

以 ZigBee 無線感測網路為基礎運用類神經網路進行室內定位

陳榮靜
朝陽科技大學
資訊管理系

e-mail :
crching@cyut.edu.tw

林渝翔
朝陽科技大學
資訊管理系

e-mail :
s9914601@cyut.edu.tw

林裕証
朝陽科技大學
資訊管理系

e-mail :
s9814609@cyut.edu.tw

摘要

近年無線技術發展蓬勃，無線技術結合定位以及情境感知的相關應用也不斷發展創新。定位環境分為室內以及室外，室外環境常以全球定位系統(Global Position System, GPS)進行定位，但 GPS 並不適用於室內定位。本研究將以室內定位做為探討，使用 ZigBee 無線感測網路為基礎，佈置模組元件於室內環境進行定位，定位方法為結合連線品質指標(Link Quality Indicator, LQI)與類神經網路建立定位模型，並將結果進行準確度的評估，實驗結果證明我們提出的方法有助於提升室內定位的準確度。

關鍵詞：室內定位、ZigBee、連線品質、類神經網路。

Abstract

In recent years, the expanding of wireless technologies has applied to position location and context-aware computing. The position location methods are divided into indoor and outdoor types. GPS(Global Position System) is usually used in outdoor location but it was not applied to indoor environment. In this paper, we will propose a new method using ZigBee to perform indoor location tracking. This method uses the value of LQI(Link Quality Indicator) and neural network for indoor position location. Experiment results indicated our proposed method is useful.

Keywords: Indoor location, ZigBee, LQI, Neural network

1. 前言

隨著科技進步，各式各樣硬體傳輸設備不斷推陳出新，使得定位技術的發展也趨進多

元，而無線網路環境越發普及的情況下，各式各樣應用結合情境感知(Context Aware)的議題[8]也逐年攀升。情境感知指的是提取使用者當下的情境，包含環境、喜好、任務等等，經過後端系統的歸納分析後，提供使用者適當的服務，而以定位的角度來看，位置感知(Location Aware)也是基於相同的觀念，根據使用者當下所處的位置，給予其相對應可提供的服務[21]，而由於位置感知為基於提取使用者所在位置來提供服務，因此如何才能準確有效而方便的得知使用者所在位置[16]，是許多定位研究所探討的關鍵問題。

針對使用者所處位置，定位面向普遍區分為室內定位(Indoor Location)以及室外(Outdoor Location)兩種環境，室外定位常用技術為全球定位系統(Global Position System, GPS)，經過不斷的發展下，該技術已趨近於成熟，目前市面上有相當多產品結合 GPS 接收器來協助定位並給予服務，如手機、個人數位助理(Personal Digital Assistant, PDA)、導航設備等等，其定位原理為用戶端配戴含 GPS 接收器的設備，接收工作衛星傳送來的訊號，以三角測量原理達成定位的效果，其優點為高全球覆蓋率達 98%，全天候環境下可使用，並支援移動定位，相當適合於戶外環境定位，但由於該技術是採用工作衛星協助定位，因此需與衛星具備直視性(Line of Sight)的環境下才能使用，亦即是定位目標與衛星之間不能有阻擋遮蔽物存在，故 GPS 不適用於室內環境定位[10]。

室內定位環境中，通常使用者身上需配戴裝置用來收發訊號，使用者所處的環境內有數台不等的設備佈置在已知的地點，當使用者在環境中移動，其中某一台設備感測到使用者所配戴的設備，即表示使用者正位於該設範圍之內，因此透過這樣的基礎觀念，即可得知使用者所在位置。現今已有多種定位技術應用於室內環境進行相關研究，這些技術包含無線射頻辨識[12][13][14]、紅外線[3]、超音波[5]、無線網路、藍芽、超寬頻、無線感測網路、ZigBee 等等，可用於導航[15]以及醫療[18]、位置追蹤

[19]，由於這些技術具備非直視性(Non Line-of-Sight)的特性，因此適合用於室內定位，而每個技術都各自有其範圍、精確度、成本等因素需要考量，之後會在下一個章節進行統一介紹。本研究將採用 ZigBee 無線感測網路為基礎，蒐集環境底下測試的接收訊號強度，結合類神經網路進行定位計算。

第二章將介紹室內定位技術的相關研究以及常用的定位演算法；第三章將會介紹本實驗所採用之定位方法，包含訓練階段以及實驗階段；第四章為初步實驗、結果和設備規格展示，最後為結論。

2. 文獻探討

目前已有不少定位技術用於室內環境的研究，如無線網路、超音波(Ultrasonic)、輔助全球衛星定位系統(Assisted Global Positioning System, AGPS)、無線射頻辨識(Radio Frequency Identification, RFID)、ZigBee 無線感測網路等技術，適用於結合各種定位模型、演算法來感測使用者的位置，而每項技術各有其缺點及特色，下面我們將一一介紹這些定位技術。

