

具能量效率之最短距離轉傳叢集式無線感測網路之效能

黃永發

朝陽科技大學

資訊與通訊系副教授
yfahuang@mail.cyut.edu.tw

王能中

聯合大學

資訊工程系副教授
ncwang@nuu.edu.tw

林佳怡

朝陽科技大學

資訊與通訊系研究生
s9930601@cyut.edu.tw

郭昭璋

朝陽科技大學

資訊與通訊系碩士
s9630606@cyut.edu.tw

摘要

本論文主要探討叢集式(clustering)無線感測網路叢集頭(cluster head, CH)及中繼節點之選擇對資料傳輸所消耗能量之影響。為了降低叢集頭消耗能量,我們提出具能量效率轉傳之最短距離叢集法(energy efficient relaying with minimum distance, EERMD),在每個叢集裡選出一個轉傳節點(relay node, RN),而RN位於每個叢集中最靠近基地台的節點,RN負責轉傳送給每個叢集資料給BS。由模擬結果可知,我們提出的EERMD確實可減少叢集頭能量消耗,雖會增加轉傳點的能量消耗,但網路存活期平均延長為FCA的1.7倍。

關鍵詞：無線感測網路、固定叢集法、低能量最小平均距離演算法、能量效率轉傳之最短距離轉傳叢集法、網路存活期。

Abstract

In this paper, the performance of energy efficiency of cluster-based wireless sensor networks (WSNs) is investigated. We consider the effect of cluster head (CH) and relaying nodes (RN) selection on the energy consumption in WSNs. With the fixed clustering algorithms (FCA), we propose energy efficient relaying with minimum distance (EERMD) algorithm to improve the energy efficiency for WSNs. Simulation results show that the proposed EERMD can largely improve both the energy efficiency and lifetime of WSNs.

Keywords: Wireless sensor networks, fixed clustering algorithm, energy efficient minimum mean distance algorithm, energy efficient relaying with minimum distance algorithm, network lifetime.

1. 前言

無線感測網路(wireless sensor network, WSN)[1,2]是由許多體積微小的感測節點

(sensor nodes)散佈在一特定區域所組成的網路,而感測節點主要是結合感測器和微機電系統兩大技術開發出來的應用裝置,由於微機電系統(micro-electro-mechanism system, 簡稱MEMS)的發展迅速奠定了系統晶片(system on chip, 簡稱SOC)的基礎,並結合能感測四周環境的感測系統,就開發出了體積小、價格低且低功率的感測節點,也因為感測節點的便利性,使得感測網路可應用的範圍更寬廣。

無線感測器網路是由許多具有感應(sensing)、通訊(communicating)及處理資訊(data processing)能力的感測器節點所組成[1,3],這些節點能夠在其感測範圍(sensing range)內偵測環境的目標物(target)及環境的改變(例如:溫度、濕度、光度等),並可以處理收集到的資料,此外還能將收集到的資訊透過無線通訊的方式傳送給資料收集端(sink)或基地台(base station, 簡稱BS),相較於傳統無線網路,無線感測網路上的感測節點因為會大量地散佈在需要感測的地區中,所以其生產成本不能太高,且因為需考量感測地區的地形以及環境因素,所以體積也不能太大[1,3,4];基於以上的種種限制,感測節點所能搭載的電量通常都不會太高,且幾乎沒有機會能進行補充能量的動作,所以無線感測網路在整體設計上著重的是:(1)不管是處理哪種動作,感測節點的能量消耗越少越好、(2)相較於延長個別節點的存活時間,如何能使感測網路上的節點存活時間相近才是需要優先考量的,因此在無線感測網路中,如何有效利用有限的能量提高感測器的存活期或整個網路的存活期為本論文研究的重要課題[5,6,7]。

感測網路的資料傳輸,最簡單的方式就是直接傳輸(direct),每個感測器直接把所收集到的資料傳送到遠處的基地台(sink),應用這種方式的缺點,距離基地台較遙遠的感測器很容易就沒電,故能量消耗速率就無法一致。而第二個方法是經由多重跳躍的傳輸方式,過去常用於隨意網路(Ad hoc network)[8,9,10]的路由協

定，這樣路由協定可以將感測節點形成一個或數個鏈架構，而每個鏈都會有一個收集者擔任鏈結頭，節點只需要將資料往鏈上靠近鏈頭的鄰居傳遞，最後鏈頭則會將鏈上的資料收集並傳遞到基地台，這種傳遞資料方式的缺點是，當感測點收集完資料，要傳送至遠端基地台時，必須經由點對點方式傳遞，越靠近基地台的節點將傳送越多筆資料，因此就消耗越多能量[5]。

