

東海大學資訊管理研究所
碩士學位論文

應用三軸加速度感測器與 GPS 定位
老人跌倒預測之研究

**Research of Fall Prediction for Elderlies -Based on Triple Axis
Acceleration Sensors and GPS Positioning**

指導教授：陳澤雄 博士
研究生：李彥鋒 撰

中華民國 107 年 07 月

東海大學資訊管理學系碩士學位
考試委員審定書

資訊管理學系研究所 李彥鋒 君所提之論文

應用三軸加速度感測器與 GPS 定位老人跌倒預測之研究

經本考試委員會審查，符合碩士資格標準。

學位考試委員會 召集人：沈學麟 (簽章)
委員：劉嘉惠
范榮權
吳筠宇
陳澤雄

中華民國 107 年 7 月 4 日

誌謝

在論文的撰寫過程中，我想對所有曾經給過我幫助和支持的夥伴們表示衷心的感謝，是他們在我孤身一人在臺灣求學時給予了我生活上、學習上的幫助至今我一直無以回報，僅能在這裡表達我對他們思念和感恩。

碩士生涯即將結束，曾幾何時在大學時期，從未想過自己完成學士後會選擇繼續攻讀碩士，然而，生活就是這樣，總會在你不經意間就幫你做出了選擇。首先，我最要感謝我的指導教授陳澤雄博士，在我撰寫論文的過程中給予我許多方向以及人生的建議，讓我對於我的學習生涯有了不同的想法與看見，這是我碩士生涯中，所學習到最寶貴的東西。

再來，我要感謝擔任口試委員的沈榮麟教授，提出許多論文上關於研究流程的建議；吳鎮宇教授給予我在論文語言組織上的建議；劉嘉慧教授提醒我在參考文獻格式與規範上的錯誤之處；范榮權教授幫助我修改論文語句的表達方式。在這裏由衷的感謝各位口試委員對我的指正與教導，讓我的這篇論文能夠以更完整的形式呈現。最後，我要感謝快樂雄家族的小天使們，葉嶸、光彥、毅修、耀民、岱倫、雅昕以及郁婷，在我撰寫過程中需要幫助時，不吝伸出援手，並且在口試當天前來幫我加油，讓我能夠順利結束我的口試。

李彥鋒 謹誌

中華民國 107 年 7 月

論文名稱：應用三軸加速度感測器與 GPS 定位老人跌倒預測之研究

校所名稱：東海大學資訊管理研究所

畢業時間：2018 年 7 月

研究生：李彥鋒

指導教授：陳澤雄

論文摘要：

隨著科技的更迭以及日漸嚴重的人口老齡化問題，年長者之健康照護議題是近年來極需要被正視的問題。然而多數年長者之子女長年在外工作，無法照料老年人之生活起居，因此當年長者於家中跌倒或是其他緊急狀況發生時，並無人能夠給予及時的救援以及協助，若無法及時給予救助很有可能會延誤最佳治療時間，而釀成老年人不幸離世的意外，此狀況是人們所不樂見的。

針對此類現象，本研究目的為預測老年人跌倒的系統，通過智慧手錶上的三軸加速度計判斷老年人是否跌倒，幫助老年人在發生跌倒後，可以第一時間告知其家人或附近救治中心，如若老年人跌倒後還有意識，救治中心的醫師可以第一時間通過電話進行遠端醫療急救；若老年人失去意識，則智慧型手錶將撥打內建的緊急求救電話，併發送老年人的位置給附近的急救中心或醫院，以此保證老年人可以在第一時間內得到救治。本研究通過 Sensorlog 軟體一共收集了 2100 筆數據，其中間隔為 0.08S 為一筆，採用高層次模糊 Petri 網 (HLFPN) 來識別老年人的行為，包括正常行走，坐下和摔倒，通過 3 筆數據的模糊推導來分辨老年人在日常生活中的行為，以此來降低老年人跌倒的概率，為他們提供一個更安全的環境。

關鍵字：三軸加速度計、定位系統、跌倒預測、高層次模糊 Petri 網、遠端醫療

Title of Thesis: Research of Fall Prediction for Elderlies -Based on Triple Axis Acceleration Sensors and GPS Positioning

Name of Institute : Tunghai University, Graduate Institute of Information Management

Graduation Time: 07 / 2018

Student Name: Yanfeng Li

Advisor Name: Tzer- Shyong Chen

Abstract:

With the progress of the technology and the aging of the population, the elder's health state becomes the first priority to their children. As the physiological functions of the elderly are gradually degraded with age, many aged people will appear. The phenomenon of weakness in limbs often causes falls, and collisions, etc., which can cause health problems in the elderly. In the daily life of the elderly, because the children work hard all the year round, and the elderly themselves are reluctant to be sent into the nursing homes for rehabilitation, the elderly are basically all living alone. Therefore, as these problems happen without any person around the elderly, their health situation will be very dangerous. People are reluctantly to face these incidents.

Aim at this phenomenon, this study is mainly designed for the predict the fall of the elderly. The triaxial accelerometer which is equipped on the smart watch can be used to determine the physical condition of the elderly and inform their family members at time when the emergency circumstances have been confirmed. If the elderly people still have consciousness after the fall, the treatment center can call the remote medical emergency immediately.

Keywords: Three-axis Accelerometer, Positioning System, Fall Prediction, High-Level Fuzzy Petri Net, Remote Medical Care.

目錄

第一章 緒論	1
第一節、 研究背景	1
第二節、 研究目的	3
第二章 文獻探討	4
第一節、 遠端醫療照護	4
第二節、 步態分析	5
第三節、 信號向量幅度	6
第四節、 High-Level Fuzzy Petri Net.....	6
第五節、 模糊推理與隸屬函數	7
第六節、 定位系統	10
第三章 研究方法	14
第一節、 系統架構	14
第二節、 系統流程	15
第三節、 模糊推理假設與建立 HLFPN.....	17
第四章 實驗結果	18
第五章 結論與未來展望	27
第一節、 結論	27
第二節、 研究限制與未來展望	27
參考文獻	28

圖目錄

圖 1-1：人口結構變動趨勢圖	1
圖 1-2：總生育率變化圖	2
圖 2-1：人體摔倒時的 SVM 值	6
圖 2-2：HLFPN 模型	8
圖 2-3：iBeacon 特殊的 Data Format 數據包	11
圖 2-4：iBeacon 距離層級	12
圖 3-1：系統架構	14
圖 3-2：系統流程	16
圖 3-3：High-Level Fuzzy Petri Net	17
圖 4-1：SensorLogAPP 介面	18
圖 4-2：老年人正常行走時的 SVM 變化	19
圖 4-3：老年人正常行走時的 R 值變化	20
圖 4-4：老年人跌倒時的 SVM 值變化	20
圖 4-5：老年人跌倒時的 R 值變化	21
圖 4-5：老年人坐下時的 R 值變化	21
圖 4-7：老年人坐下時的 R 值變化	22

表目錄

表 2-1：HLFPN 的 8 元組	7
表 4-1：未知數定義表	19
表 4-2：隸屬函數	22

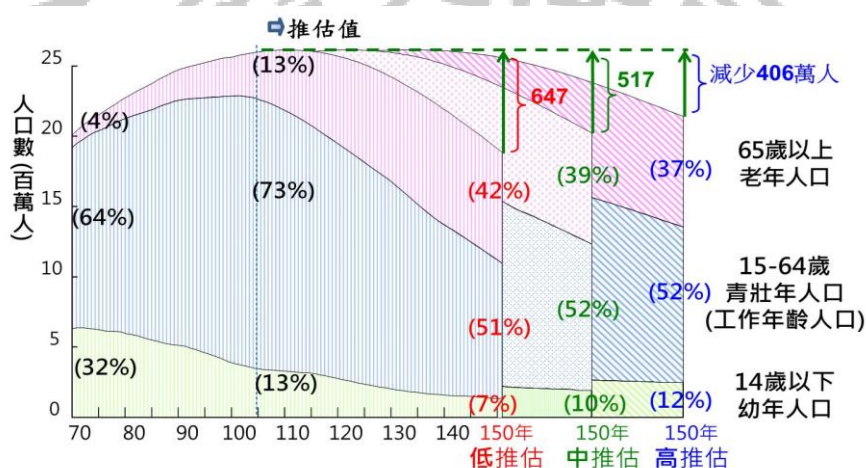


第一章 緒論

第一節、 研究背景

根據台灣內政部 106 年 3 月報告[1]，106 年 2 月底我國登記人口為 2354 萬 4189 人，其中老年人（65 歲以上）人口為 313 萬 9397 人，已達到 14%。根據聯合國定義及國家發展委員會 105 年推估，我國 107 年將邁入高齡社會（老年人口比率超過 7%），在未來的 50 年中，銀髮族的人口比例將有可能提高至 40%，如圖 1-1 所示。

