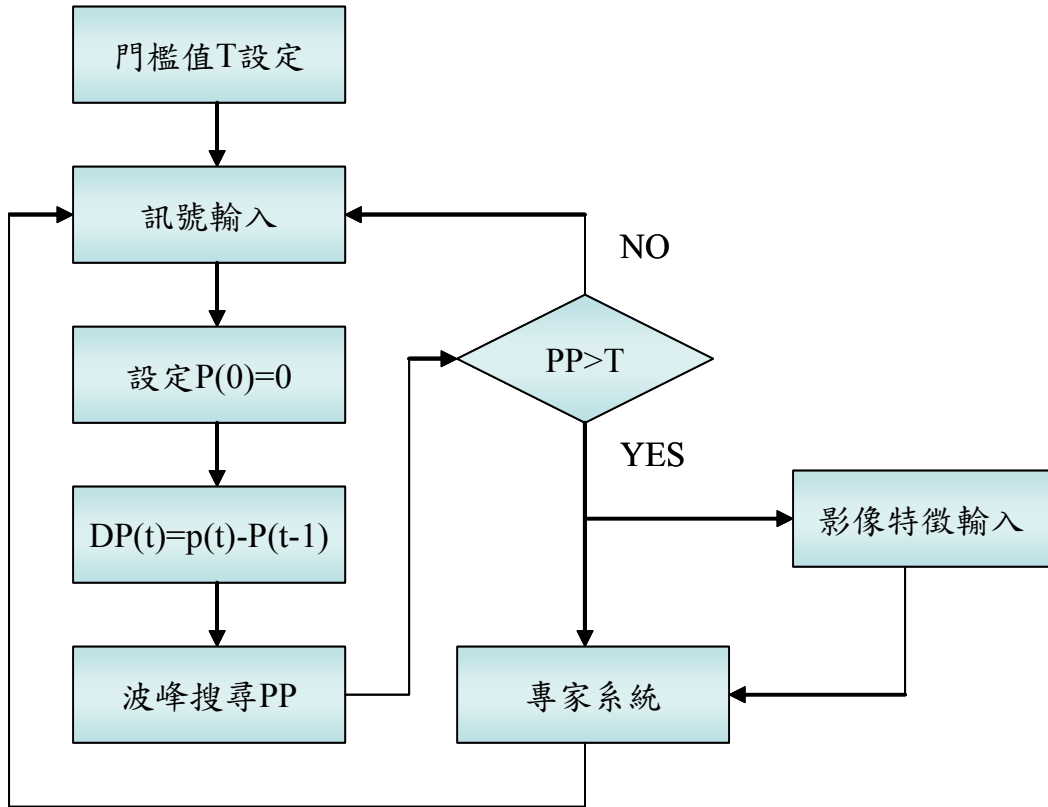


圖 3-3 壓力感測流程圖

首先設定一個地板壓力的門檻值  $T$ ，接著讓地板壓力的訊號輸入，其為一  $p(t)$  的時間函數。然後設定一個函數  $P(0)=0$ ，其後  $P(t)=p(t)-p(t-1)$  的處理動作，目的是要凸顯壓力的變化。

搜尋  $P(t)$  函數的波峰值  $PP$ ， $PP$  與門檻值  $T$  相比。若  $PP > T$  則啟動紅外線攝影機進行影像特徵的擷取，且將所得到的  $PP$  值，送入專家系統判別是否跌倒； $PP < T$  則重新進行訊號的輸入，圖 3-4 為地板原始訊號與經過處理

後的訊號做一個對照。很明顯的看出下面的 DP 訊號比上面的 P 訊號更凸顯出欲得的主體。

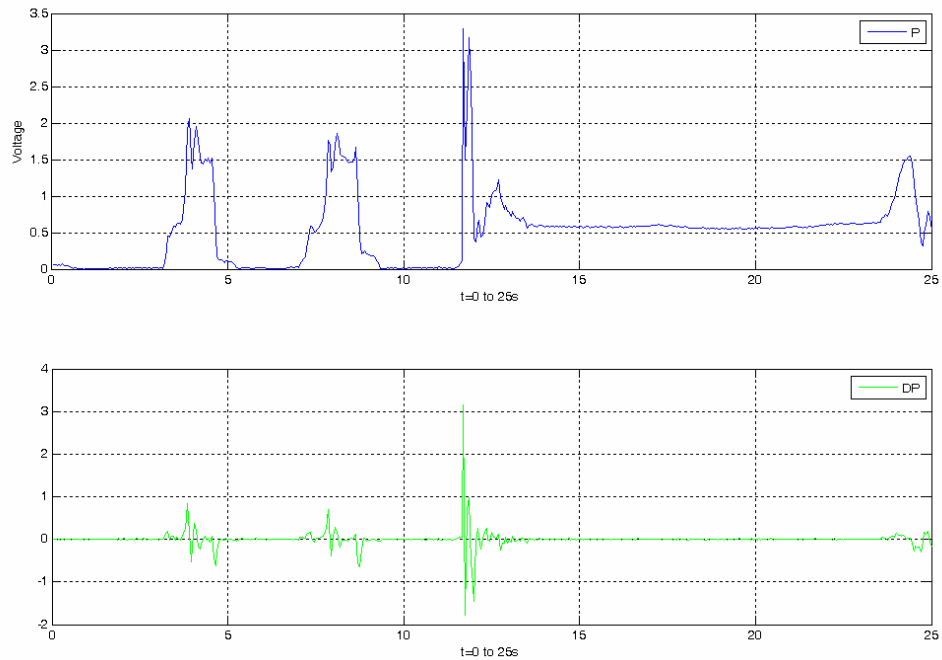


圖 3-4 地板原始信號與處理後的信號比較

### 3.3 紅外線影像處理技術

在本論文中所要處理的是紅外線影像，針對紅外線影像的特性與最初擷取影像的品質來決定前置處理為何，目的是在於將影像拍攝時的干擾去除。所用的方法為：影像平滑處理、影像臨界值化（Thresholding），與標記（Labeling）出影像中各個連接的區域，以找出最大的連結區域等兩部分，以下針對這些影像處理方法詳細的探討。

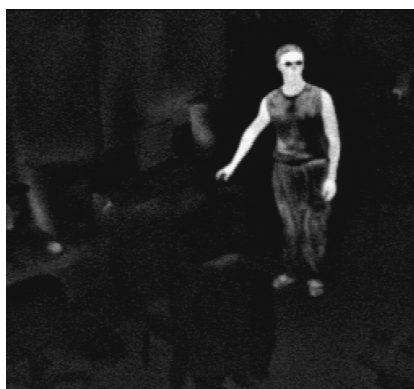
### 3.3.1 影像平滑處理

擷取影像時，一定會存在雜訊 (Noise) 干擾的問題，這些雜訊對接下來所要做的影像處理會造成一些影響，有可能會導致影像分析的結果產生誤差或是錯誤。通常在灰階影像中干擾是任意變動的，而且這些雜訊有著比較高的空間頻率，所以我們採用低通濾波器 (Low-Pass Filter) 來對紅外線 camera 所捕捉到的影像做空間濾波的動作，目的就是去除雜訊干擾，使影像平順。

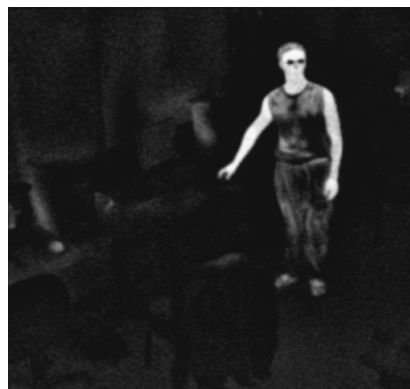
空間濾波是使用遮罩 (Mask) 以逐點的方式對影像做處理，通常濾波都是採用 3×3 或是 5×5 的遮罩，在低通濾波中如果遮罩越大則模糊效果越強，高頻的部分被濾掉越多，在實驗中採用 3×3 的遮罩。

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

圖 3-5 是紅外線影像圖，(a)為紅外線攝影機擷取的原始圖片，(b)為經過低通濾波之後的圖片。乍看之下無異處，但是經過臨界值化之後如(c)、(d)所示。所得結果大不相同。可以看出對於接下來的臨界值化的處理有很大的益處，雜點可以去除，在影像標記上可以加快運算速度。



(a)影像原圖



(b)經過低通濾波後的影像



(c) 臨界值化影像



(d) 低通濾波後的臨界值化影像

圖 3-5 紅外線影像圖

### 3.3.2 臨界值化

我們定義一個二維影像的灰階影像  $I$  的函數為  $f(x, y)$ ，其經過臨界值化 (Thresholding) 的影像為  $g(x, y)$ ，定義如(3.3)

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{if } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (3.3)$$

其中影像  $I$  的灰階值  $f(x, y)$  為 0 到 255 的值， $x$  與  $y$  則為影像座標， $T$  則為臨界值。

影像臨界值化目的是要去除背景之用。紅外線影像的亮度或灰階值 (Gray Level) 是由於物體發熱而來，溫度越高，影像所對應的灰階值也越大。一般背景的溫度是比人類或狗等動物的體溫還來的低，因此即使很複雜的背景，只要其溫度比我們要辨識物體還低的話，那麼都可以將背景從一張影像中給分離出來。

直方圖 (Histogram) 定義為一張影像中各個像素 (Pixel) 值的分佈圖，由上述可知紅外線影像的直方圖就相當於溫度的分佈圖。其特性通常是由兩個高峰所組成 (如圖 3-6 所示)，一個為背景，另一個則為我們要辨識的物體，而背景的峰值大於物體的峰值。目的就是要找出那個最佳化的臨界值。