第三種方法是叢集化(clustering) [6]，數量眾多的感測節點會以分散式的方法自行組成一個個的叢集(cluster)，叢集裡的任一個感測器將可能被選為叢集頭(cluster head, CH)，叢集中的感測節點會依照叢集頭所分配的時間槽(time slot)來傳送感測到的資料到叢集頭，叢集頭將收集到的資料整合後，再依照由基地台建立出的路由將感測資料傳送給基地台，這種方法中，叢集頭自然成為資料整理的點，故叢集頭將會消耗更多的能量，而叢集頭的存活期(lifetime)會比其他感測節點短[8,9]，但若能使叢集頭擁有較多之能量，那麼叢集架構將更具有能量使用效率。因此，本論文針對叢集式無線感測網路，研究有效的節能技術，來增進一般節點及叢集頭的能量效率。

在文獻中[11]，所提出之固定叢集演算法(fixed clustering algorithm, FCA)可依據所需之叢集數劃分出適當之叢集區以提升感測節點之傳輸能量效率，但因為每個叢集頭所感測的範圍以及距離基地台的距離皆有所不同，因此在整體的無線感測網路的環境中叢集頭的存活期往往都不一樣，也影響了整個無線感測網路的存活期。因此，本文探討叢集式(clustering) [5,6]無線感測網路架構，將固定叢集法和低能量最小距離演算法 [12] (energy efficient minimum mean distance, EEMMD)結合，提出了用 FCA 劃分叢集範圍和用最小距離演算法的叢集頭部署方法，希望用最低的能量消耗來監控最多的區域以延長無線感測器網路存活期。不過，資料傳送的路徑，一般感測點要回傳資料給基地台時，會選擇叢集內的叢集頭轉傳，跟我們之前提出的 EEMMD 比較後發現，這個方式可減少叢集頭在資料轉傳過程中，能量過度的消耗。

2. 無線感測網路架構

在任何的無線傳輸系統中，訊號強度的衰減與距離有關。路徑損失是由於訊號強度隨著

傳輸距離增加而衰退，若我們不考慮多路徑衰減與遮蔽效應均忽略，只考慮路徑損失的話，接收訊號定義為

$$P_r = c \frac{P_t}{d^\alpha} \quad (1)$$

其中 c 是傳送端與接收端接收有效有關之常數， P_t 是傳送的訊號功率， d 是傳送端到接收端的距離， α 是無線電波衰減指數(attenuation exponent)， α 範圍 2~6 之間。一般來說，自由空間(free space)中， $\alpha=2$ ，即接收訊號之功率與 d^2 成反比關係。所謂的自由空間的概念是假設無線傳輸的通道沒有阻礙，例如反射、散射與繞射[13]。

無線感測網路對於能量節省是必要的，而減少傳輸的資料量可以有效的節省能量，因此在從各個感測節點收集資料的過程中，利用節點本身的計算及儲存能力處理資料，進行資料(data aggregation)融合操作是節省能量所必須的機制，主要將多個相同或類似的資料合併成單一個資料，藉以刪除重覆或冗餘的資料，去除冗餘的訊息，盡量減少傳輸量，達到節省能量的目的，此外感測節點容易發生失效性，無線感測網路也需要資料融合的技術對多份資料進行融合，以提高資料的準確度。

為敘述本論文較常用的系統參數， q 為在感測範圍內所有叢集數總和， x 及 y 為感測範圍的兩邊長，而 α 為無線電波衰減指數，通常 $2 \leq \alpha \leq 6$ ，本論文皆以 $\alpha=2, 4$ 為路徑衰減指數， B 為基地台到感測範圍的最短距離，本文中，基地台假設於(0,-10)的地方，最後 η_i 代表轉傳節點的資料融合因素，通常 $0 < \eta_i \leq 1$ ，當 η_i 越小代表節點轉傳的效率越好。

表 1 一般變數

變數名稱	敘述
q	總叢集數
D_1	感測範圍的長度
D_2	感測範圍的長度
α	無線電波衰減指數
B	基地台到感測範圍最短距離
η_i	資料融合因素

本文中，將探討的感測網路範圍定為正方形，並設其 X 與 Y 座標之邊長分別為 D_1 與 D_2 ，

其感測面積的座標如圖 1 所示；圖中“+”符號為叢集頭的感測點位置，“o”符號為一般感測節點的位置。我們使用的模擬環境實現在一個感測範圍上，圖 1 所示為一例，圖中叢集頭是根據感測面積平均分割後，假設一般感測節點隨機均勻分布(uniform distribution)於感測範圍中，各叢集區內之數據資料先由一般感測點收集之後，再經由叢集頭傳遞給基地台，基地台的座標點位置被固定於(0,-B)。

