

圓形叢集化無線感測網路之叢集頭消耗 能量等化

吳典輝
朝陽科技大學
資訊與通訊系碩士
e-mail:
s9430613@cyut.edu.tw

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

高富斌
朝陽科技大學
資訊與通訊系研究生
e-mail:
s9730620@cyut.edu.tw

摘要

本文乃探討圓形區域之叢集式無線感測網路中，改變以往每個叢集頭將所收集之資料直接傳送至基地台，在每個叢集頭與基地台之間，每個叢集頭與叢集頭之間應用多重跳躍(multi-hop)的方式，使每個叢集頭都是無線的鏈結點，來形成一個鏈結的架構，將每個鏈結點所收集之資料往鄰近的鏈結點傳送，最後鏈頭則會將鏈上的資料收集必傳遞到基地台，依照每個叢集之叢集頭依照其與鄰近之叢集頭的距離，調整其叢集之範圍以使其每個叢集頭所消耗能量等化(energy equalization)，以延長整個無線感測網路的壽命(lifetime)。

關鍵詞：無線感測網路，叢集化，叢集頭，能量等化，延長壽命

Abstract

In cluster-based wireless sensor networks (WSNs), the most of energy is consumed in cluster heads (CHs), which perform data aggregations and relaying. The lifetime in cluster-based WSN is subjected by the lifetime of CHs. Therefore, in this paper, we equalize the energy consumption of the CHs to prolong the lifetime of WSNs. After equalization, we obtain the length of sides of cluster area for network clustering. Numerical results show that the circular area of WSNs is adopted to perform energy equalization for CHs in this paper. Furthermore, simulation results verify that the proposed energy equalization for CHs is effective for circular WSNs.

Keywords: Wireless sensor network, Clustering, Cluster head, Energy consumption equalization, Network lifetime.

1. 前言

隨著科技的進步與無線傳輸技術的發展，無線網路的應用越來越多元，無線感測網

路(wireless sensor networks)也應運而生。無線感測網路是由一到數個不等的資料收集中心(sink 或 base station)，以及數量眾多的感測器(sensor)所構成的網路系統，而各個元件之間則透過無線通訊的方式做溝通[1]-[5]，[10]。近年來隨著微機電、無線傳輸及嵌入式處理技術的進步，使得精密感測、計算、通訊等多重功能可內嵌於微小電子裝置中，以形成無線感測網路，在無線感測網路的應用中，由於感測器的體積小且數量龐大，而無線感測網路(wireless sensor networks)的位置通常是在使用者所無法達到的地方，所以省電就成為感測網路設計一個很重要的考量，因此，能量的有效運用就變成了一大議題[1]。這一類的感測器不但可以感應以及偵測環境的目標物，並可處理所收集到的資訊數據，並將經過處理過後的資料以無線傳輸的方式經由資料匯聚點在傳送到基地台[16]。此外，而感測器的存活期(lifetime)或整個網路的存活期將是感測網路能否被採用之重要考量因素[2]。

感測網路中主要能量之消耗是在感測資料傳輸的過程中，而其中最簡單的方式就是直接傳輸，每個感測器直接傳送所收集到的資料傳送到遠處基地台(sink)，應用這種方式時，距離基地台較遙遠的感測器很容易就能量耗盡，所有節點能量消耗速率無法一致，故較大面積的感測網路就不適合此種傳輸方式[3]。而第二個方法就是經由多重跳躍(multi-hop)方式，過去常用於隨意網路(ad hoc network)的路由協定[3]-[5]，[21]，這種傳遞資料方式的缺點是，當資料從感測點收集到數據資料，要傳送到遠端基地台時，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，因此耗費太多之能量。

第三種方法是叢集化(clustering)[3]，[6]，[7]，使相鄰的許多感測器形成叢集(cluster)。叢集裡的任一個感測器將被選為叢集頭(cluster head)，並且負責把數據資料從叢集裡

