

# 無線感測網路下以模糊推論為基礎的區域室內定位系統

鄭佳忻  
國立虎尾科技大學  
電機系副教授  
chcheng@nfu.edu.tw

嚴毅  
國立虎尾科技大學  
電機系研究生

林建誌  
國立虎尾科技大學  
電機系研究生

許翔智  
國立虎尾科技大學  
電機系研究生

## 摘要

本文主要在探討無線感測網路(WSN)定位中使用人工智慧演算法於不同形狀區塊劃分方法的室內定位效能之分析。將在無線網路環境中，利用接收訊號強度(Received Signal Strength Indicator, RSSI)與距離成反比的概念，建立出訊號傳播通道模型，依照訊號發射端與接收端間距離之遠近將訊號功率強度分成不同層級，依照環境空間大小劃分出數個區塊，藉由各個參考節點其功率層級與彼此交互重疊下產生出數個小區塊，利用模糊推論系統(Fuzzy Inference System, FIS)的方式來求得目標節點所在的正確區塊位置。

**關鍵詞：**無線感測網路、人工智慧演算法、模糊推論系統、接收訊號強度、區域估測定位法

## Abstract

The performance of indoor positioning scheme with different split methods of zone by using the computational intelligence algorithm in Wireless Sensor Networks (WSNs) will be analyzed in this paper. The received signal strength indicator (RSSI) is inversely proportional to distance in wireless transmission. This propagation characteristic has been used to construct a signal propagation channel model. We could divide the RSSI into several power levels according to the distance between the transmitter and receiver. In indoor location, the location space could be split up into zone lots. In order to find out the location zone of the target node, the fuzzy inference system (FIS) algorithm is used to improve the accuracy of the location zone.

**Keywords:** WSNs, computational intelligence algorithm, FIS, RSSI, Zone-based location method.

## 1. 前言

隨著物聯網(Internet of Things, IOT)[1]的概念興起，IOT 的應用越來越受到學術界及產業界的關注，因此紛紛投入無線網路的研究與發展，如無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)，WSN 就是將數個分散且獨立的感測器通過無線的方式連接起來，並組成一個無線的感測網路，常見的 WSN 應用包含自然生態環境的監測、國防軍事監測、醫療領域及居家生活中[2]。無線區域網路(Wireless Local Area Network, WLAN)主要概念是一種利用無線傳輸技術的方式連接區域網路[3]，WLAN 可以滿足移動性、重新佈置及隨意連網，主要應用於捷運站、機場、醫院、賣場等公共區域或是有線區域網路受到環境限制的區域。而無線個人區域網路(Wireless Personal Area network, WPAN)也是使用無線網路的技術，但其特點強調短距離及低功耗等特色，常見的技術有：藍芽(Bluetooth)、超寬頻(Ultra Wide Band)、ZigBee、無線射頻辨識系統(Radio Frequency Identification, RFID)。

近年來，定位服務(Location-Based Service)隨著無線網路的廣泛應用而逐漸熱門，許多學者也展開積極的研究[4, 5]。在無線定位技術中，全球定位系統(Global Position System, GPS) 因其有著高可用性、可靠性、可提供多種定位精確度且擁有廣泛的應用領域而被廣泛應用[6]。但對於室內環境而言，一方面衛星信號難以穿透建築物而失去定位作用，因此尋找其他適用於室內環境的定位系統，已成為學術界的研究重點[7, 8]。

室內定位系統研究中，利用接收訊號強度(Received Signal Strength Indicator, RSSI)進行距離估算是最容易實現。因此近幾年有相關研究[9, 10]提出不同的 RSSI 接收方法並建立訊號傳播通道模型曲線，再根據其通道模型曲線

選擇不同的定位方法，進行目標節點的位置估算。本文主要在探討無線感測網路(WSN)定位中使用人工智慧模糊推論系統演算法於不同形狀區塊劃分方法的室內定位效能之分析。

## 2. 相關研究

目前的定位方法大致可區分成座標估算類與區域估算類。座標估算類的方法有:到達角度定位法(Angle of Arrival, AOA)[11]、到達時間定位法(Time of Arrival, TOA)[12]、到達時間差定位法(Time Difference of Arrival, TDOA)[13] 以及三邊定位法(Trilateration)[14]。