2.1 定位技術

2.1.1 無線區域網路 (IEEE 802.11)

西元 2000 年 P. Bahl 等學者所提出的 RADAR 系統[4]，其定位原理為使用無線網路環境中佈置的數個存取點(Access Point, AP)交互覆蓋在整個環境區域，根據平方反比定律(Inverse-Square Law)，訊號強度會隨著距離遠離，呈現訊號衰減降低的現象，因此透過接收訊號強度，可用於得知使用者的所在位置。

RADAR 系統研究過程分兩個步驟，首先是離線階段(Offline Phase)，將定位環境分成多個點，逐一進行訊號強度接收的實驗，採集該環境的特徵訊號紋(Finger Printing)，並將資料統一收集紀錄於後端資料庫中。第二步是連線階段(Online Phase)，透過使用者實際在環境中操作裝置，根據從使用者處得來的強度訊號與資料庫的結果進行比對，估測使用者實際所處的位置。此研究同時提出訊號傳播模型(Signal Propagation Modeling)方法，設立牆壁影響因子以及樓層影響因子來幫助提升室內定位的準確性，其實驗結果產生平均誤差為 2.37 公尺至 5.97 公尺。M.Youssef 等學者於西元 2000 年提出了 Hous system，該系統基於無線網路定位的環境，並使用叢集結合機率的方法進行室內定

位，其實驗結果產生平均誤差為 2.1 公尺。

使用無線網路環境進行定位的優點在於建置成本低，因為許多公共區域已經設有無線存取點，因此使用者只需要配戴符合 802.11 的裝置即可，不用額外考慮定位環境的建置即可直接進行定位，但也有缺陷需要考量，首先是定位結果的準確度不高，尤其易受下雨天氣、室內遮蔽物所影響，也容易受到其他通訊技術所干擾，也需考慮配戴裝置的電力消耗問題。

2.1.2 超音波 (Ultrasonic)

常見使用超音波定位系統有 Cricket Location 以及 Active Bat。超音波測定距離的方式主要是使用飛時測距(Time-of-Flight)方法，透過適當的振動頻率產生固定的傳送速度，當超音波偵測到目標物體時，透過傳遞波以及回傳波的間隔時間與速度進行計算，即可得知目標物體與傳送裝置之間的距離。其準確率在 4 x 4 平方公尺的環境底下，有 95% 定位誤差維持在 9 公分，雖然其準確度極高，但是由於超音波本身具有高度的方向性，因此使用該項技術進行室內定位需使用大量的基礎設備建置，同時單純使用超音波並無法有效得知目標物體的身份，也就是不具備身份辨識的特性，通常需搭配其他技術輔助來達到身份辨識的目的。

2.1.3 輔助全球衛星定位系統 (AGPS)

SnapTrack 是由 Qualcomm 公司所開發出的技術，是為了因應 GPS 無法適用於室內定位，因此使用無線的方式來輔助搭配 GPS，達到室內定位的效果。

AGPS 的原理是在 GPS 系統增加了輔助伺服器，藉輔助伺服器來負責下載為衛星歷進行定位運算，以基地台與室內使用者進行裝置通訊，因為增加了移動式巢狀網路的輔助，因此使室內定位的速度大幅提高，運用於室內定位環境，所測量得到的平均準確度為 5 至 50m。AGPS 技術的優點在環境建置成本對使用者而言很低，只需要配戴具備相對應功能的行動裝置即可，但是其缺點也很明顯，由於室內環境空間的干擾，因此其精確度並不是很高。

2.1.4 無線射頻辨識 (RFID)

RFID 主成元件包含兩項，讀取器(Reader)和標籤(Tag)，標籤讀取原理為讀取器發射無線電波，標籤感應收到訊號後則回傳訊息，由於每個標籤都具備唯一的獨立識別碼，因此此技術具備身份辨識的特性。

西元 2000 年由 J. Hightower 等學者提出使

用 RFID 進行定位的 SpotON 系統[6]，該系統以聚集演算法(Aggregation Algorithm)進行 3-D 空間無線訊號強度的分析，使用同質的感測節點來分析，沒有透過中央進行控制，節式佈置多個標籤把分析的結果關聯以改善定位的精確度。西元 2003 年由 L. M. Ni 等學者提出名為 LANDMARC 的定位系統[7]，使用多個參考標籤進行校準，並採 KNN 方法進行目標定位，精確度在 1-2M 之間。RFID 優點在主動式設備傳輸距離遠，準確度也不錯[9][17]，缺點是需額外佈置設備，加上定位環境的結構以及干擾影響，通常會採用主動式設備，因此成本多偏在中等以上。

