

應用 Zigbee 無線網路進行室內定位之研究

張朝旭

國立聯合大學資訊管理學系

cschang@nuu.edu.tw

黃廣台

國立聯合大學資訊管理學系

m9933008@smail.nuu.edu.tw

摘要

隨著科技的進步，室外定位服務如：GPS定位，已日趨成熟。而室內定位的發展，目前卻仍在研究之階段，導致許多室外定位服務無法延伸至室內來使用，同時室內定位技術若能與其他技術結合，則更能擴展其使用之範疇，如：結合生理資訊擷取技術，則可進行居家醫療照護或是居家生活型態辨識，達到無所不在的照護。此外，產品自動化分類、室內環境監測、室內災害防護以及室內救援管理，皆可因室內定位技術的進步而實現。因此，本研究於室內使用ZigBee網路，結合支援向量機(SVM)的分類法並提出多重模型(Multiple Models)的定位方式，來進行室內定位之研究，其實驗結果顯示此方法可有效而準確的運用於室內定位。

關鍵詞：室內定位、SVM、ZigBee

壹、 研究動機與研究問題

現代科技的迅速發展，應用定位技術所提供的服務也越來越多，這些技術可包括GPS定位、Wi-Fi無線基地台定位以及手機基地台定位等，而目前最盛行的定位服務系統，是以全球定位系統(GPS)為主，其結合地理資訊地圖廣泛應用在汽車導航以及軍事用途。此外，新一類的服務是將GPS與手機結合透過定位服務來獲得手機使用者的位置並將其位置資訊標示於數位地圖上(如:Google Map)，透過社群之聯結，好朋友之間可因此知道彼此之行動位置，而可以就近面對面的溝通連絡，進一步拉近彼此之距離，一個連結好友的行動資訊社群已逐漸為將來新興的服務奠定基礎。然而GPS系統只能針對戶外環境的進行定位，一旦使用者進入室內，此種定位服務隨即失效；因為GPS定位服務使用時最大的限制在於必須和衛星之間保持沒有任何障礙物LOS (Line-of-sight)，如此才能順利接收到衛星訊號進行定位服務，所以在室內的狀況下，由於GPS裝置因建築物遮蔽而無法接收到衛星訊號，致使無法提供定位服務。

目前，由Google所提供的Wi-Fi無線基地台定位服務技術也相當成熟，此技術是收集無線網路基地台的實體位址(Mac Address)，透過GPS系統為此無線基地台(Access Point)的位置進行定位，當某位使用者透過此基地台上網時，即可透過此基地台定位此使用者的位置，然而此種定位服務方式須建立大量的基地台座標資料庫，同時，隨著無線基地台的更新，基地台座標資料庫亦須時時更新，以確保定位服務之準確性，因此需投入相當大的服務成本，此外這種定位方式也只能定位至建築物範圍大小的準度，並無法為室內定位提供服務。另外，行動電信服務業者如：中華電信、台灣大哥大、遠傳電訊等，可透過手機基地台為手機用戶進行定位，此種定位方式利用手機基地台為定位點，透過所接收到的手機訊號強度來計算與手機用戶之間的距離，再使用三點定位方式定位出手機用戶所在的位置，然而此種定位方式可能因為建築的遮蔽而造成基地台與手機用戶之間的距離計算不準確，致使定位失準，同時，基地台定位資訊非一般使用者可以取得，而電信服務業之間分享定位資訊更是一大挑戰，因此此種應用目前較不廣泛，亦難應用於室內定位。

基於準確性之問題，現今室內定位並不像室外定位如此被廣泛應用在日常生活中所使用，因此所能提供的服務類型較少，然而若能提供準確的室內定位服務，則前述之室外定位服務皆可延伸式至室內，同時，若能再將室內定位技術與其他技術結合，如：生理資訊擷取技術，則可進行居家醫療照護或是居家生活型態辨識，達到無所不在的照護目標；例如：透過室內定位技術可知道受照護人的位置(如在客廳、臥室、浴室等等)，再結合生理資訊甚至可推測受照護者的舉動(如在沙發上看電視、在臥室就寢，或是在浴室停留過久，可研判是否有發生意外之可能等)，來提供適當的協助。此外，如產品自動化分類的位置可透過室內定位來提供製造者判斷產品是否分類錯誤，甚至員工目前所在位置都可由室內定位服務提供給管理者來研判員工是否進入管制區域內觸犯安全規定。而其他服務：室內環境監測、室內災害防護、救援管理等等[9][10]，都可因室內定位技術的進步而實現。

由於室內環境擺設較為複雜，致使室內定位遭遇很多困難，包括訊號強度因不同遮蔽物所造成衰減程度的差異、訊號的飄移、定位演算法的設計等等，都可能是造成室內定位準確與否的原因。而定位必須結合無線傳輸技術來進行設計，不同的無線傳輸技術將導致不同的建置成本，因此想在未來提供低成本的實作可能，則必須選擇一個建置成本較低的無線傳輸技術來進行研究。而從這些可能的技術，如:RFID、Bluetooth、Wi-Fi、ZigBee 發現：RFID 的傳輸距離太短、藍芽可支援節點數少、Wi-Fi 的涵蓋範圍較大定位的準確性會比較不準且設備比較昂貴，因此，相較之下 ZigBee 極適合用來使用於室內定位上，同時考慮室內無線傳輸的衰減(Attenuation)會因室內過多物體的遮蔽而導致不規則衰減(亦即不能符合衰減公式的計算法則)，故採用 SVM 的分類方法，透過建立訓練模組(Training Model)，來提高定位之準確性並解決不規則衰減所帶來的影響。SVM(Support Vector Machine)通常使用在機器學習，屬於一種監督式的學習法，屬於一般化分類器，基於統計學理論，其特色能夠最小化經驗誤差與最大化幾何邊緣，透過一個超平面將資料分開。事前將已知的分類的資料進行訓練(Training)，產生一個模型(Model)，之後便可以將未知的資料進行分類。所以本研究提出利用訊號強度(RSSI)及 SVM 的分類方法，來判別室內的所在位置，利用各個位置所收到的訊號強度特徵，利用 SVM 方法來分類，判定當下的位置。