區域估測的定位法中常見的做法為指紋比對法(Fingerprinting)[7, 8]，該方法可以分成離線階段與線上階段，離線階段是將各個參考節點於實驗環境中的各個區域位置所收集到的 RSSI 值建立特徵資料庫。線上階段的部分，當目標節點位於實驗環境中，藉由收集到的 RSSI 值與特徵資料庫進行比對而得到目標節點所在的定位區域位置。此種方法相較於座標估測類的定位，其優點為定位方法簡單且複雜度低。

此外，RSSI 值在室內環境中是常常在改變的，因此會造成收集到的 RSSI 值產生漂移且不穩定。然而，有關定位區域選擇方法的文獻中，多數方法都是依照 RSSI 值的強弱值排序，接著選擇前幾強的 RSSI 數值其對應的參考節點所構成的區域進行判定[15, 16]。然而，以現有的區域選擇方法無法達到 100% 的正確定位判斷率。而在室內定位的相關文獻中[17, 18]，提出許多結合現有的人工智慧演算法整合到定位系統中藉此改善定位效能。從這些定位研究中可以觀察到，將模糊系統應用於眾多定位方法，皆可以得到定位效能的改善。

## 3. 訊號傳播通道模型

對數距離路徑損耗模型(Log-Distance Path Loss Model)是指接收訊號的平均功率會隨著距離的增加而呈現指數的衰減，這種現象不分室內室外皆通用，所以以經被許多文獻大量使用[9, 10]。也由於接收訊號的平均功率是成指數衰減，根據文獻[19]，在訊號傳播路徑模型方面，考慮到室內環境的遮蔽效應影響，將使用傳統的對數距離路徑損耗模型，並加入遮蔽效應與對數-常態分布(Log-Normal Distribution)機制，如公式(1)所

示:

$$\begin{aligned} \overline{PL}(\text{dB}) \\ = \overline{PL}(d_0) + 10\gamma \times \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma(\text{dB}) \end{aligned} \quad (1)$$

在(1)中  $\gamma$  為路徑損耗指數，表示路徑散逸的速率； $d_0$  為陷入距離，通常為一非常接近發送端的距離； $d$  為發送端與接收端之間的距離。

一般文獻中將遮蔽效應視為隨機變數來表示， $X_\sigma$  為平均值為 0 的高斯隨機變數，其標準差 (Standard Deviation)  $\sigma$  為 3 至 10 dB。

其中，值得探討的是，在大部分環境中，路徑損耗指數是大於或等於 2，但也有其他環境會導致路徑損耗指數小於 2，如表 1 所示:

表 1 各種環境中的路徑損耗指數

環境	路徑損耗指數 $\gamma$
空曠	2
建築物內視線所及	1.6 至 1.8
建築物內有遮蔽	4 至 6
工廠內有遮蔽	2 至 3

由此可知， $\sigma$  越大，則訊號傳播通道模型中 RSSI 值會產生較大的變動。藉由此特性，我們將用來模擬數種不同的室內環境空間以符合實際環境量測情形，並利用此通道模型進行區域估測概念的室內定位。

## 4. 區域定位演算法

在無線感測網路定位中使用區域估算定位方法是一種計算複雜度低且簡單的定位方法。如圖 1 所示拓樸方式，我們採用待測環境空間的四個角落佈置參考節點，並在待測環境空間的中間多加入一個參考節點，此參考節點擺放拓樸方式，被用來解決定位區域選擇的不確定性及提高定位精確度。

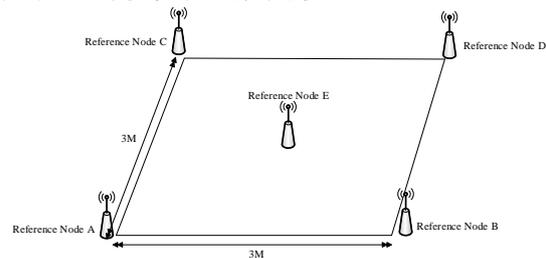


圖 1 參考節點擺放拓樸示意圖

以下是本文目前會探討的幾種區域劃分法：

#### 4.1 三角形定位區域劃分

我們利用上述此拓撲方式劃分出四個長 3 公尺、寬 1.5 公尺的三角形定位區域，並且更進一步探討未知的目標節點是落在四個三角形定位區域中的哪一個三角形定位區域裡。當知道目標節點落在哪個三角形定位區域就可以使用該三角形定位區域上的參考節點來執行三邊定位法估算出目標節點的位置。如圖 2 所示。