2.1.5 ZigBee 無線感測網路

ZigBee 無線感測網是近年逐漸興起的傳輸標準，使用頻段為 900Mhz 和 2.4Ghz，採用 IEEE 802.15.4 標準進行傳輸，傳輸距離為 10 米至數百米不等。ZigBee 具備星狀、網狀、樹狀網路拓撲結構，網路構成分為三個組件，分別是協調中心(Coordinator)、路由器(Router)以及終端設備(EndDevice)，能夠結合各類感測器(Sensor)，如光度、溫度、照度等功能[22]。

Hui Lin 等學者提到除了準確度以外還需考量成本、擴充性、穩健性、準確率等因素[11]，而 ZigBee 優點在低功耗[23]，靈活經濟的傳輸速率，可佈置 1000 個節點以上成為大型網路，可結合感測器進行附加環境應用[25]，相較於主動式 RFID，成本也較為低廉。本研究即是以 ZigBee 無線感測網路進行室內定位，後續章節將會詳細介紹本研究所採用的定位方法以及實驗結果。

2.2 定位演算法

2.2.1 訊號抵達角度法 (Angle Of Arrival, AOA)

接收訊號角度法是透過訊號具備方向性得知目標方位，如圖 1 所示，其原理以三角定位法進行位置估算。方法缺點在於硬體設備需要具備高精確度的指向性天線，也因障礙物影響而產生多重路徑(Multi-path)、繞射、散射等現象影響定位精準度。

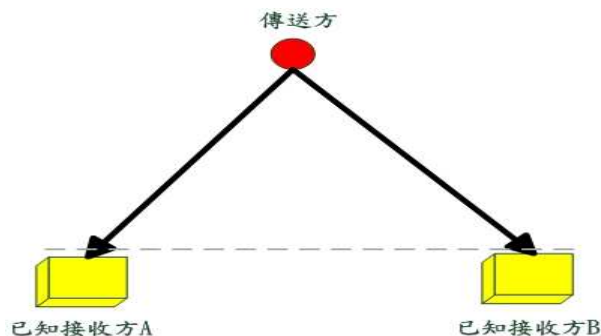


圖 1、AOA 定位示意圖

2.2.2 訊號抵達時間法 (Time Of Arrival, TOA)

到達時間法為使用訊號傳輸速度與傳送時間進行乘積，即可推導出傳送端與接收端之間的距離[2]，如公式(1)所示。

$$D_i = V \times (T_r - T_o) \quad (1)$$

V 代表訊號傳輸速度， T_r 為接收端收到訊號的時間， T_o 為傳送端傳送訊號的時間點。架構如圖 2 所示，透過三台已知位置的設備傳送訊號，接收端收到訊號後即可估測與三台設備的距離遠近，即可得知接收端的實際位置。此方法的缺點在於因為無線電波是以光速進行傳播，因此對時間的要求需達到同步，並且要很精確，否則距離誤差的影響將會極為明顯。

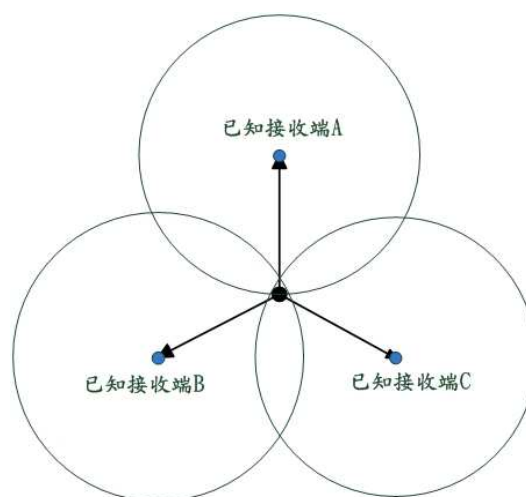


圖 2、TOA 定位示意圖

2.2.3 接收訊號強度法 (Received Signal Strength, RSS)

訊號接收強度法的損耗計算如式(2)[20]

$$P_L(d) = P_L(d_0) - 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (2)$$

$P_L(d)$ 表示訊號強度值， d_0 為發算端與接收

端的參考距離，通常以一公尺為參考標準， d 為發送端與接收端的實際距離， γ 為路徑衰減係數，如牆壁影響因子(Wall Effect Factor)， $X\sigma$ 指的是平均值為 0 的高斯(Gaussian)分佈隨機變數。由於 RSS 是用訊號強度與距離的關係進行測量，因此避免了需具備精確的方向性及時間同步的限制。而本研究所採用的是連線品質指標(Link Quality Indicator, LQI)，與 RSS 同樣具備隨著距離衰減的特性[26]，因此能當做距離定位的參考依據。

