

具長壽命之理想叢集數階層式無線感測網路

黃永發
朝陽科技大學網路與
通訊研究所
yfahuang@cyut.edu.tw

陳明哲、張智惟
朝陽科技大學網路與
通訊研究所
s9530604@cyut.edu.tw

摘要

本篇論文主要探討基於叢集(Cluster-Based)階層式(Hierarchy)無線感測網路(Wireless Sensor Network)中，在叢集化(Clustering)之資料傳輸過程所損耗能量的影響。為了改善無線感測網路中低能量適應性階層式叢集法(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH)的叢集分配方法及叢集頭資料轉傳效率，依據我們先前提出的低能量固定叢集法(Low-Energy Fixed Clustering, LEFC)，透過延長無線感測網路(WSN)的壽命以及平均節點死亡速率，並且找出感測網路壽命較佳的叢集數。經由模擬結果得到，感測網路在叢集數為9的壽命比LEACH高，感測節點可以延長使用效率、網路壽命與執行回合數。

關鍵詞：無線感測網路、叢集化、網路壽命。

Abstract

This paper discusses the effect of energy consumption in cluster-based hierarchy wireless sensor network (WSN). In order to improve the energy performance for low-energy adaptive clustering hierarchy, low energy with fixed clustering (LEFC) algorithm will be applied to find the optimal cluster head and evenly extend every node's lifetime. Simulation results show the network lifetime of the proposed LEFC is better than LEACH and the optimal number of clusters is 9 for the LEFC long life in WSNs.

Keywords: Wireless sensor network, clustering, Network Lifetime.

1. 前言

在無線感測網路(Wireless Sensor Network)[1]中節點所佈署的位置通常是不易到達的區域，對能量裝置的更換或充電是比較困難且不可行的。因此，如何有效應用感測網

路的節點能量是非常重要的問題。近年來，微型感測元件、通訊電池技術以及無線通訊技術的快速發展，使微小感測器具有無線通訊傳輸、資料聚集處理以及環境感測等能力[1]，透過這些微型感測器經由無線網路的協定，可以針對某一個區域環境狀況做適當的監視及設備控制(例如：感測雷達、紅外線、地震訊號...等等)。偵測包括壓力、噪音、溫度、溼度、物體移動速度等眾多的物質現象。在無線感測網路中，感測器的壽命(Lifetime)或整個網路的壽命是感測網路是否能被採用的主要因素[2]。

感測網路中最主要的能量消耗是考慮在感測環境裡所感測資料的傳輸過程[3]，而資料傳輸的過程主要方法：包括多重跳躍(Multi-hop)以及叢集化(Clustering)。第一種方法是多重跳躍(Multi-hop)方式，這種路由協定主要是將感測網路的感測節點形成一個或多個鏈路架構[4]，而每個鏈都會有一個感測節點成為資料的收集者並擔任鏈結頭，而其他的節點只需要將收集到的資料往鏈上靠近鏈結頭的鄰近節點傳遞，最後鏈結頭會將鏈上所收集的資料在傳送給基地台，這種傳遞資料的方式最大的缺點，當感測節點所收集到的數據資料傳送到遠處的基地台時，必須經由點對點的傳輸方式，而越靠近基地台的節點會因為傳送的資料筆數越來越多造成耗費太多之能量，不適合用於感測範圍較大的環境。常用於(Ad Hoc Network)的路由協定[4-6]。

第二種方法是叢集化(Clustering)[6-8]，主要的概念是將感測範圍區域內許多感測器形成一個或數個叢集(Clusters)。每個叢集範圍裡的任一個感測節點會經由一定的程序挑選為叢集頭(Cluster head)，並負責將感測節點在叢集範圍所收集到的資料傳送到遠處的基地台。利用這種方法，叢集頭會成為資料壓縮和數據資料融合的點，將會造成叢集頭消耗的能量比一般感測節點高出許多，因此叢集頭的壽命比一般感測節點來的短，如果叢集頭利用輪流的方式來擔任，在目前的感測網路裡叢集架構的能