的每個感測器傳遞到遙遠的基地台，這種方法中，叢集頭自然成為數據資料融合和資料壓縮的點，因為叢集頭將會消耗更多的能量，因此叢集頭的存活期會比其他感測器短[7]，但若能讓叢集頭以輪流方式擔任，那麼叢集架構將較具有能量使用效率[8]。因此選用叢集頭將偵測範圍內的感測器能量收集後再傳送至基地台，可避免每一個感測器皆將資料直接傳送回基地台，而消耗大量的能源，但當作叢集頭的感測器往往存活期會相對的較其他的感測器的低[13]。

目前所發展出來的路由協定，都透過各種處理方法來降低資料的傳輸次數，例如 clustering、Data-aggregation、Signaling-exchange、Power-aware 等等。其中以 LEACH[16]-[18] (low-energy adaptive clustering hierarchy) 為最經典的 protocol 之一，其中叢集路由是將鄰近節點歸為同一群組，在同一群組中選舉出適合的叢集頭加以彙集同一群組中感測的資料再回傳基地台。因此叢集議題中最重要的是如何選擇叢集頭。一般叢集方法皆以機率的方式自動產生叢集頭，一般節點選擇叢集時亦以距離為唯一考量[19]。

先前之研究成果中[9-10]，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壽命往往都不一樣，也影響了整個無線感測網路的壽命。因此我們由叢集頭到基地台之間應用多重跳躍(multi-hop)的方式，依照叢集頭與叢集頭之間的距離來調整其叢集的偵測範圍，使其讓整個感測網路的環境內的所有叢集頭的消耗能量能夠等化，以達到延長感測網路的壽命的目的[22]。本文中，我們進一步探討圓形區域感測網路之叢集頭消耗能量等化。

2. 網路與系統架構

在本文中，我們定義了感測區域，如圖 1 所示，最靠近圓心之叢集之叢集頭為 $H_{A,CT}$ ，CT 為圓形二段跳躍(Circular two-hop)，由於每個叢集的叢集頭距離基地台之距離不同，因此其叢集範圍皆不同，因此將感測密度定義為 d_s ($1/m^2$)，此外，我們假設每一回合中，每個感測器所需傳出之資料均為一個封包，長度均

相同，因此，不同叢集頭所需轉傳之資料量可能不相同，並與其叢集中之感測節點數有關，所以我們所提出之以圓形為基礎之多重跳躍方式傳輸之傳輸模式，依照角度與圓形之比例將整個無線感測網路作部份之感測網路區域之個數。

在無線通訊通道中，傳送的訊號在大氣中傳輸會受到衰退(fading)之效應，因為我們只考慮長期之系統效能，所有的感測節點均假設布置後即不再變動，因此對於短期衰減(short-term fading)與遮蔽效應(shadow fading)均忽略，只考慮路徑損失指數(path loss exponent)，所以感測節點接收之訊號功率為

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

其中 d 為感測節點傳輸的距離， P_t 表示傳送訊號之功率， c 為與發射器傳送與接收器接收效率有關之常數， α 是無線電波衰減指數(attenuation exponent)， α 範圍 2~6 之間[4]，在無線感測網路中，其資料的傳輸往往會因為不同的 α 的情況之下，而造成每個叢集之路徑損失指數的不同，而造成叢集資料傳輸時所消耗之能量有很大的不同。

