

# 使用無線穿戴式感測器之跌倒偵測系統

吳鴻志\* 呂穹恩

樹德科技大學資訊工程系

jimwu@stu.edu.tw

## 摘要

本論文將三軸加速度計與陀螺儀結合之感測器，配置於人體胸部與右腰部，作為快速判斷跌倒事故，並分析傷患跌倒於何種方向，能協助瞭解其跌倒傷勢。本研究基於 ZigBee 環境，以取樣速率 620Hz 傳送無線訊號，並針對向前跌倒、向右跌倒、及向左跌倒，實作 20 次跌倒測試，根據 SVM 公式以人力分析各感測器之三軸特徵值，最後依均分閾值的方式，得出各特徵軸閾值，將閾值作為跌倒判斷之參數，能準確地判斷跌倒三軸方向。實驗結果顯示：向前倒之胸部和腰右側的角速度，有較大的軸向為 -X 軸和 -Z 軸，加速度則是 -Z 軸和 -X 軸。向右倒之胸部及腰右側的角速度，則有較大的軸向為 +Z 軸和 -X 軸，加速度則是 +X 軸和 -Z 軸。向左倒之胸部與腰右側的角速度，較大的軸向為 -Z 軸和 +X 軸，而加速度則是 -X 軸和 +Z 軸。本論文所提出之特徵軸閾值判斷法，向前跌倒之胸部和腰部感測器分別達 75% 和 100% 的準確率；而向右跌倒之胸部與腰部感測器準確率皆達 100%；向左跌倒之胸部和腰部感測器分別達 100% 和 65% 的準確率。而胸部與右腰部之感測器聯合偵測，分別判斷向前跌倒、與向右跌倒，皆能達到 100% 的準確率，而向左跌倒，則有 95% 的準確率。本論文提出之跌倒偵測系統，以無線穿戴式感測器判斷跌倒方向，對於跌倒事件的救護，將能提供跌倒方向資訊，以協助了解其傷勢之影響。

**關鍵詞：**三軸加速度計、陀螺儀、訊號向量幅度。

## ABSTRACT

In this paper will combine tri-axis accelerometer and gyroscope sensor, and disposed in the body of the chest and right side waist, as a quick to judge fall accident, also analysis casualty falls on what direction, and help to understand its fall injuries. This study is based ZigBee environment to transmit wireless signals by the sampling rate of 620Hz, against human body to do fall forward, fall right, and fall left, implement the fall of 20 tests, according to SVM formula, with via human to analyze the tri-axis characteristic values of sensor, finally according to the way of equipartition threshold, obtained each feature axis threshold, the threshold as a parameter to judge the fall, can accurately determine the fall tri-axis direction. The experimental results showed: Forward fall angular velocity of the chest and right side waist, have a greater axial is -X axis and -Z axis, and acceleration is

the-Z axis and -X axis. Right fall angular velocity of the chest and right side waist, have a greater axial is +Z axis and -X axis, and acceleration is the +X axis and -Z axis. Left fall angular velocity of the chest and right side waist, have a greater axial is -Z axis and +X axis, and acceleration is the -X axis and +Z axis. In this paper is proposed the features axis threshold judge of method, forward fall of chest and waist sensors, respectively achieve 75% and 100% accuracy; and the right fall of chest and waist sensors' accuracy all are achieve 100%; left fall of chest and waist sensors, respectively achieve 100% and 65% accuracy. The chest and right side waist of the combined detection sensors, respectively were to judge to fall forward and right fall, are able to achieve 100% accuracy rate, while left fall there is a 95% accuracy rate. In this paper the proposed fall detection system, by wearable wireless sensors to judge the direction of fall, for fall events for the rescue, will provide fall direction information to help understand the impact of their injuries.

**Keywords:** Tri-axis Accelerometer, Gyroscope, Signal Vector Magnitude.

## 1. 前言

目前常見的跌倒偵測方式，大多是以陀螺儀、及三軸加速度計或是雙軸加速度計，以作為跌倒偵測的工具，主要方式為攜帶式感測器的配戴法，最常見普遍的方法都是將感測器配置在胸前、腰部、或大腿、小腿、甚至以手環的方式戴在雙手腕上，在但人體的空間上就佔據太多地方了，導致生活不方便。目前知道有種方法是以 Arduino 開發板作為基礎[1]，將身體的各部位作位置比較分析表，將三軸加速度計配戴在胸前，再以雙軸陀螺儀配戴在雙手的手腕上，藉由 ZigBee 無線傳輸的方式，對偵測的接收端伺服器發送感應數據的資料，再由伺服器整合完數據後再判斷跌倒的情況，以此方法實作出能準確地分辨一些特定的動作。另一種跌倒偵測的方法，是利用類神經演算法所表現的方式[2]，此類神經演算法可以自動分辨出最好的多閾值分類器，利用疊接 AdaBoost 以分類三軸加速度器的偵測方式，將使用者平時生活狀態的三軸加速度值做收集總匯，然後計算特徵向量後，再將特徵向量輸入到已完成訓練的分類器中，達到跌倒偵測的目的地。對於使用三軸加速度器所作的應用，發展出對居家照護作即時性的跌倒偵測系統[3]，可以偵測到老人發生跌倒的時間，並且能降低死亡率，即時的跌倒偵測系統，可以分成四種不同的跌倒情況，分別是向

前、向後、向左、向右，且為攜帶式、成本又低、準確率又高。這裡使用三軸加速度器，套用訊號向量幅度公式 (Signal Vector Magnitude, SVM) 做計算處理分析，可以辨識出四種不同的跌倒事件類型，向前、向後、向左、向右等動作行為，並且高達 95.83% 的準確率。而國外也有學者將提出將陀螺儀、和三軸加速度計作為姿勢來源，實作出既準確又快速的跌倒偵測訊息[4]，因許多跌倒偵測的方法都陸續研發出來了，但對於日常生活的習性上，普遍還是依賴使用加速度計來隔離生活習慣的方法。對於跌倒檢測的方式，另有基於在三軸加速度感測器的設計所作之研究[5]，主要結合 ZigBee 無線通訊的技術所作之跌倒偵測裝置，將收集到的加速度訊號，透過 ZigBee 方式傳送到伺服器電腦，以進行數據資料的分析處理。針對 5 種不同的動作：平地走、向前跌倒、向後跌倒、向左跌倒、向右跌倒等，將感測器配置於人體腰部固定，抓出特徵軸的樣本後套入 MATLAB 函式，最後得出數據樣本以對應上下、左右、與前後方向軸性。對於跌倒偵測的方式，使用三軸加速度計作為可攜式的偵測設備，已證明具有可行性並有效率性的，藉由動作的分類以預先偵測危險性跌倒的發生。於此另一項研究，國外學者基於成本敏感性的分析改善三軸加速度計，以增強偵測跌倒的發生[6]。由於三軸加速度計產生之時間序列的跌倒偵測，特別提到增強型的方式，在成本敏感分析法中，包含具最低風險的 Bayes 及 Neyman-Pearson 兩種方法，皆有明顯的敏感性強化，能降低決定的風險，而肯定的非跌倒動作辨識，將經由此分類法作驗證得到改善。針對攜帶式的跌倒偵測器而言，主要著重於方便攜帶性及小巧輕量為首要。有鑑於此特性，在具備完善的功能及實用於人體的行動力，並基於時間的效率性，國外有相關學者提出，針對無線網狀網路所做之跌倒偵測法，能有效地助於縮短就醫的時間，同時降低死亡率，以促進獨立的生活為目標，對於應用在醫療相關領域，特別提到以錶帶式的方式配戴[7]。普遍常見的無線傳輸訊號，多是以 ZigBee 或藍芽作為無線傳輸的方式，但仍可見由 Wi-Fi 的方式設置無線傳輸，由國內學者利用 Wi-Fi 802.11 b/g 的方式[8]，作為基於主動式無線射頻訊號，以識別身份的電子標籤 (RFID Tag)，該系統以追蹤其事件位置和動作的方式，並加入動作感應裝置 (Motion Sensor)，以便偵測到昏迷事件。現在人們持手機的使用率幾乎都不離身的情況，對於跌倒議題亦將帶入手機的應用範圍內，國外利用單一顆三軸加速度計以實作跌倒偵測的應用[9]，基於在手機系統內，實現利用手機內置之加速度感測器，以偵測跌倒的方法，且準確率高。其應用開發的優勢能通知預先設定的監護人，或是將傷者的 GPS 坐標顯示在地圖上，達到即時提供醫療協助之緊急服務。同樣基於在手機的應用，國外另一項研究以手機作為制定普遍性常見的跌倒偵測系統之平台[10]，建置專為手機實作普遍性跌倒偵測系統的 PerFallID，並於手機平台的環境，

設計兩種不同的偵測演算法，以實現測試在 Android G1 手機的原型系統評估效能，提出此方法是不受限任何手機類型的，而採用的手機具三種感測器：加速度計、陀螺儀、及數位羅盤，並收集不同的跌倒數據。最後與正在進行的工作及現有的商業產品做比較，結果顯示 PerFallID 能達到較好的偵測性能，及電源效率。基於以上優勢，若是能結合不同的應用[9]，則實現遠端醫療服務將可達更完善。對於跌倒偵測的方式，除了應用三軸加速度計或陀螺儀等感測元件，據國外研究基於人體動作形態的改變，以穩定型視訊監控系統偵測跌倒[11]，研究顯示能有效偵測辨識到人體動作，以分析判斷發生跌倒事件。現今有國外學者利用配置單一的加速度計，以辨識身體姿勢與跌倒偵測的行為[12]，於研究中的姿勢是獨立性的動作，其中腰部、胸部、大腿、及腳踝等四個部位配置是被肯定的，以便收集姿勢辨識模組做分類，並定義 7 種不同的加速度姿勢，其中 5 種姿勢是最常見的：站立、坐著、臥著、站起來、向下 (包括坐下、躺下、或跌倒)，而另外兩個姿勢則是和跌倒較有相關性的偵測，分別是對四肢、及坐地上。最後系統得出結果，除了慢慢跌倒落下之外，三軸加速度計證明能正確的辨識出跌倒動作，比較基於位置的系統，兩個加速度計能實現超過 90% 的姿勢辨識，而胸部及腰部在姿勢動作上較能得到更好的證明，但基於辨識跌倒事件的發生，在身上配置過多的感測器仍著實不方便，尤其在非跌倒事件時，是較不被重視的。基於以上文獻，本論文將三軸加速度計與陀螺儀結合之感測器，配置於人體胸部與右腰部，作為快速判斷跌倒事故，並分析傷患跌倒於何種方向，能協助瞭解其跌倒傷勢。

## 2. 研究方法與步驟

本研究是基於在室內環境設立無線傳輸接收，將感測器配置在胸前、腰右側，透過感測器偵測跌倒動作後的反應，藉由 ZigBee 傳送訊號給伺服器，再由伺服器接收到動作之後的訊息，將數據資料儲存以利作分析判斷是否發生跌倒。

### 2.1 系統架構與流程

整個測試環境都在室內，可避免受到其它外在因素打擾而影響到測試過程，本研究環境的系統架構如圖 1 所示。系統開始偵測感測器的動作時，三軸加速度器與陀螺儀的值會連續不斷的讀取數據資料，然後透過 ZigBee 傳送給伺服器接收端，再由伺服器內部經過連續一系列的數據轉換過程，將類比訊號轉為數位訊號，最後再利用 RS-232 傳輸線，將數據資料傳給電腦，最後再作動作分析以判斷跌倒動作及倒向。感測器之陀螺儀與三軸加速度之三軸方向，其正負軸關係如圖 2 所示。將感測器配置在人體身上，以伸縮束帶牢牢地綁在人體的胸前、