量使用效率是較值得探討，在目前無線感測網路中，能量效率的問題是最主要的討論重點。

低能量適應性階層叢集法 (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH) [9-10]，是無線感測網路之叢集式架構中最具有代表性的路由協定。主要概念是每回合的收集資料之前，LEACH 將網路中大量的感測節點分割成數群的叢集，另外再由每個叢集中經由一定程序選出一個節點作為叢集頭(CH)，負責收集感測區域叢集裡其他感測節點的資料，並將資料融合傳送至基地台，減少額外所消耗的能量[11]。LEACH 的叢集頭選取方式是利用隨機方式選取，由於隨機方式選取會造成感測區域的叢集大小和叢集頭轉傳資料筆數不固定，資料傳輸能量使用效率非常差。

在先前的研究成果中，所提出的固定叢集演算法 Fixed clustering Algorithm (FCA) [12]來規劃叢集區域範圍，主要的目的是讓每個叢集區域面積相等，應用先前所提出的低能量固定叢集法(LEFC)劃分適當的叢集區域，然後平均在每個叢集內隨機均勻分佈相同的感測節點數，假如無法平均分配時，將剩餘無法分配的節點使用隨機方式分配到叢集內，主要讓每個叢集內叢集頭傳送資料比數及每筆資料傳送到叢集頭的距離接近，利用事先將感測範圍切割劃分，才能讓感測節點能量消耗速率相同，進而延長感測網路的壽命及增加感測節點的資料傳輸能量效率並改善 LEACH 的缺失。在本論文中，我們將討論在叢集架構下，經由模擬叢集區域內不同的叢集數，並對能量消耗效率較要的叢集數網路壽命分析與 LEACH 的網路壽命比較，並得到最理想叢集數的網路壽命。

2. 相關工作及網路模型

感測網路的叢集架構中，如何形成叢集以及選擇叢集頭是很重要的過程。在 LEACH，感測區域內全部感測節點收集一次資料並傳送回到基地台稱之為「回合」(Round)。LEACH 的執行過程中是指每一回合的定義，主要的概念是每回合收集資料之前，LEACH 在每回合中定義了二個階段，設定階段及穩定階段[13-15]。我們先假設 LEACH 無線模組的參數，每傳送一筆資料封包所需的能量消耗為 $e_l = 5 \text{ nJ/packet/m}^2$ ，傳輸(E_T)的能量消耗可以被表示為下式，其中， x 為傳輸一筆封包資料的位元數， d 為傳輸節點和接收節點之間的距離。

$$E_T(x, d) = e_l \cdot x \cdot d^2 \quad (1)$$

在 LEACH 的設定階段，主要有叢集頭的選擇及形成叢集兩個過程，在叢集頭選擇的過程中，每一回合的選取是由各個感測節點自己所決定，在執行第 r 個回合，每一個感測節點會隨機產生一個 0~1 的數值，經由門檻值的判斷，若此值低於門檻值則此節點將被挑選成為叢集頭。LEACH 挑選叢集頭之門檻值 $T(n)$ 可被表示為

$$T(n) = \frac{P}{1 - P \times \left(r \bmod \frac{1}{P} \right)} \quad \text{if } n \in G \quad (2)$$

$$T(n) = 0 \quad \text{otherwise}$$

其中， P 是被選為叢集頭的期望機率， r 為目前的回合數， n 是節點的編號，節點當選過叢集頭假設 n 為 1，沒有當選過叢集頭時 n 為 0，當選過叢集頭的節點在下一回就不會被選取，直到全部節點都輪流過後在重新輪流。 G 則是定義最近 r 回合中沒被選為叢集頭節點編號 n 為 0 所形成之集合。例如：在感測範圍內有 100 個感測節點，每回合所期望產生 5 個叢集頭，則 p 就會等於 1/20，並非每回合一定會產生 5 個叢集頭節點。

在叢集頭產生之後，下一步是形成叢集。首先每一個叢集頭節點廣播一個訊息，由於訊息中包含叢集頭節點本身的辨識編號，而非叢集頭的節點，在接收一個訊息後，根據所收到的訊息信號強弱來判斷自己與叢集頭的距離遠近，選擇離本身最近的叢集頭並發出加入訊息，此訊息包含節點本身的辨識編號及欲加入的叢集頭號碼。在穩定狀態階段，每一個感測節點有屬於自己的傳送階段來傳送感測資料給叢集頭，沒傳送資料的感測節點則進入睡眠狀態。接著，叢集頭在收集叢集內全部節點的資料後，開始進行資料融合的過程，並將融合的資料在傳送到基地台。