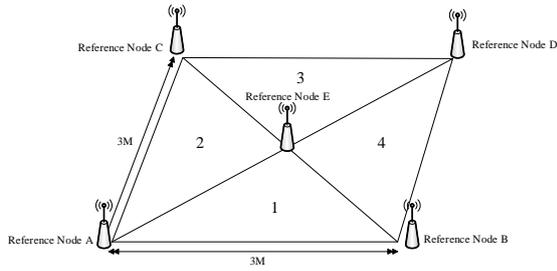


圖 2 三角形定位區域劃分法

雖然此三角形定位區域劃分法大都可以正確的選擇到最佳的三角形定位區域，但此三角形劃分法仍有改善的地方，一方面由於劃分的區域範圍較大，其定位的解析度並不高，另一方面，由於 RSSI 值容易隨著環境改變，若目標節點恰好落在三角形的邊界附近，則容易造成定位區域的判斷錯誤，進一步造成定位誤差，而三角形相鄰的邊界周圍產生不易判斷之區域，我們將其稱為模糊區域。

#### 4.2 模糊三角形定位區域劃分法

由於在三角形區域相鄰的邊界附近易造成定位區域的判斷錯誤，因此我們利用原先三角形定位區域劃分法中將其三角形區域的面積縮小為長 2 公尺、寬 1 公尺，並在三角形邊界周圍設立模糊區域，如圖 3 所示。編號 5、6、7、8 為增加的區域，藉由此劃分方法並加入模糊推論系統來改善區域位置的分析及提高定位解析度。

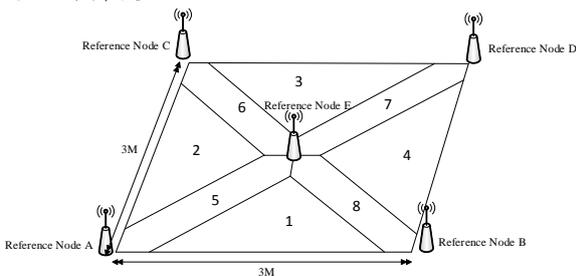


圖 3 模糊區域判定之三角形定位區域劃分法

#### 4.3 模糊矩形定位區域劃分法

上述方法雖藉由增加區域數量來提高定位解析度，由於待測環境空間中央的參考節點 E 周圍涵蓋 4 個模糊區域，若目標節點落在參考節點 E 附近，可能會因為 RSSI 值的變動，則造成模糊區域的定位判斷錯誤。因此，我們將重新劃分區域之形狀，將待測環境空間每 1 公尺 x 1 公尺劃分，共 9 個矩形區域，如圖 4 所示。此矩形定位區域劃分方法能改善當目標節點落在中心區域時，模糊區域判斷的不確定因素，且同時保有定位解析度高的優點。

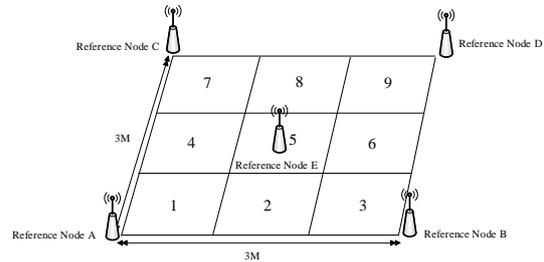


圖 4 模糊區域判定之矩形定位區域劃分法

#### 4.4 判斷正確區域位置之人工智慧

由於室內環境複雜，RSSI 值常常是不穩定且變化多端，單憑 RSSI 值強弱判斷並排序的方式來估測目標節點所在區域是無法達到穩定且正確的辨識，因為判斷出的結果都是”相對”較強或較弱的訊號值，並不是”絕對”，因此我們加入模糊推論系統的機制，首先收集每個參考節點的 RSSI，