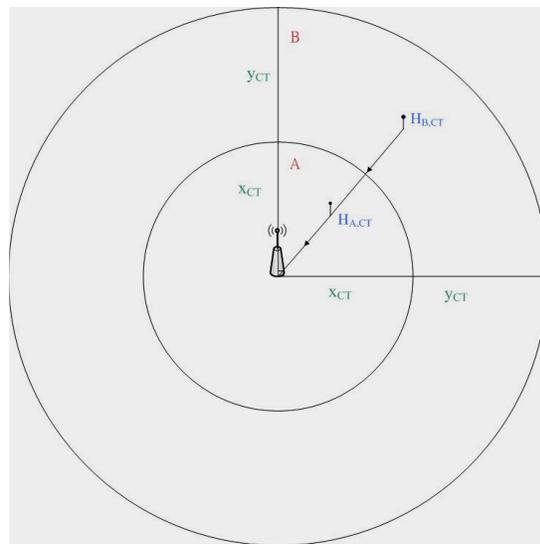


圖 1 無線感測網路之感測區域

為探討各叢集頭傳送資料所消耗之能量之差異，我們將叢集一回合(round)中傳送資料所消耗之能量定義為

$$E_{CH} = E_p \cdot X^2 \cdot d_x^\alpha \quad (2)$$

其中 d_x 為叢集頭到叢集頭之資料傳遞距離，

X^2 為叢集感測區域, $E_p(\text{J/m}^2/\text{m}^\alpha)$ 為傳送每單位區域封包一公尺所需之能量, 這是因為我們假設感測之資料量與感測範圍大小成正比, 此外, 假設在可通訊之條件下, 接收功率之需求為 $P_r=c_1 \cdot c$, 其中 c_1 為與通道雜訊有關之常數, 因此(2)式對應到(1)式可得

$$E_p X^2 = T_r \cdot P_t \quad (3)$$

其中 $T_r(\text{second})$ 為一回合中所需傳送資料之總時間。

3. 資料融合

在無線感測網路收集資料的過程中, 乃採用各個節點單獨傳送資料到叢集頭會有兩個缺點: (1)浪費頻寬及能量(2)降低資料收集之能力, 因此為了避免這兩個問題之發生, 所以在叢集頭收集資料的過程中就必須使用資料融合(data aggregation)[11]技術, 資料融合是將多份資料或是訊息進行處理, 組合出更有效, 更符合用戶需求的資料過程。

在無線感測網路中能量節省是必要的, 而減少傳輸的資料量可以有效的節省能量, 因此再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, 進行資料融合操作, 去除冗餘的訊息, 盡量減少傳輸量, 進而達到節省能量之目的, 此外感測節點容易發生失效性, 在無線感測網路中也需要資料融合之技術對多份資料進行融合, 以提高資料的準確度。

資料融合技術的目的在於節省能量, 提升資料準確度之同時也必須犧牲其他方面的性能。首先是延遲: 在資料傳送過程中, 尋找易於進行資料融合的路由、進行資料融合操作、為融合而等待其他資料到來, 這幾方面都可能增加網路的平均延遲[11]。其次是容錯性: 無線感測網路相對於傳統網路有更高的節點失效率以及封包遺失率, 資料融合可以大幅降低資料的冗餘性, 但是遺失相同之資料量可能會損失更多之訊息, 因此相對也降低網路的容錯性。

4. 叢集頭消耗能量等化分析

為其方便說明與分析, 將 θ 設為 90° 依照與整個圓形的角度 360° 做比例, 把圖 1 整個感測環境話分成四個等分感測區域, 將其中一個區塊以分成 A 和 B 兩個叢集, 把整個感測網路之半徑劃分成 x_{CT} 和 y_{CT} 兩個邊長依照叢集 A

和 B 之叢集頭之能量消耗進行等化, 去求其 x_{CT} 和 y_{CT} 之比例, 於是我們可求得兩個叢集頭在每個回合所消耗能量為

$$E_{A,CT} = \left[\pi \cdot (x_{CT} + y_{CT})^2 \right] \cdot \left(\frac{x_{CT}}{2} \right)^\alpha \quad (4)$$

及

$$E_{B,CT} = \pi \cdot \left[(x_{CT} + y_{CT})^2 - x_{CT}^2 \right] \cdot \left(\frac{x_{CT} + y_{CT}}{2} \right)^\alpha \quad (5)$$

為使不同叢集頭在每個回合所消耗功率相等, 於是, 我們調整兩叢集之感測區域大小, 首先以叢集 A 為基準, 把邊長 x_{CT} 固定, 先調整叢集 B 之範圍, 令叢集頭 H_A 與 H_B 每個回合所消耗功率相等, 則得 x_{CT} 和 y_{CT} 的關係式為

$$\left[\pi \cdot (x_{CT} + y_{CT})^2 \right] \cdot \left(\frac{x_{CT}}{2} \right)^\alpha = \pi \cdot \left[(x_{CT} + y_{CT})^2 - x_{CT}^2 \right] \cdot \left(\frac{x_{CT} + y_{CT}}{2} \right)^\alpha \quad (6)$$

