

基於無線感測網路具能量效率的資料轉傳機制

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

吳典輝
朝陽科技大學資訊與通訊系
專任研究助理
e-mail: s9430613@cyut.edu.tw

王立銘
朝陽科技大學資訊與通訊系
研究生
e-mail: s9830604@cyut.edu.tw

摘要

在本文中，我們針對在無線感測網路提出一個具能量效率的資料轉傳機制(Energy Efficient Data Relaying, EEDR)演算法，EEDR能判斷中繼節點之轉傳模式，來提升能量效率，EEDR根據中繼節點的位置來判斷來源節點(Source Node)與目的節點(Destination Node)之間是否需要透過中繼節點進行傳輸，以降低傳輸能量消耗。由模擬結果印證，我們提出之EEDR能確實做正確之轉傳判斷，而提昇能源之使用效率，並進而可提升網路壽命(Network Lifetime)。

關鍵詞：無線感測網路、能源效率、資料轉傳、網路壽命。

Abstract

This paper proposes an energy efficient data relaying (EEDR) algorithms to relay data in wireless sensor networks. According to the relative position of relay node to the direct transmission path, the EEDR can effectively decide the relaying decision. Simulation results show that the proposed EEDR can save a lot of energy comparing to the direct transmission method.

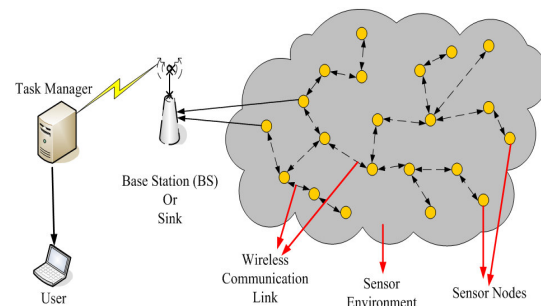
Keywords: wireless sensor network, energy efficient, data relaying.

1. 前言

近年來，由於微型製造技術越來越成熟以及無線通訊的迅速發展下，讓感測器(Sensor)具有短距離的無線傳輸能力、低製造成本、低功率、體積小、多功能、計算能力、記憶體及通訊頻寬。由於節點是在一高限制條件和無資源來填充能量的情況下的無線感測網路中，如電池電量，計算和存儲空間，能量的有效運用

是設計網路路由的最重要的關鍵點[1]。

在無線感測網路(Wireless Sensor Network)中，因為感測節點成本便宜，可以大量佈署在感測環境中，其中的電源能量是被討論最多且是無線感測網路研究的重點，如何利用有限的能源是一個重要的議題[1]。因此在設計無線感測網路協定與演算法，能源限制也都被融入設計的考慮之中。無線感測網路是由大量的低功率多功能無線感測節點和基地台(Base Station)所組成，其基本結構如圖一所示，基地台作為一個開道裝置和其他的網路設備作通訊，它提供資料處理、儲存功能，用來處理無線感測節點的資料:無線感測節點感測周圍環境的資訊、收集感測的資料和傳輸資料給基地台[1,2]。



圖一 無線感測網路環境架構圖

資料收集是無線感測網路的最重要的任務，由於感測器受限於本身是用電池來供應運作所需的能量以及無線傳輸距離的限制。為了節省傳輸時的能量消耗以及距離的問題，因此感測器如果距離目的節點太遠時，感測器就必須藉由多重跳躍代傳機制來建立網路路由的方法將資料經由多個感測器組成的路徑傳至基地台，然而資料轉傳(Data Relaying)佔無線感測網路能源消耗最大的部份[3,4]。

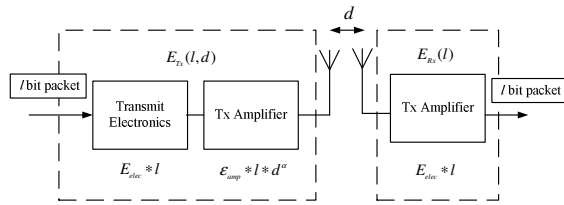
為了能與其它感測節點(Sensor Node)或基地台互傳資料，感測節點就必需透過無線傳輸的技術發送及接收資料。為了能節省能源消耗，在無線感測網路中，多進行短距離資料轉

傳。因此，本文提出具能量效率之資料轉傳演算法，以期能降低轉傳能量。

2. 無線傳輸能量模型

在無線傳輸的能量消耗模型中，我們為了模擬整個無線感測網路運作的存活期，我們必須計算無線電能量模組所消耗的電量，在本研究中，我們採用 Lindsey 等人在中所提出的模型[5]，如圖二所示，假設一個簡單的無線傳輸的能量消耗模型，在傳輸時的能量消耗、功率放大器，以及接收時所消耗的電路能量[5,6]。