圖 1-1：人口結構變動趨勢圖



近年來國人普遍晚婚的現象更是導致不少不婚不孕主義者的產生，如圖 1-2 所示。從民國 85 年至民國 105 年，台灣歷年出生率總體呈現下降趨勢，隨著醫療科技的進步，人均壽命持續增長使得老年人的比例逐漸升高。銀髮族比例的激增同時也帶來了許多社會問題，其中銀髮族的身體健康尤為讓人關注。根據歷年來內政部「老人生活狀況調查」比較發現，近二十年老人獨居或者只和配偶同居的比例從 25% 提高至 40%，老人和子女共同生活與居住的比例大幅降低，這都凸顯出老年人晚年的生活以及照顧品質有待提高，而現如今，伴隨科技的日新月異，也隨著時代的進步而進步，人均收入的提高也讓人們對於生活質量的要求越來越高，越來越多的科技產品被發明、生產用來提高人們的日常生活質量，因此本研究，希望通過智慧手

錶上的功能來提高獨居銀髮族的生活質量，以防止意外的發生。

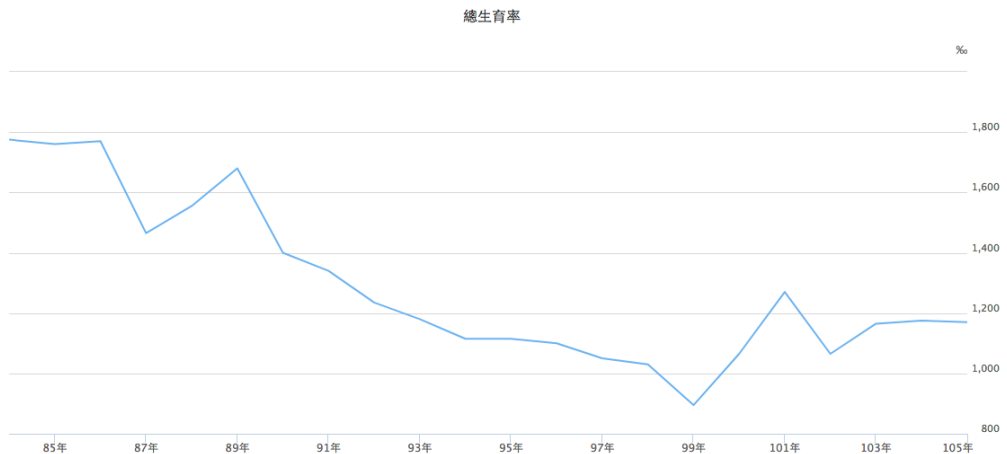


圖 1-2：總生育率變化圖

子女的工作因素使得家中的父母經常都獨自外出，因此在此情況下，若是老人不小心發生意外，年長者很有可能因為得不到及時的治療，而錯過最佳的治療時間導致最終死亡，此狀況是人們所不願意看到但又普遍存在的現象。因此，隨著智慧手錶的普及，即可將智慧手錶的跌倒預測功能以及 GPS 定位功能結合，有效的幫助人們解決這類問題，使沒有他人協助，在老人發生跌倒意外後能在第一時間讓他人得知其位置，盡快的得到治療。

此外，糖尿病患者具有疲乏、消瘦、虛弱並且伴有視力模糊，這類患者很容易在行走或運動時發生跌倒出現意外，所以本論文不僅適用於年長者，亦套用於患有部分疾病的病人隨身配戴，例如糖尿病等會導致人站立不穩等現象的疾病[2]。

洪健賢[3]目前台灣 65 歲以上的銀髮族已經達到了 252 萬人，而其比例佔了總人數的 11%，而那些長照機構、養老院等老年人的安養機構，只能安置約 6 萬人，因此多數年長者仍是在家中生活在家中，而大多數子女卻在外不能時常照顧老人。因此，本論文可以讓老年人在發生意外受傷時，在第一時間內獲得救助。

第二節、 研究目的

受到人口老齡化的影響，人們需要花費更多的時間照顧老人，但老人獨居的現象並不能得到更好的改善，因此論文的主要目的是利用近年來新興的智慧手錶及其相應功能，設計出一套跌倒預測系統，以解決獨居老人跌倒意外致死的問題，透過智慧手錶擁有的三軸加速度功能以及 GPS 定位功能，降低老人的意外風險發生。以下提出此系統之主要目的，共三項：

- (1) 通過三軸加速度計的數值，判斷智慧手錶攜帶者是否發生意外，而且此判斷能夠隨時隨地，不受其他外圍因素的影響進行數據的測量分析。
- (2) 當系統判定使用者跌倒時，利用智慧手錶內建的 GPS 定位服務，取得手錶使用者的位置。
- (3) 將 GPS 定位系統得到的位置資訊，通過簡訊、急救電話等方式，通知通訊錄中的親人或呼叫緊急求救。

此智為手表的操作方式簡單，不會造成年長者額外的負擔，其功能得以及時傳送數據並發出警告通知醫療機構。同時，圖形化的地圖資訊，也使得醫療機構的救助行動方便展開，可以有效減少老人意外致死率，提高老人的生活質量，讓老人的子女在外工作更加放心，減少照護老年人上的心理負擔。

第二章 文獻探討

第一節、遠端醫療照護

二十世紀 50 年代末，美國學者 Wittson 率先將電視系統應用於醫學，隨後美國不斷的有醫療學者將電子科技應用於醫學活動，並逐漸出現了 Telemedicine 一詞。而林孟輝的研究報告[4]中認為，遠端醫療一詞最早出現於上個世紀七十年代，意為通過使用資訊技術達到在遠距離，即可提高患者治癒效果的目的，例如遠端影像診斷、遠端會診等，對於遠端醫療雖沒有清楚的定義，但世界衛生組織採用了以下描述：「所有使用資訊和通信技術(ICT)交換有效資訊，進行疾病和損傷的診斷、治療和預防、研究和評估以及衛生保健服務，其中距離是一個重要因素，所有一切以推動個人及其社區的健康為目標。」蔡志汶 [5]將現代的遠端醫療分為兩大類，第一類是以發達的網路技術作為病人與醫生之間的溝通管道，第二類則是利用現代化的醫療設備，患者能夠在遠端自行量測生理資訊後，再將自身的生理資料回傳給醫師，方便醫師決策與判斷。本篇研究試圖引用第一類遠端醫療並應用於老人跌倒後的初步治療，通過網路等通信技術，使得跌倒後還有意識的老人可以做初步措施來防止傷痛的進一步惡化。

根據王鈞弘（2016）研究報告[6]中指出，引用遠端醫療具有多種優點：

- (1) 和傳統醫療相比，遠端醫療具有不受地理位置限制的優勢，僅需要透過發達的網路通信技術即可與醫師互動溝通，完成初步診斷。
- (2) 有效的減少成本和醫療時間。

利用遠端醫療可以輕鬆的達到患者與醫師的資源分享。由於遠端醫療較傳統醫療方式更能夠解決病患之問題，因此遠端醫療已經逐漸的成為當今社會主流，根據紐約的水岸遠距離醫療聯盟（Waterford Telemedicinepartners）2003 年的研究報告中

指出，1998 年全球遠端醫療的產值為 138 億美元，比 1997 年的遠端醫療產值增長了 70 億美元，並預估遠端醫療的產值會每年急速增長，並在 2010 年時[7]遠端醫療會佔據相關醫療行為之 15%。據臺灣衛生署報告中表示，臺灣的遠距醫療發展於 1995 年，由於臺灣以山區為多，因此遠距醫療用以解決山地等偏遠地區醫療資源不足的問題，並以照顧偏遠地區居民的生活健康為目的。為此國家推動“遠距醫療先導系統實驗計畫”，截止至現在年已有多家醫院參與此計畫。在本研究中通過智慧手錶（Apple Watch）針對銀髮族做跌倒預測，防止在無人照護情況下，銀髮族跌倒卻得不到及時救治的情況發生。在銀髮族發生跌倒意外後，智能手環（手機）將通過定位系統將消息與老人的位置以簡訊的方式通知其家人或自動撥打緊急求救電話，使得銀髮族可以在跌倒後第一時間內得到救治，防止意外發生。

第二節、步態分析

行走是人們目前每日生活必須會做的事情，同時，行走也是健康指標的一個重要部分。

Victor R. L. Shen (2017) [8]認為，步態分析是一種由電子設備測量的人類能力的量化參數，它包含了對人類行為的測量、描述以及評估。步態分析的結果是可以用於醫學評估的資料集，醫生可以通過這個資料集中的資料來評估疾病的嚴重程度。並認為變異量越低意味著神經肌肉控制越好，有越好的步態穩定性。