3.定位方法

本研究方法是參考先前我們所提的定位方法進行改良[1]，ZigBee 網路傳輸架構的組成分為三個元件，每個元件各自具備不同的功用，因此我們自行定義傳輸架構來方便實驗操作，傳輸架構圖如圖 3 所示，由 Router 負責進行訊號廣播，EndDevice 負責接收廣播訊號，並將訊號轉送出去，Coordinator 端則負責統合彙整接收各台 EndDevice 傳送來的封包，透過傳輸介面將資料傳至後端資料庫中進行保存。

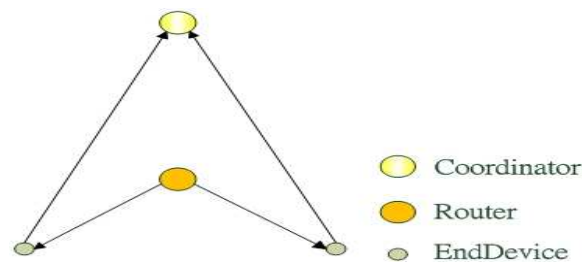


圖 3、傳輸架構圖

本研究架構主要參考場景分析法(fingerprinting)[24]，分為兩個部份，第一個部份為訓練階段，第二個部份為定位階段。訓練階段我們選定一個空間，於四周放置 EndDevice 設備，空間佈點架構則如圖 4 所示，將空間劃分成若干個座標點進行實驗採集測試，接著透過類神經網路進行訓練，以建構定位模型為目標。定位階段我們將實際測試室內定位準確度，將定位模型產出的座標點與目標座標做誤差比較，當產出誤差太大不符期望時則重新調模型，直到模型輸出的結果符合期望。

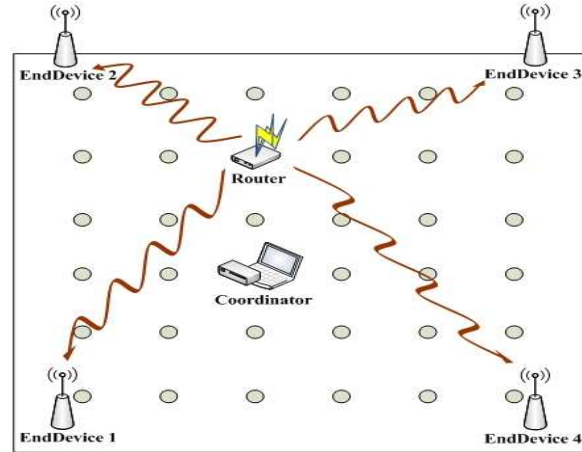


圖 4、空間佈點架構圖

3.1 訓練階段

選定三維空間進行定位環境的前置作業，佈置架構如圖 4 所示，以等距離劃分而成的座標點即為我們實驗所測試的訊號採集點，Coordinator 與 Router、EndDevice 分別進行網路連結，將設備 EndDevice 成對稱式的佈置於該空間的四個角落，而 Coordinator 則佈置於場景中心，保證讀取器範圍能夠含括整個空間，以確保訊號皆能正常讀取。

我們以 Router 做為移動節點，放置於事先劃分好的座標位置上，由 Router 廣播訊號傳送至四個角落的 EndDevice，EndDevice 收到 Router 廣播訊號再以轉送的方式將資料傳遞到 Coordinator，紀錄測試作標點以及四台 EndDevice 的 LQI 數值。判斷距離採用 LQI 數值為標準，ZigBee 進行封包傳輸時，能透過 MAC(Media Access Control)層計算來得到 LQI 數值，該數值與接收封包的連線品質有關，其大小會基於訊號強度以及訊號雜訊筆(Signal to Noise Ratio, SNR)所影響。

環境特徵蒐集結束後，使用 LQI 來評估位置，而 LQI 與距離是處於非線性的關係，這是因為蒐集到的 LQI 與環境因子影響而造成干擾有關，因此我們考量使用倒傳遞類神經網路，以 LQI 數值當輸入，實際座標為目標輸出來進行神經網路的訓練，透過類神經網路不斷訓練調整權重，期望得到權重所計算出的結果能盡量符合實際環境的干擾情況，同時倒傳遞神經網路優點在於訓練快速，所以我們使用倒傳遞做訓練。

建立定位模型時，考量單一類神經網路可能不夠準確，因此根據三角定位原理，選擇以三台設備的訊號為基礎，建立多組不重覆的 LQI 組合，將這些組合作神經網路輸入進行訓練，把每個類神經網路結合成為定位模型，訓