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(Round), 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, 當沒有資料傳送期間, 假設叢集頭為休眠狀態。

5. 數值分析結果

在本節之數值分析中, 我們將叢集 A 之邊長 x_{CT} 設為 1m, 並在路徑損失係數為 $2 \leq \alpha \leq 5$ 之無線傳輸環境下, 以另一叢集 B 之邊長 y_{CT} 所對應之長度, 如圖 2 所示。

由圖 2 可看出, 當路徑損失增大時, y_{CT} 會快速下降, 以使叢集 B 之感測區域縮小, 而達到叢集頭消耗能量等化之目標。然後, 我們與之前的研究所述之三種不同傳輸模式[22]做比較, 如圖 3 所示, 其中資料融合係數均假設為 1, 而感測面積等相關參數如表 1, 在之不同的路徑損失指數 $\alpha = 2 \sim 5$ 之情況下進行比較。

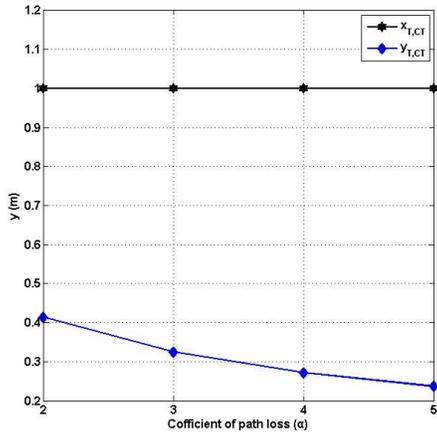


圖 2 以二段跳躍傳輸在不同路徑損失下叢集之邊長比

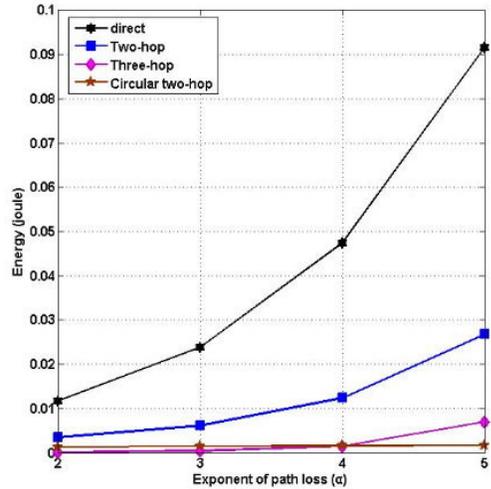


圖 3 四種傳輸模式之能量比較

表 1 分析相關參數

參數	設定值			
路徑損失係數	$\alpha = 2$	$\alpha = 3$	$\alpha = 4$	$\alpha = 5$
感測面積(平方公尺)	222.4142	174.4691	147.3003	130.7294
感測器之數目(個)	100	100	100	100
傳送每一筆資料之封包數(個)	100	100	100	100
每一個封包傳送一公尺所需能量(焦耳)	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}

在圖 3 中，可看出在以圓形為基礎之二段跳躍與三段跳躍傳輸之叢集頭消耗能量，是很接近的，然而我們在假設總能量為 2 焦耳，去分析四種傳輸模式在不同之路徑損失下之存活期，如圖 4 所示。

由圖 4 中，可看出在不同之路徑損失的情況下，其以圓形為基礎之傳輸模式之能量消耗幾乎沒太大改變，且在路徑損失係數 α 越來越大之情況下，以圓形為基礎之傳輸模式之叢集頭存活期越接近三段跳躍傳輸模式，在其 $\alpha = 4$ 之後，比 Three-hop 傳輸模式更能延長整體網路之存活期。