由於感測範圍內不同的叢集數能量消耗效率是不一致，如何選出感測範圍中能量消耗效率較佳的叢集數是非常重要的問題，所以事先配置叢集的區域、節點和叢集數對整個感測網路的壽命有很大的影響，本篇論文將應用先前提出的固定叢集演算法(FCA)劃分叢集區域。對不同叢集數的平均能量消耗效率比較，找出能量效率較佳的叢集數，如圖 1 為叢集式感測網路架構圖。

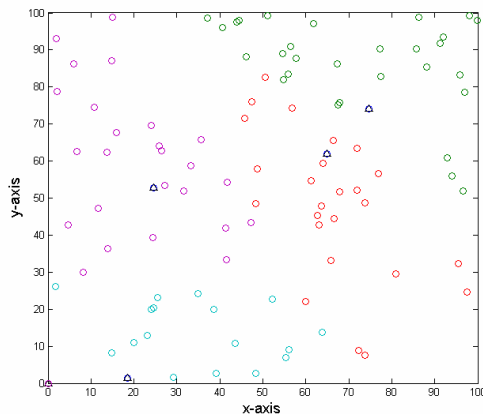


圖 1 叢集式網路架構圖

因此，我們將對感測網路範圍內叢集數 1~20 的能量消耗進行模擬，找出能量消耗效率較佳的叢集數與 LEACH 能量消耗效率較佳的叢集數，並且對兩種方法最佳能量消耗效率的叢集數網路壽命結果分析。接著，我們先假設將所模擬的感測範圍設定為正方形，X 與 Y 座標之邊長分別為 $X=Y=100$ 公尺。首先，在 LEACH 的部分，由於 LEACH 的叢集頭是隨機選取的方式，會造成感測節點的分佈不均勻和感測區域的叢集大小不固定，以及叢集頭轉傳資料比數不固定影響使得資料傳輸能量消耗的效率不佳。因此，我們將模擬 LEACH 叢集數 1~20 每回合平均能量消耗，將 LEACH 最佳的能量消耗效率叢集數網路壽命與我們提出的方法中，模擬出具有較佳能量效率叢集數網路壽命分析其結果。

在本篇論文中，應用先前提出固定叢集演算法(FCA)劃分叢集區域，依照不同叢集數劃分成面積相等的正方形以及矩形的叢集區域。並應用低能量固定叢集法(LEFC)[16]將感測節點隨機均勻分佈相同數量在叢集區域，感測節點無法平均分配到叢集時，多餘的感測節點會用隨機的方式分配到叢集裡，使每個叢集內的感測節點數是均勻分佈的數量。感測範圍的叢集區域配置完之後，接著就是叢集頭的選擇，在叢集頭選擇的階段，跟 LEACH 選擇的方式一樣，每個感測節點隨機產生一個 0~1 的數值，若此隨機產生的值低於公式(2)之門檻值，則此節點將被挑選成為叢集頭，叢集頭決定之後，會廣播訊息給鄰近節點告知叢集頭競爭結束，可以開始傳送資料給叢集頭，當所有感測節點的資料傳送完成之後就會重新在選擇叢集頭，而當選過叢集頭的節點下一個回合就不會被選取，直到每個節點都輪流當過叢集頭後，在重新輪流一次。沒當選過叢集頭的

感測節點會因為執行回合數增加，使當選叢集頭的機率提高。主要的目的是將每個叢集內的叢集頭傳送資料數量與資料傳送的距離接近，使感測節點的能量消耗效率接近並延長整個感測網路的壽命。接著，我們將對能量消耗效率較佳的叢集數進行模擬並對網路壽命分析比較。

如圖 2 為 LEFC 演算法中，事先劃分叢集區域並將感測節點配置為叢集數 8 的感測網路範圍架構圖。

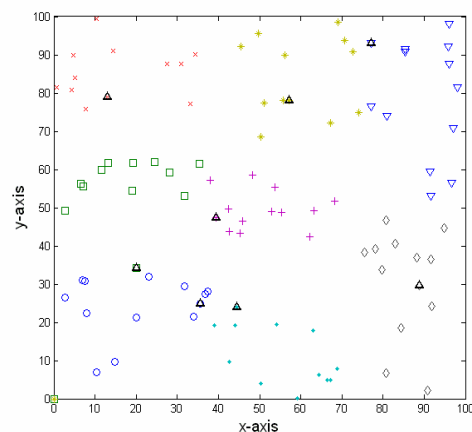


圖 2 感測網路範圍叢集數為 8

圖 3 為 LEFC 與 LEACH 的方法，經由模擬及分析叢集數 1~20 的每回合平均能量消耗比較結果。由圖三可以得到表 1，LEFC 與 LEACH 方法中，叢集數為 6~11 每回合平均能量消耗的統計，我們將其能量消耗效率較佳的叢集數取出與 LEACH 能量消耗效率較佳的叢集數比較並分析兩者的網路壽命(Network Lifetime)其結果。