練階段流程如圖 5 所示，說明如下：

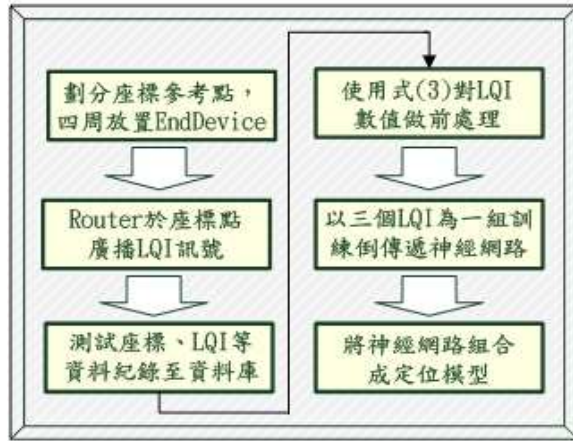


圖 5、訓練階段流程圖

Step 1：選定一個空間，將空間劃分若干個座標，距離間隔採取等距離做劃分。將 Coordinator、EndDevice、Router 進行連線，EndDevice 佈置於空間四周，高度皆為相同。

Step 2：Router 移動至每個座標進行訊號廣播，以 t 為測量時間，EndDevice 轉送訊號，最後透過 Coordinator 接收 LQI 數值。

Step 3：測試座標、LQI、接收時間、設備 ID 等資料當作識別條件，儲存記錄在後端資料庫內。如表 1 所示，X 座標與 Y 座標數量分別以 m 與 n 表示，各座標點的連線品質集合分別是 lq_1, lq_2, lq_3, lq_4 ，將各台 EndDevice 的編號以 i 表示， $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ ，則 lq_i 代表 EndDevice i 訊號在 t 時間內所成的集合。

表 1、連線品質集合表

測試座標	連線品質集合
(1,1)	lq_1, lq_2, lq_3, lq_4
(1,2)	lq_1, lq_2, lq_3, lq_4
(1,3)	lq_1, lq_2, lq_3, lq_4
...	...
(X_m, Y_n)	lq_1, lq_2, lq_3, lq_4

Step 4：使用式(3)對 lq_i 集合進行前處理， t 所指為時間， i 指第 i 台 EndDevice， t 時間內所蒐集的 lq_i 資料筆數的數量則以 p 表示， Q_i 值即為前處理的結果。

$$Q_i = \frac{lq_i}{p} \quad (3)$$

Step 5：採用監督式學習的類神經網路，以蒐集好的 LQI 做為輸入，實際座標點做為目標，本實驗使用 Cascade-forward backpropagation 類神經網路進行訓練，神經網路架構如圖 6 所示。本實驗共使用 4 台

EndDevice 的 LQI 數值，根據三角定位法的原理，每個神經網路的輸入集合分別是 (Q_1, Q_2, Q_3) 、 (Q_1, Q_2, Q_4) 、 (Q_1, Q_3, Q_4) 、 (Q_2, Q_3, Q_4) 。

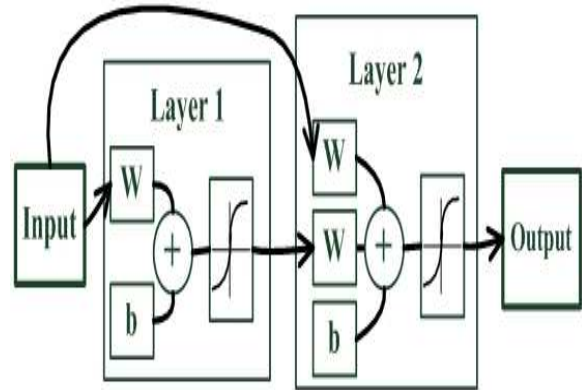


圖 6、Cascade-forward backpropagation 架構圖

Step 6：建立定位模型，如圖 7 所示，將訓練完成的四個神經網路結合至定位模型之中，神經網路集合以 $NN_k(k=4)$ 表示，神經網路產出結果以 $N(x_k, y_k)$ 表示。