並將其做為輸入變數帶進模糊推論系統，經由模糊規則庫的推論與解模糊機制後得到所在區域位置。而透過模糊推論系統進行區域估測定位的示意方塊圖如圖 5 所示。

#### 4.5 模糊推論系統(Fuzzy Inference System)

本文中將以區域估測的方式為基礎，結合模糊推論系統進行區域定位，在建立規則庫階段中，將測試節點依序放在 3 公尺 x 3 公尺的待測環境空間中的網格內，同時收集五個參考節點的 RSSI 值，根據 RSSI 值與功率層級建立歸屬函數並建立模糊規則庫，在區域估測定位階段，將目標節點佈署於相同大小的待測環境空間中，藉由模糊推論引擎，得到模糊輸出，在經過解模糊化的機制，算出目標節點所在的區域位置。以下介紹以功率層級劃分的模糊推論系統：

(a) Power Level 功率層級

將待測環境空間內的 5 個參考節點依據 RSSI 功率大小區分層級範圍，越靠近參考節點代表 RSSI 值較強，反之則越小。以參考節點 A 為中心的 RSSI 功率層級示意圖如圖 6 所示，依此類推，而參考節點 E 的 RSSI 功率層級示意圖如圖 7 所示。

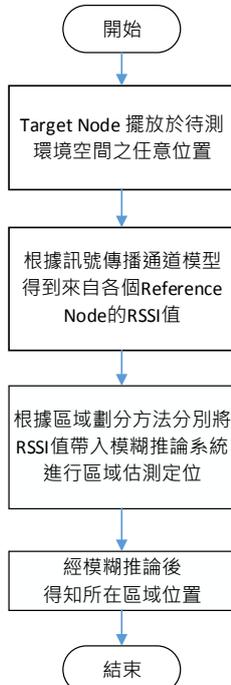


圖 5 透過模糊推論系統進行區域估測定位之示意方塊圖

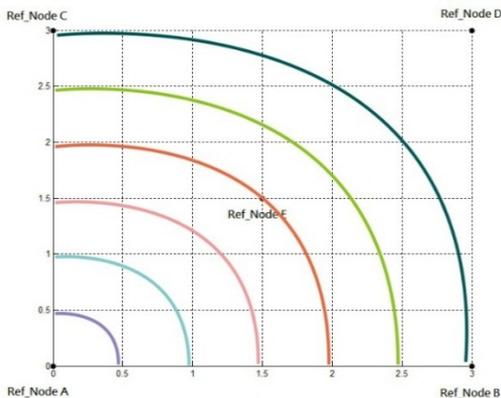


圖 6 參考節點 A 之 RSSI 功率層級示意圖

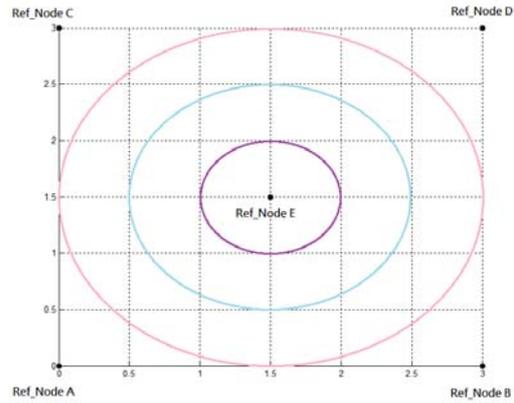


圖 7 參考節點 E 之 RSSI 功率層級示意圖

(b) 模糊集合

在本文中對於 RSSI 值模糊集合是依照上述功率層級的概念定義成 6 個模糊集合，分別為 L1、L2、L3、L4、L5、L6，如圖 8 所示。參考節點的模糊集合，其相關參數設定經由大量資料收集而歸納出 RSSI 歸屬函數，由於三角形歸屬函數其計算快速且效果與高斯函數差異不大，因此在本文中我們採用三角形歸屬函數。而輸出的歸屬函數則為劃分好的區域編號，如圖 9 所示。

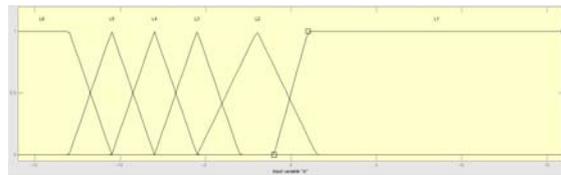


圖 8 參考節點的 RSSI 值歸屬函數

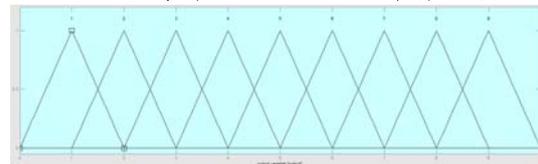


圖 9 輸出區域範圍的歸屬函數

(c) 解模糊化機制

解模糊化的用意在於將模糊推論所得的推論結果量化為輸出變數的歸屬函數值。常見的解模糊方法有:重心法、最大平均法、最大中心法，其中重心法為經常被使用到的解模糊化方法，因此本文中使用了重心法做為解模糊化的機制。