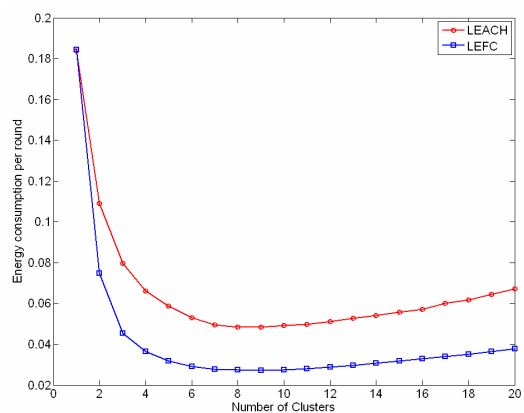


圖 3 叢集數 1~20 每回合能量消耗

表 1 叢集數 6~11 能量消耗

CA EC Clusters	LEFC	LEACH
6	0.0291	0.053
7	0.0278	0.0499
8	0.0274	0.0489
9	0.0273	0.0482
10	0.0276	0.0487
11	0.0281	0.0506

3. 能量消耗分析

感測網路中，網路的壽命是重要的一個問題。為了計算網路的壽命，必須先估計網路生存的回合數，而回合數是代表一般感測節點透過叢集頭回傳感測資料到基地台的過程，而每一回合的網路總能消耗 E_T 可被表示為

$$E_T = \sum_{i=1}^q \left(E_{ch,i} \cdot \frac{Q}{q} \right) + \sum_{j=1}^{Q-q} E_{n,j} \quad (3)$$

上式中， $E_{ch,i}$ 為叢集頭傳送一個封包所消耗的能量和 $E_{n,j}$ 一般感測節點傳送一個封包所消耗的能量， q 為叢集數， Q 為總節點數。

為了計算每一個感測範圍內每個叢集感測節點傳送給叢集頭的平均距離，並假設在感測範圍內的感測節點是平均分佈，叢集頭每一回合中轉傳資料的能量消耗 $E_{ch,i}$ 可以表示為

$$E_{ch,i} = e_l \cdot W_i \cdot \frac{Q}{q} \quad (4)$$

e_l 是每平方公尺傳送一筆封包所消耗的能量。每個叢集到基地台之間的路徑損失所造成的能量損耗可以表示為

$$W_i = d_i^\alpha \quad (5)$$

上式中，無線電波衰減指數 $\alpha=2$ ， d 為一般感測節點與叢集頭之間的距離。

4. 模擬結果分析

為了驗證我們的方法中，能量消耗效率較佳的叢集數與 LEACH 能量消耗較佳叢集數網路壽命分析其結果，我們使用 MATLAB 系統程式語言來進行模擬，在我們模擬過程中，我們先假設感測範圍節點在一公尺距離，系統參

數的設定為，每傳送一筆資料封包所需的能量消耗為 e_l (J) 焦耳，所以感測節點傳送封包資料給叢集頭的能量消耗為 $e_l \cdot d_{ns}^\alpha$ J， d_{ns} 為感測節點到叢集頭的距離，無線電波衰減指數 $\alpha=2$ ，叢集頭傳送封包資料到基地台所消耗能量為 $e_l \cdot d_{ch}^\alpha$ J，而 d_{ch} 為叢集頭到基地台的距離。其中，每傳送一筆資料封包所需的能量消耗 e_l 為 5 nJ/packet/m² 焦耳，感測節點傳送每筆封包為 x bit，並假設全部的感測節點數為 100 個，叢集頭數為 q 個，則一般感測節點數為 $100 - q$ 個，每個感測節點的初始能量為 0.5J，感測範圍 $X=Y=100$ m，基地台設定坐標為 (0,-10)，叢集頭的期望機率 $P=q/n$ ，無線電波衰減指數 $\alpha=2$ 。