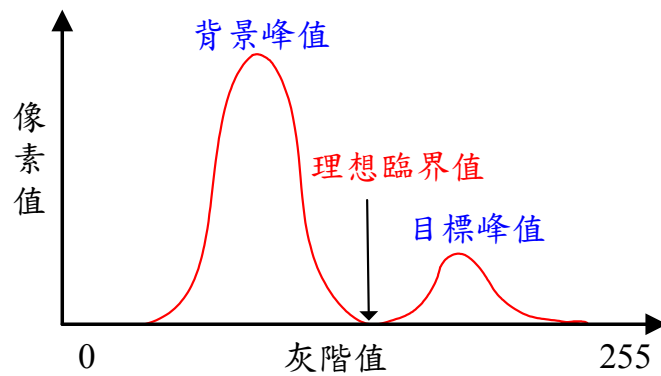


圖 3-6 理想的紅外線影像之直方圖

圖 3-6 是理想的狀況，實際上由於物體表面溫度會受到干擾，如穿衣服、戴眼鏡，使得溫度降低了，部份物體就會與背景重疊在一起，而無法很容易地分離出來。因為背景佔有大部分，所以整張影像灰階值的平均值是接近背景的平均值，整張影像的標準差近似於背景的標準差 (此值相當小)。於是本論文將臨界值  $T$  設為整張影像的平均值 (Mean) 與二十倍標準差 (STD) 之和，公式如下：

$$Mean = \frac{1}{M \times N} \sum_x \sum_y f(x, y) \quad (3.4)$$

$$STD = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_x \sum_y (f(x, y) - Mean)^2} \quad (3.5)$$

$$T = Mean + 20 \times STD \quad (3.6)$$

其中， $M$ 、 $N$  為影像的長寬。

從圖 3-7 來看，二十倍的標準差加上平均值的效果最佳，既可以將大部分的背景濾除，又可以保留主要目標，以便進行特徵擷取。



(a) 一倍標準差



(b) 五倍標準差



(c) 十倍標準差



(d) 二十倍標準差

圖 3-7 紅外線影像臨界值化圖

### 3.3.3 影像標記

畫面中如果只有單一物體，那麼經過影像二值化分離背景和物體之後，畫面中就會只剩下一塊集合區域，在這個區域裡像素值為 1，而在

這個區域外的其他部分像素值都為 0，我們可以很輕易的計算出這個物體的面積、位置等等特徵值，接下來也可以很輕易的做影像辨識的動作，但是如果畫面中有著一個以上的物體存在著，就必需先將物體區域給標記出來，而所使用的方法就是將每個區域各用一個唯一的號碼標記，而這種區域標記的方法即稱為標記 (Labeling)。假設影像  $g(x,y)$  中共有  $m$  個不連接的區域  $R_i$ ，如(3.7)所示，這張影像通常包含多個物體與一背景[21]。

$$R_b^c = \sum_{i=1, i \neq b}^m R_i \quad (3.7)$$

其中  $R_b^c$  為背景，其他區域則為物體。

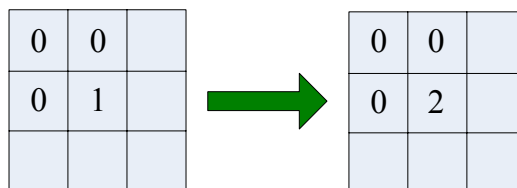
影像經過臨界值化後，會有一個個大小不一的連結區域產生，會有這些區域的產生是由於這些區域的各個像素之灰度值（或溫度）大於臨界值，而這些區域包含了我們要辨識的物體，當然也包含了雜訊等。而經過臨界值化的影像，背景已被表示為 0，而非背景部分則表示為 1。而我們就是要將標示為 1 且連結在一起像素，給同一個號碼，以標記出一個個區域出來。另外我們以 4-連結 (4-Connectivity) 的關係定義一個像素的鄰近像素，也就是說一個像素  $g(i,j)$  的鄰近是其上下左右的像素 ( $g(i-1,j)$ 、 $g(i+1,j)$ 、 $g(i,j-1)$ 、 $g(i,j+1)$ )。影像標記的演算法分為兩步驟：

1. 一列列地搜尋整張影像  $g(x,y)$ ，並指定一個大於 1 的標記值給灰階值為 1 的像素  $g(i,j)$  (即非背景的像素)，而所指定的值是

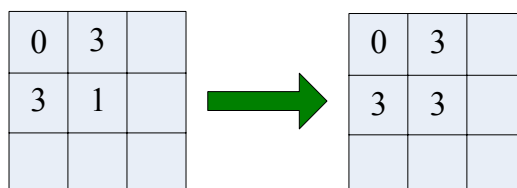
依據其鄰近（4-連接）像素的標記值。其中，此像素  $g(i,j)$  鄰近像素會有三種情形發生：

- (1) 如果所有的鄰近的像素都是背景，那麼  $g(i,j)$  就標記一個新的標記值，並記錄新的標記值於等效表（Equivalent Table）。參考圖 3-8 (a)。
- (2) 如果鄰近的像素只有單一個標記值，那麼  $g(i,j)$  就標記同一個標記值。參考圖 3-8 (b)。
- (3) 如果鄰近的像素有不同的標記值，那個指定其中任一個標記值給  $g(i,j)$ ，並建立一個等效表，紀錄這些不同的標記值其實是等效的。參考圖 3-8 (c)。

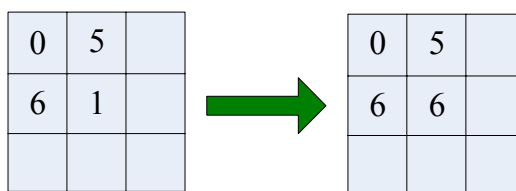
2. 重新一列列地搜尋整張影像，依照等效表，修正等效表中的標記值。參考圖 3-9。



(a) 第一種標記可能情形



(b) 第二種標記可能情形



(c) 第三種標記可能情形

圖 3-8 標記的可能情形

上圖 3-8 表示標記第一步驟時的三個可能情形。圖 3-8 (a) 表示第一種情形，上、左的像素皆為背景（其值為 0），那麼此像素則標示為新的標記（此時為 2），另外在等效表中記錄 2 為新的標記值（0 代表新的標記值）。圖 3-8 (b) 表示第二種情形，上、左的像素皆標示同一個標記值（其值為 3），所以此像素標示同一個標記值 3。圖 3-8 (c) 表示第三種情形，上、左的像素標示不同的標記值（分別為 5、6），於是將此像素標記為其中之一（此範例為 6），此外，在等效表中記錄 5、6 是等效的。

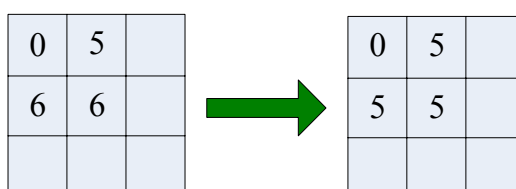


圖 3-9 標記的第二步驟

圖 3-9 表示標記第二步驟的情形。參考等效表發現標記 5、6 是等效的，於是在掃瞄整張圖的過程中，將標記值為 6 的像素改為標記值為 5。

經過標記後的影像會有很多個區域，因為我們假設最大的區域為欲

辨識之物體，因此選取最大的區域  $R_M$  以作為辨識之物體，

$$R_M = \{R_i | \text{Max}_i(\text{Area}(R_i))\} \quad (3.8)$$

其中， $R_i$  為第  $i$  個區域，其面積為  $\text{Area}(R_i) = \sum_x \sum_y R_i(x, y)$ ， $x$ 、 $y$  為座標值。



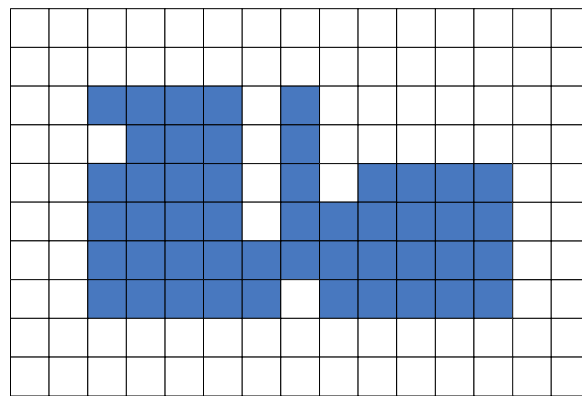
圖 3-10 紅外線照片

由圖 3-10 我們可以看出，原圖在經過我們的處理後只剩下所想要的物體，並且是一張二值化（Binary）的影像。臨界值化的最主要目的，對拍攝時背景的干擾如周圍的雜訊濾除，讓所要物體凸顯出來。另外影像標記的最主要目的則是將影像中的區塊加以合併並選出最大的區域例如其他小的家電物品就會被去除。

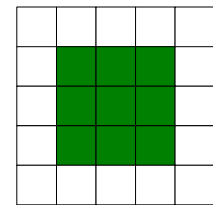
### 3.3.4 影像膨脹與消蝕

由於影像經過臨界值化後入侵物體會有破洞，使得入侵物體在往後的影像處理時會產生缺口。在此我們使用膨脹與消蝕來輔助，以便往後的影像處理。

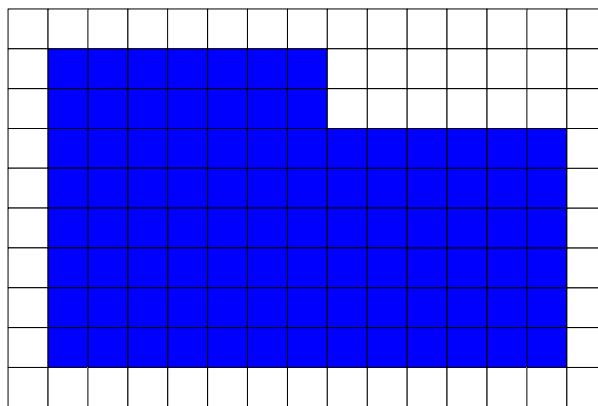
膨脹 (Dilation) 為形態學上最基本的運算元之一。假定在一平面中，有 A、B 兩個影像，如圖 3-11 所示，則 A、B 的膨脹演算定義為：將影像 B 設為一遮罩，當影像 B 沿著影像 A 由左上到右下掃描時，若在遮罩鄰域範圍內有任何像素點其臨界值化的值為 1 時，則將影像 A 之遮罩內中心點設定為 1，否則為 0 如圖 3-11 所示。



(a)待處理影像(影像 A)



(b)3\*3 遮罩(影像 B)



(c)影像 A 經過影像 B 膨脹後的結果

圖 3-11 影像膨脹過程

消蝕 (Erosion) 也是形態學上的另一種運算元。假定在一平面中，有 A、B 兩個影像，如圖 3-11(a)、(b) 所示，則 A、B 的消蝕演算定

義為：將影像 B 設為一遮罩，當影像 B 沿著影像 A 由左上到右下掃描時，若在遮罩鄰域範圍內有任何像素點其臨界值化的值為 0 時，則將影像 A 之遮罩內中心點設定為 0，否則為 1，如圖 3-12 所示。