姜丹陽[9]認為，步行是人類運動的最基本方式，通過對步態的動作研究，有利於人們在人體運動規律方面有更深入的瞭解，也有利於人體運動障礙的治療和恢復，並將步態分析分為四種類型：1.步態的運動學分析 2.步態的動力學分析 3.正常步態分析 4.異常步態分析。其中異常步態分析即為人體由於遺傳、生病以及意外受傷等

其他因素，都有可能造成步態異常，導致步行週期中某環節發生改變而產生了步態改變，出現錯誤的步伐。本篇論文將利用對異常步態的分析，偵測出銀髮族是否於運動或行走時發生意外，使得銀髮族可以在第一時間得到治療救助。

第三節、 信號向量幅度

目前人們使用動態傳感器來檢測跌倒數據，其中，Liu 等人[10]利用信號向量幅度（SVM）來檢測是否發生異常布態，其方程式為：

$$SVM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

其中，x,y,z 分別為三軸加速度計上所收集到的數據集，當 SVM 值大於預定的定義值時，則可能是發生跌倒。但是當人體的劇烈運動時，例如：跳躍、奔跑等，其 SVM 值亦會高於 SVM 定義值，因此如果僅通過 SVM 值來預測人體跌倒，會存在很大的誤差導致預測錯誤。

因此劉鵬[11]提到，人類摔倒屬於一種短暫性的劇烈活動，身體加速度的 SVM 峰值會變得比較大，其值一般會超過 1.8，然而人體摔倒時，SVM 的值並非在摔倒的時間段內一直保持較大的峰值，而是如下圖 2-1 所示有所波動：

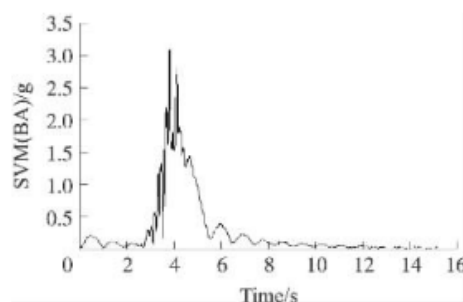


圖 2-1：人體摔倒時的 SVM 值

第四節、 High-Level Fuzzy Petri Net

Petri Net 是由 Carl Adam Petri 博士於 1962 年提出的，它是一種圖形和數學上的建模工具，同時它可以用來分析各種系統。但是，隨著資訊時代的進步，Petri Net 上的描述越來越複雜，因此學者陸續進行了擴展 Petri 網理論的研究。本文採用 Victor R.L. Shen 所提出的 High-Level Fuzzy Petri Net (HLFPN) [8]，它結合了 Petri 網和模糊理論的特點，可以用來表達模糊規則下的推理，其基本定義為一個 8 元組，如下表 2-1 所示：

表 2-1：HLFPN 的 8 元組[8]

HLFPN = (P, T, F, C, V, α , β , δ)	
$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, \dots, p_n\}$	一個有限的集合
$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, \dots, t_n\}$	一組有限的轉換
$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$	為流動關係，也是一組有限的弧，每個弧代表一組模糊集合（即模糊項）
$C = \{X, Y, Z\}$	一組有限的變量其中 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\}$ $Z = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_n\}$
$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$	一組有限的模糊真值集合，為前提和規則結果之間的模糊關係矩陣
$\alpha : P \rightarrow C$	一個關聯函數，從 P 映射到 C
$\beta : F \rightarrow [0,1]$	一個關聯功能
$\delta : T \rightarrow V$	一個關聯函數，從 T 映射到 V

第五節、 模糊推理與隸屬函數

Mohammad Ashfak Habib[12]等人使用了模糊生產規則提出的模糊推理方法，一般來說，模糊生產規則描述了先行詞和後續詞之間的模糊關係，假設 R 是一組模糊關係規則，其中 $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ ，第 i 個模糊生產規則 R_i 的一般形式如下所示： R_i ，如果 $d_j(X=A)$ ，那麼 $d_k(Y=B)$ ，否則 $d_w(Z=C) \dots (V)$ 。其中 X 為輸入的語言變數， Y 和 Z 為輸出的語言變數，同樣的， A 為輸入的模糊集合， B 和 C 為輸出的模糊集合，三者的模糊值之範圍都被限制為 $[0, 1]$ 。而 V 則表示前提和模糊生產規則的結果，其之間的模糊關係矩陣。

陳韋誠[13]舉例的模糊規則如下：

R1：如果溫度 (X_1) 很熱 (A_1) 同時天氣 (X_2) 是陰天 (A_2)，那麼濕度 (Y) 很高 (B)。

我們可以將上述模糊生產規則 R1 轉換為以下一階邏輯形式：

R1: 如果 $X_1(A_1)$ 和 $X_2(A_2)$ ，那麼 $Y(B)$ 。

圖 2-2 表述了 HLFPN 模型：

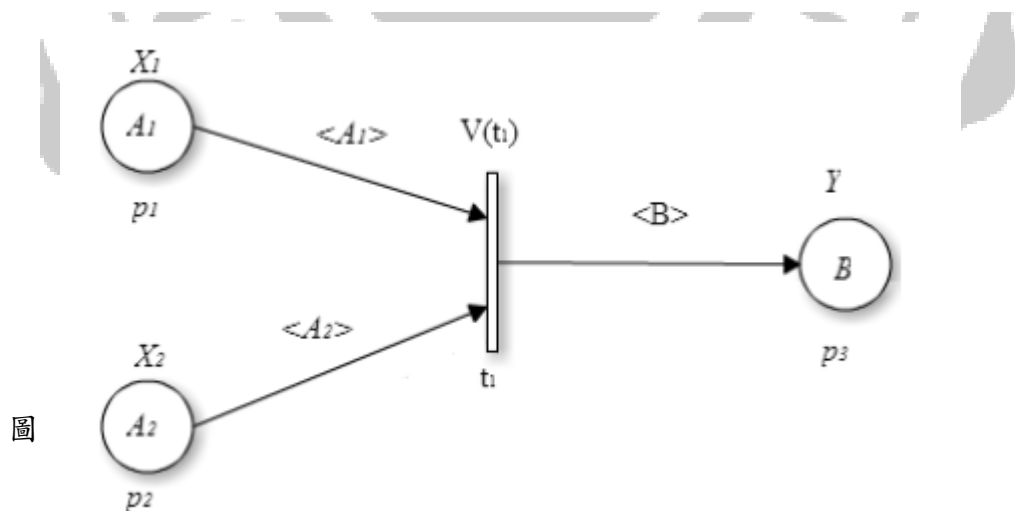


圖 2-2 High-Level Fuzzy Petri Net 模型

假定模糊集合 A_1 , A_2 和 B 如下所示：

$$A_1 = \frac{0.21}{a_{11}} + \frac{0.60}{a_{12}} + \frac{0.28}{a_{13}}$$

$$A_2 = \frac{0.13}{a_{21}} + \frac{0.79}{a_{22}} + \frac{0.40}{a_{23}}$$

$$B = \frac{0.29}{b_1} + \frac{0.76}{b_2} + \frac{0.16}{b_3}$$

我們可以得到先驗模糊集合 A , 如下所示：

$$\begin{aligned} A &= A_1 * A_2 = (0.21 \quad 0.60 \quad 0.28)^T \wedge (0.13 \quad 0.79 \quad 0.40) \\ &= \begin{bmatrix} 0.13 & 0.21 & 0.21 \\ 0.13 & 0.60 & 0.40 \\ 0.13 & 0.28 & 0.28 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

然後，先行詞和後續詞之間的模糊關係矩陣 $V_1(t_1)$, $V_2(t_2)$ 和 $V_3(t_3)$ 可以得到模糊生產規則 R_1 的結果，如下所示：

$$V_1(t_1) = \begin{bmatrix} 0.13 & 0.21 & 0.21 \\ 0.13 & 0.29 & 0.29 \\ 0.13 & 0.28 & 0.28 \end{bmatrix} \in A * B * b_1$$

$$V_2(t_2) = \begin{bmatrix} 0.13 & 0.21 & 0.21 \\ 0.13 & 0.60 & 0.40 \\ 0.13 & 0.28 & 0.28 \end{bmatrix} \in A * B * b_2$$

$$V_3(t_3) = \begin{bmatrix} 0.13 & 0.16 & 0.16 \\ 0.13 & 0.16 & 0.16 \\ 0.13 & 0.16 & 0.16 \end{bmatrix} \in A * B * b_3$$