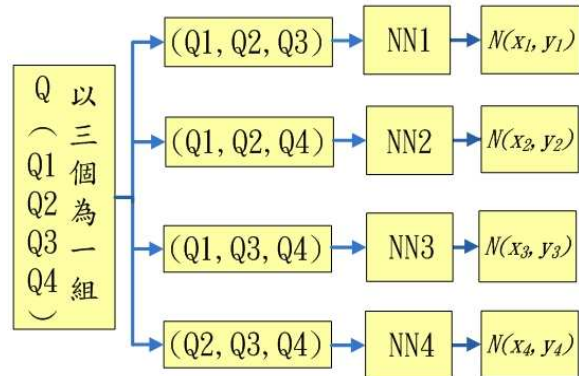


圖 7、定位模型架構圖

3.2 定位階段

精確度與準確率是室內定位最重要的參考依據，本研究在此階段將以提出定位演算法，著重於降低最大誤差，維持準確率為要目標。定位階段流程如圖 8 所示，說明如下：

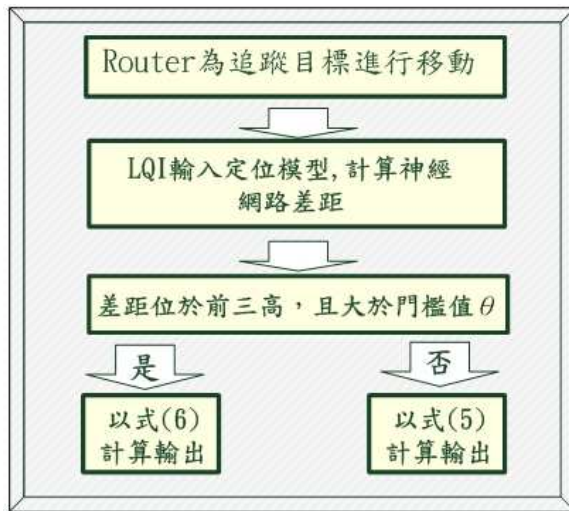


圖 8、定位階段流程圖

Step 1: 目標物配戴 Router，於目標座標點進行移動追蹤，並判斷 Coordinator 是否依序接收到 EndDevice 轉送之連線訊號

Step 2: 將蒐集的 LQI 數值做前處理，輸入定位模型。根據式(4)歐幾里得距離公式計算各神經網路結果的差距，計算組合分別是 (NN1,NN2)、(NN1,NN3)、(NN1,NN4)、(NN2,NN3)、(NN2,NN4)、(NN3,NN4)，並將結果由大到小進行排序。

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (4)$$

Step 3: 建立調整規則，評估神經網路的座標結果是否需要調整，規則說明如下所示：

(1)規則 1: 判斷是否有神經網路與其他神經網路差距經過由大到小排序後皆位於前三高。

(2)規則 2: 以 θ 為門檻值，判斷該神經網路是否與其它神經網路的差距皆大於 θ 。

當上述規則皆滿足時則對神經網路結果進行調整，捨棄不符規則的神經網路結果。

Step 4: 結合神經網路結果，計算座標。不符合調整規則，則使用式(5)進行計算，若符合調整規則，則採用式(6)計算座標， $O(X,Y)$ 表示定位模型所輸出的座標值。

$$O(X_i, Y_i) = \left(\frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4}, \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} \right) \quad (5)$$

$$O(X_i, Y_i) = \left(\frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \right) \quad (6)$$

4.初步實驗

4.1 實驗環境

本研究採用實驗環境面積為 8×8 平方公尺，實際環境空間如圖 9 所示。



圖 9、環境空間

實驗環境座標如圖 10 所示，於空間四個角落各佈置一台 EndDevice，定位空間等距離劃分成 36 個座標點，座標點間距離為一公尺。

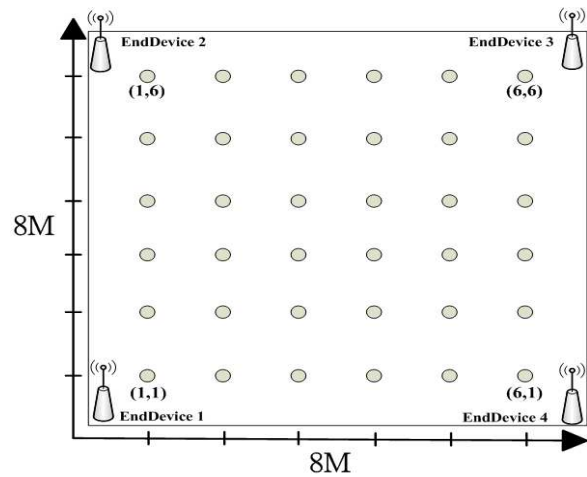


圖 10、實驗座標圖

4.2 實驗設備

實驗設備如圖 11 所示，實驗採用設備為 Ray Ching Information 公司所生產的 ZigBee 無線單晶片設備，晶片型號為 CC2530-256K，支援 IEEE 802.15.4 以及 ZigBee2007/PRO 和 RF4CE 標準，工作頻段為 2.45Ghz，輸出功率為 4.5dBm，接收靈敏度為 -102dBm。

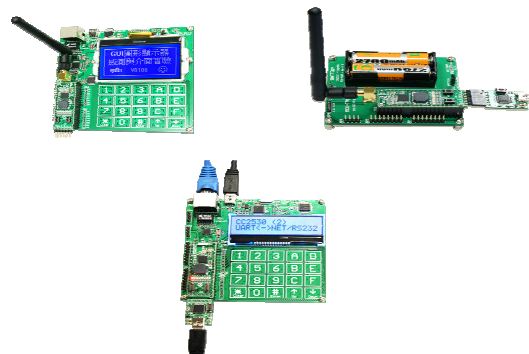


圖 11、實驗設備圖

4.3 實驗結果

4.3.1 訓練階段

表 2 為定位環境中 36 個座標點分別收集 2 分鐘的 LQI 數據集合，經過式(3)以取平均的方式轉化而成，(X,Y)表示測試座標，Q1~Q4 指的是 EndDevice 1~4 的 LQI 以式(3)做前處理，將這些數據做為輸入神經網路做訓練。