我們假設感測期間由基地台接收完感測區每個感測點一筆資料的週期為一回合，而一個回合包含資料的感測以及封包的傳輸到叢集頭，再經由叢集頭轉傳到基地台的週期時間，當在沒有資料傳送期間的叢集頭就假設它為休眠狀態。

在固定叢集演算法[11]中為有效地劃分叢集區域，已知要劃分之叢集數為 q ，此演算法乃將感測面積平均切割出面積相同的叢集區域，則每個叢集區面積的重心點即為其叢集頭所在位置， p 是叢集數開根號所得到的值，為了求出當叢集皆為正方形時的行列數值， n 及 s 則是當叢集皆為相同矩形時的行列數值，對於矩形感測面積，應用 FCA，可求出每個叢集中叢集頭位置的座標，變數定義如表 2 所示[11]。

表 2 FCA 變數定義

變數名稱	敘述
p	$\sqrt{q}$
n	$\lceil p \rceil$
k	$\text{mod}\left(\frac{q}{n}\right)$
s	$\left\lfloor \frac{q}{n} \right\rfloor$
l	$\frac{D_1(n-1)}{q}$

首先判斷 p 是否為自然數，如果是就使用 A 類，否則先判斷 k 是否為 0，是則使用 B 類，否就判斷 s 是否有大於 $n-1$ ，如果有大於 $n-1$ 則使用 C1 類，否則使用 C2 類。

在固定叢集演算法中，由叢集數的不同分為 3 種類型去劃分，當叢集數是自然數的平方時，使用 A 類演算法可求出叢集頭之座標，否則須使用 B 類演算法或 C 類演算法，而判別 B 類演算法跟 C 類演算法，是看 k 值是否為 0，如為 0 則使用 B 類演算法，如果不為 0，則使

用 C 類演算法；當叢集頭數 $1 \times 2, 2 \times 3, 3 \times 4, 4 \times 5, \dots, M \times (M+1)$ 等，則使用 B 類演算法來找叢集頭座標，例如：當叢集數為 12 時由 B 類 FCA 求出固定叢集及其叢集頭座標如圖 1 所示。

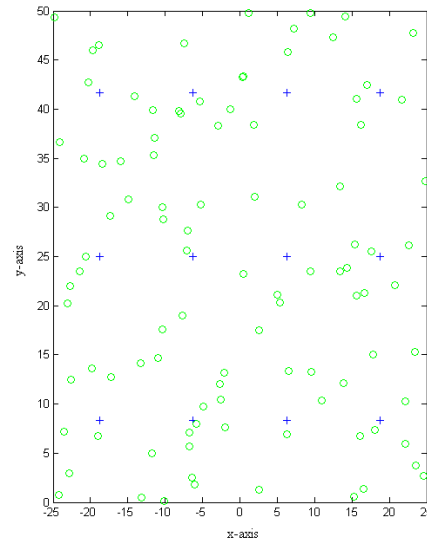


圖 1 固定叢集網路感測範圍及其座標，叢集數為 12 [11]

3. 具能量效率轉傳之短距離叢集法

叢集頭是叢集內能量耗費速率最快的節點，為了改善 FCA 中叢集頭能量消耗過大的問題，我們已提出的 EEMMD 演算法，是一種按照最小平均距離的方法來選擇叢集頭的方式。選出叢集頭位於叢集內節點聚集彼此最短距離為叢集頭的位置，以修改 FCA 中叢集頭位於叢集區的中心並非是實際存在的位置。

此外，為了使叢集頭以及一般感測點的能量使用更有效率，本文中，我們提出一個方法具能量效率轉傳之最短距離叢集法 (energy efficient relaying with minimum distance, EERMD) 來改善，主要在每個叢集裡選出一個轉傳節點 (relay node, RN)，而 RN 位於每個叢集中最靠近基地台的節點，在每個叢集裡還有一個叢集頭節點，叢集頭的座標位於每個叢集內節點聚集彼此最短距離的位置，它的責任在於收集叢集內一般感測點的資料，然後再傳送給叢集內的 RN，最後每個叢集區裡的 RN 在將資料傳送給 BS。