最廣泛使用的模糊推理方法是最大最小組合推斷假設輸入模糊集合 A_1 和 A_2 如下所示：

$$A_1' = \frac{0.11}{a_{11}} + \frac{0.81}{a_{12}} + \frac{0.26}{a_{13}}$$

$$A_2' = \frac{0.28}{a_{21}} + \frac{0.91}{a_{22}} + \frac{0.39}{a_{23}}$$

經運算後可得到

$$A_1 \circ V_1(t_1) = (0.11 \ 0.81 \ 0.26) \circ V_1(t_1) = (0.13 \ 0.29 \ 0.29)$$

$$A_1 \circ V_2(t_1) = (0.11 \ 0.81 \ 0.26) \circ V_2(t_1) = (0.13 \ 0.60 \ 0.40)$$

$$A_1 \circ V_3(t_1) = (0.11 \ 0.81 \ 0.26) \circ V_3(t_1) = (0.13 \ 0.16 \ 0.16)$$

最後得到：

$$\begin{aligned} B' &= (0.28 \ 0.91 \ 0.39) \circ \begin{bmatrix} 0.13 & 0.13 & 0.13 \\ 0.29 & 0.60 & 0.16 \\ 0.29 & 0.40 & 0.16 \end{bmatrix} \\ &= (0.29 \ 0.60 \ 0.16) \\ &= \frac{0.29}{b_1} + \frac{0.60}{b_2} + \frac{0.16}{b_3} \end{aligned}$$

以上即為模糊推理的過程。

隸屬函數 (membership function) 也稱為模糊元函數，是模糊集中會用到的函數，是一般集中指示函數的一般化。指示函數可以說明一個集中的元素是否屬於特定子集合。一元素的指示函數的值可能是 0 或是 1，而一元素的隸屬函數會是 0 到 1 之間的數值，表示元素屬於某模糊集合的「真實程度」(degree of truth)。

第六節、定位系統

陳家凡等人[14]認為 GPS 衛星定位的原理是地球四周環繞的衛星能夠將訊號回傳至地球，再利用交叉連集算出目的地，最初出現此種應用在於汽車導航。使用者第一次使用 GPS 時，無論是汽車導航或是智慧型手機，皆需要花費些許時間定位與設定，若是天空中有遮蔽物，就會有定位困難的情形發生。

A-GPS 定位的使用，使用者能夠預先載入星曆資料，即能夠加速 GPS 的初次定位速度。目前所遇到的問題在於一般車用導航機都不具備網路連線能力，因此無

法事先下載星曆資料，即使有 A-GPS 功能也無法使用。

手機基地臺定位：此方式是將偵測到的手機基地臺，比對資料庫以及信號強度，交叉連集出所在地的方法。因為需要資料庫中的查詢，需要網際網路的連線，行動載具也必須為智慧型手機或者能夠插入手機 SIM 卡的平板電腦，才能夠成功定位。

WiFi 定位：偵測附近的無線網路基地臺 (WiFi Access Point) 的 MAC 地址，比對資料庫中該 MAC 地址的座標，並且交叉連集出目的地。與手機定位臺相同的是兩者都必須有網路連線做資料庫查詢才能完成定位。另外，GPS 定位在過程中出現的各種誤差根據來源可分為三類：與衛星有關的誤差、與信號傳播有關的誤差及與接收機有關的誤差。

iBeacon 定位：此設備是由硬幣電池或外部電池提供能量的低功耗藍牙 (Bluetooth LowEnergy,BLE)，目前適用於 iOS version 7.0 和 Android version 4.3 系統。它會發送特殊的資料格式數據包[15]如圖 2-3：

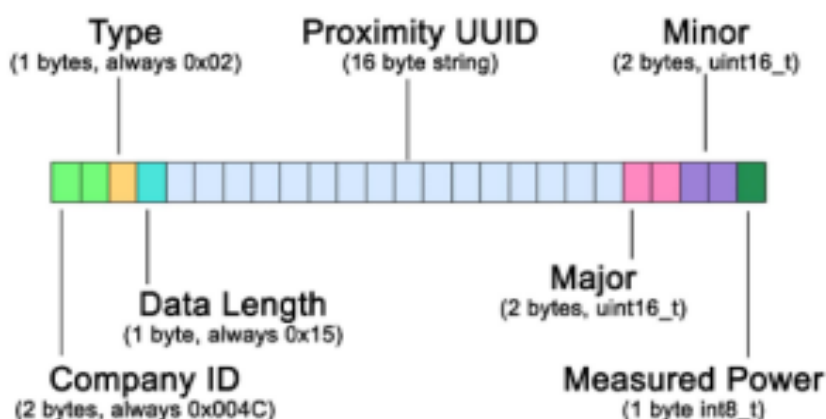


圖 2-3：iBeacon 特殊的 data format 封包[15]

上圖為 iBeacon 特殊的資料格式封包，它以公司 id 的兩個 byte 為開頭，隨後跟著 1byte 的類型以及 1byte 的數據長度，這四個字節為固定的，無法更改。接下來

的 16byte 為臨近 UUID 用於識別 iBeacon，Major 和 Minor 的數值，是用來識別或分組，最後一個 byte 為 Measured Power，用於接收數據以及計算 iBeacon 與設備之間的距離。iBeacon 的工作原理是：iBeacon 會向周圍的設備發送包含有可接收的信號強度指示（Received Signal Strength Indication, RSSI）的廣播訊號，使用者可以通過自己的 iOS 設備或 Android 設備來接收附近 iBeacon 基地的廣播訊號，通過識別訊號來判斷目標目前的所在位置。接收到的 RSSI 訊號經過運算可以大致分為三種：非常靠近、近以及遠。[16]其中非常靠近為 1 公尺以內，近為 1 至 3 公尺，遠為 3 公尺以上至讀取範圍如圖 2-4 所示：

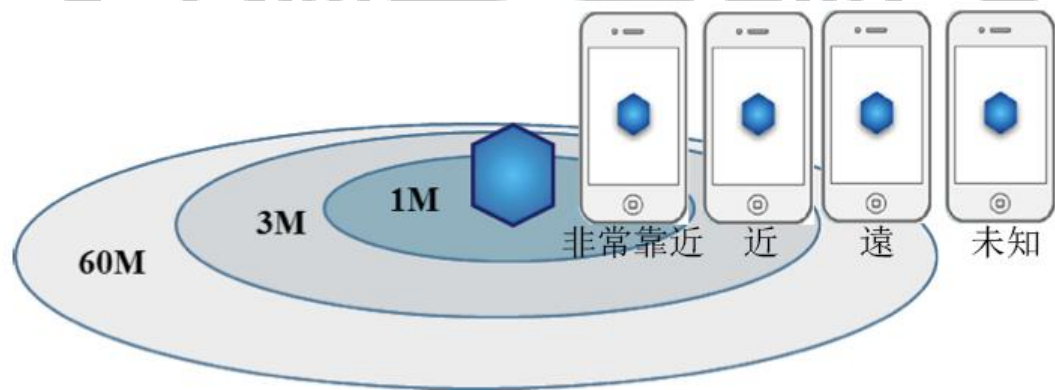


圖 2-4：iBeacon 距離層級[16]

如果在 iBeacon 的發射器和讀取器之間有障礙物，會導致接收訊號的強度，造成定位不準確的現象，因此，iBeacon 技術會結合定位演算法來提高定位的精確度。

李永仁（2015）的研究報告[17]中提到 iBeacon 的三角定位（Triangulation），此方法利用了三角形的幾何特性，具體過程為：首先在需要通過測量得到未知位置的物體或人上部署發射器，接著再在 RSSI 訊號接受範圍內部署三臺讀取器，通過三臺讀取器接收到的 RSSI 訊號強度與實際距離的比較得出關係，然後通過三角形的特性計算出發射器的具體位置。目前蘋果的定位系統是使用 GPS 定位系統，

iBeacon 雖然是蘋果公司所研發的定位技術，但目前並沒有使用在蘋果中，因此在本研究中選用 GPS 定位系統來做為判斷老人跌倒後所用來定位的技術。但是基於 iBeacon 和 GPS 定位的精確度差異，iBeacon 更適用於室內，因此將 iBeacon 與三軸加速度計結合用於更小範圍內的預防老人跌倒系統，也會是一個可發展的方向。



第三章 研究方法

第一節、系統架構

本系統架構圖如下圖 3-1 所示，使用者通過 Apple Watch 中的三軸加速度計測得行走、坐下、跌倒等行為時的數據，判斷出使用者是否跌倒，如若發生跌倒，手錶將通過 GPS 定位將使用者的確切位置通過 E-mail 或其他方式通知親人或醫院，如果老年人仍保持意識，醫師可通過電話可以判斷老年人的傷勢，進行第一步診斷使得老年人可以在第一時間內擺脫危險。

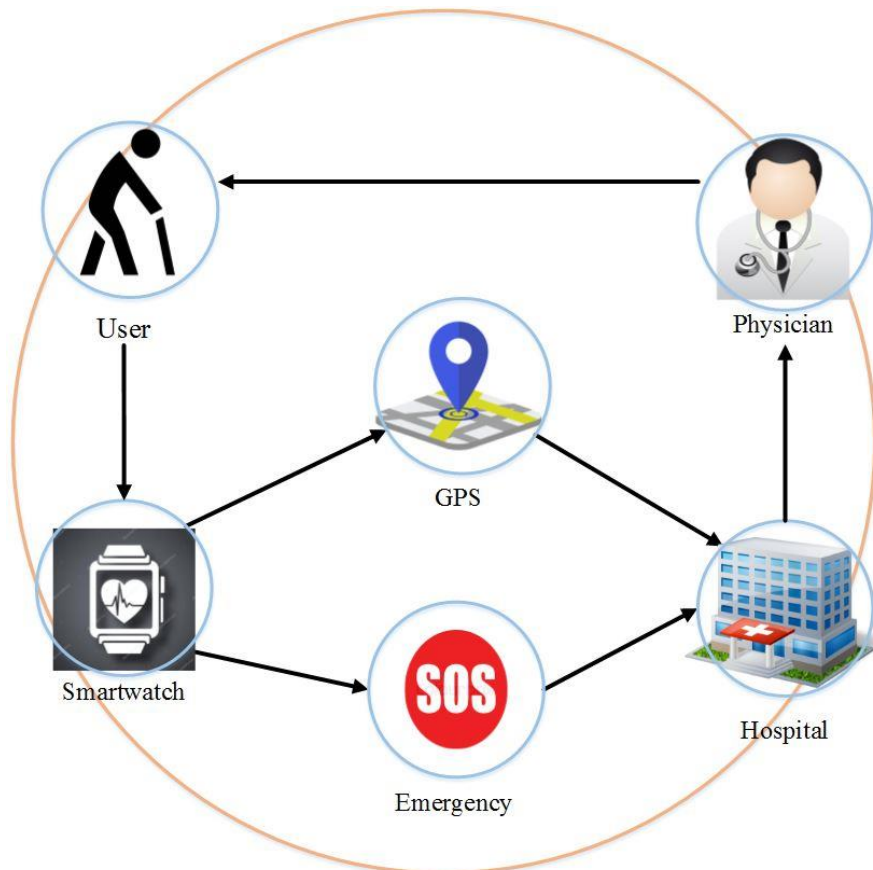


圖 3-1：系統架構

在本研究中，應用於隸屬函數的有信號向量幅度、旋轉角度以及頻率三個參數。

其中旋轉角度 $R = \frac{|Y_i|}{\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}}$ ， X_i 與 Y_i 分別為 X 軸和 Y 軸上的加速度值。當人體在奔

跑時，其步頻通常超過 3hz，所以如果在此期間內，僅有一個值超過預定值，即判

定為跌倒狀態，反之如有兩至三個，即判定為跑步狀態，而非跌倒狀態。此公式中每一項參數都被區分為低、中、高三種類型。R 值被設置在 0 和 10 之間 F 值被設置在 1 和 10 之間。但是由於如上定義的等級，變數的範圍設置在 0 和 1 之間，因此輸入參數的值必須在它們之前轉換為 0 和 1 之間的值被代入規則庫。 α 、 β 和 γ 分別表示 SVM，R 和 F，其中 H，M 和 L 分別表示“高”，“中”，和“低”。

第二節、 系統流程

本研究通過 AppleWatch 上的三軸加速度計獲得信號向量幅度，頻率以及身體旋轉角度，通過 HLFPN 的模糊推理達到銀髮族跌倒預測，若判斷為是跌倒狀態，則通過簡訊方式將銀髮族的定位發送至其家人或醫療機構尋求幫助。如下圖 3-2 所示：

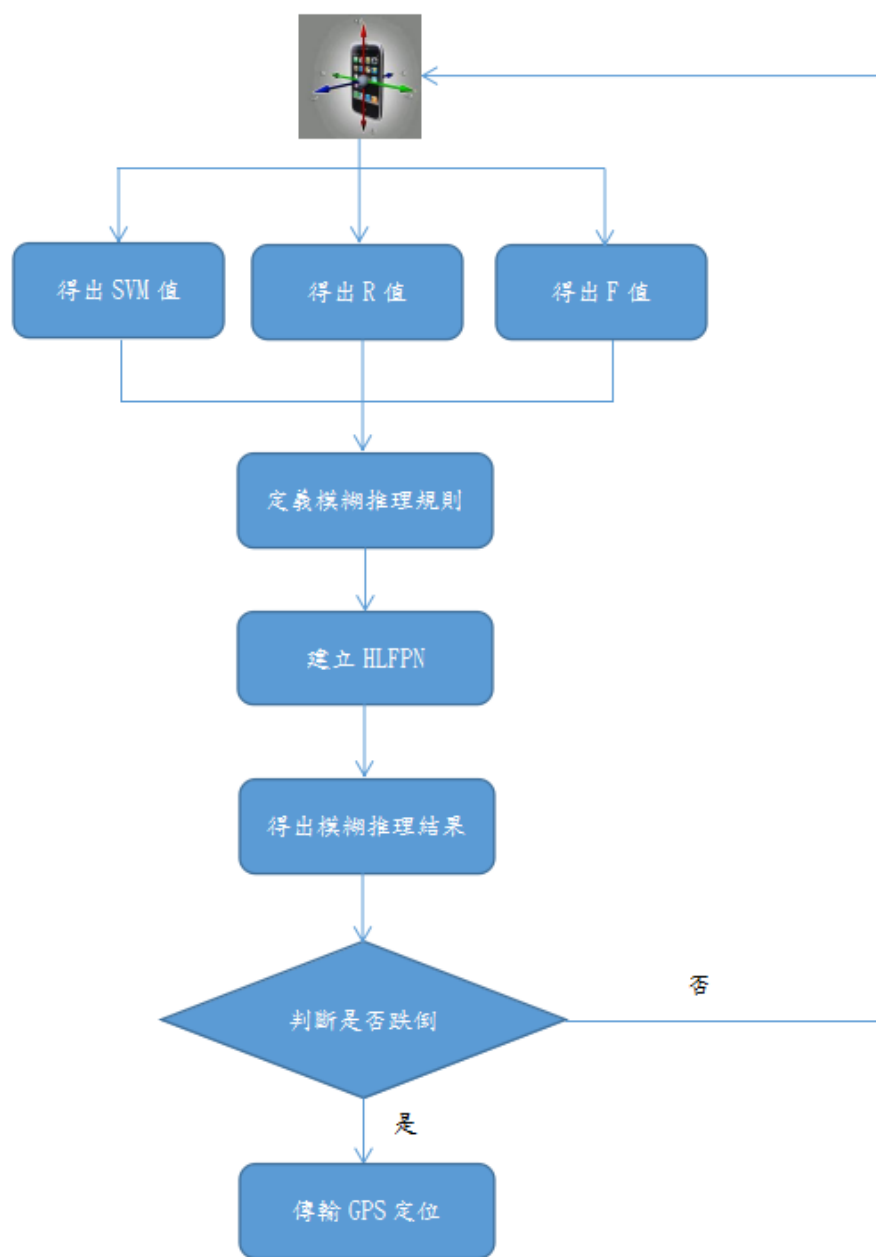


圖 3-2：系統流程

第三節、 模糊推理假設與建立 HLFPN

根據前面定義的模糊集及其相應的隸屬度等級，將每個輸入參數導入到模糊器，並計算技術指標以獲得每個模糊集的隸屬度。根據輸入參數的大小，可以將其轉換為 If ... then ... 語句以建立規則庫。假設 SVM, F 和 R 是模糊項的輸入語言變數：高 (H)，中 (M) 和低 (L)。此外，本節假定決策 (R) 是具有模糊項的輸出語言變數：危險 (DG)，坐下 (S) 和行走 (W)。模糊生產規則之定義如下：

R1：如果 SVM=L，R=L，F=M，那麼 R=W.

R2：如果 SVM=M，R=L，F=L，那麼 R=S.

R3：如果 SVM=H，R=H，F=L，那麼 R=DG.

並將模糊規則轉化為 HLFPN 模型如下圖 3-3 所示：

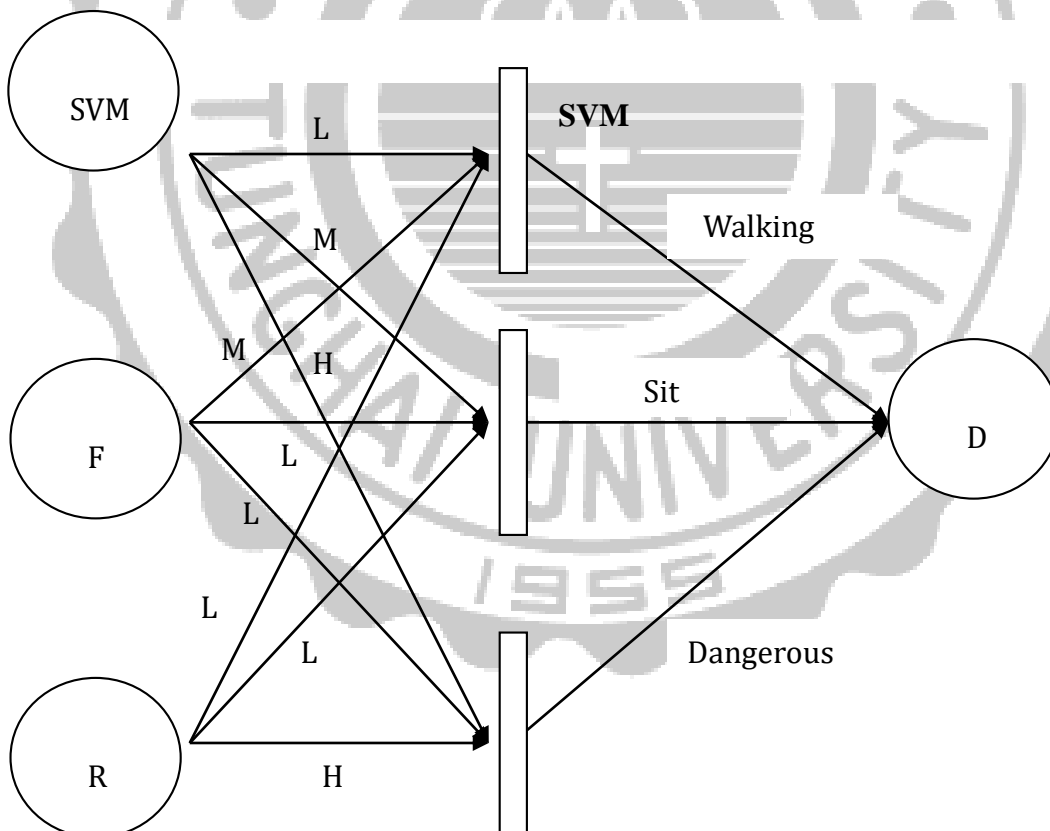


圖 3-3：High-Level Fuzzy Petri Net

第四章 實驗結果

本研究獲取 XYZ 三軸加速度的方法是利用 SensorLog APP 來獲取 IOS Core Motion Framework (感測器數據庫) 中的數據，SensorLog APP 的使用介面如圖 4-1 所示：



圖 4-1：SensorLog APP 介面

通過針對三軸加速度值進行測量，模擬老年人走路、坐下、跌倒三種情形，獲得三筆 CSV 格式的資料，並將這些資料進行模糊推理，其中的函數定義如下表 4-1：

表 4-1：未知數定義表

SVM	信號向量幅度
R	旋轉角度
F	頻率
α	代表 SVM 的數值其中 $\alpha_l, \alpha_m, \alpha_h$ 分別代表低值、中值、高值
β	代表 R 的數值其中 $\beta_l, \beta_m, \beta_h$ 分別代表低值、中值、高值
γ	代表 F 的數值其中 $\gamma_l, \gamma_m, \gamma_h$ 分別代表低值、中值、高值

獲得的資料進行匯整成圖，當老年人行走時的資料如圖 4-2 和圖 4-3 所示：

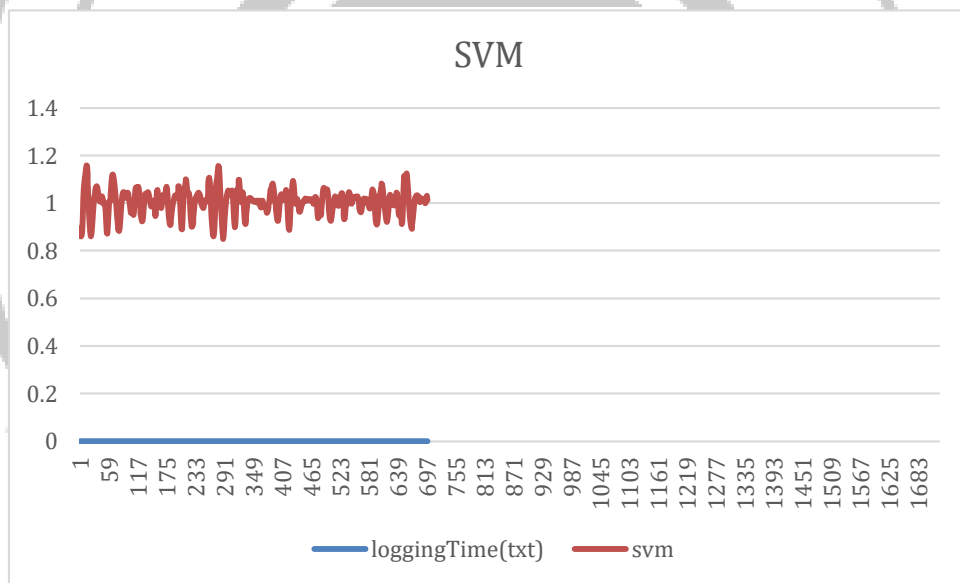


圖 4-2：老年人正常行走時的 SVM 變化

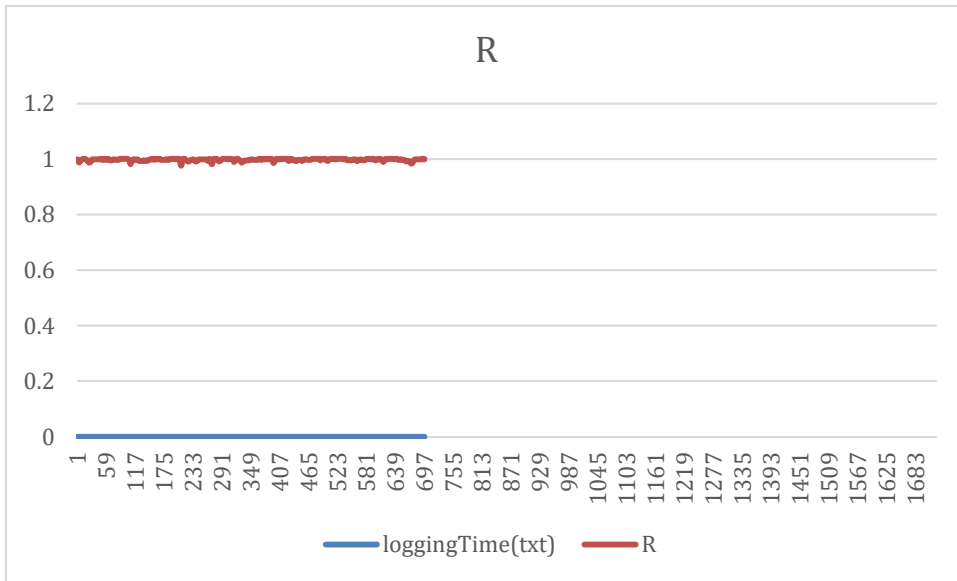


圖 4-3：老年人正常行走時的 R 值變化

當老年人跌倒時的資料如圖 4-4 和圖 4-5 所示：

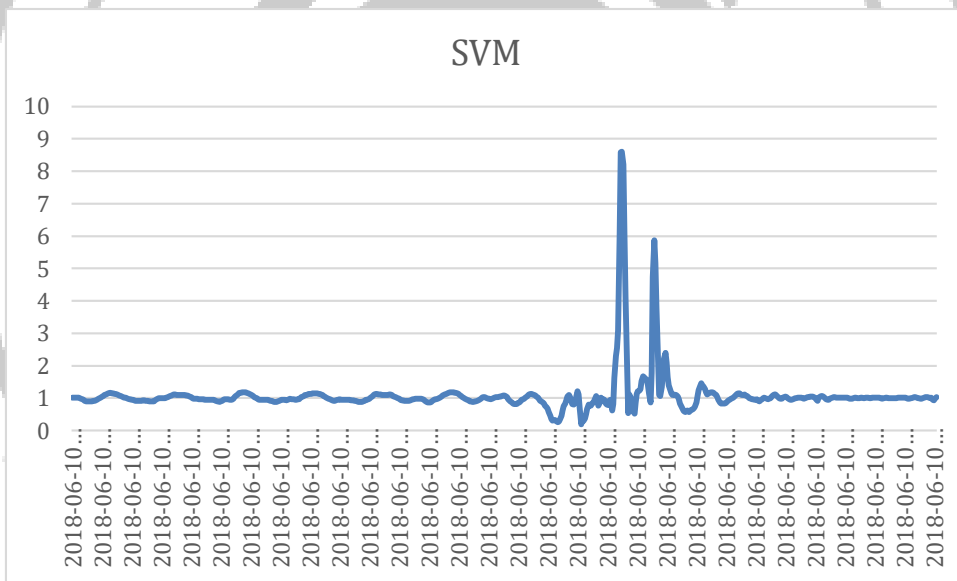


圖 4-4：老年人跌倒時的 SVM 值變化

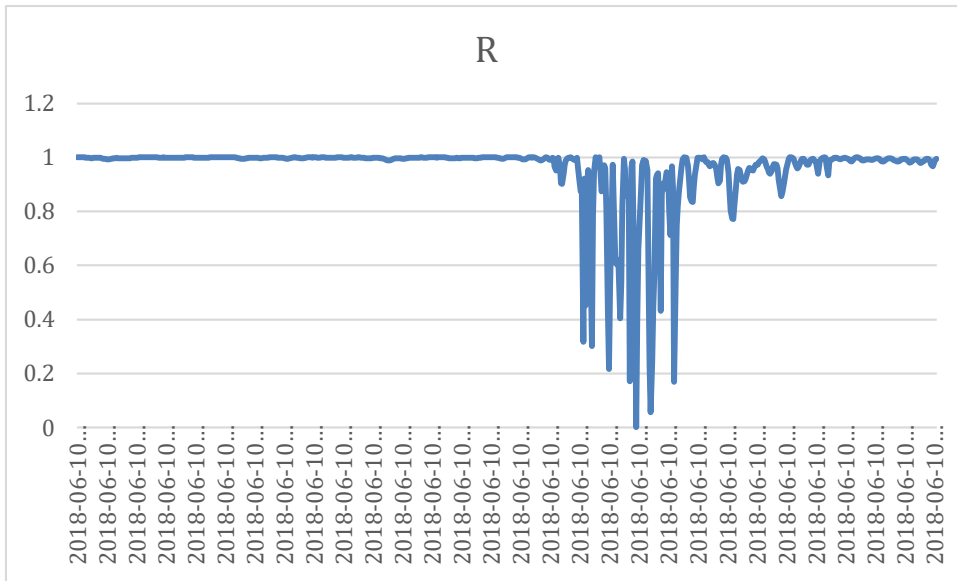


圖 4-5：老年人跌倒時的 R 值變化

而當老年人坐下時的資料如圖 4-6 和圖 4-7 所示：

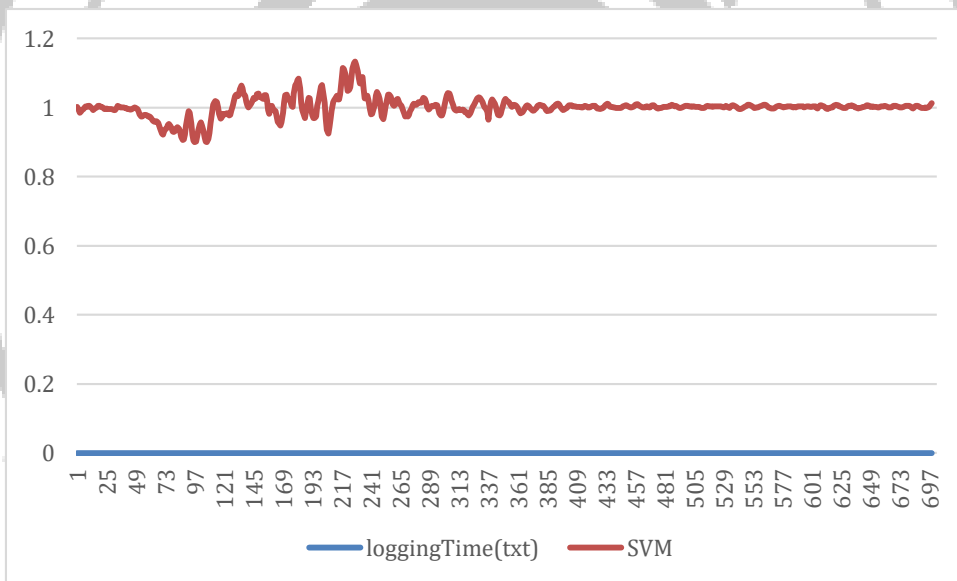


圖 4-6：老年人坐下時的 SVM 值變化

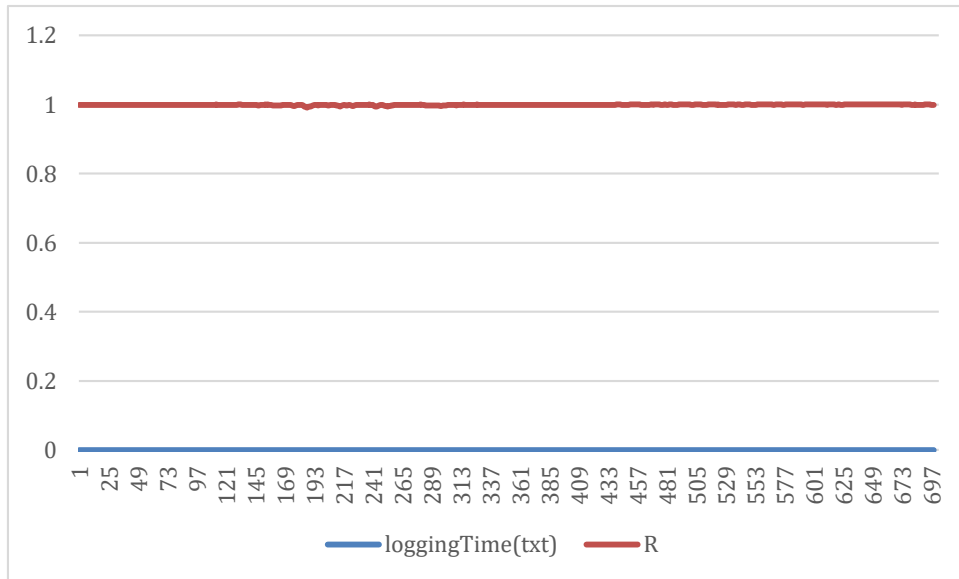


圖 4-7：老年人坐下時的 R 值變化

通過以上的資料我們將其中的資料分別定義進低中高三個級別的隸屬函數中如表 4-2 所示：

表 4-2：隸屬函數

	low		median			High	
SVM	0.8	1.2	1	2	3	2.5	8
R	0	0.2	0.1	0.5	0.9	0.7	1
F	1	3	2	5	7	6	8

$$\alpha_H = \begin{cases} 1 & x \geq 8 \\ \frac{1}{6}(x-3) & 2.5 \leq x \leq 8 \\ 0 & x \leq 2.5 \end{cases}$$

$$\alpha_M = \begin{cases} 1 & x \geq 3 \\ \frac{-1}{6}(x-3) & 2 \leq x \leq 3 \\ \frac{1}{6}(x-1) & 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & x \leq 1 \end{cases}$$

$$\alpha_L = \begin{cases} 1 & x \geq 1.2 \\ -\frac{1}{3}(x-1.2) & 0.8 \leq x \leq 1.2 \\ 0 & x \leq 0.8 \end{cases}$$

$$\beta_H = \begin{cases} 1 & x \geq 1 \\ \frac{1}{7}(x-1) & 0.7 \leq x \leq 1 \\ 0 & x \leq 0.7 \end{cases}$$

$$\beta_M = \begin{cases} 1 & x \geq 0.9 \\ -\frac{1}{3}(x-0.7) & 0.5 \leq x \leq 0.9 \\ \frac{1}{3}(x-0.1) & 0.1 \leq x \leq 0.5 \\ 0 & x \leq 0.1 \end{cases}$$

$$\beta_L = \begin{cases} 1 & x \geq 0.1 \\ -\frac{1}{5}(x-0.2) & 0 \leq x \leq 0.2 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$$

$$\gamma_H = \begin{cases} 1 & x \geq 8 \\ -\frac{1}{3}(x-8) & 6 \leq x \leq 8 \\ 0 & x \leq 6 \end{cases}$$

$$\gamma_M = \begin{cases} 1 & x \geq 7 \\ -\frac{1}{2}(x-7) & 5 \leq x \leq 7 \\ \frac{1}{2}(x-2) & 2 \leq x \leq 5 \\ 0 & x \leq 2 \end{cases}$$

$$\gamma_L = \begin{cases} 1 & x \geq 3 \\ -\frac{1}{2}(x-3) & 1 \leq x \leq 3 \\ 0 & x \leq 1 \end{cases}$$