貳、文獻回顧與探討

一、定位技術

(一) 室外定位

● GPS 定位技術

全球衛星定位系統(Global Positioning System，簡稱GPS)是美國國防部在1970年所建構的一套衛星定位系統，可分為三大部分，包括衛星、地面控制系統及使用者接收機。其計算原理是利用，每個太空衛星在運行時，任一時間，都會有一個座標值來代表其位置所在，而太空衛星訊號在傳送的過程當中，所耗費的時間，可以經由比對衛星裡的時鐘和接收機內的時鐘計算出來，將時間差乘上電波傳送速度，就可以計算出太空衛星與使用者接收機之間的距離，如此便可依三點定位關係，來決定使用者的所在位置(x,y)。

一般在定位系統中，常利用的一種藉由多個已知位置的節點(稱之為參考點)測得目標點的距離後，再利用參考點位置 and 其所測得距離去做定位。所謂「三點定位」即是使用三個參考點來進行定位，如圖1，(x,y)為欲求之定位點，已知A,B,C三點座標及 r_A 、 r_B 、 r_C 三個半徑長度，欲求(x,y)之值，則使 $\sigma_{x,y}$ 之值為最小，即可定出(x,y)之值。此即為三點定位。因此至少收到三顆衛星訊號，才可以計算出經緯度座標，收到四顆則可以得到高度值，接受到的數量越多，越能提高準確度，這就是全球衛星定位系的基本定位原理。一般接收機每一秒鐘的座標資料都是最新的，也就是說接收機會自動不斷地接收衛星訊號，並即時計算其所在位置的座標，如此一來使用者便不需擔心是資料太舊或是不準確。[4]

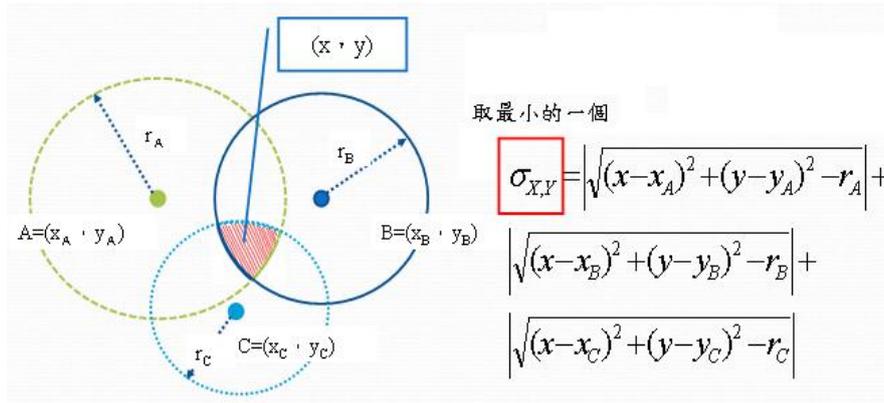


圖1 三點定位

● 基地台定位技術

基地台定位主要是指利用手機來進行定位，此技術的定位精確度取決於所在地區內的基地台密度高低，若是在都市較為密集的区域，其定位精確度可達200公尺，在郊區，由於基地台密度較低，其定位精確度可能只到1到2公里。其定位原理，基本上都是基於三點定位的概念而來，簡單的利用已知三點的座標，來決定唯一的解，就是未知位置的所在地座標。但由於基地台容易有繞射、折射等物理現象，因此雖然能接收到訊號，但經過計算出來的結果，已經會有誤差。有許多服務需利用基地台定位，但也因為基地台價格昂貴，而有些服務需要在手機端進行某種程度的修改，因此目前較沒有商業價值的解決方案。

蜂巢式無線通訊系統在於發展嶄新且健全之定位技術的動機仍然持續性的成長，其發展動力的主要因素就是以手機位置為基礎所衍生出來的商業服務將成為未來服務之主流。由於蜂巢式無線通訊系統初始並不是為了定位服務而設計，所以在執行不同的定位技術時，可能需要額外的量測設備進行額外的信號量測，再將量測的結果傳送至計算裝置進行定位之計算。目前，在蜂巢式無線通訊系統有相當多的定位技術可以考慮使用，但不論任何一種定位技術，都需要修改現有手機或者針對規劃的定位系統在不修改現有手機的前提下，修改基地台或是通訊網路之交換中心，因此定位服務的提供將仍有努力的空間。[4]

● Wi-Fi定位技術

無線區域網路(WLAN, Wireless Local Area Network)由於建置上成本相對低廉，也非常適合用於室外定位。WLAN定位技術也是應用三角定位之原理，但是是以訊號強度作為參考數據，利用訊號衰減模型來計算訊號對於距離的衰減程度，達到距離的推算，再利用此一資訊來進行定位，此做法需事先建構該環境的訊號衰減模型，才能藉由訊號衰減的程度，來準確的推估傳播距離。

此外，Google的Wi-Fi定位是透過偵測附近所有的無線網路基地台 (WiFi Access Point)，結合GPS衛星定位，來決定此無線網路基地台的位置，並將此無線網路基地台的實體位址(MAC Address)以及GPS座標記錄至資料庫中，當使用者利用WiFi上網時，隨即

透過所使用之無線網路基地台的實體位址從資料庫中找出其GPS座標，如此即可得知使用者所在之位址，此種定位方式須在有網路連線做資料庫查詢的情況下才能完成定位。故此方法需要靠Google街景車，沿路蒐集所有公開的無線網路的MAC Address，與當時的經緯度同時記錄，再加上利用眾多的使用者，背後向 Google的資料庫做更新維護，才能達到這樣的定位方式。

(二)室內定位

以目前室內定位可以透過幾種型態的無線傳輸方式來達成，例如藍芽(Bluetooth)、Wi-Fi、ZigBee 等方式，其無線通訊的特徵之比較表如表 1。以下則依序介紹：