表 2、LQI 數據表

(X,Y)	Q1	Q2	Q3	Q4
(1,1)	100	64	50	64
(1,2)	86	81	56	84
...	...	...	...	...
(6,6)	22	53	84	50

4.3.1 定位階段

表 3 為我們先前所提出的方法，取其中符合調整規則的四個座標做呈現。第一欄 T(X,Y) 指的是實際座標，第二欄為調整前計算出的座標，第三欄表示與目標相差幾公尺。

表 3、初步實驗結果

T(X,Y)	調整前結果	調整前誤差(m)
...	...	...
(1,3)	(3.2,3.3)	2.2
...	...	...
(2,1)	(2.9,2.1)	1.4
...	...	...
(2,6)	(1.5,3.6)	2.5
...	...	...
(6,1)	(5.5,1.7)	0.9
...	...	...

以差距最大的座標(2,6)為例，使用本篇我們所提的方法進行調整，首先我們設定門檻值為 $\theta=2(m)$ ，四個神經網路 NN1~NN4 所計算的座標輸出分別是(1.3,3.5)、(1.0,1.0)、(2.5,5.2)、(1.0,4.5)，採用式(5)計算四個神經網路之間的差距，並將差距由大到小做排序。

如表 4 所示，發現 NN2 符合兩個調整規則，一是與其它神基網路的差距皆排在前三，二是差距都超過門檻值 θ ，因此捨棄 NN2 所推算的座標點(1.0,1.0)進行調整，改採用式(6)計算 NN1、NN3、NN4 的座標值，也就是只考慮(1.3,3.5)、(1.0,1.0)、(1.0,4.5)三個座標給予相同權重做計算，調整後座標為(1.6,4.4)。

表 4、神經網路組合之差距

目的座標(2,6)		
排名次序	神經網路組合	差距(m)
1	(NN2 - NN3)	4.5
2	(NN2 - NN4)	3.5
3	(NN1 - NN2)	2.6
4	(NN1 - NN3)	2
5	(NN3 - NN4)	1.6
6	(NN1 - NN4)	1

表 5 為定位階段所測試的 36 個座標點中取出誤差較明顯的四個座標點做調整前後的結果呈現，以目標座標(2,6)為例，調整前座標為(1.4,3.5)，與目標座標(2,6)誤差為 2.47 公尺。調整後座標(1.6,4.4)為我們提出的方法調整過後所得結果，與調整前的方法比較，可以發現誤差從原先的 2.47 公尺降至 1.6 公尺，其餘數據結果如表 5 所示。

表 5、方法誤差比較

T(X,Y)	調整前座標	調整前誤差	調整後座標	調整後誤差
(1,3)	(3.2,3.3)	2.2	(2.2,2.5)	1.37
(2,1)	(2.8,2.1)	1.4	(1.8,1.0)	0.2
(2,6)	(1.4,3.5)	2.47	(1.6,4.4)	1.6
(6,1)	(5.5,1.7)	0.9	(5.9,1.2)	0.25

表 6 為定位模型輸出 36 個座標以調整前的方法與我們調整後的方法進行平均誤差與最大誤差比較。我們先前提出的方法平均誤差為 1.01 公尺，最大誤差為 2.47 公尺，而經本篇提出方法調整後，平均誤差由 1.01 公尺降至 0.9 公尺，最大誤差由 2.47 公尺降至 1.77 公尺。

表 6、誤差結果評估

	調整前	調整後
平均誤差(m)	1.01	0.9
最大誤差(m)	2.47	1.77

5. 結論

本研究提出了一個以 ZigBee 無線感測網路為基礎，搭配類神經網路結合而成的定位模型架構，初步實驗結果顯示，我們提出的定位方法與先前未經過調整的定位方法比較，本篇方法能有效將室內定位平均誤差維持在 0.9 公尺，並降低最大誤差在 1.7 公尺以內。未來我