為了得到最佳的感測網路壽命，我們提出先前 LEFC 所模擬能量消耗效率較佳叢集數與 LEACH 最佳能量消耗叢集數的網路壽命分析比較。在 LEACH 的部分，首先對叢集數 1~20 每回合平均能量消耗結果做分析，取出能量消耗效率較佳的叢集數，對不同叢集數的感測網路壽命，將網路壽命較佳的叢集數與我們上述所提出的方法中，感測範圍叢集數 7~9 所得到的能量消耗效率較佳。所以，經由模擬分析網路壽命與統計網路所能執行最高的回合數，並由模擬結果中得到最佳叢集數的網路壽命。

表 2 模擬參數名稱與其數值

變數名稱	參數值
傳送一筆封包能量消耗 e_l	5 nJ/packet/m ²
感測節點數 n	100
叢集頭數 q	q
一般感測點數	$100 - q$
感測範圍 X, Y	100×100
基地台坐標(x, y)	(0,-10)
節點初始能量	0.5J
叢集頭的期望機率 P	q/n
無線電波衰減指數 α	2

圖 4 為模擬 LEACH 在不同叢集數 6~11 的網路壽命結果模擬圖。模擬結果得知，LEACH 全部節點死亡的回合數在叢集數 6 為 1920 回合、叢集數 7 為 2310 回合、叢集數 8 為 2256 回合、叢集數 9 為 2585 回合、叢集數 10 為 2450 回合、叢集數 11 為 2538 回合，而 LEACH 在叢集數為 9，可以得到最低的能量消耗和節點執行最高的回合數。

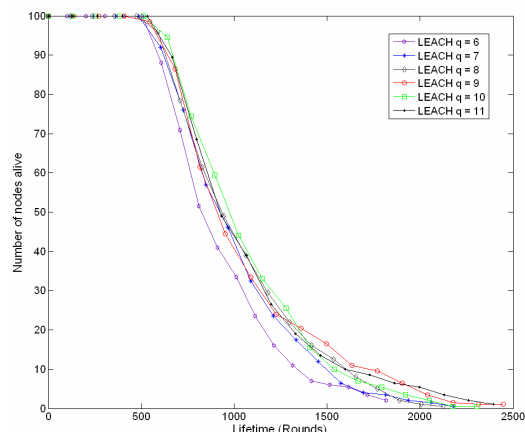


圖 4 LEACH 叢集數 6~11 之網路壽命比較

圖 5 為 LEFC 方法中，叢集數 8、9、10 與 LEACH 叢集數 9 所模擬比較的結果。由圖 5 可以看出在 LEACH 叢集數為 9 時，第一個死亡的節點為 520 回合，當所有節點死亡時，LEACH 的回合數為 2585 回合，在我們所提出的方法中，當叢集數為 8，第一個死亡節點的回合數為 907 回合，所有節點死亡的回合數為 3416 回合。叢集數為 9，第一個死亡節點回合數為 1196 回合，當所有節點死亡的回合數為 3960 回合。當叢集數為 10，所模擬的網路壽命回合數比較結果，第一個死亡的節點回合數為 889 回合，全部節點死亡的回合數為 3550 回合，由模擬結果可以驗證出，當叢集數為 9，在一開始感測節點的存活回合數就優於 LEACH，由模擬結果可以得到當 LEFC 叢集數為 9 可以得到最佳的網路壽命回合數。

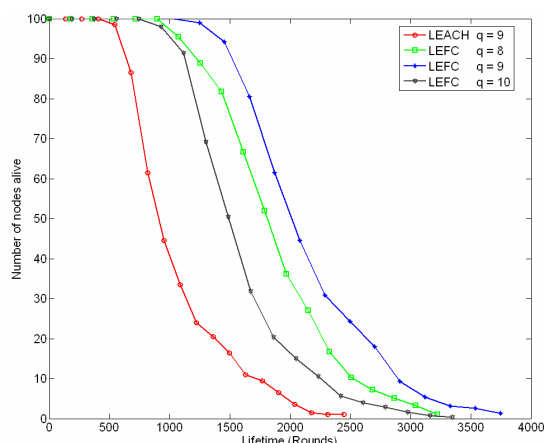


圖 5 叢集數 8、9、10 與 LEACH 叢集數 9 網路壽命比較

由圖 5 可以得到表 3，並且統計 LEFC 叢集數 8、9、10 與 LEACH 叢集數 9 的節點存活率比較。

表 3 叢集數節點存活率比較

Clusters	LR	70%	50%
LEACH $q = 9$		774	907
LEFC $q = 8$		1221	1396
LEFC $q = 9$		1564	1822
LEFC $q = 10$		1800	1980

我們所提出的 LEFC 方法中，叢集數 8、9、10 與 LEACH 叢集數為 9 的節點存活率(Life Rate, LR)所執行的回合數比較，亦指存活的感測節點數佔初始節點的百分比，在 LR 高於 50%以上感測網路才能正常運作，節點接收到的感測資料精確度較高，LR 低於 50%會造成接收資料的精確度降低，必須將 LR 維持在 50%以上網路使用效率會較佳。

5. 結論

在本篇論文中，主要是應用先前所提出的低能量固定叢集法(LEFC)找出能量消耗效率較佳的叢集數與 LEACH 最佳叢集數網路壽命做比較。在模擬結果中，我們的方法中，叢集數 8、9、10 與 LEACH 叢集數為 9 的模擬結果分析比較，我們所提出方法中，叢集數為 9 時，為最理想的叢集數(Optimal Clusters)，並且可以得到最佳的網路壽命回合數。

參考文獻

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "Wireless sensor network: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [2] D. Culler and D. Estrin, M. Srivastava, "Guest editors' introduction: overview of sensor networks," *IEEE Computer*, vol. 37, issue 8, pp. 41-49, Aug. 2004.
- [3] B. L. Yin, H. C. Shi and Y. Shang, "Analysis of Energy Consumption in Clustered Wireless Sensor Networks," *Proceedings of IEEE International Symposium on Wireless Pervasive Computing*, pp. 77-82, Feb. 2007.
- [4] M. Chatterjee, S. K. Das and D. Turgut, "A weighted clustering algorithm for mobile ad

- hoc networks,” *Proceedings of the 7th International Conference on High Performance Computing*, pp. 511-521, Dec. 2000.
- [5] R. C. Shah and J. M. Rabaey, “Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks,” *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 17-21, 2002.
- [6] Gurpreet Singh, Singh, G., “Algorithms for Energy-Efficient Clustering in Wireless Sensor Networks,” *Proceedings of IEEE Singapore International Conference on Communication systems*, pp. 1-5, Oct. 2006.
- [7] C. Schurgers and M. B. Srivastava, “Energy efficient routing in wireless sensor networks,” *Proceedings of IEEE Military Communications Conference for Network-Centric Operations*, vol. 1, pp. 357-361, 28-31 Oct. 2001.
- [8] B. Huang, F. Hao, H. Zhu, Y. Tanabe, and T. Baba, “Low-energy static clustering scheme for wireless sensor network,” *Proceedings of International Conference on Wireless Communications*, pp. 1-4, 22-24 Sept. 2006.
- [9] S. D. Muruganathan, D. C. F. Ma, R. I. Bhasin and A. O. Fapojuwo, “A centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks,” *Proceedings of IEEE Communication Magazine*, vol. 43, no.3, pp. 8-13, March 2005.
- [10] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, “Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks (LEACH),” *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on Systems Science*, vol. 8, pp. 3005-3014, Jan. 2000.
- [11] W. Heinzelman, “Application-specific protocol architectures for wireless networks,” Ph. D. thesis, *Massachusetts Institute of Technology*, 2000.
- [12] Y.-F. Huang, W.-H. Luo, J. Sum, L.-H. Chang, C.-W. Chang and R.-C. Chen, “Lifetime Performance of an energy efficient clustering algorithm for cluster-based wireless sensor networks,” *LNCS 4743, Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, pp. 455-464, Aug. 2007.
- [13] Y. Wang and M. Xiong, “Monte Carlo Simulation of LEACH Protocol for Wireless Sensor Networks,” *Proceedings of IEEE International Conference on Parallel and Distributed Computing Applications and Technologies*, pp. 85-88, Dec. 2005.
- [14] A. Garg and M. Hanmandlu, “An Energy-Aware Adaptive Clustering Protocol for Sensor Networks,” *IEEE International Conference on Intelligent Sensing and Information Processing*, pp. 23-30, Dec. 2006.
- [15] M. J. Handy, M. Haase and D. Timmermann, “Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection,” *Proceedings of IEEE International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network*, pp. 368-372, Sept. 2002.
- [16] 黃永發、陳明哲、張智惟, “具能量效率之長壽命叢集階層式無線感測網路,” *2007 全國電信研討會論文集*, 台北, 台灣, pp. 688-692, 23-24 Nov. 2007.