因為傳送資料的距離近所以叢集頭的能量消耗是叢集內所有感測點中最少的，這樣不僅減少一般感測點的傳輸能量，也具備 EERMD 中轉傳節點能量節省的好處，如圖 2

所示，假設叢集數為 9，而“○”代表每個叢集中的叢集頭，“+”則代表每個叢集內的 RN。

一般感測點是使用隨機均勻的方式去部署，每個叢集的範圍則根據 FCA 來切割，基地台的位置則固定於座標(0,-B)的地方。

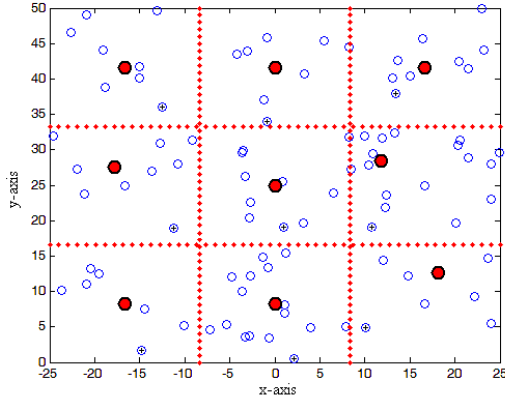


圖 2 EERMD 感測範圍及其座標，叢集數為 9

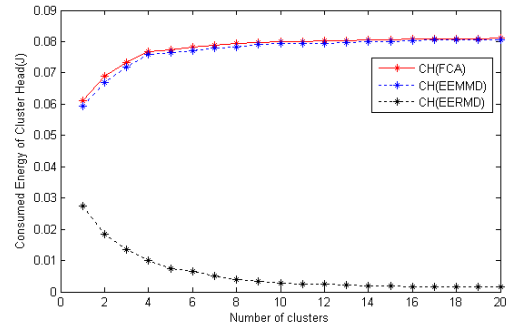
4. 模擬結果

為驗證與比較我們提出之 FCA 能量使用效率，我們應用 MATLAB 程式語言作電腦模擬，在我們的模擬中，假設感測節點在一公尺距離時，每傳送一筆資料所需的能量為 e_t 焦耳(J)，故一般感測節點傳送數據資料給叢集頭所消耗的能量則為 $e_t d^\alpha$ J，其中 d 為感測節點至叢集頭之距離， $\alpha=2$ ，而叢集頭傳送數據資料給基地台所消耗的能量為 $e_h B^\alpha$ J，其中 B 為叢集頭至基地台之距離，之前的 e_t 為 5×10^{-7} 焦耳，假設每個感測器傳送的每筆資料量皆為 x bits，在模擬中假設全部的感測點有 $Q=100$ 個，每個感測節點初始能量為 1 焦耳，叢集頭有 q 個，一般感測點為 $100-q$ 個，而邊長各為 50m 的感測範圍，基地台的座標點位置被固定於(0,-10)，模擬參數如表 3 所列。

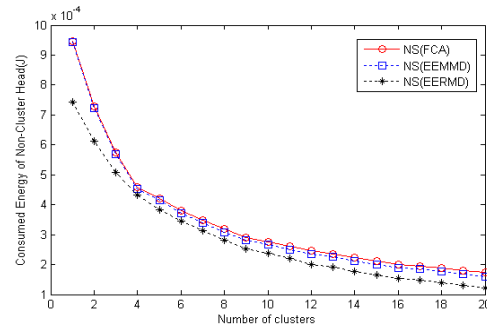
我們模擬固定叢集式(FCA)、EEMMD 與 EERMD 等叢集化演算法，比較它們在能源效率(energy efficiency)上之效能，其中 EEMMD 則是以按照最小平均距離的方法來選擇叢集頭的位置。

表 3 模擬環境

模擬參數	D_1, D_2	α	B	η_i
模擬值	50 m	2	10 m	1



(a)



(b)

圖 3 不同之叢集數時，一個回合(a)所有 CH (b)所有 NS 所需能量之比較。

叢集頭以及一般感測節點在一回合消耗能量的總和比 FCA 和 EEMMD 少，如圖 3(a)與圖 3(b)所示，我們所提出的 EERMD 方法中，節省叢集頭所消耗的能量確實能提升整個網路的存活期，如圖 4 與圖 5 所示。

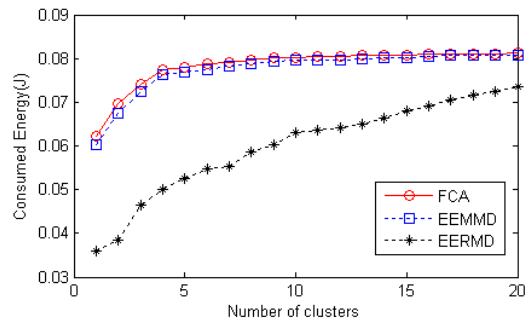


圖 4 不同之叢集數時，一個回合所需能量之比較。

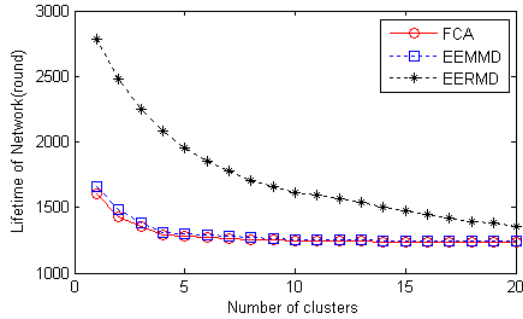
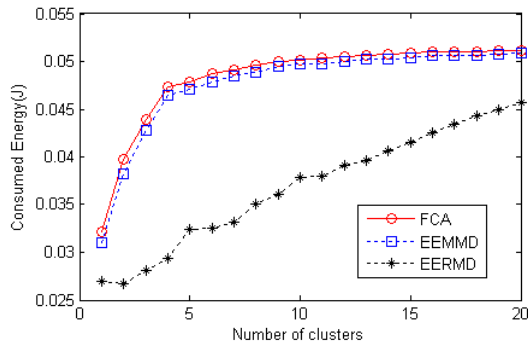
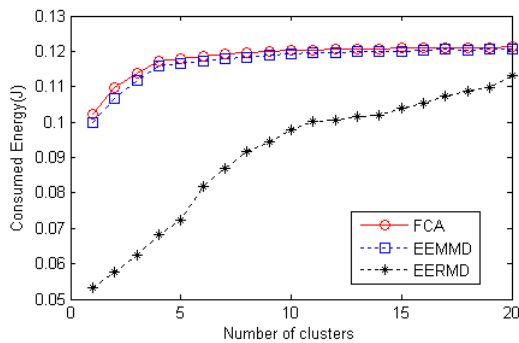


圖 5 不同之叢集數時，感測網路存活期之比較。

考量當基地台到感測範圍的距離改變，把基地台放置在(0,0)的位置與移動到(0,-50)的地方，首先針對感測點一個回合所需能量去模擬，比較叢集頭與一般節點能量消耗情形，如圖 6(a)與圖 6(b)所示，當基地台位置移到靠近感測環境時，叢集頭與一般節點消耗能量較節省，且提出之 EERMD 的方法比 EEMMD 和 FCA 能量消耗更少。



(a)

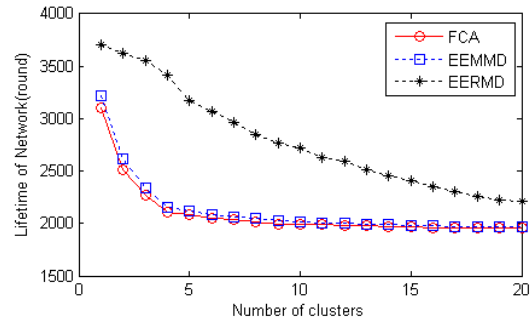


(b)

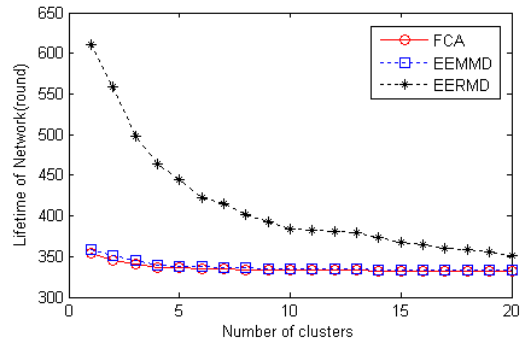
圖 6 不同之叢集數時，一個回合所需能量之比較(a)BS=(0,0) (b)BS=(0,-50)

當基地台到感測範圍的距離改變時，其網路存活期之比較如圖 7 所示，由圖 7 可看出，當基地台到感測範圍的距離加大時，即基地台

遠離感測區域時，當叢集數甚少($N < 3$)時，提出之 EERMD 方法比 EEMMD 和 FCA 改善更多。這是因為叢集範圍大時，EERMD 可大大改善叢集內之傳輸能量之消耗。而當叢集數較多($N > 5$)時，提出之 EERMD 方法比 EEMMD 和 FCA 改善較少。這是因為叢集範圍縮小時，EERMD 的改善效果較不明顯。



(a)



(b)

圖 7 不同之叢集數時，感測網路存活期之比較，(a) BS=(0,0) (b) BS=(0,-50)

叢集內資料傳送到基地台為轉傳點，叢集頭負責收集叢集區域裡節點的資料，只要將資料傳送給轉傳點即可，相對於能量消耗不大，但叢集劃分越多，轉傳點增加且需要更多能量來傳送資料到基地台。

如圖 8 所示，當基地台距離感測面積漸漸變遠時，轉傳點能量消耗量比一般感測點能量消耗還多，並且當叢集數增加，轉傳點到基地台平均距離也增加，網路的最長存活期也會隨之減少，且曲線的斜率也因為距離增加而逐漸減少，而我們提出的 EERMD 方法在網路存活期上比 EEMMD 與 FCA 來得高，顯示選擇每個叢集區裡最靠近基地台的節點為轉傳點確實也發揮功能。

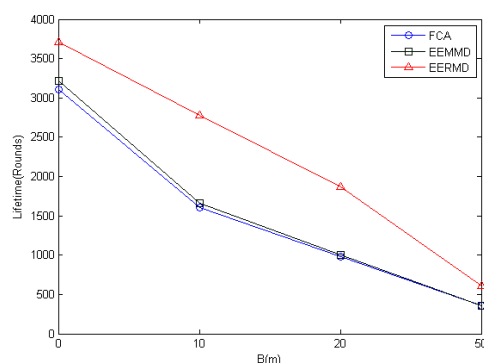


圖 8 基地台與感測區距離改變時，感測網路存活期之比較

5. 結論

在本論文中主要探討叢集式無線感測網路叢集頭及中繼轉傳節點之選擇對資料傳輸所消耗能量之影響，以固定叢集法(FCA)來劃分叢集區域後，為了改善 FCA 叢集頭的熱點問題，因為叢集頭在轉傳過程能量消耗是叢集內最大的節點，為了減低叢集頭能量消耗，就必須減少叢集頭資料的傳送距離，因此我們提出 EERMD 來改善，在每個叢集裡選出一個轉傳節點(RN)，由模擬結果來看，我們提出的 EERMD 確實可減少叢集頭能量消耗，但卻增加轉傳點的能量消耗，而網路存活期平均大約是 FCA 的 1.7 倍，EERFC 網路存活期的 1.6 倍。因此，我們所提出的 EERMD 方法可延長網路存活期。

參考文獻

- [1] D. Culler, D. Estrin, M. Srivastava, "Guest editors' introduction: overview of sensor networks," *IEEE Computer*, vol. 37, issue 8, pp.41- 49, Aug. 2004.
- [2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor network: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [3] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, no.4, pp. 660-670, Oct. 2002.
- [4] S. D. Muruganathan, D. C. F. Ma, R. I. Bhasin, and A. O. Fapojuwo, "A centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks," *IEEE Communication Magazine*, vol. 43, no.3, pp. S8-13, March 2005.
- [5] E. J. Duarte-Melo and M. Liu, "Analysis of energy consumption and lifetime of heterogeneous wireless sensor networks," *Proceedings of IEEE Global Telecommunication Conference*, pp. 21-25, Nov. 2002.
- [6] 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.
- [7] Mainak Chatterjee, Sajal K. Das, and Damla 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.
- [8] 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.
- [9] Y. C. Chang, Z. S. Lin and J. L. Chen, "Cluster Based Self-Organization Management Protocols for Wireless Sensor Networks," *IEEE Transation on Consumer Electronics*, Vol. 52, Issue 1, pp. 75-80, Feb. 2006.
- [10] B. Huang, F. Hao, H. Zhu, Y. Tanabe and T. Baba, "Low-Energy Static Clustering Scheme for Wireless Sensor Network," *Digital Object Identifier (WiCOM)*, pp. 1-4, 22-24 Sept. 2006.
- [11] 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," *Frontiers of High Performance Computing and Networking, LNCS 4743*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 455-464, Aug. 2007.
- [12] Wei Peng and David J Edwards, "Low-Energy Minimum Mean-distance Algorithm for Wireless Sensor Networks", CHAOYANG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2009.
- [13] B. Sklar, *Digital communications fundamentals and applications*, Prentice Hall, 2002.