們考量結合模糊理論(Fuzzy)、基因演算法(Genetic Algorithms)等方法來改善我們的定位模型，以提高定位方法的準確度。

6. 誌謝

本論文所進行之定位計畫受國科會計畫補助，國科會計畫編號為 NSC - 99 - 2632-E-324-001-MY3。

參考文獻

- [1] Rung-Ching Chen, Yu-Cheng Lin, "A Novel Method for Indoor Location Identification," International Symposium on Aware Computing, 2010.
- [2] B. Fang, 1990, "Simple Solution for Hyperbolic and Related Position Fixes," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 26, no. 5, pp. 748-753.
- [3] R. Want, A. Hopper, V. Falcao and J. Gibbons, 1992, "The Active Badge Location System," ACM Transactions on Information Systems, vol. 40, no.1, pp. 91-102.
- [4] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, 2000, "RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System," IEEE INFOCOM ,vol. 2, pp. 775-784.
- [5] N. B. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan., 2000, "The Cricket Location-support System," MOBICOM, pp. 32-43.
- [6] J. Hightower, R. Want and G. Borriello, 2000, "SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength," Technical Report, University of Washington.
- [7] L. M. Ni, Y. Liu, Y.C. Lau, and A.P. Patil, 2003, "LANDMARC - Indoor Location Sensing Using Active RFID," IEEE Potentials, vol. 17, no. 4, pp. 407-415.
- [8] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggles, Andy Ward1 and Paul Webster, 2004, "The Anatomy of a Context-Aware Application," Wireless Networks, vol. 8, no. 2-3, pp. 187-197.
- [9] S. T. Shih, K. Hsieh, and P.Y. Chen, 2006, "An Improvement Approach of Indoor Location Sensing Using Active RFID," ICICIC '06, vol. 2, pp. 453-456.
- [10] C. Wang, H. Wu, and N.F. Tzeng, 2007, "RFID-Based 3-D Positioning Schemes," 26th IEEE International Conference on Computer Communications, pp. 1235-1243.
- [11] Hui Liu, Houshang Darabi, Pat Banerjee, and Jing Liu, 2007, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, vol.37, no.6, pp.1067-1080.
- [12] E. W. T. Ngaia, Karen K.L. Moonb, Frederick J. Rigginsc, and Candace Y. Yib, 2008, "RFID Research: An Academic Literature Review (1995-2005) and Future Research Directions," International Journal of Production Economics, vol. 112, no. 2, pp. 510-520.
- [13] T. Sanpechuda and L. Kovavisaruch, 2008, "A Review of RFID Localization: Applications and Techniques," Proceedings of ECTI-CON 2008, vol. 2, pp. 769-772.
- [14] M. Bouet and G. Pujolle, 2008, "A Range-free 3-D Localization Method for RFID Tags Based on Virtual Landmarks," IEEE 19th International Symposium on PIMRC 2008, pp. 1-5.
- [15] R. Oktem, Elif Uray Aydin, and N. Ercil Cagiltay, 2008, "An RFID Based Location Finding and Tracking with Guidance," WiCOM '08, pp. 1-4.
- [16] S. Kim, D. Ko, and S. An, 2008, "Geographical Location Based RFID Tracking system," WoWMoM 2008, pp. 1-3.
- [17] R. Tesoriero, J.A. Gallud, M. Lozano, and V.M.R. Penichet, 2008, "Using Active and Passive RFID Technology to Support Indoor Location-aware Systems," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 54, no. 2, pp. 578-583.
- [18] Chieh-Ling Huang, Pau-Choo Chung, Ming-Hua Tsai, Yen-Kuang Yang, and Yu-Chia Hsu, 2008, "Reliability improvement for an RFID-based psychiatric patient localization system," Computer Communications, vol. 31, no. 10, pp. 2039-2048.
- [19] Abhishek Patil, Jonathan Munson, David Wood, and Alan Cole, 2008, "Bluebot: Asset tracking via robotic location crawling," Computer Communications, vol. 31, no. 6, pp. 1067-1077.
- [20] S. G. Roh, and H. R. Choi, 2009, "3-D Tag-Based RFID System for Recognition of Object," IEEE Transactions on Automation

Science and Engineering, vol. 6, no. 1, pp. 55-65.

- [21] R. Tesoriero, R. Tebar, J.A. Gallud, M.D. Lozano, and V.M.R. Penichet, 2010, "Improving Location Awareness In Indoor Spaces Using RFID Technology," Expert Systems with Applications, vol. 38, no. 1, pp. 894-898.
- [22] Yuh-Ming Cheng, 2009, "Using ZigBee and Room-Based Location Technology to Constructing an Indoor Location-Based Service Platform," 09. Fifth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing(IIH-MSP)
- [23] L. Bras, M. Oliveira, N. Borges de Carvalho, and P. Pinho, 2010, "Low power location protocol based on ZigBee Wireless Sensor Networks," International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN).
- [24] G. Hui, W. Fei-Yue, W. Kunfeng, Y. Qingming, Z. Hongxia, 2007, "Location estimation in ZigBee Network based on fingerprinting," IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety(ICVES).
- [25] G. Goncalo, S. Helena, 2009, "Indoor Location System Using ZigBee Technology," Third International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM).
- [26] C. Diallo, M. Marot, M. Becker, 2010, "Using LQI to improve clusterhead locations in dense zigbee based wireless sensor networks," IEEE 6th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob).