

基於 MMSE 之無線感測網路之室內定位研究

黃永發

朝陽科技大學資訊與通訊系副教授
e-mail: yfahuang@cyut.edu.tw

鄭有廷

朝陽科技大學資訊與通訊系研究生
e-mail: s9630623@mail.cyut.edu.tw

摘要

本論文探討在於無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)的室內(Indoor)環境下，使用接收訊號強度(Received Signal Strength)估測未知節點(Unknown Node)的距離，並且受到遮蔽衰退(Shadow Fading)的影響，應用最小均方誤差(Minimum Mean Square Error, MMSE)演算法，來估測未知節點的位置，及探討不同位置之參考節點(Beacon Nodes)，所產生的均方誤差(Mean Square Error, MSE)。

關鍵詞：無線感測網路、室內定位、訊號強度、最小均方誤差、參考節點。

1.前言

目前無線通訊發展迅速，應用無線網路通訊定位非常成熟與普及的全球定位系統(GPS)[1]，主要是由美國國防部為了冷戰所開發出來的一套定位系統，這系統是利用衛星來提供三維空間定位，軍用精確度可以達到五公尺內，而一般民用設備精確度也可達到數十公尺左右。雖然 GPS 提供精確定位，但是侷限在直線傳播(Line of Sight)的環境之下，因此在室內之遮蔽物較多環境無法使用，必須有其他的定位技術[2]。

由於微型元件的(Micro Electro Mechanical System, MEMS)製造技術以及通訊電池技術的發展，讓無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)發展得以體積小、低功率與低成本優勢，因為感測節點的便利性，因此具有高度的彈性和廣泛的應用面[2,3]。例如：衛生醫療、軍事國防、環境偵測等等。在戰場上可以掌握我方資訊與管理，環境上可以監控土石流與林木盜伐，或是醫院特殊人員的情況管制，這樣的應用也使得無線感測網路的研究蓬勃發展。

在無線感測網路領域而言，精確定位節點就格外重要。在定位技術方面，大致上分為兩

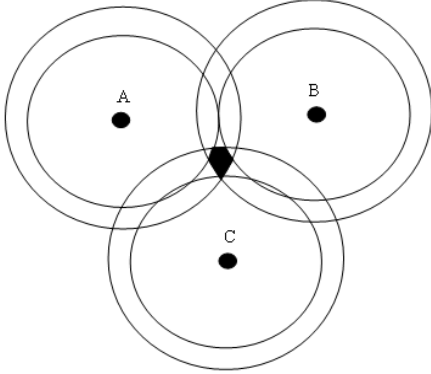
種：分別是 Range-Based [4-6]和 Range-Free，Range-Based 基本上是利用角度或距離的資訊來估算位置，而距離測量大部分是透過無線電訊號和超音波，Cricket[4]定位裝置會同時發出無線電波和超音波，利用所接收到回傳波時間差估算未知節點的位置，因此需要的接收器必須能接收兩種波，並且需要精確的時間儀器。APSAOA[5]是假設有三個參考節點(Beacon Nodes)往順時針或逆時針轉動與發射訊號，轉動多少角度可以跟另外兩個參考節點傳送訊息，利用此角度來求出以自己為頂點與其他兩點所形成的角度，藉此角度資訊定位未知節點(Unknown Node)和參考節點之間的距離和位置，這種技術的接收天線必須能分辨訊號的方向和角度，因此需要昂貴的精密硬體支援。RADAR[6]是在一個區域內佈署節點，而且實際測量訊號強度與建立資料庫，行動裝置在區域內移動時會依據所收到訊號強度與資料庫比對來達到定位，缺點在於運算量很大，會造成系統負擔。而主要之 Range-Based 定位演算法有四個方法用來估測距離[7]，傳遞時間(Time of arrival, ToA)法、傳遞時間差(Time Difference of Arrival, TDoA)法、入射角度(Angle of arrival, AOA)法、接收訊號強度法(Received Signal Strength, RSS)法。本論文將使用接收訊號強度法[8, 9]，因為它的優點在於估算距離的時候，不用額外增加設備，也沒有時間同步問題，透過未知節點所接收到功率代入衰減模型中求出距離，現在最基本的通訊設備都擁有無線傳輸能力，所以也是一種最節省成本與簡單的定位系統。因此，本文先以 RSS 估計未知位置與參考點之距離，再以最小均方誤差法(Minimum Mean Square Error, MMSE)定出未知節點之座標值，並由於訊號會受到不同程度的遮蔽衰退(Shadow Fading)影響[10]，而產生誤差，本文將探討不同遮蔽衰退效應對定位誤差之影響。