表 1 無線通訊比較表

標準	藍芽	Wi-Fi	ZigBee
應用	語音、資料傳輸	語音、資料傳輸、影像傳輸	監測
頻帶	2.4GHz	2.4GHz	868MHz/915MHz/2.45GHz
傳輸速率	1Mbps	54Mbps	20/40/250kbps
節點數目	8	127	65536
距離	10m	100m	75m
優點	低成本、低功耗	速度較高、耗電高	低功耗、低成本及容易開發

● RFID定位技術

RFID(Radio Frequency Identification)為射頻識別技術，RFID定位技術是當RFID讀取機(Reader)感應到設備(Tag)，可以得知此設備在這一RFID Reader 感應的範圍內，但RFID辨識物體有效距離大約2到3公尺，所以要用在定位上，勢必需要在一個區域內運用大量的RFID讀取機，而且準確度也只有2到3公尺，若要做到即時定位，此做法不太實際。特別是RFID，當初主要的目的是想以無線傳輸之方式來識別商品的條碼，其運作原理是利用感應器發射無線電波，觸動感應範圍內的RFID標籤，藉由電磁感應產生電流，使RFID標籤晶片運作並回應感應器。以驅動能量來源區別，RFID標籤可分為主動式及被動式：被動式的標籤本身並沒有電池，所需電流全靠感應器的無線電波電磁感應產生，而主動式標籤有電池，可以主動傳送訊號供感應器讀取，訊號傳送範圍也較被動式廣。

RFID定位應用方式可以由用戶自己放置在特定區域進行定位，例如：停車場。在這些區域的特定地點(例如：關鍵出入口)放置射頻標籤讀寫器，系統就可以檢測到帶有RFID Tag的物體處於什麼位置(有效距離須保持2到3公尺)。如此的應用，與實際定位較為不同，如此方式並非偵測到物體所處的未知位置，而是偵測到物體是否位於預先設定好的位置，只能知道在不在預設的位置上，而不知道其真正所在位置；此方式就像在關鍵位置安排看守人員，對經過的物品進行登記，當要尋找特定物體的時候只要查閱看守人員的登記記錄即可，而無法確切知道此特定物體所處的座標位址。由上可知，RFID因其傳輸範圍小，所以較不適合用於室內定位。

● Wi-Fi定位技術

應用Wi-Fi技術於室內定位是以訊號強度結合傳播衰減模型作為計算距離之依據，利用此一資訊進行定位，需事先建構該環境的傳播損失模型，才能藉由訊號衰減的程度準確的推估出傳播距離，之後再藉由三個無線網路基地台(Access Point)所計算之距離，進行三點定位，確認移動物體之位置。此做法需事先建構該環境的訊號衰減模型，才能藉由訊號衰減的程度，來準確的推估傳播距離，然而由於室內環境較為複雜，除一般之隔間牆外，各類家具、裝潢、器皿以及其他電子設備等，皆可能造成訊號衰減模型建構時之影響因子，導致衰減模型不正確，進而造成定位之準確性不足。

● ZigBee定位技術

ZigBee網路傳輸穩定佳、價格便宜、耗電量低、傳輸功率低、傳輸的寬頻有250kbit/s，對於非多媒體資料之傳輸支援相當足夠，目前廣泛應用於控制、監測等領域，例如：河川水位的監控，山區土石流的監測，提早對土石流的發聲發出警訊，甚至用在建築物結構上，用來對建築物結構上的改變做出預警機制。而應用在室內定位，由於其傳輸距離為10~75公尺，較適合使用幾個ZigBee網路偵測節點來涵蓋整個室內，相較於WiFi網路(傳輸距離較長，可能一個無線網路基地台即可涵蓋整個室內)而言，ZigBee網路可透過三個以上之網路偵測節點所接收之訊號強度，再配合環境的訊號衰減模型，即可使用三點定位，來為移動之物體定位。然而，當訊號衰減模型因室內環境較複雜而不正確時，亦會導致定位不準確，因此，雖然ZigBee網路極適合應用於室內定位，但因訊號衰減模型易受室內環境之影響，導致三點定位無法使用於室內，因此，本研究擬提出以SVM取代三點定位之方法，為ZigBee網路進行定位，以解決訊號衰減模型不正確所帶來定位失準的影響。

二、SVM 原理與應用

SVM(Support Vector Machine)是一種機器學習的演算法，可以經由訓練，達到學習的目的。例如：此種方法最常應用在影像處理上[6][8]，給定一堆人臉影像進行訓練，訓練完成之後，就可以利用這個數學模型一張照片中尋找人臉。最近開始有人應用在定位上面[5]。SVM 要解的問題就像是在一個平面上的兩類不同的點，如何將它們用一條直線來分割？一般而言，在平面上可能不能實現，但是透過某種映射，將這些點映射到其它空間，就可能在另外一個空間中找到一條分割線，能將這些點分割開來。SVM 就是這樣的原理但它更進一步要將所有要分類的點映射到所謂的多維空間，在多維空間中找到一個能將這些點分開的面。但是找到面是不太足夠的，因為在一般情況下，滿足條件的面，不是唯一解，因此 SVM 要利用這些面，找到這兩類點之間的最大間隔。因為分類的間隔越大，對於未知點判斷的準確率會越高。

目前 SVM 的工具相當多，但其格式得必須符合各個工具所規定的格式，所以在進行訓練之前，必須將格式轉換成 SVM 規定格式(稱之為前處理)。在本研究使用 SVM 的

方式，是屬於 Multi-Class，多核心的分類目的，所以得依據各個情況，隨著所取的模型(model)不同，其 model 的計算方式也不相同，算式裡皆會影響結果參數，所以得調整每個 model 的相關參數，才能最佳化，在前面的幾個步驟都完成後，便輸入訓練樣本進行訓練，取得 model，並在訓練後保存相關 SVM 模組，最後再將欲測試的資料，利用 SVM model 進行計算，產生測試後的結果。