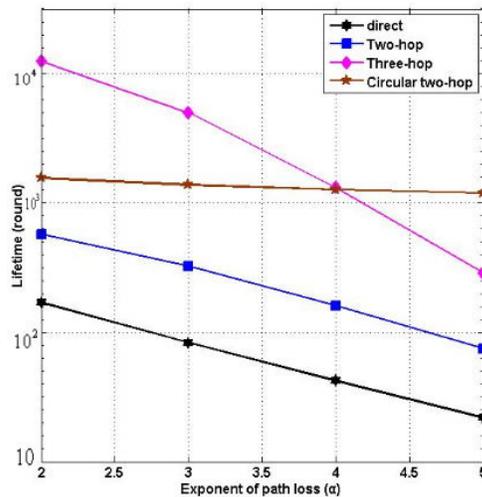


圖 4 四種傳輸模式之存活期比較

我們依所求得之邊長比例，分別乘以 10 公尺為叢集邊長，所圍成之面積為所定義之範圍，依照表 2 所定義模擬之條件進行模擬，如圖 5 所示為在不同路徑損失係數 $\alpha = 2 \sim 5$ 之情況下，依照表 1 所定義之條件下，去模擬分別分佈 10 次再求其平均值所求得之叢集頭消耗能量，在模擬結果中叢集頭消耗能量皆與理論分析之數值很接近。

表 2 模擬之環境參數

參數	設定值
感測器之數目(個)	100
傳送每一筆資料之封包數(個)	100
每一個封包傳送一公尺所需能量(焦耳)	10^{-7}
佈點次數(次)	10

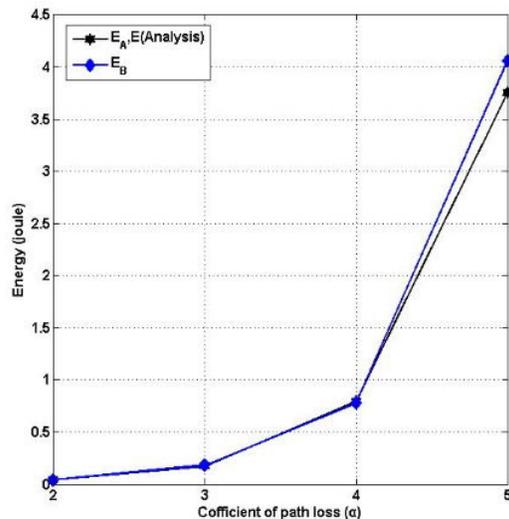


圖 5 以圓形為基礎二段跳躍平均能量消耗之模擬結果

6. 結論

為了提升叢集式無線感測網路的存活期，我們加入了多重跳躍之方式，調整其叢集之範圍與改變叢集頭傳送資料之路由，使其每個叢集頭所消耗能量等化 (energy equalization)，由理論分析驗證我們所提出等化公式，在路徑損失越大之情況下，其越能有效的運用其感測器之能量，且在模擬過程中，可以看出以圓形為基礎二段跳躍傳輸之分割區域沒有像其餘三種傳輸模式般受到限制，在整個感測區域可以依照感測環境的需求，用不同的角度可將感測範圍切割成許多等份之區域。

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] E. J. Duarte-Melo and M. Liu, "Analysis of Energy Consumption and Lifetime of

Heterogeneous Wireless Sensor Networks," *Proc. of IEEE Global Telecommunication Conference*, pp. 21-25, Nov. 2002.

[3] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park and M. B. Srivastava, "Energy-aware Wireless Microsensor Networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 19, No. 2, pp. 40-50, March 2002.

[4] C. Schurgers and M. B. Srivastava, "Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks," *Proc. of IEEE Military Communications Conference*, Vol. 1, pp.357-361, Oct. 2001.

[5] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "Wireless Sensor Network: a Survey," *Computer Networks*, Vol. 38, pp. 393-422, 2002.

[6] O. Younis and S. Fahmy, "HEED: a Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks," *IEEE Trans. Mobile Computing*, pp. 660-669, 2004.