本論文的其他部分，第二節會針對各個所用到的方法接收訊號強度法、遮蔽衰退、均方誤差(Mean Square Error, MSE)與 MMSE 演算

法進一步的分析探討與介紹，第三節主要在於模擬與分析三點定位法，在不同的環境當中，所產生的影響與結果的模擬圖，第四節是結論。

2. 最小均方位法

在 Range-based 定位法中，先以 RSS 估計未知位置與參考點之距離，再以 MMSE 演算法定位未知節點之座標值。如圖一所示為三點定位之示意圖，當參考節點估測距離時，由於訊號會受到不同程度的遮蔽衰退影響[10]，而產生誤差，這個誤差使得定位之位置是在一個區域。我們應用 RSS 估測距離，再以 MMSE 找出未知節點之位置。



圖一 參考節點估測距離產生誤差的示意圖

在本文中，我們設立三個參考節點(A、B、C)與七個定位點為未知點，我們先估計參考節點至未知節點的距離，所得到的值稱為距離的估測值，再代入 MMSE，定位出座標值，這個座標值稱為估測座標。另外我們比較不同之三點參考節點位置，觀察其影響與定位誤差。

我們使用之定位效能為 MSE，即以蒙地卡羅(Monte Carlo)模擬不同之遮蔽衰退環境下之平均誤差，以求得在不同環境中，受到不同遮蔽衰退的誤差。在接收訊號強度法的部分中，其概念是接收訊號端收到發射訊號端的訊號強弱後，代入到衰減模型當中才求出距離，在自由空間傳播模型，基本上這種通道模型的接收端，收到訊號強度是和距離成反比，而在這種通道模型中最常使用的是福利斯自由空間模型，來計算出發射端與接收端間距離，另外我們有加入遮蔽衰退機制與對數常態分佈($\sigma=3\sim 8$)的模型，此模型目的是因為發射端將訊號發射出去後，在傳播路徑過程會有障礙物的阻隔，使得接收端所收到訊號強度有很大的

差異，這差異如果越大表示阻隔物越多，相較之下越小表示阻隔物越少，因此當發射與接收端距離為 d 時，接收訊號的平均功率 $P_r(d)$ 式為：

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^\beta L} \quad (1)$$

其中 P_r 是接到的功率， P_t 是發射功率， G_t 是發射端的天線增益設為 1， G_r 是接收端的天線增益設為 1， λ 是波長， d 是發射端和接收端之間的距離，此距離在模擬當中是假設未知狀態[11]， β 是路徑衰減指數設為 2， L 是遮蔽衰退，為對數常態分佈($\sigma=3\sim 8$)模型。因此我們要藉由已知資訊反推導回去，進而得到 d ，其反推公式為：

$$d = \sqrt{\frac{P_t}{P_r}} \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) \quad (2)$$

所以這邊的 d 為一個受到遮蔽衰退影響之估測距離。當三個參考節點各對一段已知距離進行估測時就會各別得到距離，之後將這三個參考節點已知座標和三段估測距離代入到 MMSE 來估測出未知節點的位置[12][13]，其公式為：

$$f_i(x_0, y_0) = d_i - \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (3)$$

其中， x_0, y_0 為待估測節點之座標， x_i, y_i 為已知參考節點之座標， $i=1,2,3$ ， d_i 為第 i 個參考節點座標與待估測節點之間的距離，當 d_i 不等於實際距離時， $f_i(x_0, y_0)$ 將不為零。

將 $f_i(x_0, y_0)$ 假設為 0，令待估節點之估測座標為 \hat{x} 、 \hat{y} ，則經過數學式展開運算後得(4)式：

$$\begin{aligned} -x_i^2 - y_i^2 + d_i^2 - (-x_n^2 - y_n^2 + d_n^2) = \\ 2\hat{x}_0(x_n - x_i) + 2\hat{y}_0(y_n - y_i) \end{aligned} \quad (4)$$

經整理後，可以表示成矩陣形式：

$$w = X\hat{b} \quad (5)$$

其中

$$X = \begin{bmatrix} 2(x_n - x_1) & 2(y_n - y_1) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_n - x_{n-1}) & 2(y_n - x_{n-1}) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$w = \begin{bmatrix} -x_1^2 - y_1^2 + d_1^2 - (-x_n^2 - y_n^2 + d_n^2) \\ \vdots \\ -x_{n-1}^2 - y_{n-1}^2 + d_{n-1}^2 - (-x_n^2 - y_n^2 + d_n^2) \end{bmatrix} \quad (7)$$

及

$$\hat{b} = \begin{bmatrix} \hat{x}_0 \\ \hat{y}_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

使用最小平方(Least Square)法求解得

$$\hat{b} = (X^T X)^{-1} X^T w \quad (9)$$

當 MMSE 之估測座標代入 MSE 觀察其誤差值，當估測次數為 m 次則得：

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (x_0 - \hat{x}_{0,j})^2 + (y_0 - \hat{y}_{0,j})^2 \quad (10)$$

其中， x_0 和 y_0 為實際座標， \hat{x}_0 和 \hat{y}_0 為估測座標， m 是估測次數，其運算完畢所得到之數值單位為平方公尺。

當 $n=3$ ，即三點定位時，可得估測座標為

$$\hat{b} = X^{-1} w \quad (11)$$

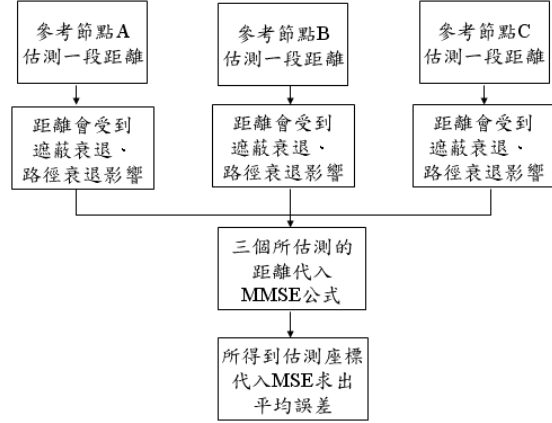
其中

$$X^{-1} = \begin{bmatrix} 2(x_3 - x_1) & 2(y_3 - y_1) \\ 2(x_3 - x_2) & 2(y_3 - y_2) \end{bmatrix}^{-1} \quad (12)$$

$$w = \begin{bmatrix} -x_1^2 - y_1^2 + d_1^2 - (-x_3^2 - y_3^2 + d_3^2) \\ -x_2^2 - y_2^2 + d_2^2 - (-x_3^2 - y_3^2 + d_3^2) \end{bmatrix} \quad (13)$$

其(9)式運算結果會與(11)式相同，(11)優點在於可以減少方程式的運算複雜度。

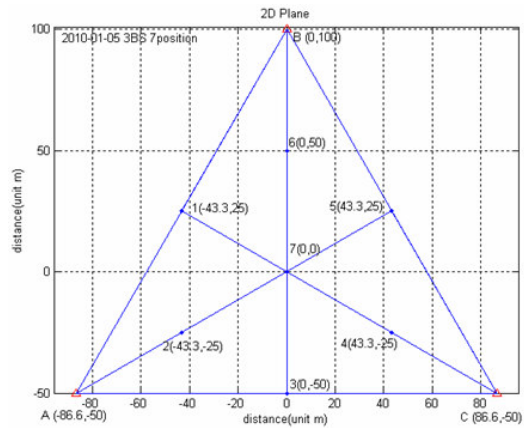
經過以上的敘述本論文所使用的各個方法後，在圖二中之流程圖可說明本研究之實驗過程與方法。



圖二 研究之流程圖

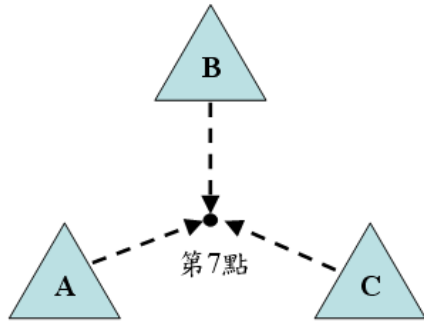
3.模擬結果

在模擬部份我們使用 Matlab 這套軟體。首先介紹本論文的环境架構如圖三，其中包含三個參考節點(A、B、C)此外還有七個固定節點，其中參考節點分別對於第 7 點之節點距離設 100m，而參考節點之間距離設為 173.2m，固定節點在模擬過程當中我們假設是未知狀態，當參考節點在不同位置之下模擬 MMSE 演算法，透過 MSE 來觀察其誤差大小之差異。



圖三 模擬環境

在模擬過程中，調整參考節點位置如圖四，當參考節點同時在 40m、60m、80m、100m、120m、140m、160m，並且對第七點位置做定位估測，藉此觀察 MSE 之結果。先針對第七點進行研究，然後再對其它六點位置分析。模擬圖中的 A-7、B-7、C-7 代表參考節點 A、B、C 對第七點的距離，模擬參數如表 1 所示。

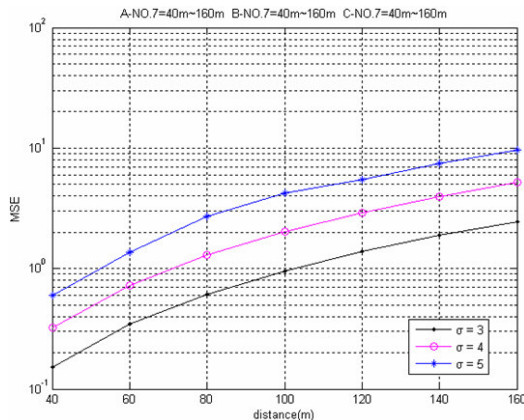


圖四 同時改變參考節點 A、B、C 的位置

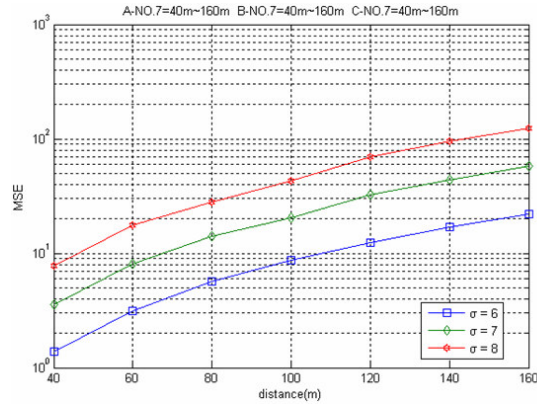
表 1 模擬所使用參數

| 模擬參數 | 數值 |
|---------------------|---|
| 參考節點之數目 | 3 |
| 參考節點之座標 | A(-86.6,-50) B(0,100) C(86.6,-50) |
| 未知節點之數目 | 7 |
| 路徑衰退指數(β) | 2 |
| 遮蔽衰退標準差(σ) | 3~8 |
| 發射功率(mW) | 5 |
| 測試距離(m) | 40、60、80、 100、120、 140、160 |

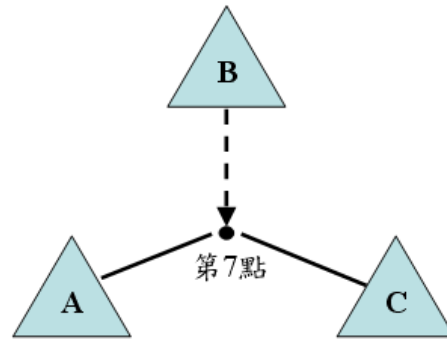
在圖五和圖六可看到當參考節點 A、B、C 在同樣距離時，從 40m 至 160m 其 MSE 會隨著距離越遠而高。此外，只改變參考節點 B 對第七點的距離 40m、60m、80m、100m、120m、140m、160m，而參考節點 A 和 C 對第七點都在 100m，MSE 之模擬結果與比較如圖七所示。



圖五 當 $\sigma=3\sim 5$ ，距離由近至遠對於 MSE 誤差大小之變化

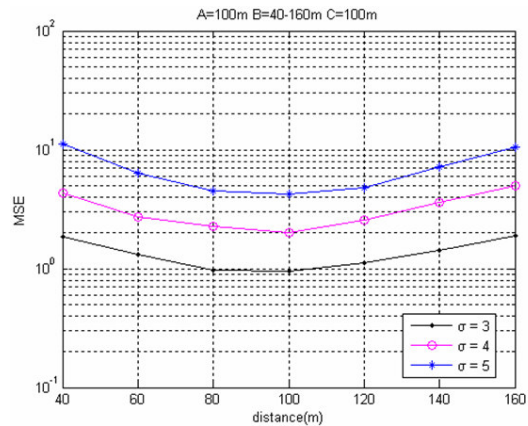


圖六 當 $\sigma=6\sim 7$ ，距離由近至遠對於 MSE 誤差大小之變化

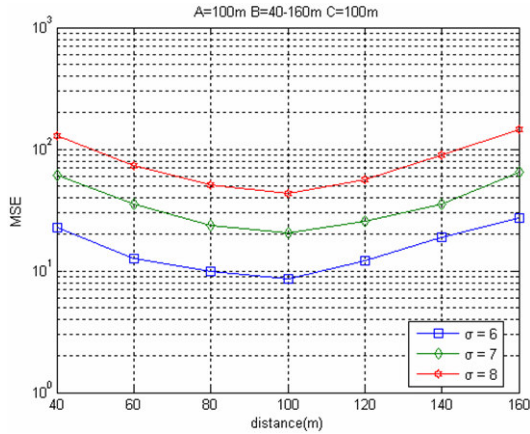


圖七 只改變參考節點 B 的環境

在圖八中，X 軸是 B 點至第 7 點的距離，由圖中，我們可以看到 σ 為 3、4、5 時，距離從 40m 移至 100m 時，MSE 降低，但當由 100m 移至 160m 時，MSE 則上升，因此可以看出當 B 點至第 7 點距離為 100m 時，MSE 最低。



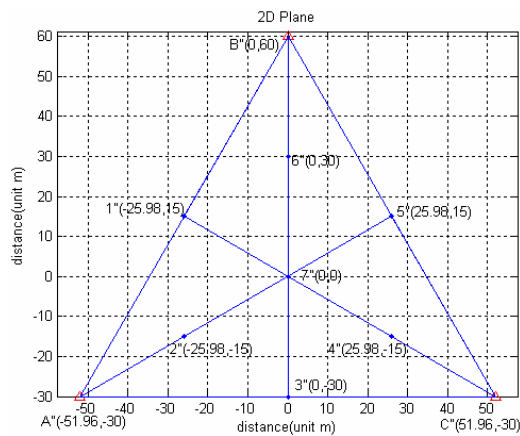
圖八 當 $\sigma=3\sim 5$ ，距離遠近之 MSE 變化



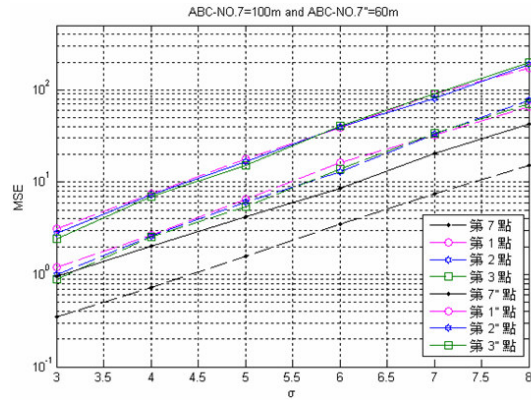
圖九 當 $\sigma=6\sim 8$ ，距離40m~160m之MSE變化

在圖八和圖九中，我們觀察到一個現象，當改變參考節點B時，當參考節點A、C=100，直覺之下判斷參考節點B在40m會比160m的MSE好，且應呈線性關係，也就是當距離越近MSE會越低，但我們模擬中發現是呈現非線性關係，反而參考節點B在100m時，MSE是最低的。

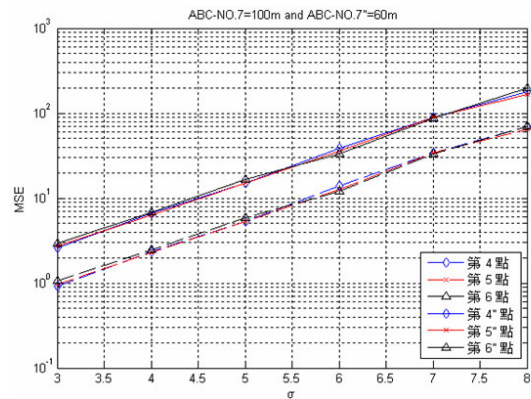
另外，為了解參考節點至未知節點之距離對定位誤差之影響，我們將原本100m的第1點至第7點改為60m的第1"點至第7"點，圖十中，七個位置依比例改變座標再進行估測距離與比較MSE，在圖十一先是估測第7"、1"、2"、3"點在 $\sigma=3\sim 8$ 時，MSE之變化，圖十二中，估測第4"、5"、6"點在 $\sigma=3\sim 8$ 時，MSE之變化，由圖十一與圖十二可看出，當 σ 越大時，第1點至第7點之MSE也隨 σ 值越大而變大。



圖十 A、B、C和第1"點~第6"點依比例改變座標



圖十一 當第7"點、第1"~3"點在 $\sigma=3\sim 8$ 時，所造成MSE誤差大小之影響



圖十二 當第4"點~第6"點在 $\sigma=3\sim 8$ 時，所造成MSE誤差大小之影響

在圖十一和圖十二中，比較參考節點在同樣位置，當 $\sigma=3\sim 8$ 時，對七個不同位置進行估測，可發現當A"-7、B"-7、C"-7=60m時，第1"點至第7"點會比A-7、B-7、C-7=100m的第1點至第7點的MSE好。

4. 結論

本論文所探討無線感測網路之室內環境下，使用接收訊號強度估測未知節點的距離，驗證MMSE演算法在某些環境下執行模擬，發現在特定環境之下，其MSE為非線性現象。

參考文獻

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, pp. 102-114, Aug. 2002.

- [2] E. M. Royer and C.-K. Toh., "A Review of Current Routing Protocols for Ad-hoc Mobile Wireless Networks," *IEEE Personal Communications*, vol. 6, pp. 46–55, Apr. 1999.
- [3] J. Hightower and G. Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing," *IEEE Computer*, vol. 34, pp. 57–66, Aug. 2001.
- [4] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The Cricket Location-Support System," *Proc. of ACM Int. Conference on Mobile Computing Networking (MOBICOM)*, Boston, MA, pp. 32–43, Aug. 2000.
- [5] D. Niculescu and B. Nath, "Ad-hoc Positioning System (APS) Using AOA," *Proc. of Twenty-Second Annual Joint Conference on the IEEE Computer and Communications*, San Francisco, CA, April 2003.
- [6] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: an In-building RF-based User Location and tracking system," *Proc. of IEEE Joint Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, Tel Aviv, Israel, pp. 775–784, Mar. 2000.
- [7] A. H. Sayed, A. Tarighat and N. Khajehnouri, "Network-based Wireless Location: Challenges Faced in Developing Techniques for Accurate Wireless Location Information," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, pp. 24–40, July 2005.
- [8] K.-I. Itoh, S. Watanabe, J.-S. Shih and T. Sato, "Performance of Handoff Algorithm Based on Distance and RSSI Measurements," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 51, pp. 1460–1468, Nov. 2002.
- [9] A. Savvides, C. C. Han and M. B. Srivastava, "Dynamic fine-grained Localization in Ad-hoc Networks of Sensors," *Proc. of ACM Int. Conference on Mobile Computing Networking (MOBICOM)*, Rome, Italy, pp. 166–179, July 2001.
- [10] S. D. Chitto and S. Dasgupta, "Distance Estimation from Received Signal Strength Under Log-normal Shadowing: Bias and Variance," *Proc. of 9th International Conference on Signal Processing (ICSP)*, pp. 256–259, 26–29 Oct. 2008.
- [11] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Application Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, pp. 660–670, Oct. 2002.
- [12] J. Arnold, N. Bean, M. Kraetzl and M. Roughan, "Node localisation in Wireless Ad-hoc Networks," *Proc. of 15th IEEE International Conference on Signal Processing (ICON)*, pp. 1–6, Nov. 2007.
- [13] A. Savvides, C.-C. Han and S. B. Mani, "Dynamic Fine-grained Localization in Ad-hoc Networks of Sensors," *Proc. of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 166–179, Feb. 2001.