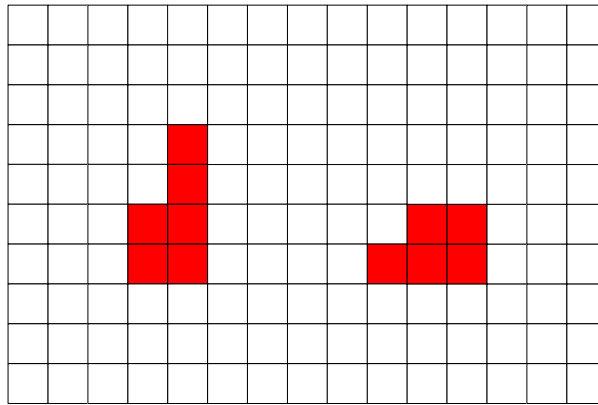
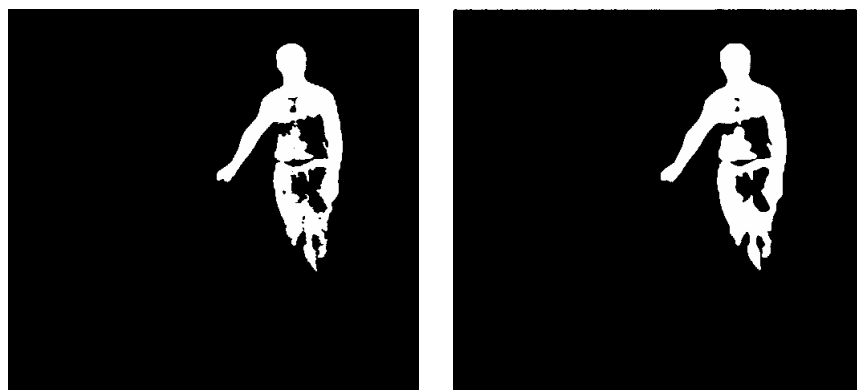


圖 3-12 影像 A 經過影像 B 銷蝕後的結果

其中，消蝕的目的是要消除影像中雜點及消蝕較為尖細的邊角；膨脹則是希望能夠彌補較小的凹洞。

在此研究中，僅使用膨脹運算如圖 3-13，可以見得圖像的破洞有明顯的修補起來。



(a) 影像膨脹前

(b) 影像膨脹後

圖 3-13 紅外線影像膨脹實際效果

在經過這三種處理後，把紅外線影像的特徵凸顯出來，達成我們所要的辨識目的物體，處理後的影像便更容易將目標的特徵擷取出來。

### 3.4 特徵擷取

特徵擷取 (Feature Extraction) 是指一幅影像中，一個物體或是感興趣的實體，其定量的描述或是結構的描述。影像特徵可以是單一 (Single) 的，也可以是多重 (Multi) 的，不同的特徵值代表影像中不同的資訊，例如影像像素值的平均 (Mean) 是一個簡單特徵值，它代表著這張影像平均的亮度。另外所擷取的特徵要盡量不相依，且避免累贅性。在此共使用了三個特徵，分別為垂直投影直方圖的標準差 (Standard Deviation of Vertical Projection Histogram)、水平投影直方圖的標準差 (Standard Deviation of Horizontal Projection Histogram) 和長寬比 (Aspect Ratio)。

#### 3.4.1 投影直方圖標準差

首先我們定義投影直方圖，它是將影像根據某一方向來投影，水平投影直方圖  $h(x)$  就是統計每一條水平掃描線上“1”的數目，同理，垂直投影直方圖  $v(x)$  為統計每一條垂直掃描線上“1”的數目，所以

$$h(x) = \sum_y R_M(x, y) \quad (3.9)$$

$$v(y) = \sum_x R_M(x, y) \quad (3.10)$$

其中， $R_M(x,y)$ 為最大的區域， $x、y$ 為座標值。

圖 3-14 為投影直方圖的示意圖，亮點代表經過臨界值化為“1”的像素，暗點則為“0”的像素。

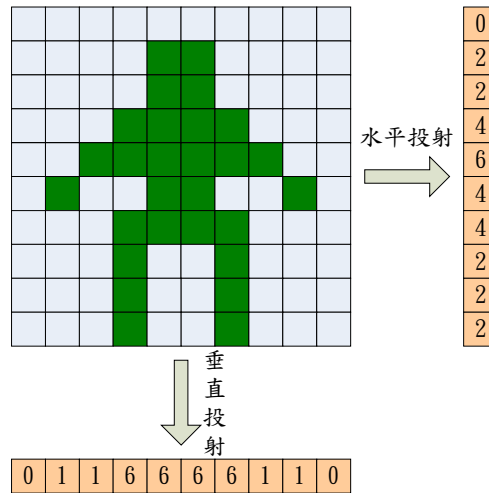


圖 3-14 水平與垂直投影直方圖

綜合以上分析，本論文是採用垂直、水平投影直方圖的標準差 STDV、STDH 來當特徵，另外，計算標準差時不考慮“0”的部分，

$$STDV = STD(v | v(y) > 0) \quad (3.11)$$

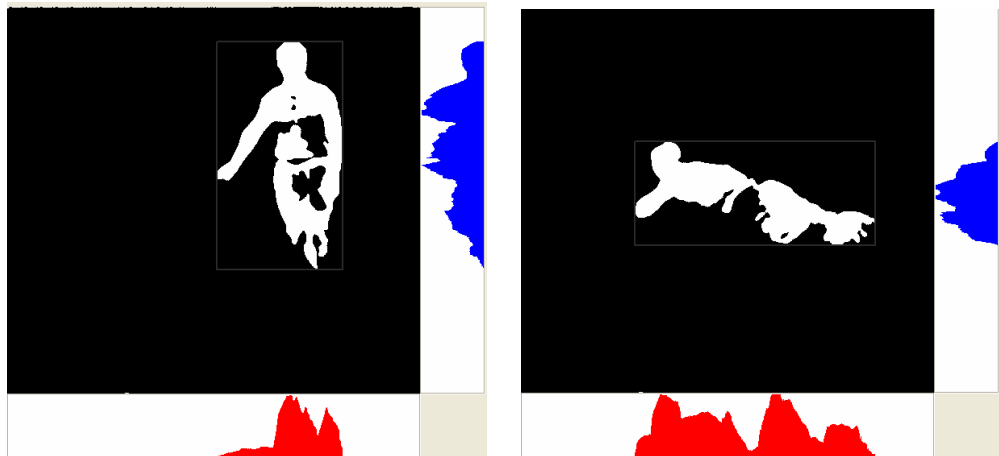
$$STDH = STD(h | h(y) > 0) \quad (3.12)$$

其中，STD 為標準差運算子。

可以預知，站立時，垂直投影直方圖的標準差與水平相比，會高出許多；跌倒時，則水平的標準差會高出垂直的許多。兩者相比，水平投影直方圖標準差跌倒的會比站立著的高，而垂直投影直方圖標準差，站立的則比跌倒的高，如圖 3-15 所示。

STDV : 70.86 STDH : 25.27

STDV : 19.12 STDH : 46.23



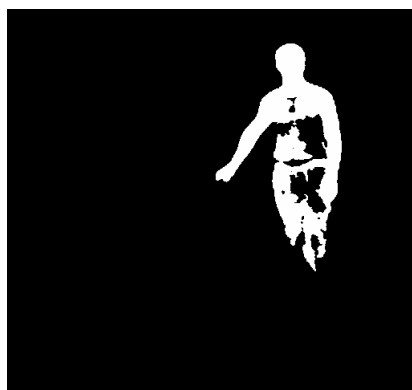
(a)站立時的投影直方圖

(b)倒下時的投影直方圖

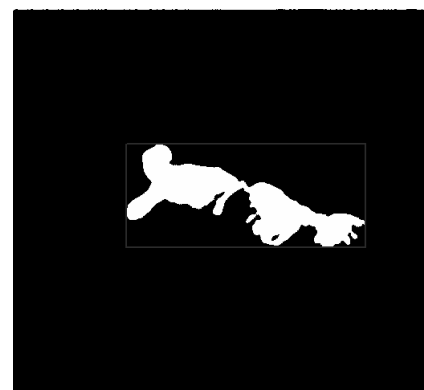
圖 3-15 紅外線投影直方圖

### 3.4.2 長寬比

本文在第三個特徵是使用目標的長寬比。由人類的行為模式觀點來分析，得到一般人在走路或站立的時，高度會大於寬度；跌倒或躺著時，則高度會小於寬度；而蹲著和坐下，高度與寬度就會相當接近，如圖 3-16。本文利用這個特性來偵測人是否跌倒，用長寬比來作為特徵值。



(a)站立時長寬比=1.814



(b)倒下時長寬比=0.4333

圖 3-16 特徵長寬比

上述我們對於一張紅外線影像擷取三個特徵值，分別是水平與垂直直方圖，和長寬比，來作為影像辨識，這三個特徵值分別具有前面所提的內部表示和外部表示的特性，在內部表示方面我們是以水平與垂直直方圖資訊，因為影像經過處理後為一個 1-bit(0 or 1)的影像，像素值不是 0 就是 1，在物體內部的值都為 1，我們對這些像素值利用直方圖的觀念進行一個水平和垂直的統計，在外部方面我們則是利用不同的姿勢的長寬比各有不同來進行的物體外部形狀的描述，由此可知本文所擷取的影像特徵符合一般特徵擷取的基本概念。

### 3.5 影像和壓力感測結合專家系統判斷跌倒流程

如何將一個我們從紅外線影像和壓力訊號的資料做妥善處理，考慮到在日常生活中有不同的情形發生跌倒，樣本是逐漸累積，在這些一般的系統中，系統只是簡單地儲存答案，因此我們使用了專家系統來結合影像和壓力訊號做判斷如下圖 3-17 所示。