[7] J. Zhu and S. Papavassiliou, "On the Energy-Efficient Organization and the Lifetime of Multi-Hop Sensor Networks," *IEEE Commun. Letters*, Vol. 7, No. 11, pp. 537-539, Nov. 2003.

[8] A. Mainwaring, D. Culler, J. Polastre, R. Szewczyk, J. Anderson, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring", *Proc. of The First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA '02)*, Georgia, Sept. 2002.

[9] 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," in *Frontiers of High Performance Computing and Networking*, LNCS 4743, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 455-464, Aug. 2007.

[10] R. Szewczyk and A. Ferencz, "Energy Implications of Network Sensor Designs," Tech. Rep., Berkeley Wireless Research Center, Santa Clara, Calif., USA, 2000.

[11] J. Shin and C. Suh, "Energy-Efficient Chain Topology in Ubiquitous Sensor Network," *Proc. of Advanced Communication Technology, 2008 10th International Conference*, Vol. 3, No.17-20 pp. 1688-1693, Feb. 2008.

[12] W. Dali and H.-A. Chan, "Equalizing Cluster Lifetime for Sensor Networks with Directional Data Traffic to Improve Energy

- Efficiency,” *Proc. of Consumer Communications and Networking Conference*, pp. 714-718, Jan. 2008.
- [13] R.-S. Chang and S.-H. Wang, “Hexagonal Collaboration Groups in Sensor Networks,” *Proc. of Consumer Communications and Networking Conference, (CCNC 2008)*, pp. 358-359, Jan. 2008.
- [14] J.-S. Wang and J.-C. Chiang, “A Cluster Validity Measure With Outlier Detection for Support Vector Clustering,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, Vol. 38, Issue 1, pp. 78-89, Feb. 2008.
- [15] J.-Y. Choi, J.-S. Cho, S.-H. Park and T.-M. Chung, “A Clustering Method of Enhanced Tree Establishment in Wireless Sensor Network,” *Proc. of 10th International Conference on Advanced Communication Technology, (ICTACT 2008)*, Vol. 2, No. 17-20, pp. 1103-1107, Feb. 2008.
- [16] A.Taherkordi, R. Mohammadi and F. Eliassen, “A Communication-Efficient Distributed Clustering Algorithm for Sensor Networks,” *Proc. of 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications - Workshops, (AINAW 2008)*, pp. 634-638, March 2008.
- [17] X. Chen and Q. Yang, “A Locality-Based LFH Cluster Strategy for Overlay Network,” *Proc. of International Conference on Information Networking, (ICOIN 2008)*, pp. 1-5, Jan. 2008.
- [18] H.-J. Jeong, C.-S. Nam, Y.-S. Jeong and D.-R. Shin, “A Mobile Agent Based LEACH in Wireless Sensor Networks,” *Proc. of 10th International Conference on Advanced Communication Technology, (ICTACT 2008)*, Vol. 1, No.17-20, pp. 75-78, Feb. 2008.
- [19] C.-K. Liango, Y.-J. Huang and J.-D. Lin, “An Energy Efficient Routing Scheme in Wireless Sensor Networks,” *Proc. of 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications – Workshops (AINAW 2008)*, pp. 916-921, March 2008.
- [20] J.-M. Kim, S.-H. Park, Y.-J. Han and T.-M. Chung, “Cluster Head Election Mechanism Using Fuzzy Logic in Wireless Sensor Networks,” *Proc. of 10th International Conference on Advanced Communication Technology, (ICTACT 2008)*, Vol. 1, No. 17-20, pp. 654-659, Feb. 2008.
- [21] S. Ali, A. Fakoorian, M. Totou, H. Taheri, “Energy Assignment in Wireless Sensor Networks with Hierarchical Cluster-Based Routing,” *Proc. of IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, (AICCSA 2008)*, pp. 299-303, March 31-April 4 2008.
- [22] Y.-F. Huang and T.-H. Wu, “Equalization of Energy Consumption for Prolonging Lifetime in Cluster-based Wireless Sensor Networks,” in *Proc. of the 3th National Conference on ILT2008*, Taichung, Taiwan, 6 June 2008.