現今的室內定位方法，大多屬於利用訊號衰減(Signal Attenuation)的特性[1][2][3]來建立衰減模型，並利用訊號衰減程度透過公式來估算各點的距離，最後再利用三點定位的方法，來定出未知點的位置。當信號的傳遞過程中遇到較多障礙物時會導致衰減程度加劇，而訊號衰減模型的精確度則會降低，如此再透過公式所算出的距離則會有所偏差，因此它的定位正確性是有待商榷的，特別是在室內因環境擺設的關係，可能有較多的障礙物會影響此類定位技術之正確性。研究[7]則利用基因演算法來進行室內定位，其在網絡部署已知節點之後，每個節點利用三點定位等方式，測量自己範圍內鄰近未知節點的距離，使用多跳機制，將距離訊息傳遞到基站，因此基站可以將未知節點納入地圖內，就可以建立一張完整地圖，當一行動節點(Mobile Node)移入此地圖內後，地圖內各節點則運用三點定位方式，測量自己與此行動節點之間的距離，再將距離訊息傳遞到一個特地點(基站)進行集中定位修正之運算，來達到定位技術；但是若在估計距離上發生錯誤時，則會將誤差放大。

研究[12]則利用信標(Beacon)來進行室內定位，此定位信標是放置在已知的位置，且能量不超出信標所處的房間範圍，而移動標籤接收到一個來自未知位置的信標代號時，則將此信標代號透過移動標籤周圍可傳送之鄰近節點傳送至中央定位系統，中央定位系統再根據所收到之信標代號查詢比對之前建立的定位信標之位置資料庫，以了解移動標籤是在哪個房間內，此種定位方式是以房間大小為定位之單位。由於室內環境複雜，每個感測節點(Sensing Node)偵測到來自相同的行動節點(Mobile Node)的訊號強度(RSSI, Received Signal Strength Indicator)大小不一，因此可將此組訊號強度(由眾多的感測節點對於相同的行動節點所偵測到的訊號強度)作為識別此行動節點的特徵依據，因此研究[11]利用此種特徵，應用於傳輸安全的機制，利用在每個接收點特徵值的不同，做為一個加密機制，以確保安全的無線傳輸。本研究亦利用每個感測節點(Sensing Node)接收到同一個行動節點(Mobile Node)的訊號強度特徵值，結合SVM之分類辨識技術，在具有不同遮蔽物的室內環境中，提出室內定位之方法，並證明其可行性與有效性。因為在有障礙物的情況之下，只有在同一個位置，所測到的特徵值應該是相同或近似的，因此只要建立一個特徵值與移動者位置關係的模型，即可透過此模型來達到定位的需求。

參、研究方法及實驗結果

一、室內定位系統架構

本研究所利用 SVM 來建立室內定位時所需的定位模型，其建立流程(如圖 2)為：(1)將蒐集資料轉換成 SVM 之格式，(2)調整相關參數，(3)訓練資料成為 model，(4)測試資料測試 model。



圖 2. 定位模型建立流程圖

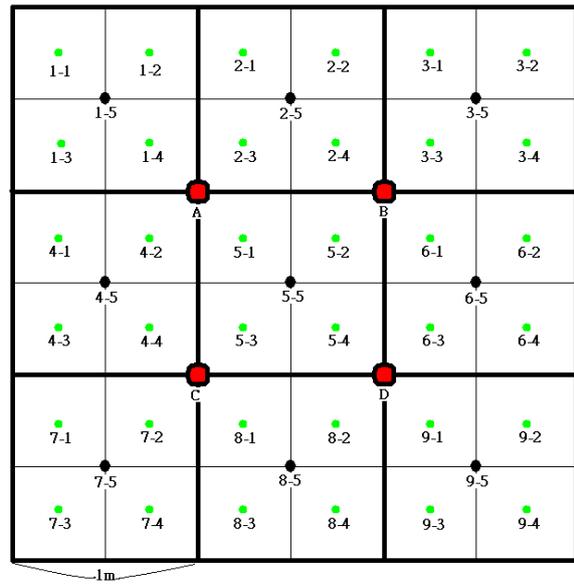


圖 3. 實驗環境圖

二、實驗環境

本研究利用一個 3x3 平方公尺的室內空間，每平方公尺分為一格，總共分為 9 格(如圖 3)，其中每一格分別以 1,2,3,...,9 來進行編號。利用四個接收器(Sensing Node)，分別放在每四格的交界點，如；(1、2、4、5 格的交界點為 A)、(2、3、5、6 格的交界點為 B)、(4、5、7、8 格的交界點為 C)以及(5、6、8、9 格的交界點為 D)，當有行動節點(Mobile Node)移入至此室內空間時，透過此四個接收器即可一次收集到來自此行動節點的 4 個訊號強度(每個接收器感測到一個訊號強度)，並將此特徵值紀錄為 $P(V_A, V_B, V_C, V_D)$ 做為此自行動節點位於目前所處位置的訊號強度特徵值。

三、定位模型建立

本研究在實際情況下蒐集數據，利用 SVM 的方法訓練出 model，做為室內定位的模型，為了解 SVM 是否適用於室內定位之分類機制，所以進行以下實驗。

(一) 實驗一:應用 SVM 方法於 ZigBee 網路定位

為了解 SVM 是否適合用於室內定位之判斷，首先將行動節點(Mobile Node)放置於固定點，並利用接收器(Sensing Node)蒐集特徵值，再測試使用 SVM 是否合適。因為有四個接收器，所以每筆特徵值由四個訊號強度所組成，紀錄為 $P(V_1, V_2, V_3, V_4)$ ，其中 V_1, V_2, V_3, V_4 分別為位於 A、B、C、D 四個點之接收器對於處於固定點之行動節點所感測之訊號強度。實驗環境如圖 3，分 9 大格，每一大格在分成四小格，每一小格的中心位置以如下之編號，如:第一大格的四小格中，每一小格的中心位置依序編為 1-1、1-2、1-3 以及 1-4，而第一大格的中心位置則編為 1-5。首先將行動節點(Mobile Node)分別固定放置於每一大格內的四小格中心點位置，進行特徵值之擷取，每一小格擷取 100 個特徵值，共 6 輪($9*4*100*6=21600$ 筆資料)，實驗結果如下圖 4，a~f，分別將每一輪