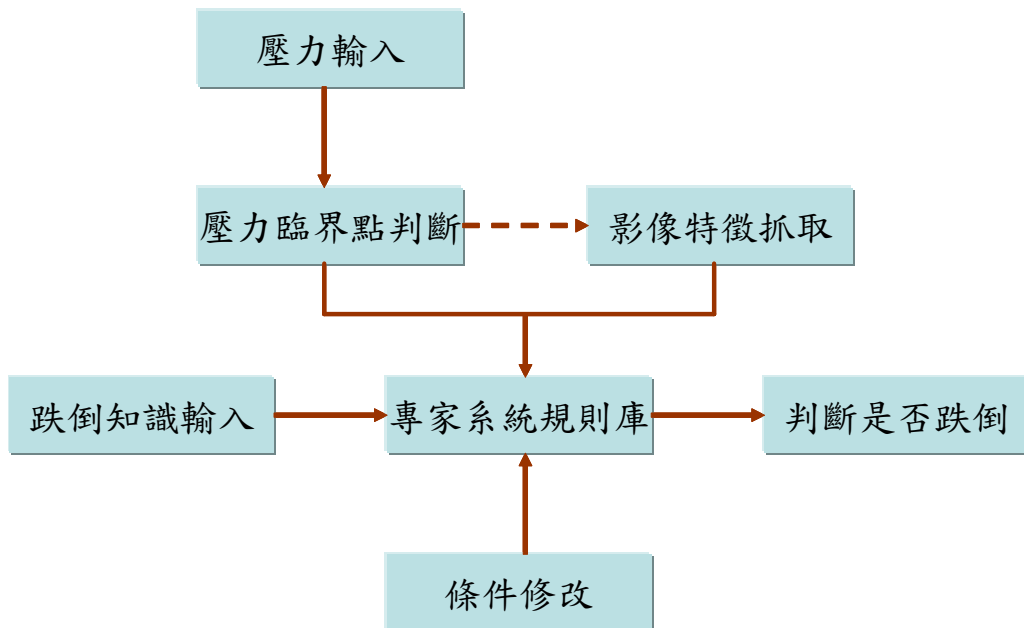


圖 3-17 紅外線影像和壓力結合專家系統判斷跌倒流程

人的運動包含範圍如跑、跳、走路、急停、起立、坐下等等動作都有發生跌倒的可能，若要單純以數學去描述或是演算法去實現都是非常複雜，專家系統發展的目的主要是用來處理現實世界中提出的需求由專家來分析和判斷的複雜問題。把影像特徵和壓力訊號做分析，並累積數據建立出規則庫如圖 3-18，將地板壓力訊號以及影像特徵輸入到專家系統規則庫中，彙整兩個不同的資訊來綜合判斷。唯有不斷的更新知識庫裡的規則，才能夠提昇判斷的準確性。

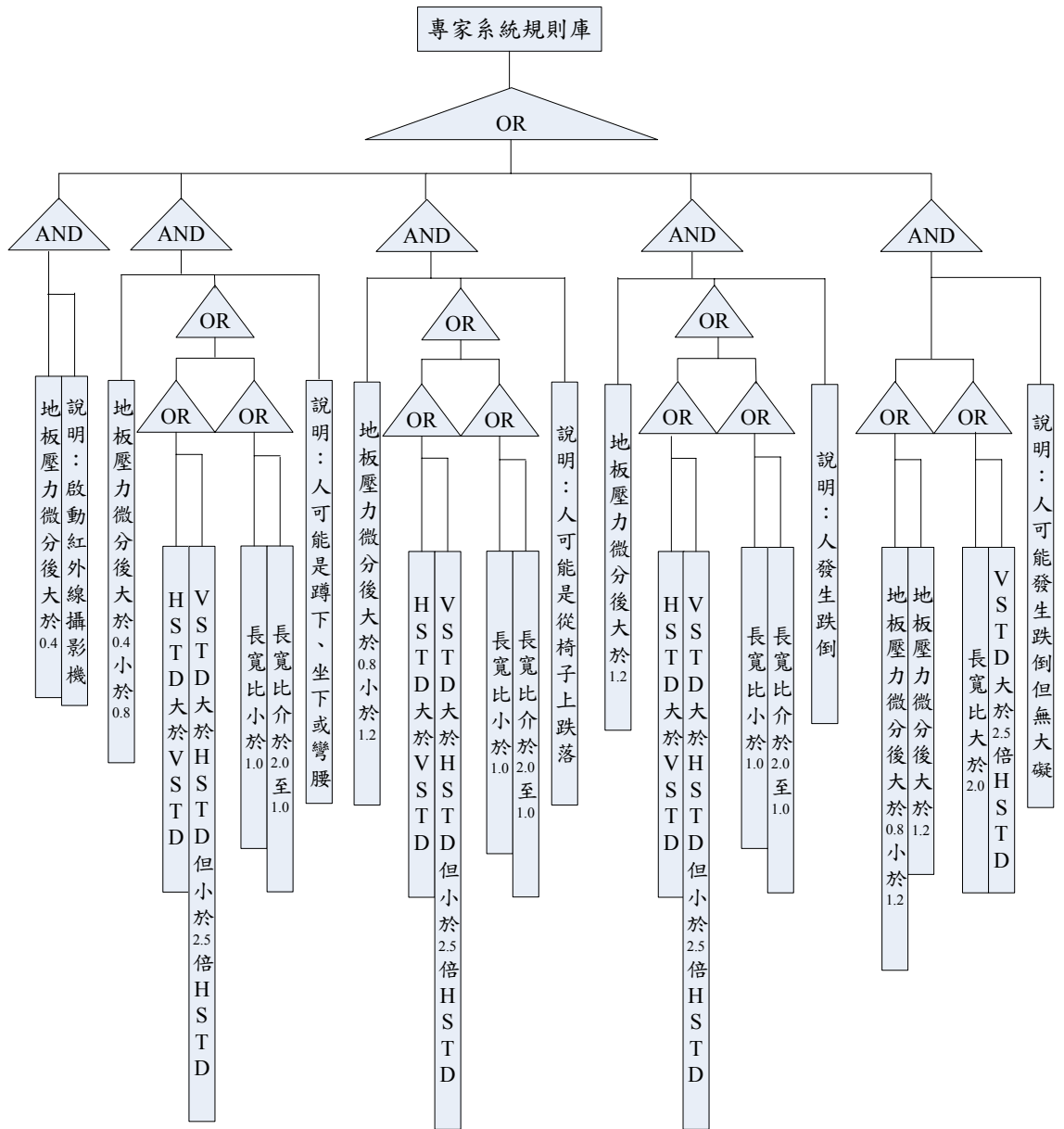


圖 3-18 專家系統跌倒規則庫

## 第四章 系統實驗與分析



本章節主要在於介紹實驗的軟硬體環境、評估方法以及分析所作的實驗樣本，呈現系統的性能指標，最後對於實驗的結果做一個分析與探討。

### 4.1 軟硬體環境

本實驗環境是使用架設在臺灣師範大學智慧型控制實驗室中的紅外線攝影機，系統所處理的畫面大小為 512×480 之 8 Bits 的灰階 BMP 影像，使用的軟硬體規格如表 4-1 所示。

表 4-1 系統使用軟硬體規格

硬體設備	軟體環境
CPU：P4 3.0GHz	開發軟體：
RAM：DDR 400 512*2	Borland C++ Builder 6.0
Camera：RAYTHEON 300D	Matlab R2006a
影像擷取卡：RICE001	作業系統：
壓力 Sensor (LVDT)：	Windows XP
記錄器：YEW 3655	

紅外線攝影機的詳細規格與實體圖片如表 4-2 與圖 4-1 所示。壓力地板是用一個 90×180×11.5 cm 的木板，感測器 LVTD 放置在木板下面，實體圖片與詳細規格如圖 4-2 和表 4-3 所示。圖 4-3 為記錄器實體圖



圖 4-1 紅外線攝影機實體圖

表 4-2 紅外線攝影機工作規格

<b>Physical</b>	
Size (18mm lens)(LHW)	75 x 120 x 100 (mm)
Weight (18 mm lens)	1.5 lbs (.68kg)
Color	Black
Operating Temperature:	-40°C to 70°C
Storage Temperature	-40°C to 90°C
Operating Voltage	9 to 32 VDC
Over Voltage Protection	-12 to 40 VDC

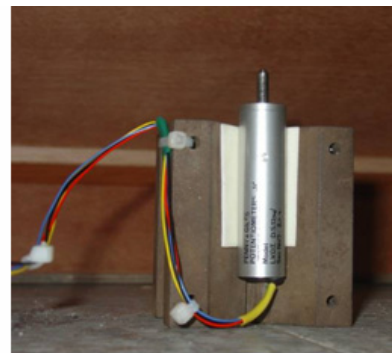


圖 4-2 壓力地板及 LVDT 感測器

表 4-3 LVDT 工作規格

Supply voltage $V_{dc}$	18 - 30 (regulated) or $\pm 15$ (regulated)
Supply current mA	100 maximum
LVDT excitation voltage $V_{rms}$	3 (nominal)
LVDT excitation frequency Hz	2.5k (nominal)
Output voltage* (SCM100/V)	—
Output current (SCM100/I)	—
Output ripple $mV_{rms}$	<5



圖 4-3 分析記錄器實體圖

## 4.2 評估方法

本研究的評估方式，以正確率(Accuracy)、敏感度(Sensitivity)與有效性(Specificity)及信賴度(Kappa)四種參數，作跌倒辨識系統之評估，各參數定義如下方程式所示，其中用到的 TP、FP、FN 及 TN 的說明如表 4-4 所示。

$$\text{正確率(Accuracy, A)} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (4.1)$$

$$\text{敏感度} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4.2)$$

$$\text{有效性} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (4.3)$$

$$\text{信賴度} = \frac{A-C}{1-C} \quad (4.4)$$

其中，

C(信賴機率，Confidence)

$$C = \frac{TP+FN}{TP+TN+FP+FN} \times \frac{TP+FP}{TP+TN+FP+FN} \times \frac{FN+TN}{TP+TN+FP+FN} \times \frac{TN+FP}{TP+TN+FP+FN} \quad (4.5)$$

表 4-4 評估參數示意

狀態 系統判斷	發生跌倒 (Fall)	沒有發生跌倒 (Not Fall)
判斷成有發生 (Alert)	True Positive (TP)	False Positive (FP)
判斷成沒發生 (Not Alert)	False Negative (FN)	True Negative (TN)

上述方程式及表 4-2 中，TP 代表測試者有發生跌倒事件，且系統正確判斷有的個數；TN 表測試者無發生跌倒事件，且系統正確判斷無的個數；FP 代表測試者無發生跌倒事件，但系統判斷成有的個數；FN 則表示測試者有發生跌倒事件，但系統判斷無的個數。

正確率為測試者資料經過系統辨識正確的比率；敏感度為測試者在有發生跌倒事件下，經過系統辨識後的結果唯有發生跌倒事件的比率(亦即在有發生跌倒狀況下的系統正確判斷比率)；有效性是測試者無發生跌倒事件，經過系統辨識後的結果為無發生跌倒事件的比率(亦即在無發生跌倒狀況下

的系統判斷正確比率)；信賴度則是針對系統診斷結果之可信任度評估；其中 Kappa 值介於 0.4 與 0.75 之間，代表系統可信度良好；Kappa 值大於 0.75，則系統可信度非常好[13]。