通過將所獲得的 SVM、R、f 值離散化獲得三組模糊集合，如下表示：

R_1 的模糊集合如下為

$$SVM_L = \frac{0.2}{svm_{ll}} + \frac{0}{svm_{lm}} + \frac{0}{svm_{lh}}$$

$$R_L = \frac{0.1}{R_{ll}} + \frac{0}{R_{lm}} + \frac{0}{R_{lh}}$$

$$F_M = \frac{0.2}{F_{lm}} + \frac{0}{F_{ll}} + \frac{0}{F_{lh}}$$

R_2 的模糊集合如下為

$$SVM_M = \frac{0}{svm_{ll}} + \frac{0.4}{svm_{lm}} + \frac{0}{svm_{lh}}$$

$$R_L = \frac{0}{R_{lm}} + \frac{0.1}{R_{ll}} + \frac{0}{R_{lh}}$$

$$F_L = \frac{0}{F_{lm}} + \frac{0.4}{F_{ll}} + \frac{0}{F_{lh}}$$

R_3 的模糊集合如下為

$$SVM_H = \frac{0}{svm_{ll}} + \frac{0}{svm_{lm}} + \frac{1}{svm_{lh}}$$

$$R_H = \frac{0}{R_{ll}} + \frac{0}{R_{lm}} + \frac{1}{R_{lh}}$$

$$F_L = \frac{0}{F_{ll}} + \frac{0}{F_{lm}} + \frac{0.4}{F_{lh}}$$

那麼根據這三組模糊離散化後的數據可以得出如下的模糊關係矩陣：

$$\begin{aligned} R_1 &= SVM_L * R_L * F_M \\ &= ((0.2 \ 0 \ 0)^t * (0.1 \ 0 \ 0))^t * \begin{bmatrix} 0.4 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.4 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_2 &= SVM_M * R_M * F_L \\ &= ((0 \ 0.4 \ 0)^t * (0 \ 0.1 \ 0))^t * \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$R_3 = SVM_H * R_H * F_L$$

$$= ((0 \ 0 \ 1)^t * (0 \ 0 \ 1))^t * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0.4 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0.4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 \end{bmatrix}$$

輸入數據模式如下：

$$SVM' = \frac{0.1}{svm_l} + \frac{0.3}{svm_m} + \frac{0.7}{svm_h}$$

$$R' = \frac{0.37}{r_l} + \frac{0.43}{r_m} + \frac{0.67}{r_h}$$

$$F' = \frac{0.1}{f_l} + \frac{0.25}{f_m} + \frac{1}{f_h}$$

進行轉換後：

$$D_1' = SVM' * R_1 * R' * F'$$

$$= [0.1 \ 0.3 \ 0.7] * \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.37 & 0.43 & 0.67 \\ 0.37 & 0.43 & 0.67 \\ 0.37 & 0.43 & 0.67 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.1 & 0.25 & 1 \\ 0.1 & 0.25 & 1 \\ 0.1 & 0.25 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= [0.1 \ 0 \ 0]$$

$$D_2' = SVM' * R_2 * R' * F'$$

$$= [0.1 \ 0.3 \ 0.7] * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.37 & 0.43 & 0.67 \\ 0.37 & 0.43 & 0.67 \\ 0.37 & 0.43 & 0.67 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.1 & 0.25 & 1 \\ 0.1 & 0.25 & 1 \\ 0.1 & 0.25 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= [0 \ 0.1 \ 0]$$

$$D_3' = SVM' * R_3 * R' * F'$$

$$= [0.1 \ 0.3 \ 0.7] * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.37 & 0.43 & 0.67 \\ 0.37 & 0.43 & 0.67 \\ 0.37 & 0.43 & 0.67 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.1 & 0.25 & 1 \\ 0.1 & 0.25 & 1 \\ 0.1 & 0.25 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= [0 \ 0 \ 0.4]$$

最後得出的模糊推理結果如下：

$$D = D_1' \cup D_2' \cup D_3' = \frac{0.1}{d_1} + \frac{0.1}{d_2} + \frac{0.4}{d_3}$$

從中可以發現如果應用極大值去模糊化的方法，則實際運算值可以計算如下：

因為 D_3 具有最大隸屬度，所以這種情況被確定為“跌倒”。



第五章 結論與未來展望

第一節、結論

通過上述的模糊推理結果，本研究的貢獻包括：

- (1) 發現來自異常步態數據集的警告消息，以便發出報警信號。
- (2) 提供較高的準確率。
- (3) 提前預測跌倒情形之發生。
- (4) 利用智慧型手錶自帶的 GPS 定位系統將老年人的位置發送至附近的診所、醫院或急救中心。

跌倒是造成老年人死亡的關鍵原因之一。老年人會跌倒的主要原因在於其生理機能的降低或喪失，導致四肢平衡不穩定。本論文通過對步態數據集的分析，提出了一種跌倒預測系統。因此，在 HLFPN 中實現了跌倒預測系統。

第二節、研究限制與未來展望

由於智慧型手錶的 GPS 定位範圍較為廣泛，有時候可能無法準確定位到老年人位於建築物中的某個房間或某個角落，因此可以考慮開發定位更加準確的功能來提高測試的準確率。其次，由於老年人在跌倒後可能會由於跌到方式的不同例如：正面跌到、側面跌到、向後跌到等方式，導致 SVM、R 兩個數據的不同，還會存在些許誤差，導致跌倒預測系統的誤判，在跌到預測系統部分還需要更多的實驗數據來提高其精確度，確保日常生活中每次老年人跌到都能精準偵測。

參考文獻

- [1] 中華民國內政部 (2017) , <人口結構變動> , 來源 :
<https://www.moi.gov.tw/stat/node.aspx?sn=6022> , 造訪日期 : 2018 年 3 月。
- [2] 許樟榮(2001), 糖尿病足病變診斷與治療, 中國糖尿病染誌, 第三期, 第 180-183 頁。
- [3] 洪健賢 (2013) , 《無線感測網路在遠距居家照護應用置平臺設計》, 東海大學電機工程學碩士論文, 未出版。
- [4] 林孟輝 (2013) , 《遠距照護服務系統應用於社區醫院門診病患之評估與研究》, 國立中山大學醫務管理碩士學位學程碩士論文, 未出版。
- [5] 蔡志汶 (2011) , 《整合無線通訊與網路技術之生理訊號監測系統研究》, 國立中正大學碩士論文, 未出版。
- [6] 王鈞弘 (2016) , 《連鎖型動物醫院照護管理系統之研究》, 東海大學資訊管理研究所碩士論文, 未出版。
- [7] 楊志良 (2010) , 《我國長期照護現況與展望》, *研考雙月刊*, 第 277 期, 第 86-91 頁。
- [8] Victor R.L.Shen, (2017) .A Novel Fall Prediction System on Smartphones, *IEEE SENSORS JOURNAL*, 17, 1865-1871. doi: 10.1109/JSEN.2016.2598524
- [9] 姜丹陽 (2016 年 6 月) , 人體步態的生物力學特徵與步態分析, *體育時空*, 第五期, 第 56-62 頁。
- [10] C.H. Liu et al.(2011). A fall detection system using accelerometer and gyroscope, Master Thesis, Tatung University, Taipei, unpublished.
- [11] 劉鵬, 盧譚城, 呂願願, 鄧永莉, 陸起湧 (2014) , 基於 MEMS 三軸加速度感測器的摔倒檢測, *傳感技術學報*, 第 27 卷, 第四期, 第 570-574 頁。

- [12] Mohammad Ashfak Habib ,(2014). Smartphone-based solutions for fall detection and prevention: Challenges and open issues, *Sensors*, 14, 7181–7208. doi: 10.3390/s140407181
- [13] 陳韋誠(2015)，《應用高階模糊派翠網路與智慧型手機於跌倒預測之研究》，國立臺北大學資訊工程學系碩士論文，未出版。
- [14] 陳家凡，林志軒，鄭任軒（2015），《智慧型手機運用 GPS 定位追蹤之探討》，市立海青工商。
- [15] Mr.SejulA.Thakkarl, Mr.SunilPatel, Mr.BrijeshKamani,r, (2016). iBeacon:Newly Emerged Technology for Positioning and Tracking in Indoor Place, *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 5, ,161-164. doi:10.17148/IJARCCE.2016.5341
- [16] 洪健銘 (2016)《以 RFID 及 iBeacon 技術為基礎的銀髮者定位系統》，朝陽科技大學資訊與通訊系碩士論文，未出版。
- [17] 李永仁(2014)，《應用 iBeacon 定位技術結合巨量資料分析於購物推薦服務》，台北科技大學工業工程與管理系碩士論文，未出版。