## 5. 模擬結果分析

本文中我們使用數種不同形狀的區域劃分方法帶入模糊推論系統來進行區域定位，並藉由調整對數距離路徑損耗模型中高斯隨機變數  $X_\sigma$  中的標準差  $\sigma$  參數來模擬不同的室內環境，標準差較小，訊號傳播通道模型曲線較

為穩定，則代表室內環境較空曠且無障礙物阻擋的空間。反之，若標準差變大，訊號傳播通道模型曲線則變為不穩定且誤差大，我們以此來模擬室內環境複雜且有遮蔽物阻擋的空間，使用基於模糊推論系統的區域估測定位法，比較不同環境的情況下，使用增加模糊區域判定之三角形區域劃分方法與矩形區域劃分方法的區域定位正確辨識率，探討其效能。我們藉由逐漸增加 $\sigma$ 參數，觀察三種定位方法的正確辨識率，表 2 為改變 $\sigma$ 參數，實驗次數皆為 100 次，三種方法之定位的正確辨識率結果。

表 2 三種劃分方法之定位的正確辨識率結果

辨識率 標準差	三角形區域劃分	模糊之三角形區域劃分	模糊之矩形區域劃分
3	59%	64%	83%
5	55%	57%	80%
7	47%	52%	81%
9	48%	49%	77%

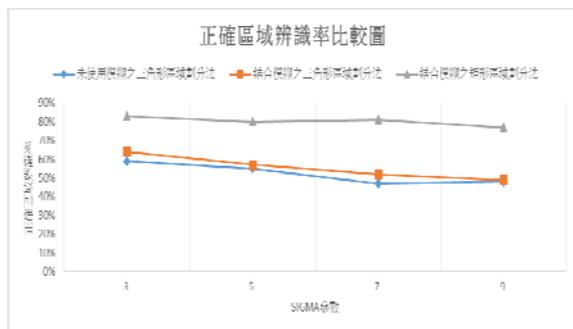


圖 10 正確區域辨識率比較圖

從表 2 及圖 10 觀察得知，此方法的模擬結果可從表 2 及圖 10 得之，在 4 種不同 Standard Deviation 之情況下，其正確辨識率皆低於其他兩種結合模糊推論系統之方法。由此數據結果得之，我們藉由模擬數種訊號傳播通道模型來達到不同的室內待測環境，使用矩形區域劃分法進行定位並結合模糊推論系統，皆能提升其定位效能。從準確性的部分來看，結合模糊之矩形區域劃分法皆高於其他兩種方法；穩定性的部分，即使 Standard Deviation 改變，結合模糊之矩形區域劃分法皆能維持在 80% 上下；而定位的解析度，使用矩形的區域劃分法，每個區域大小為 1 公尺 x 1 公尺，若判斷的區域是正確的，則定位的誤差皆可以控制在 1 公尺內，由此可之，若選擇矩形為區域的劃分方法，則區域定位的效果更為顯著。

## 6. 結論

本文主要在探討無線感測網路定位中使用模糊推論系統於不同形狀區塊劃分方法的室內定位效能之分析。依照所接收到的訊號功率強度分成不同層級，依照環境空間大小劃分出數個區塊，藉由各個參考節點其功率層級與彼此交互重疊下產生出數個小區塊，利用模糊推論系統的方式來求得目標節點所在的正確區塊位置。由此數據結果得之，我們藉由模擬數種訊號傳播通道模型來達到不同的室內待測環境，使用模糊矩形區域劃分法進行定位優於本系統其他三角形區域劃分與模糊之三角形區域劃分方法的結果。未來將朝更精準的點定位作研究。