的數據抽出(9*4*100=3600 筆)，作為測試資料，剩於其它數據做為訓練資料，九宮格裡面的數據，分別為每次實驗每區的正確率，g、h 為 21600 數據，隨機抽出 3600 筆。

a. 整體正確率 93.4444%			d. 整體正確率 94.9167%		
93.25%	99.25%	61.25%	99.25%	86.5%	72.75%
87.5%	100%	99.75%	100%	100%	95.75%
100%	100%	100%	100%	100%	100%
b. 整體正確率 92.5%			e. 整體正確率 93.8333%		
99.5%	72.5%	80.25%	78%	95.75%	72.25%
99.25%	99%	84.25%	100%	98.75%	99.75%
99.5%	98.25%	100%	100%	100%	100%
c. 整體正確率 95.778%			f. 整體正確率 92.5%		
98.5%	94.75%	72.75%	67.25%	87.5%	93.25%
99%	99.75%	100%	93.75%	98.25%	92.5%
97.5%	99.75%	100%	100%	100%	100%
g. 整體正確率 98.5%			h. 整體正確率 99%		
98.25%	98%	93.25%	98.75%	98.25%	98%
99.25%	99.5%	98.5%	99.5%	99.75%	97.25%
100%	99.75%	100%	100%	99.5%	100%

圖 4. 實驗一結果

由圖 4 可知，在定點上的判斷，是可行的，以亂數來取測試數據，準確率更可到 98% 以上。根據實驗一，得知 SVM 方法可運用於室內定位，因此加入未知點，如圖 3 中 (ex:1-5、2-5、3-5...)，在實驗中正確率是否仍足夠，因此進行實驗二。

(二)實驗二:透過隨機位置驗證訓練模組正確性

本次實驗想驗證，當未知點，不在原先的固定點上時，此方法是否可行。以實驗一數據為基礎，作為訓練數據，重新額外取得(1-5、2-5...)等 9 點之特徵值，作為測試數據，每點 100 次，共 900 筆數據，分別取了兩次實驗，實驗結果如圖 5，圖 5a、b 分別為兩次結果，圖 5c、d 分別為兩次判定位置的結果。由以上兩次實驗可知，雖然有錯誤，但坐落位置，大多為相鄰位置，但結果不理想。一般而言，當行動節點較接近接收器時，接收器所接收的訊號強度應該越大，因此分別利用兩個接收器，比較彼此訊號強度大小，就可得知其方向性，因此加入方向性的因子於特徵中，驗證是否能提升其實驗結果，因此做實驗三。

(三)實驗三:加入特徵值提升正確率

利用圖 3 中，A、B、C、D 四點接收器彼此間所收到的訊號強度差距，來確認行動節點相對於四個接收器的方向位置，並將此方向因子加入特徵值中。以四個接收器的中心點來看，共有上、下、左、右、右上、右下、左下、左上，八種方向，分別以 nUp、nDown、nLeft、nRight、nLeftUp、nRightDown、nRightUp 以及 nLeftDown 來表示，圖 6 代表各方向性的規則，其中(A-C)+(B-D) \geq 0 表示將 A 點接收器所收集到的訊號強度減

a.第一次 整體正確率 40.5556%			b.第二次 整體正確率 48.7778%		
0%	0%	85%	0%	0%	100%
0%	100%	26%	0%	81%	100%
15%	39%	100%	5%	53%	100%
c. 第一次判定位置結果			d. 第二次判定位置結果		
目標位置	結果判定分佈		目標位置	結果判定分佈	
1	位置 2		1	位置 2、7	
2	位置 1		2	位置 1	
3	位置 3、7		3	位置 3	
4	位置 2		4	位置 2	
5	位置 5		5	位置 5、7	
6	位置 5、6		6	位置 6	
7	位置 4、7、8		7	位置 7、8	
8	位置 7、8		8	位置 7、8	
9	位置 9		9	位置 9	

圖 5. 實驗二結果

去 C 點接收器收集到的訊號強度，再將 B 點接收器所收集到的訊號強度減去 D 點接收器收集到的訊號強度，最後再將此二值相加，若結果大於零則表示行動節點具備 nUp 之方向性並以 1 來表示，否則以 0 來表示。本實驗不以數據差來表示方向性大小，只以 1、0 表是有無此方向性。

因實驗一使用亂數取樣數據較佳，因此嘗試使用實驗一數據亂數取樣的方式，加上增加的特徵值做比較，因此每個特徵值之因子會增加至 12 個，如： $P(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8, V_9, V_{10}, V_{11}, V_{12})$ 分別為 A、B、C、D 四個接收端所收到之訊號強度，及上方 8 個運算出來的方向參數，nUp、nDown、nLeft、nRight、nLeftUp、nRightDown、nRightUp、nLeftDown。其中， $V_5 = V_{nUp}$ ， $V_6 = V_{nDown}$ ， $V_7 = V_{nLeft}$ ， \dots ， $V_{11} = V_{nrRightUp}$ ， $V_{12} = V_{nLeftDown}$ ，實驗結果如圖 7。

	方向性規則
nUp	$(A-C)+(B-D) \geq 0$ 成立為 1 不成立為 0
nDown	$(A-C)+(B-D) < 0$ 成立為 1 不成立為 0
nLeft	$(A-B)+(C-D) \geq 0$ 成立為 1 不成立為 0
nRight	$(A-B)+(C-D) < 0$ 成立為 1 不成立為 0
nLeftUp	$(A-D) \geq 0$ 且差距需 ≥ 5 成立為 1 不成立為 0
nRightDown	$(A-D) < 0$ 且差距需 ≥ 5 成立為 1 不成立為 0
nRightUp	$(B-C) \geq 0$ 且差距需 ≥ 5 成立為 1 不成立為 0
nLeftDown	$(B-C) < 0$ 且差距需 ≥ 5 成立為 1 不成立為 0

圖 6. 方向性規則

	4 特徵	12 特徵(加入方向性)
取樣 1	98.9167	98.9722
取樣 2	99.0278	98.7778
取樣 3	98.6944	98.8056
取樣 4	98.8056	98.9772

圖 7. 實驗三結果

由圖 7 可知加入方向性之特徵因子後，有較高機會提升原本只有 4 個接收器訊號強度特徵因子的結果。實驗一，在測試及訓練都在固定位置的前提下，準確率高，由亂數取樣，準確率可到 98% 以上。實驗二，加入測試一個非原本每格 4 點上的中心點，來做測試，其總準確率不到 50%。實驗三，可之加入方向性特徵，可以使原實驗一提高一些準確率。總結以上，所有限制都需在固定點上，只取四點，在格子中其它點，便無加入訓練當中，使其準確率降低似乎不符合實際應用，因此加入一個人在九宮格中走動，並取得數據。並且為了提升實驗結果，思考四個接收器，至於圖 3 中間 A、B、C、D 四點，或是將此四點移至 9 宮格外角落四端，是否能提高其準確率實驗，因此做下實驗四

(四)實驗四:實際應用測試

本次實驗，將由一人持有發射器，並在格子中走動取樣，將發射端，綁在右腳鞋子前端，比較接收端在中間四點，或是最外四角落，何者結果較佳，實驗結果如圖 8。由圖 8 可知，12 特徵因子仍較 4 特徵因子準確率高，且接收端在中間四點的結果較佳，固後續實驗接收端接放置在圖 3 中間 A、B、C、D 四點。並在本實驗中驗發現，次數越多準確率的提升程度越來越低，表示有收斂現象。因此加入多次的實驗數據，並將每次的結果輸出，驗證是否真的有收斂。

a. 中間四點		b. 角落四點	
1. 4: 77.0000%	12: 77.5556%	1. 4: 65.5556%	12: 65.4444%
2. 4: 73.5556%	12: 73.7222%	2. 4: 60.3333%	12: 61.0000%
		3. 4: 57.2963%	12: 57.7778%
		4. 4: 56.3889%	12: 56.6667%

圖 8. 實驗四結果

次數	4 特徵因子	12 特徵因子	次數	4 特徵因子	12 特徵因子
1	77.0000%	77.5556%	11	66.5253%	66.7172%
2	73.5556%	73.7222%	12	66.6111%	66.7037%
3	70.2222%	70.5185%	13	66.4701%	66.5812%
4	69.1944%	69.3056%	14	66.7460%	66.8571%
5	68.5111%	68.7556%	15	66.4741%	66.6593%
6	68.0370%	68.2963%	16	66.5764%	66.7847%
7	67.6508%	67.8254%	17	66.7561%	66.8170%
8	67.2778%	67.5417%	18	66.7593%	66.8642%
9	66.7407%	66.8519%	19	66.6491%	66.7778%
10	66.6111%	66.7556%	20	66.6278%	66.7333%

圖 9. 實驗五收斂實驗結果

(五)實驗五:收斂性測試

本次實驗為驗證一個人在九宮格中走動時，實驗結果的準確率會下降，但是否為無限下降或是會收斂，實驗結果如圖 9，由圖 9，可知實驗五有收斂結果，利用上述數據做分類測試，並以 10 特徵因子做分類，實驗結果如圖 10，圖 10 a 為訓練數據等同測試數據的結果，圖 10 b 為隨機抽取數據的結果。

a. 訓練數據=測試數據 整體正確率 66.7333%			b. 隨機抽取數據 整體正確率 65.2222%		
73.80%	47.15%	78.45%	70.00%	47.00%	70.00%
70.30%	55.40%	45.75%	70.00%	51.00%	41.00%
83.75%	61.6%	84.4%	83.00%	68.00%	87.00%

圖 10. 收斂的細部實驗結果

Model 1 使用位置 1、2、4、5 數據訓練之 model	Model 2 使用位置 1、2、3、4、5、6 數據訓練之 model	Model 3 使用位置 2、3、5、6 數據訓練之 model
Model 4 使用位置 1、2、4、5、7、8 數據訓練之 model	Model 5 使用位置 1、2、3、4、5、6、7、8、9 數據訓練之 model	Model 6 使用位置 2、3、5、6、8、9 數據訓練之 model
Model 7 使用位置 4、5、7、8 數據訓練之 model	Model 8 使用位置 4、5、6、7、8、9 數據訓練之 model	Model 9 使用位置 5、6、8、9 數據訓練之 model

圖 11. Model 涵蓋區域

四、模型分類

由實驗五已將訓練與測試使用相同數據，但實驗出的結果仍不理想。由實驗二，雖然大多判定錯誤，但仍然在相鄰區域，因此提出加入區域性因子於特徵值的方法，也較符合行動節點移動時為連續性，而非跳躍性的事實，因此將原來的一個定位 Model，區分為 9 種 Model。因為移動為連續性行為，並非跳躍式行進，所以每個區域有相鄰關係，因此將每個區域與其鄰近區域為一個畫分，分為一個 model。9 種 model 定義如下：

- Model 1: 如圖 3，當行動節點(Mobile Node)位於位置 1(即第一格)時，其下一步移動位置可能為位置 1、2、4、5，因此使用位置 1、2、4、5 數據所訓練的 model 來做為移動節點下一步的定位判斷 model。其餘 Model 以此類推。因此產生表 10。
- Model 2: 行動節點位於位置 2，使用位置 1、2、3、4、5、6 數據訓練 model
- Model 3: 行動節點位於位置 3，使用位置 2、3、5、6 數據訓練 model
- Model 4: 行動節點位於位置 4，使用位置 1、2、4、5、7、8 數據訓練 model
- Model 5: 行動節點位於位置 5，因為在中心點(行動節點下一步包含全部區域)，所以使用位置 1 至 9 數據訓練 model
- Model 6: 行動節點位於位置 6，使用位置 2、3、5、6、8、9 數據訓練 model
- Model 7: 行動節點位於位置 7，使用位置 4、5、7、8 數據訓練 model
- Model 8: 行動節點位於位置 8，使用位置 4、5、6、7、8、9 數據訓練 model
- Model 9: 行動節點位於位置 9，使用位置 5、6、8、9 數據訓練 model

因此將實驗五，圖 10 a 訓練數據=測試數據的實驗，再實驗一次，結果如圖 4。

Model 1 整體正確率 73.1875%	Model 2 整體正確率 67.7917%	Model 3 整體正確率 73.1750%
76.35%	75.90%	76.50%
64.15%	48.10%	80.40%
80.90%	80.90%	78.90%
71.35%	64.60%	56.90%
Model 4 整體正確率 70.9917%	Model 5 整體正確率 66.7333%	Model 6 整體正確率 73.0167%
73.85%	73.80%	75.05%
63.20%	47.15%	78.75%
70.30%	70.30%	68.85%
62.45%	55.40%	45.75%
84.15%	83.75%	85.20%
72.00%	61.60%	84.50%
Model 7 整體正確率 78.1125%	Model 8 整體正確率 76.6333%	Model 9 整體正確率 83.6500%
79.30%	79.25%	78.90%
74.65%	63.95%	83.20%
85.80%	85.25%	85.65%
72.70%	61.90%	86.85%

圖 12 實驗五：圖 10a 實驗分成 9 種模型的結果

由圖 12 可知，Model 5 相當於原本實驗五的實驗結果，比較各種 Model 與 Model 5，可以得到實驗結果皆高於 Model 5，因此本方法在使用正確 Model 的情形下，必定可以提高正確率。因此，再加入隨機實驗，了解實驗結果是否相同，實驗結果如圖 13。

Model 1 整體正確率 68.25%	Model 2 整體正確率 63.4167%	Model 3 整體正確率 70.8750%
69.50%	69.00%	73.00%
63.00%	44.50%	77.00%
72.50%	72.50%	79.50%
68.00%	64.00%	54.00%
Model 4 整體正確率 66.9167%	Model 5 整體正確率 63.2778%	Model 6 整體正確率 69.7500%
67.00%	66.50%	70.50%
60.50%	43.0%	76.00%
65.50%	65.50%	64.00%
54.00%	50.00%	42.50%
86.00%	86.00%	83.50%
68.50%	59.00%	82.00%
Model 7 整體正確率 74.5000%	Model 8 整體正確率 73.0833%	Model 9 整體正確率 79.5000%
74.50%	74.50%	73.50%
67.00%	57.00%	77.00%
87.00%	87.00%	84.00%
69.50%	59.50%	83.50%

圖 13. 測試數據為隨機抽出的結果

由圖 13 可知，分出 Model 數據，皆比原來單一 Model 的數據高，特別是四個角落的 Model 1、3、7、9，雖然數據不理想，但以上是以每次接收，直接做判斷的結果，以實際走過一個地方的情況，一個區域可以連續接收多次之特徵值。因此提出利用多次特徵值，來決定一次的位置，來提高正確率。

五、方法

第一次因為可能出現在除了位置 5 以外任何的地方，以此需要用 Model 5 作為判斷，但因為 Model 5，使用整體的正確率較低，特別是在位置 2、4、5、6、8 的十字位

置，因此當用 Model5 判斷為位置 2、4、6、8 時，將分別以其它 Model 加以輔助，輔助使用如圖 14。

其它規則：

假使 10 次中，所判定最多的位置與第二多的位置相差 1 時，可能會有誤判情形，因此做以下處理

Step1：如圖 3，將位置 1、2、3 次數相加，位置 7、8、9 次數相加，兩者相減，若 (位置 1+位置 2+位置 3)次數大於(位置 7+位置 8+位置 9)次數，可知位置偏向上方，因此使用 model 1、3 加以輔助，相反則是下方，使用 model 7、9 加以輔助。

Step2：如圖 3，將位置 1、4、7 次數相加，位置 3、6、9 次數相加，兩者相減，若 (位置 1+位置 4+位置 7)次數大於(位置 3+位置 6+位置 9)次數，可知位置偏向左方，因此使用 Model 1、7 加以輔助，相反則是右方，使用 Model 3、9 加以輔助。因此規則如圖 15。

位置	輔助 model
2	Model 1、3
4	Model 1、7
6	Model 3、9
8	Model 7、9

圖 14. 輔助規則

```

If(上>下){
  if(右>左) Model 3
  else if (右<左)Model 1
  else Model 1 & Model 3
}
else if (上<下){
  if(右>左) Model 9
  else if (右<左)Model 7
  else Model 7 & Model 9
}
Else{//上=下
  if(右>左) Model 3 & Model 9
  else if (右<左) Model 1 & Model 7
  else //error
}

```

圖 15. 輔助判定規則

以上會將所有判斷次數相加，次數最大者為目前位置，錯誤仍可能發生，但因為圍區域方式，且在 3x3 的區域內，因此可以修復路徑，例如：原來可能為位置 2，實際走位置 4，判斷為位置 6，因此下次將以 Model 6 做判斷，若下次步數為位置 1、4、7，因為位置偏左，所以以 Model 6 做判斷，將會落在 Model 2、5、8 最多，再下一步，則可能使用 Model 2、5、8 修正。除非連續的判定錯誤。

六、多重判斷流程

產生以下流程，如圖 16。

七、實驗結果

實驗連續 10 步，實驗 100 次，共 1000 步，實驗結果如圖 17。由圖 17 可知，因為兩步內可以修正的關係，所以並未出現連續 3 步以上錯誤，並且錯誤步數越高，出現次數越低。其中有一次實驗結果有 4 步錯誤(2 步 x2)，但並非連續四步。再將實驗連續 10 步，實驗 100 次，共 1000 步，所有步數統計結果呈現如圖 18。圖 18 可知，以步數統計

可看出，在 1000 步當中，有 948 步是正確的，因此正確率有 94.8%，所以認為此方法是可行的。

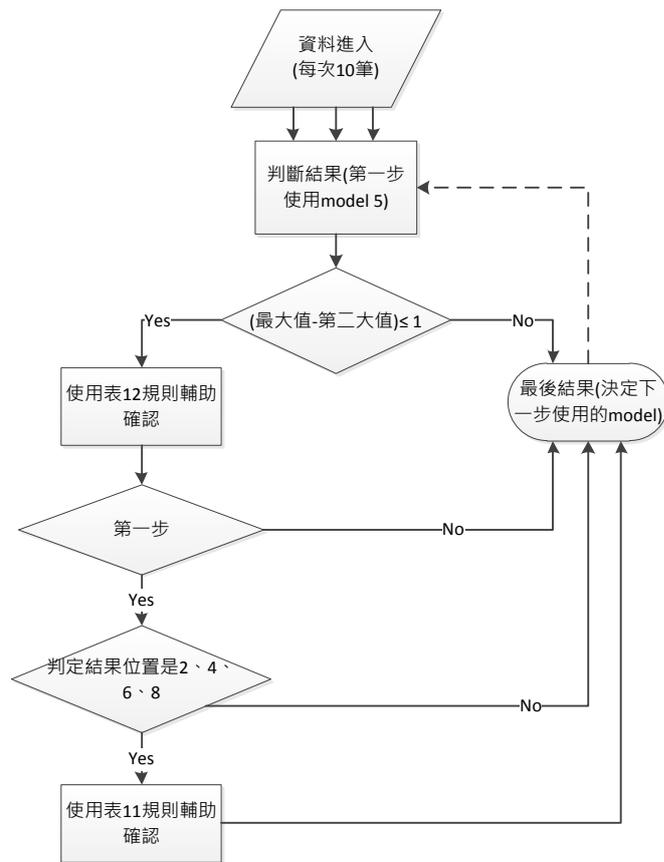


圖 16. 多重模型使用流程圖

連續錯誤 最大步數	次數
1	18
2	17
3 以上	0

圖 17. 實驗結果

錯誤步數	出現次數	錯誤步數總合	正確步數總合	正確機率
0(完全正確)	66	0	660	66%
1	18	18	660+18*9	82.2%
2	15	18+15*2	822+15*8	94.2%
4(非連續4步)	1	48+4*1	942+6*1	94.8%
總合	100	52	948	94.8%

圖 18. 實驗步數統計

肆、結論

本研究於室內使用 ZigBee 網路，結合支援向量機(SVM)的分類法並提出多重模型(Multiple Models)的定位方式，來進行室內定位之研究，此研究利用不同的 Model，加上多重確認的方式，來達到最後精準的定位結果。本次實驗建立在 3x3 平方公尺的空間，針對區域定位，定位精準度可達 1x1 平方公尺，而且可在兩次連續錯誤定位中，修正至正確位置。若是以相同的模式，將面積以巢狀式擴大，應能得到相同效果，如此能做到大範圍的定位，可以應用在醫院、工廠等環境之定位。

伍、參考文獻

- [1]黃種璋，『基於 Zigbee 之即時室內定位系統開發』，中興大學電機工程學系所，2011 年
- [2]張又中，『應用 ZigBee 無線感測網路之定位演算』，國立成功大學電信管理碩士論文，2010 年
- [3]鄭琮憲，『ZigBee 下基於接收訊號強度法實現室內即時定位系統』，嶺東科技大學資訊科技應用碩士論文，2011 年
- [4]蕭銘遠，『在 Wi-Fi 環境下居家照護行動定位的建構』，亞洲大學電腦與通訊學系碩士論文，2006 年

- [5] An-ke Xue, Rui-rong Wang, Jian-zhong Wang, Zuo-yi Zhang, “A New Solutions for Staff Localization in Chemical Plant”, System Science and Engineering (ICSSE), 2011 International Conference on, 8-10 ,pp. 503 – 508,June 2011
- [6] Bruzzone, L., Melgani, F., “Classification of Hyperspectral Remote Sensing Images With Support Vector Machines”, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on , Volume : 42 , Issue:8 ,pp. 1778 – 1790, Aug. 2004.
- [7] Changlin Ma, Cong Jin, Jinghua Wang, Junmin Ye, Qingguo Zhang, Wei Zhang, “Genetic Algorithm based Wireless Sensor Network Localization”, Natural Computation, 2008. ICNC '08. Fourth International Conference on, 18-20,Volume: 1,pp.608 – 613,Oct. 2008
- [8] Dalal, N., Triggs, B., “Histograms of Oriented Gradients for Human Detection”, Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on, 25-25,Vol.1, pp. 886 - 893, June 2005.
- [9] D. Estrin, D. Culler, G. Sukhatme. and K. Pister, Connecting the physical world with pervasive networks. In *IEEE Pervasive Computing*, pages 59 – 69, 2002.
- [10] G.J. Pottie and W.J. Kaiser., Wireless integrated network sensors. In Communications of the ACM, volume 43, pages51–58, 2000.
- [11] Gollan, N., Schmitt, J.B., Martinovic, I., “Firewalling wireless sensor networks_ Security by wireless”, Local Computer Networks, 2008. 33rd IEEE Conference on, 14-17, pp.770 – 777, Oct. 2008
- [12] Gottesheim, W., J.Beer, W., Kurschl, W., Mitsch, S., Prokop, R., Schonbock, “A Two-Layered Deployment Scheme for Wireless Sensor Network based Location Tracking”,Information Technology: New Generations, 2008. ITNG 2008. Fifth International Conference on, 7-9, pp.726 – 730,April 2008
- [13] Gwei-Tai Jen, Tai-Wei Lu, Wen-Hsing Kuo, Yun-Shen Chen, “AN INTELLIGENT POSITIONING APPROACH: RSSI-BASED INDOOR AND OUTDOOR LOCALIZATION SCHEME IN ZIGBEE NETWORKS”, Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), 2010 International Conference on, 11-14,Volume: 6,pp.2754–2759.July 2010

Abstract

With the rapid advance of technology, the outdoor positioning services such as GPS have been developed completely. However, the indoor positioning technology is still under research level. The extended services from outdoor positioning now are unavailable in indoor environment. At the same time, the indoor positioning technology can provide many desirable services such as the monitoring of the environment, the protection of indoor accidents and the identification of indoor living style which was provided by using another bio-signal measuring devices. Thence, in this paper the SVM was used to provide the indoor positioning based on ZigBee wireless network and an approach of a Multiple Models was proposed for the precise indoor positioning. The results have shown that this approach was efficient and feasible.

Keywords : indoor positioning, SVM, ZigBee