腰右側等指定的部位後，先立於床鋪前靜止不動以等待系統開始的時間，這是為避免在系統開始執行偵測前就亂動，導致開始施測的感測值發生不準確之因素，藉由電腦在系統開始偵測時發出提示音後，表示為開始動作的跌倒偵測。感測器綁置於胸部及腰右側之固定位置，如圖 3 及圖 4 所示。

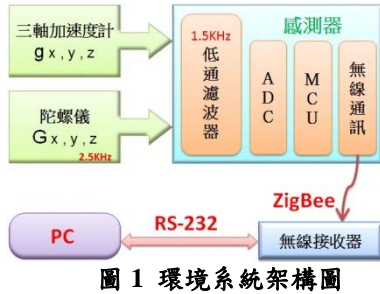


圖 1 環境系統架構圖

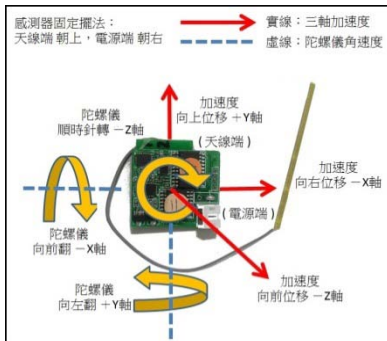


圖 2 陀螺儀、三軸加速度計感測器之軸向

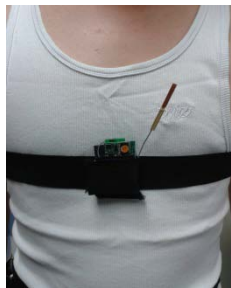


圖 3 感測器配戴於胸部表示圖



圖 4 感測器配戴於腰右側表示圖

## 2.2 取得跌到資料流程

如圖 5 所示，為整體測試和資料取得得程序，

每一次皆必須取得完整和正確資料，直到 20 次為止。

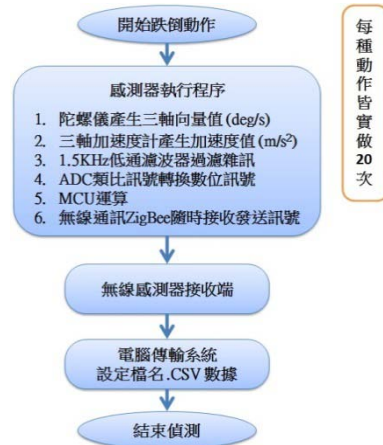


圖 5 連續偵測跌倒動作數據之流程圖

## 2.3 特徵軸分析

透過陀螺儀及三軸加速度計，根據 X 軸、Y 軸、及 Z 軸，並比對與 SVM 之關係，可分析出角速度及加速度之特徵軸性。基於每種動作類型皆實做 20 次的測試，同類型動作所得到的特徵軸值都有些微的差異性，透過時間校正後做為當下發生的感測器接收時間，分析跌倒動作的方向軸性，藉由陀螺儀及三軸加速度計，分別在胸部及腰右側做特徵軸之最大變化量決策，取正高峰值之最大頂點與最小頂點之間做相差相減後，以此相差值平均中分點，再以此中分點作平均分所得最後數值，而後便以此數值作為標準閾值之依據。所求出跌倒偵測值，能分析出向前倒、向右倒、及向左倒，三個方向的陀螺儀、與三軸加速度計之特徵軸關係，並依最大量化做均分以求得閾值，如表 1 所示。

表 1 感測器配戴位置及偵測閾值

	胸部 陀螺儀 (度/秒)	胸部 三軸加速 度計 (m/s <sup>2</sup> )	腰部 陀螺儀 (度/秒)	腰部 三軸加速 度計 (m/s <sup>2</sup> )
向前倒	$X \geq +200$	$Z \leq -80$	$Z \leq -70$	$X \leq -10$
向右倒	$Z \geq +200$	$X \geq +30$	$X \leq -100$	$Z \leq -10$
向左倒	$Z \leq -300$	$X \leq -50$	$X \geq +250$	$Z \geq +10$

針對配戴於身體胸部及腰部的位置，配合量測角速度及三軸加速度，其位移方向值具有正負性質之分，根據陀螺儀及三軸加速度計之功能性特點，無論單以胸部或是腰部作跌倒偵測，皆得以證明出具有判斷跌倒事件的發生。

## 3. 結果

### 3.1 陀螺儀角速度之特徵軸及 SVM 之關係

首先分析各部位之感測器其特徵軸向關係，在

此以胸部陀螺儀感測器來看，並以向前跌倒作為舉例，看陀螺儀角速度值、及 SVM 值。表 2 為測試之部分次數的 X 軸、Y 軸、Z 軸相關係數，可見特徵軸以 X 為負向關係軸為最大特徵軸。

表 2 部分次數的 X 軸、Y 軸、Z 軸相關係數

次數	X 軸	Y 軸	Z 軸
第 1 次	-0.9997	0.72853	0.32368
第 5 次	-0.91619	-0.54015	0.942843
第 10 次	-0.99746	0.581411	0.825275
第 15 次	-0.97897	0.641126	0.488299
第 20 次	-0.98018	0.032748	0.465328

### 3.2 三軸加速度之特徵軸及 SVM 之關係

同樣分析各部位之感測器之特徵軸向關係，在此以胸部三軸加速度計來看，並以向前跌倒作為舉例，看三軸加速度值、及 SVM 值。表 3 為測試之個次數的 X 軸、Y 軸、Z 軸關聯係數。可見特徵軸以 Z 為負向關係軸為最大特徵軸。

表 3 部分次數的 X 軸、Y 軸、Z 軸關聯係數

次數	X 軸	Y 軸	Z 軸
第 1 次	-0.71444	0.091716	-0.13926
第 5 次	0.501514	0.187451	-0.17551
第 10 次	0.216659	-0.55303	-0.70177
第 15 次	-0.82079	0.192082	-0.76154
第 20 次	0.372792	0.121653	-0.34425

### 3.3 判斷跌倒方向準確率

經由準確率公式計算，能分析出不同的跌倒方向，適用不同部位之感測器，可清楚分辨是何種跌倒方向。準確率公式如(1)所示，Cdn 為實際偵測到之次數（Concrete detect number），實作次數為 20 次，並於表 4 至表 6 中，可看出不同部位之感測器，其偵測跌倒方向之準確率。

$$\text{準確率} = \frac{\text{Cdn}}{20} \times 100 \quad (1)$$

表 4 偵測向前跌倒之偵測率及準確率

偵測向前倒				
判斷方向	向前倒	向右倒	向左倒	準確率
胸部感測器 (%)	80	35	0	75
腰部感測器 (%)	100	80	0	100
合併感測器 (%)	100	85	0	100

表 5 偵測向右跌倒之偵測率及準確率

偵測向右倒				
判斷方向	向前倒	向右倒	向左倒	準確率
胸部感測器 (%)	0	100	0	100
腰部感測器 (%)	80	100	25	100
合併感測器 (%)	80	100	25	100

表 6 偵測向左跌倒之偵測率及準確率

偵測向左倒				
判斷方向	向前倒	向右倒	向左倒	準確率
胸部感測器 (%)	0	0	100	100
腰部感測器 (%)	100	0	95	65
合併感測器 (%)	100	0	100	95

## 4. 結論與未來研究方向

### 4.1 結論

最後得出三種不同跌倒方向之準確率：向前跌倒，以腰部感測器作判斷正確向前倒高達 100%，則胸部感測器即作為輔助之用。向右跌倒，雖然胸部與腰部之感測器皆能有效偵測向右倒達 100%，但腰部感測器卻比胸部感測器還容易誤判為其它的倒向，故向右跌倒以胸部感測器為主，腰部感測器則作為輔助之用。向左跌倒，胸部感測器比腰部感測器之判斷來的更精準 100%，且腰部感測器仍有機率會誤判為其它倒向，故向左跌倒以胸部感測器為主，而腰部感測器即作為輔助之用。根據不同的跌倒動作方向，另有將胸部與腰部感測器做合併之偵測，這是為了輔助分析跌倒方向，是否符合不同部位之感測器判斷。

### 4.2 未來展望

1. 基於向前倒動作判斷，配戴者若是有彎腰的動作，或是做伏地挺身等運動行為，是否能清楚地分析有無發生跌倒。
2. 在發生跌倒動作後，身體是否有轉為正常的姿勢，以確定人體無跌倒危險，排除不安全動作的可能性，未來希望能有偵測身體為正常姿勢的判斷行為。
3. 因跌倒動作不可能只單純的以一種固定的姿勢倒下，在任何跌倒的情況下，皆有可能變化為不同的方向，對於加速度 Y 軸特徵，希望能利用其位移特性，達到更精確的方向移動判斷。

## 參考文獻

- [1] 劉建賢、謝尚琳, "使用加速度計和陀螺儀之跌倒偵測系統," 大同大學資訊工程研究所碩士論文, 2011。
- [2] 鄭文昌、詹明儒, "使用疊接 AdaBoost 分類三軸加速度計的跌倒偵測方法研究," 第十一屆離島資訊技術與應用研討會, 朝陽科技大學, 台中, 台灣, 2011。
- [3] Chien-Cheng Lan, Ya-Hsin Hsueh, Rong-Yuan Hu, "Real-time fall detecting system using a tri-axial accelerometer for home care", Biomedical Engineering and Biotechnology (iCBEB), 2012 International Conference on. IEEE, 2012. p. 1077-1080.
- [4] Qiang Li, John A. Stankovic, Mark Hanson, Adam Barth, John Lach, "Accurate, fast fall detection using gyroscopes and accelerometer-derived posture information", Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2009. BSN 2009. Sixth International Workshop on. IEEE, 2009. p. 138-143.
- [5] Zhang Ai-hua, Wang Lu, "Tumble detection based on three-dimensional acceleration transducer", Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2010, 14.48: 9029-9032.
- [6] Shuai Huang, Yujiu Yang, Wenhuan Liu, "An Enhanced Fall Detection Approach Based on Cost Sensitivity Analysis", Software and Network Engineering (SSNE), 2011 First ACIS International Symposium on. IEEE, 2011. p. 81-85.
- [7] Sanjana, Rakhecha, "Reliable and secure body fall detection algorithm in a wireless mesh network", Proceedings of the 8th International Conference on Body Area Networks. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2013. p. 420-426.
- [8] 黃俊喬、蔡東穎、劉德明, "遠距居家照護之跌倒昏迷偵測系統研究," 國立陽明大學生物醫學資訊研究所, 2008 年台灣國際醫學資訊聯合研討會 (JCMIT2008)。
- [9] Suleman Belal Kazi, Sherjeel Sikander, Sadia Yousafzai, "Fall Detection Using Single Tri-Axial Accelerometer", ASEE 2014 Zone I Conference, April 3-5, 2014, University of Bridgeport, Bridgeport, CT, USA.
- [10] Jiangpeng Dai, Xiaole Bai, Zhimin Yang, Zhaohui Shen, Dong Xuan, "PerFallD: A pervasive fall detection system using mobile phones", Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2010 8th IEEE International Conference on. IEEE, 2010. p. 292-297.
- [11] Caroline Rougier, Jean Meunier, Alain St-Arnaud, Jacqueline Rousseau, "Robust video surveillance for fall detection based on human shape deformation", Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, 2011, 21.5: 611-622.
- [12] Hristijan Gjoreski, Mitja Luštrek, Matjaž Gams, "Accelerometer placement for posture recognition and fall detection", Intelligent Environments (IE), 2011 7th International Conference on. IEEE, 2011. p. 47-54.