## 參考文獻

- [1] J. Boman, J Taylor, and A.H. Ngu, "Flexible IoT middleware for integration of things and applications," in *Proc. Int. Conf. on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom)*, Miami, FL, Oct 2014, pp. 481-488.
- [2] K. Martinez, P. Padhy, A. Riddoch, R. Ong, and J. Hart, "Glacial Environment Monitoring using Sensor Networks," in *Proc. 1<sup>st</sup> Workshop Real-World Wireless Sensor Netw. (REALWSN2005)*, Stockholm, Sweden, 2005, p. 5.
- [3] M. R. Basear, M.A. Hossain, M. R. U. Hoque and K.M. Morshed, "Compact Dual L-slit Slotted Antenna for Spacecraft, WLAN, Wi-Fi, and Bluetooth Application," *The 7<sup>th</sup> Int. Conf. on Electrical and Computer Engineering(ICECE)*, Dhaka, Dec 2012, pp. 706-708.
- [4] K. Abrougui, A. Boukerche, R. W. N. Pazzi, "An Efficient Fault Tolerant LocationBasedService Discovery Protocol for Vehicular Networks," *IEEE Global Telecommunications (GLOBECOM)*, Miami, FL, pp. 1-6, Dec 2010.
- [5] Axel Kpper, "Location-based Services: Fundamentals and Operation" John Wiley, 2005.
- [6] T. B. Karamat, M. M. Atia and A. Noureldin, "Performance Analysis of Code-Phase-Based Relative GPS Positioning and Its Integration with Land Vehicle's

- Motion Sensors,” *IEEE Sensor Journal*, Vol. 14, no. 9, Sept 2014.
- [7] Z. Li, L. Xiao, S. Jie, G. Cathal and Z. Zhiliang, ”A Comprehensive Study of Bluetooth Fingerprinting-Based Algorithms for Localization,” in *Proc. 27<sup>th</sup> Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*, Mar. 2013, pp. 300-305.
- [8] 陳彥廷, 張力仁, 許健平, 杜信志, “整合無線區域網路和無線感測網路的室內定位系統,” 高速通訊與計算實驗室, 中央大學資訊工程研究所。
- [9] Y. Wang, X. Yang, Y. Zhao, Y. Liu and L. Cuthbert, ”Bluetooth Positioning Using RSSI and Triangulation Methods,” *IEEE in Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Jan. 2013, pp. 837-842.
- [10] G. Gracioli, A. A. Frohlich, R.P Pires, L. Wanner, “Evaluation of an RSSI-based Location Algorithm for Wireless Sensor Networks,” *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, Vol.9, no.1, , Mar. 2011, pp. 830-835.
- [11] H. J. Shao, X. P. Zhang, Z. Wang, “Efficient Closed-Form Algorithms for AOA Based Self-Localization of Sensor Nodes Using Auxiliary Variables,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 62, no. 10, May 2014, pp. 2580-2594.
- [12] T. Jia and R. M. Buehrer, “A New Cramer-Rao Lower Bound for TOA based Localization,” *Proceedings of IEEE MilCom*, Nov. 2008.
- [13] R. Kaune, J. Horst and W. Koch, “Accuracy Analysis for TDOA Localization in Sensor Networks,” *The 14<sup>th</sup> Int. Conf. on Information Fusion*, Chicago (IL), USA, July 2011.
- [14] Y. Wang, X. Yang, Y. Zhao and Y. Lin, ” Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods,” *IEEE 10<sup>th</sup> Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, Jan. 2013, pp. 837-842.
- [15] 陳蔡翔, “使用於低干擾ZigBee環境系統快速區塊定位法之研究,” 國立虎尾科技大學電機工程碩士班碩士論文, 100年7月。
- [16] 黃俊元, “利用ZigBee無線感測網路做為室內自我誤差定位方法之研究,” 國立虎尾科技大學電機工程碩士班碩士論文, 101年7月。
- [17] 黎靖, 鄭勝中, “ZigBee無線感測網路之模糊定位系統,” 南台科技大學電子系, April 2010.
- [18] X. Feng, Z. Gao, M. Yang, S. Xiong, “Fuzzy Distance Measuring Based on RSSI in Wireless Sensor Network,” *The 3rd Int. Conf. on Intelligent System and Knowledge Engineering*, Vol. 1, Nov. 2008.
- [19] 鄭有廷, “無線網路之室內定位研究,” 朝陽科技大學資訊與通訊系碩士論文, 99年7月。