### 4.3 研究實施

本文研究於遠端控制實驗室內，將實驗室模擬為居家的臥室，其場景如圖 4-4 所示，圖 4-5 為攝影機所拍下的實際場景。紅外線攝影機擺放置左邊中間的高處往斜下方照射，而整個實驗室可以模擬為鋪滿整個壓力地板，當地板壓力訊號大於某一門檻值時，則會啟動紅外線攝影機去搜尋捕捉目標物體，紅外線攝影機的機台轉動控制說明請見附錄。

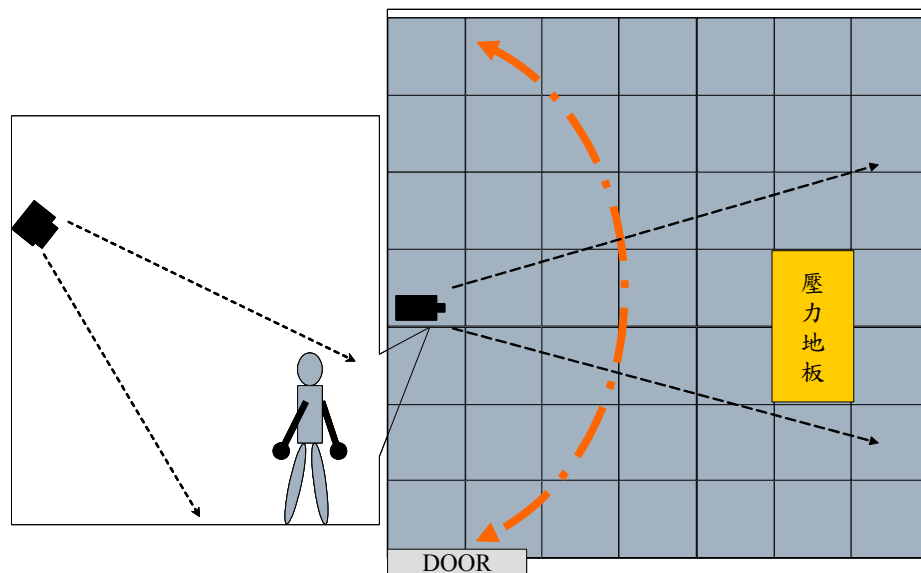


圖 4-4 場景示意圖



圖 4-5 實際場景圖

### 4.3.1 地板壓力

不同的動作會導致地板壓力有不同的信號波形，而該如何訂定適當的門檻值，就由收集到的實驗數據來決定。

在無人的情況下，地板壓力訊號如圖 4-6 所示，在此僅展示處理過的訊號圖片。圖 4-6 中訊號的變動的產生，幾乎都是雜訊干擾所引起的，所幸干擾在可接受範圍，並不影響門檻值的設定以及跌倒偵測上的判斷。

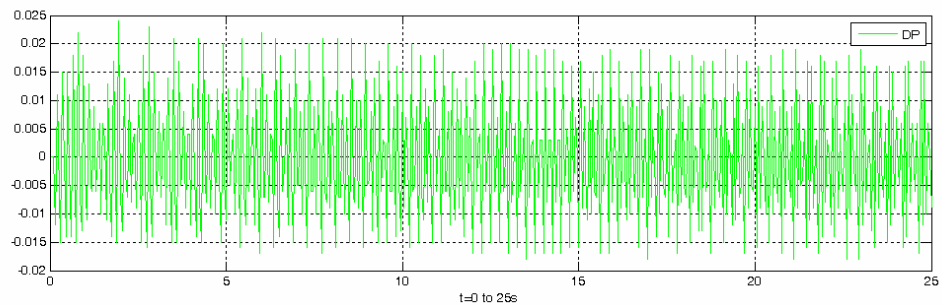


圖 4-6 無人情況下的地板壓力

有人站在壓力地板上其中訊號可以明顯的看出與圖 4-6 不同，如圖 4-7。訊號變化量較圖 4-6 來的大，但還是不明顯。

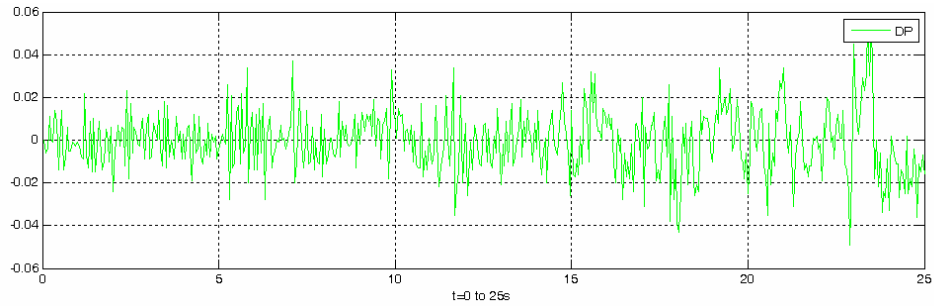


圖 4-7 人站立在地板的壓力

人在地板上走路的壓力變化如圖 4-8 所示。比較有週期性的變化，並且訊號峰值在 0.4 以下，與圖 4-7 相比，有 8~10 倍的能量差距。

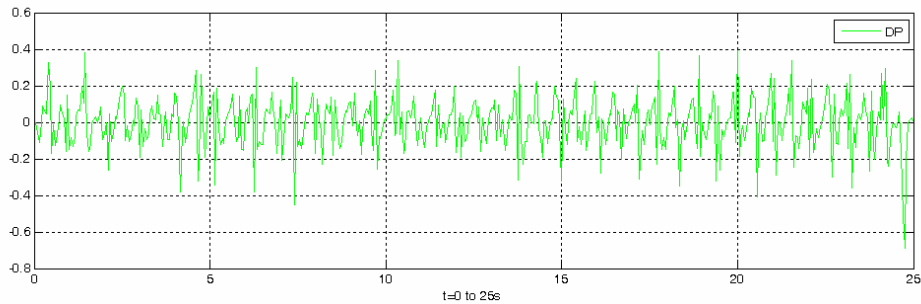


圖 4-8 人走路情況下的地板壓力

人發生跌倒的情形下，地板壓力的變化就如圖 4-9 一樣，可以看出有非常大的能量變化，與人的一般行為(如圖 4-8 的走路)相比，有 5 倍的差距。

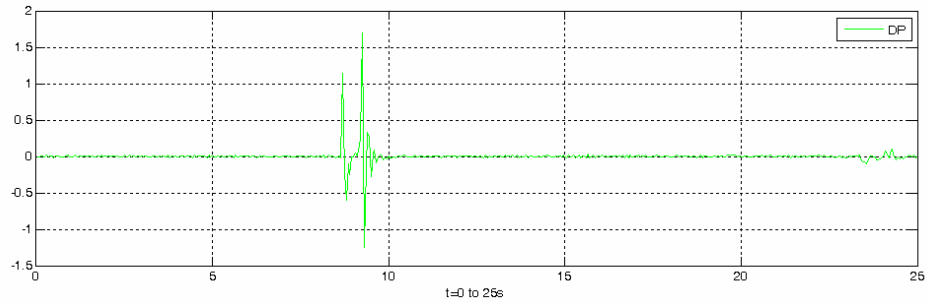


圖 4-9 跌倒發生時的地板壓力

綜合以上的情形來看，一般活動行為能量大約在 0.3~0.4 之間。而非正常活動其能量有可能會高於這個值，所以將門檻值設定在 0.4~0.5 這個範圍。在一般的活動下紅外線攝影機不會啟動，這樣可以大大提昇用戶的隱私性。

### 4.3.2 影像感測

跌倒是具有方向性的，其方向可能會影響系統判斷的結果，本論文所使用的非全向性的鏡頭來捕捉整個房內情況，攝影機鏡頭的移動、俯瞰角度加上跌倒方向對於系統判別會有很大的變化。所以本論文針對這部份做一個探討。

由於攝影機的拍攝視角有限，如圖 4-4 所見。故必須將房間區塊化，如圖 4-10 分為九個區塊。而每個區塊用不同方向的跌倒姿勢，攝影機將此紀錄下來給予系統判別。

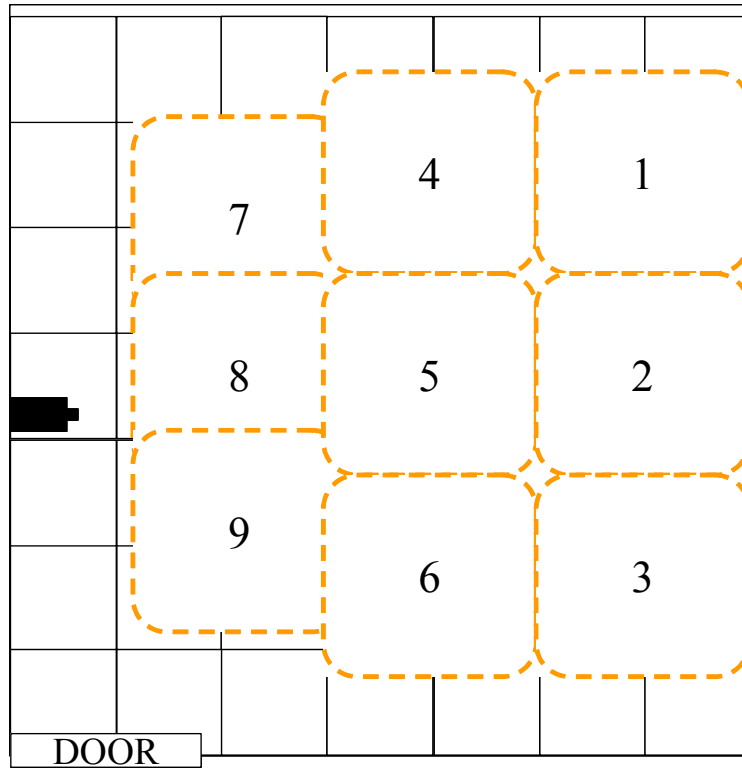


圖 4-10 房間區塊示意圖

本論文將跌倒的方向分為直躺(臥)、斜躺(臥) 以及橫躺(臥)這三個方向如圖 4-11，而躺跟臥只是面部的差異與跌倒的方向性關聯不大。



圖 4-11 各方向的跌倒結果

### 4.3.3 實驗結果

由於跌倒的狀況是偶發性不經意的行為，若要靠捕捉實際發生跌倒之數據來驗證系統可行性有其困難度，因此本實驗之實驗方式採取由一般人模擬跌倒的情況來加以作實驗，經由多人模擬跌倒的數據，來推估一般正常情況下所可能發生的情況，包括跌倒時身體所運動的方式。本實驗不同於其他研究，是採用單一圖片來判斷是否跌倒，圖 4-12 為完整的實際上的實驗流程圖。

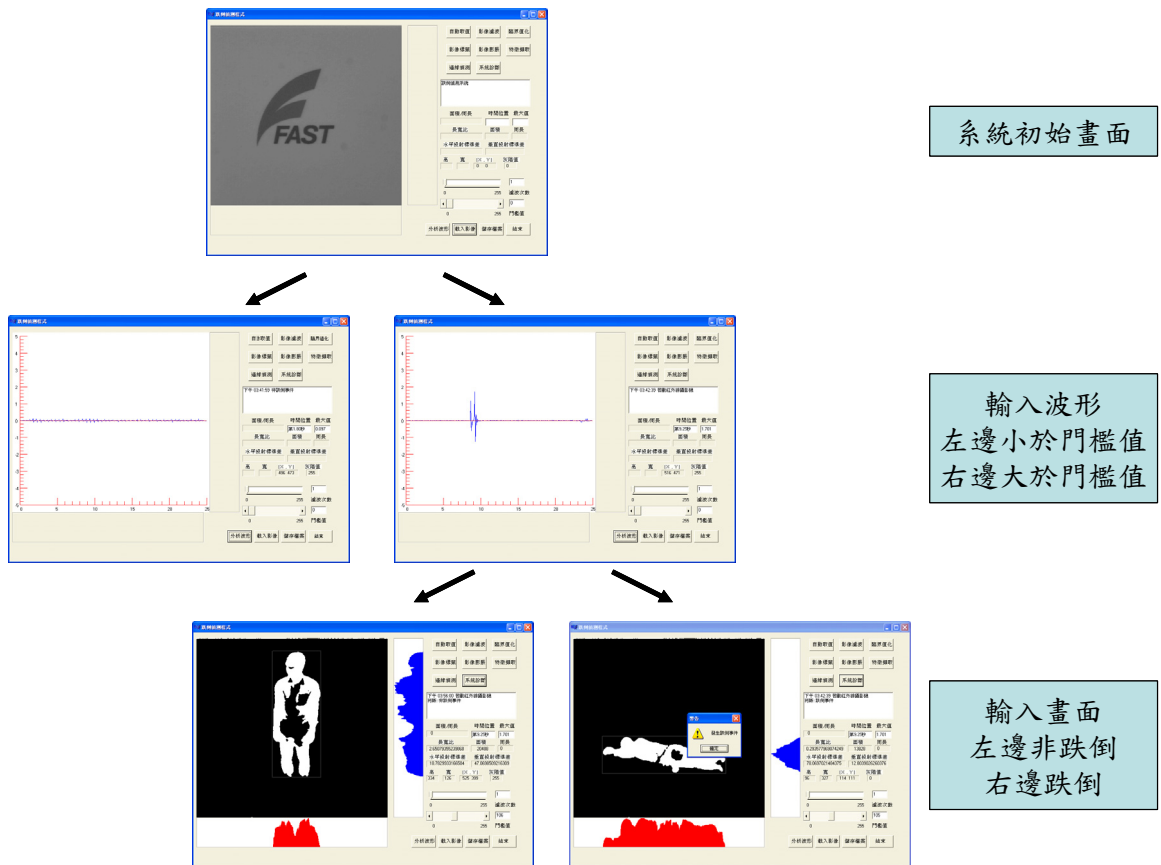


圖 4-12 實驗流程圖

首先，最上面的畫面就是系統啟動的初始畫面。將圖放大就如圖 4-13，可以看到整個系統的功能以及控制鍵。中間畫面可以顯示紅外線

攝影機所拍攝的圖片，也可以將所得到的波形經處理過後繪製出來。而右邊的文字方塊，則是顯示系統判斷的結果。

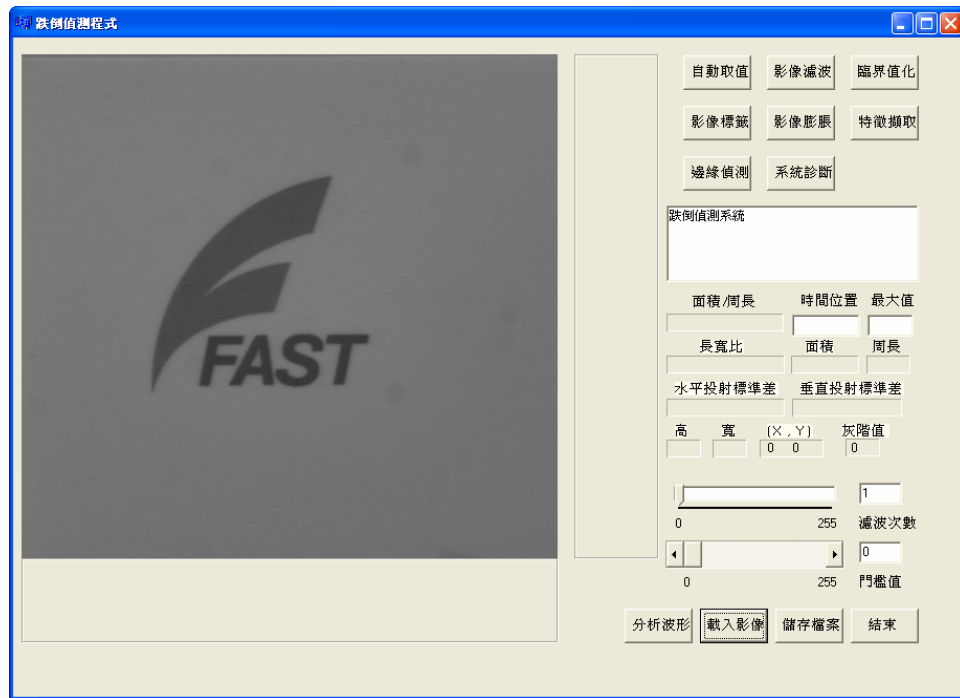
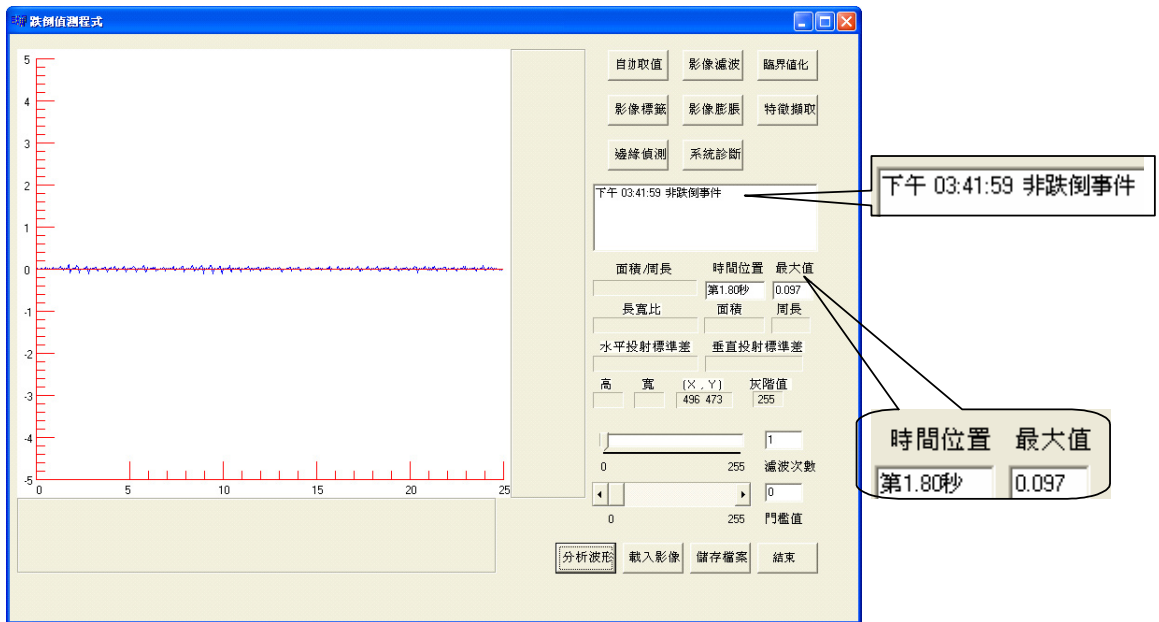
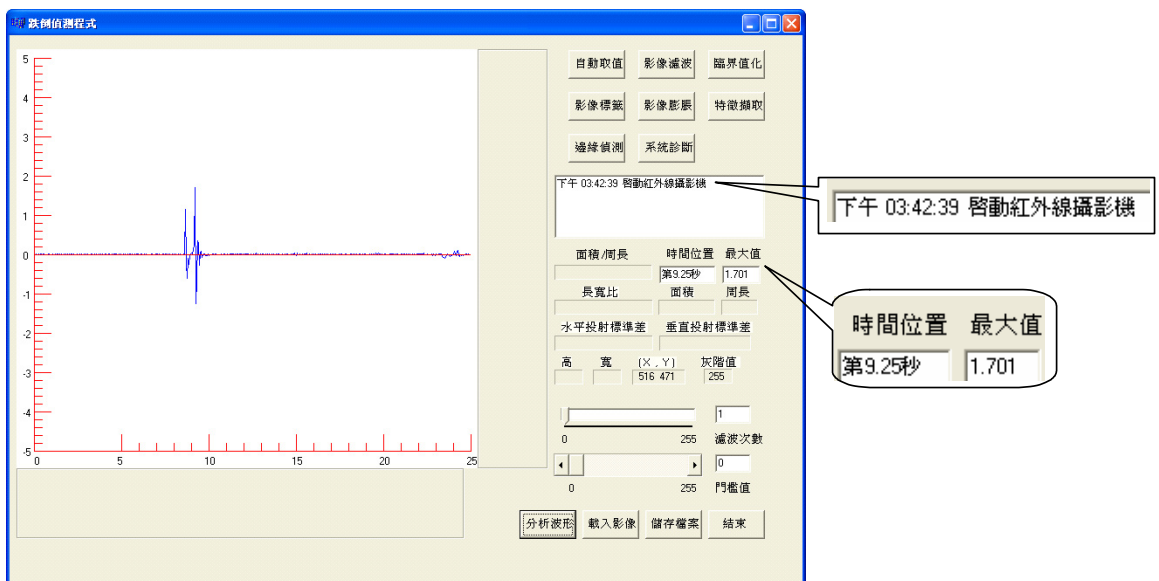


圖 4-13 系統初始畫面

再來就是等待記錄器將波形紀錄起來輸入電腦中如圖 4-14 所示，將有兩種情況產生。圖 4-14(a)為一般的走路活動，其中波形的最大值未達所設定的門檻值，故判斷為非跌倒事件。而圖 4-14(b)則有突波產生，其值遠大於所設定的門檻值。可能發生疑似跌倒事件，故需要啟動紅外線攝影機來擷取畫面。



(a) 非跌倒事件

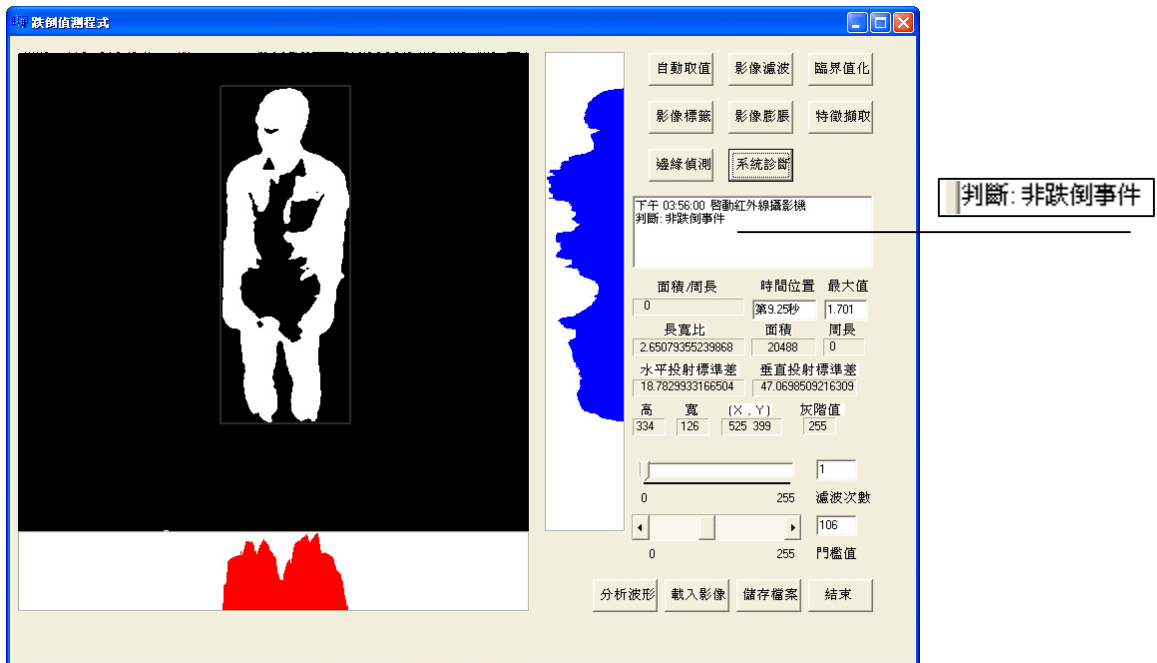


(b) 疑似跌倒事件

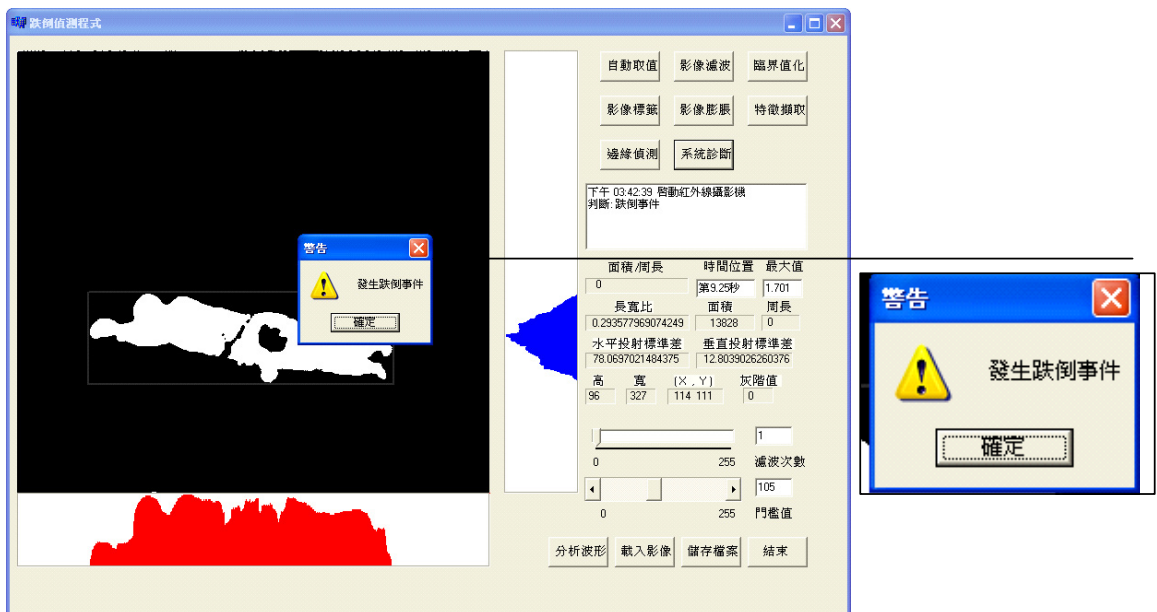
圖 4-14 波形輸入的兩種情況

經過紅外線攝影機拍下的圖片則可能會有兩種情形，如圖 4-15 為紅外線攝影機所拍攝到的圖像分析，(a)為人站立的照片，則系統經過專家

規則庫判斷後，判定為非跌倒事件；(b)為人倒下的照片，經過系統判別後，認定為跌倒則發出警告。



(a) 人像站立



(b) 人體躺臥

圖 4-15 影像輸入的兩種情況

為實際測試系統之穩定度，學生對各種預設動作(如蹲下、步行、坐下、跌倒等)各蒐集了多筆的測試資料並且分為單一方向(如圖 4-11 最右圖)的測試以及各種不同方向測試，詳細資料參考表 4-5。若是跌倒後在壓力地板啟動紅外線攝影機後、在拍攝影像前能夠站立起來，則判斷為非跌倒。經過 4-2 的評估方法後製成表 4-6：

表 4-5 實驗結果

系統判別 \ 狀態	單一方向(橫向)		多方向(包含單一方向)	
	發生跌倒	沒有發生跌倒	發生跌倒	沒有發生跌倒
判斷成有發生	29	0	84	10
判斷成沒有發生	1	30	6	80

表 4-6 系統性能指標

	單一方向	多方向
正確率	0.983	0.911
敏感度	0.967	0.933
有效性	1.000	0.889
信賴值	0.982	0.905

由表 4-6 可以看出本系統的信賴度是相當的高，在單一方向的跌倒測試下，系統正確辨識率相當的高；加入多方向的測試後，雖然系統效能下降，但還維持著高辨識率。針對多方向辨識率降低的情況於下節做詳細探討。

本論文將系統性能指標與其他相關文獻的系能指標做一個整理與對照，如表 4-7：

表 4-7 各研究系統性能指標比較

使用方法	跌倒判斷 (敏感性)	非跌倒判斷 (有效性)
壓力地板 + 紅外線影像[本論文]	93.3%	88.9%
加速度計搭配高斯混合模型[6]	91.3%	—
智慧壓力地板[7]	75.7 %	—
加速度計內嵌於手機[8]	95.5 %	91.4%
Webcam 3D 頭部追跡跌倒偵測[9]	66.6 %	90.0%
全像攝影鏡頭結合個人資訊[13]	90.9 %	86.0%
紅外線攝影機[14]	35.7%	100%
攝影機結合模糊類神經網路[15]	87.5%	97.8%

與其他研究相比，效能上有顯著的提昇。不過這樣的比較並非公平的，因其立足點的不同加上測試方法或內容也不盡相同，所以在尚未建立出一套標準前，此表在此僅供參考。

#### 4.4 研究討論

本論文分為四個部份來做探討，分別為：(一)拍攝角度與跌倒方向、(二)人體輻射、(三)物體遠近、(四)重疊。

### (一) 拍攝角度與跌倒方向

一般研究都將攝影機擺放在接近人體身高的位置來拍攝，故所拍攝的影像利用長寬比的特徵可以判斷人是否跌倒，其缺點是易受到遮蔽物的影響。而本文所擺放的位置是高於人體身高的視角如圖 4-4 所示。優點就是較不易受遮蔽物影響，但是產生一個視角上的問題如圖 4-16，左圖為跌倒後直躺，右圖則為人站立。



圖 4-16 拍攝角度與跌倒方向的關係

很明顯的左邊的跌倒其長寬比不如預期的長度會小於寬度或是接近相等，這在系統的判讀上就可能會出現錯誤，跌倒的方向影響了系統的判斷。這就是多方向的跌倒判斷困難的地方，也是非跌倒行為被誤判的原因。

### (二) 人體輻射

由於本文所使用的為紅外線攝影機，是依據人體輻射溫度來偵測。故人的衣服穿著可能會影響系統準確度。在穿著厚重衣物下，人體所輻射出來的

能量如圖 4-17 右圖，相較之下會比較少，系統在影像擷取上可能就會發生問題而導致錯誤結果。而在溫室效應的影響下，環境溫度日漸增高，有可能會出現環境溫度高於人體溫度的情況，這對於分離目標物與背景的困難度提昇，影響特徵的擷取，對系統的判別造成一定的影響，值得去深思探究。研究至今，由於本論文的測試環境調節於一恆溫(25°C)，故未出現類似情況。



圖 4-17 衣著厚度不同，輻射量不同

### (三) 物體遠近

人的位置會影響影像擷取的動作，因人距離攝影機鏡頭太近而造成無法將整個人容納在內，如圖 4-18 一樣就可能造成系統的誤判。所以在圖 4-10 顯示的區塊圖中，7、8、9 區塊由於距鏡頭太近，系統判斷結果不甚理想。



圖 4-18 距離鏡頭太近

#### (四) 重疊

由第三章可知，影像經過標記後會有很多的連結區塊產生，若人類、家電用品重疊在一起，那我們的法則並無法分離兩者並抽取出目標物，其特徵擷取的結果可能為會產生誤差影響系統辨識結果。另外，如果人與家電不重疊，那麼本論文演算法是會取最大的區域來做辨識，也就是說，本文是根據一般情形，假設人類面積會大於一般家電用品的面積來做特徵擷取的動作。

## 第五章 結論與後續研究



### 5.1 結論

論文提出一套完整的跌倒偵測系統應用於醫護療養院或獨居老人家中，目的在輔助看護人員或家屬看護特定之區域，旨在有人員發生跌倒的第一時間能偵測到並且發出警報，通知醫護人員前往照護，以降低跌倒所帶來的傷害威脅與醫療成本。

在紅外線的影像的前置處理方面，使用臨界值化將紅外線監視器所擷取的影像作一淨化，去除不必要的背景輻射，使欲辨識之物體明朗化，並且再用影像標記法把我們要描述一個區域給標記出來，到此可以將所要辨識的物體完整的獨立出來。

在特徵擷取方面提出一個的方式，對於一張紅外線影像擷取三個特徵值，分別是水平與垂直直方圖的標準差，和人體的長寬比，來作為影像辨識。這三個特徵值分別具有內部和外部表示的特性，在內部表示方面是以水平與垂直直方圖資訊，在外部方面則是利用人的姿勢不同所具有之長寬比的不同來把形狀的特徵作一個量化值。加上所得到的地板壓力的資訊，送入專家系統中作為判別的基準。

本論文所提出之跌倒偵測系統與其他跌倒偵測系統不同之處是使用紅外線攝影機結合地板壓力進行偵測行為，其優點就是可以減少紅外線啟動時間，大大提昇隱私性，以及提昇系統精確度減少錯誤警報的機率。對於各種不同方向的跌倒，亦有不錯的成效。使用專家系統成功結合地板壓力感測以及紅外線感測，經實驗證明，其系統辨識率高達九成以上，系統信賴度亦達九成，有著相當不錯的成效。

## 5.2 後續研究

由實驗的結果與討論當中可以得知本論文還有許多可以改善的空間，例如針對跌倒方向，可以增加攝影機於天花板上做跌倒方向的角度補償；以統計的方式改良專家系統規則庫來提高系統辨識率；針對人體輻射的不同，可以設計動態的 Threshold 來做環境溫度補償的動作；針對物體遠近問題，加裝伸縮鏡頭以及使用超音波感測距離來控制鏡頭伸縮；可考慮加入生理訊號輔助，如脈搏訊號等。

「預防勝於治療」，事前的預防比事後的搶救更來的重要，所以不僅要做出事後偵測，更期望可以事前防範。如設計一套標準簡單的動作並讓人實行並填寫問卷，藉此來評估用戶跌倒的可能性，如此一來更能降低傷害與醫療成本。

## 參考文獻

- [1]黎家銘、陳晶瑩，老人跌倒因素的評估與預防，台灣醫學2005年9卷2期。
- [2]R. Sattin, "Falls among older persons: a public health perspective." *Review of Public Health*,13, 489-508, 1992
- [3]C. Patterson, and W. Torresin, "Falls in the elderly - keep your patient's feet on the ground." *Geriatrics*, April 1989.
- [4]郭建德，老人居家跌倒警報系統之研製，崑山科技大學電子工程系碩士論文，民國 94 年。
- [5]林宸生，以個人數位助理(PDA)為基礎之可穿戴式跌倒即時監測系統，逢甲大學自動控制工程系碩士論文，民國 93 年。
- [6]F. R. Allen, E. Ambikairajah, N.H. Lovell and B.G. Celler, "An Adapted Gaussian Mixture Model Approach to Accelerometry-Based Movement Classification Using Time-Domain Features", *Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference*, New York City, USA, Aug. 30 Sept. 3 2006 pp.3600-3603.
- [7]M. Alwan, P.J. Rajendran, S. Kell, D. Mack, S. Dalal, M. Wolfe and R. Felder, "A Smart and Passive Floor-Vibration Based Fall Detector for Elderly", *Information and Communication Technologies*, 2006. ICTTA '06. 2nd vol. 1, 24-28 April 2006 pp.1003-1007.
- [8]T. Zhang, J. Wang, P. Liu and J. Hou, "Fall Detection by Embedding an Accelerometer in Cellphone and Using KFD Algorithm", *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 6 no.10, pp.277-284 October 2006
- [9]C. Rougier, J. Meunier, A. St-Arnaud and J. Rousseau, "Monocular 3D Head Tracking to Detect Falls of Elderly People", *Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference*, New York City, USA, Aug. 30 Sept. 3 2006 pp.6384-6387.
- [10]林金泉，人類跌倒之行為分析與偵測，中央大學資訊工程研究所碩士論文，民國 93 年。
- [11]D. Anderson, Keller, M. James, S. Marjorie, Xi Chen and Z. He, "Recognizing Falls from Silhouettes", *Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International*

- Conference*, New York City, USA Aug. 30 Sept. 3 2006 pp.6388 – 6391.
- [12]M. Greiffenhagen, D. Comaniciu, H. Neimann, and V. Ramesh, “Design analysis, and engineering of video monitoring system: an approach and a case study”, *Proc. of IEEE*, vol. 89, no. 10, pp. 1498-1517, Oct. 2001.
- [13]宋佩栩，一個使用環場攝影機並結合個人資訊的客製化跌倒偵測系統，中原大學電子工程系碩士論文，民國 95 年。
- [14]A. Sixsmith and N. Johnson, “Smart sensor to detect the falls of the elderly,” *IEEE Pervasive Computing*, vol. 3, no. 2, pp. 42–47, April-June 2004.
- [15]C. M. Chang and C. F. Juang, “Human Body Posture Classification by a Neural Fuzzy Network and Home Care System Application”, *SMC-A*, No. 6, November 2007, pp. 984-994
- [16] 谷腰欣司 原著，趙中興 譯編，感測器，全華科技。2006 年4 月。
- [17]J. W. Dally W. F. Riley and K. G. McConell，Instrumentation for Engineering Measurements，開發。1994 年。
- [18]林志隆，生活中的紅外線，科學發展雜誌 400 期，2006 年 4 月。
- [19]張紹勳，人工智慧與專家系統，松崗。1993 年 8 月。
- [20]江孟峰，專家系統導論工具應用，文魁，2002 年 11 月。
- [21]蔡忠松，應用於家庭保全系統之低解析度紅外線影像辨識，中正大學電機工程研究所碩士論文，民國 88 年。



## 附 錄

在本研究裡,我們為能利用電腦操控回轉台，使裝載在回轉台上的紅外線 Camera 能自動的追蹤熱源的強度並進一步的分析紀錄，因此我們藉由 ADAM4520 的 RS232 轉 RS485 的串列傳輸介面來對回轉台下達相關的控制命令。

### 迴轉台控制

一般在迴轉台動作控制中,因為控制的距離較長，因此常用的控制介面常以 RS485 串列介面來做。我們為使用電腦來控制迴轉台的動作，因此用 RS232 介面來撰寫 RS485 的控制命令,在透過 ADAM4520 RS232 轉成 RS485 的命令訊號來傳送控制命令，圖為 RS232 轉 RS485 介面。



圖 RS232 轉 RS422/RS485 介面轉換器

Intelligence Dome Camera 的控制 RS485 介面資料命令封包格式如下表所示

表 轉台控制控制命令封包格式

WORD 1	STX(Start of Text)	A0H
WORD 2	Receiver Address	00H~1FH
WORD 3	Sender Address	00H~1FH
WORD 4	COMMAND (1)	
WORD 5	COMMAND (2)	
WORD 6	DATA(1)	
WORD 7	DATA(2)	
WORD 8	DATA(3)	
WORD 9	DATA(4)	
WORD 10	ETX(End of Text)	AFH
WORD 11	Check-Sun	

實做迴轉台動作控制---預設點巡弋，並定點紀錄

我們為實際利用 RS232 轉 RS485 介面來控制迴轉台動作，因此撰寫一些控制命令來驅動迴轉台動作，包括一開始的設立巡弋點到走訪這些巡弋點位置，來作為這次的動作測試功能。

#### 1. 設定預設點

```
byte Hex[11];
void CImage_aDlg::OnSetpresent() //設定預設點
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    //檢查 com port handle 變數"H_Comport" 是否在開啟狀態
    if(H_comport==0) //若 com port 未開啟
    return ;//就結束函式

    Hex[0]=0xA0; //Start sequence
```

```

Hex[1]=0x01; //Send address
Hex[2]=0x01; //Receive address
Hex[3]=0x00;
Hex[4]=0x03; //功能值:設定預設點(Set Preset)
Hex[5]=num; //設定預設點的編號可由 00H~3FH
Hex[6]=0xFF;
Hex[7]=0xFF;
Hex[8]=0xFF;
Hex[9]=0xAF; //Stop sequence
Hex[10]=checksum; //檢查傳送的資料封包是否有誤

num++; //每設定 1 個預設點 自動加 1
checksum--; //checksum 自動減 1
WriteFile(H_comport, Hex , Writebyte , &Writebyte ,NULL); //寫入命令
}

```

因為 RS485 的命令格式採用 hex 碼，且其一次傳送的封包(packed)就有 11 bytes，因此我們利用一個 byte 陣列來存放這些資料，並透過 WriteFile() 函式將命令傳給迴轉台，並使迴轉台能紀錄這些預設點位置，而迴轉台位置移動先用 PLC-500 鍵盤來控制。

## 2. 走訪預設點部份程式片段

```

static bool doit=true;
if(doit)
{
    num=0; //初始化 從預設點 0 的位置開始移動
    checksum=0xF9;
    doit=false;
}
Hex[0]=0xA0; //Start sequence

```

```

.....
Hex[4]=0x07; //功能值:go to Preset
Hex[5]=num; //預設點 編號
.....
Hex[9]=0xAF; //Stop sequence
Hex[10]=checksum; //檢查傳送的資料封包是否有誤
num++; //每走 1 個預設點 自動加 1
checksum--; //checksum 自動減 1
WriteFile(H_comport, Hex , Writebyte , &Writebyte ,NULL); //寫入命令

if(num > (atoi(m_transmsg))) //判斷是否需要循環
{
    num=0; //再次從預設點位置 0 走起
    checksum=0xF9;
}

```

## 自 傳

**姓名：**陳佳鈺

**籍貫：**台北市

**生日：**中華民國七十二年九月十七日

**學歷：**

臺北市立成功高中畢業

國立臺灣師範大學工業教育學系電機電子組畢業

國立臺灣師範大學應用電子科技研究所

**發表文章：**

Huan-Wen Tzeng and Jia-Yu Chen, “Application to Ball and Beam Using Fuzzy Control”, 中華民國第十四屆模糊理論及其應用會議，2006。

**特殊事蹟：**

國立臺灣師範大學工業教育學系電機電子組第一名畢業