在無線傳輸系統中，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減，在路徑衰減的模式中主要是使用自由路徑衰減模型(Free Space)與多路徑衰減模型(Multipath Fading)[6]，我們主要使用自由路徑衰減模型，其中 d 代表的是傳送端與接收端之間的距離， α 是無線電波衰減指數(Attenuation Exponent)， α 範圍為 2~6 之間。一般來說，自由空間(Free space)中， $\alpha=2$ ，即接收訊號功率與 d^2 成反比關係。所謂自由空間是假設無線傳輸的通道沒有任何的阻礙，不會發生反射、散射與繞射[7,8]。



圖二 無線傳輸的能量消耗模型

我們利用功率放大器來表示傳輸路徑的衰減，當傳輸資料為 l -bit，傳輸距離為 d 時，傳送端的能量消耗表示為：

$$E_{TX}(l, d) = E_{elec} \times l + E_{amp} \times l \times d^\alpha \quad (1)$$

而接收傳送的資料時，接收端的能量消耗為

$$E_{RX}(l, d) = E_{elec} \times l \quad (2)$$

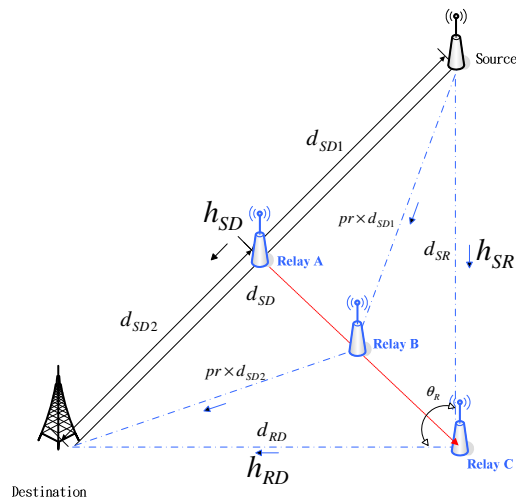
其中 E_{elec} 代表著數位解碼、調變、濾波和展頻時電路所消耗的能量， E_{amp} 代表放大器傳輸時所消耗的能量[9,10]，而在本研究中我們將不考慮資料融合。因此，本研究所使用的系統能量參數如表 1 所示 [11]。

表 1 系統能量參數

變數名稱	參數值
電路能量(E_{elec})	50 nJ/bit
放大器能量(E_{amp})	100pJ/bit/ m^2

3. 能量效率之資料轉傳機制

我們提出一種具能量效率的傳輸機制(Energy Efficient Data Relaying, EEDR)的演算法，假設資料的傳輸路徑，如圖三所示，在來源節點要將所收集的資料傳送給目的節點，我們假設了兩條傳輸路徑，一條為直接傳輸路徑 h_{SD} 以實線所示，來源節點經由傳輸路徑距離為 d_{SD} 為將資料直接傳送給目的節點，另一條是傳輸路徑以虛線表示，假設在傳輸路徑 h_{SD} 分佈一個中繼節點 Relay 來當作中繼節點，將 d_{SD} 劃分成 d_{SD1} 和 d_{SD2} 兩段距離再將 d_{SD1} 和 d_{SD2} 同乘上調整因子 pr ，當 $pr=1$ 時，如圖三之中繼節點 A，即 $d_{SD} = d_{SD1} + d_{SD2}$ ，當 $pr > 1$ 時，即表示為中繼節點離直傳路徑越遠，如圖三所示，中繼節點 B 之情況，直到中繼路徑 h_{SR} 與 h_{RD} 之距離為 $pr \times d_{SD1} = d_{SR}$ 與 $pr \times d_{SD2} = d_{RD}$ ，如圖三所示，中繼節點 C 之情況，表示資料經由中繼路徑 h_{SR} 與 h_{RD} 傳送到目的節點端所消耗之傳送能量與資料從來源節點經由直接傳輸路徑 h_{SD} 傳送到目的節點端所消耗之傳送能量是相等的，其中 θ_R 為中繼路徑 h_{SR} 與 h_{RD} 所形成之夾角角度。



圖三 直傳與中繼路徑圖

因此，當直傳與中繼路徑能量消耗相等的情況為 $E_{SD} = E_{SR} + E_{RD}$ ，且當

$$l \times E_{amp} \times d_{SD}^\alpha = l \times E_{amp} \times [d_{SR}^\alpha + d_{RD}^\alpha] \quad (3)$$

當忽略接收能量 E_{RX} 及電路能量 E_{elec} 時，我們將調整因子 pr 代入(3)可得

$$l \times E_{amp} \times d_{SD}^\alpha = l \times E_{amp} \times \left[(pr \times d_{SD1})^\alpha + (pr \times d_{SD2})^\alpha \right] \quad (4)$$

其中 l : 傳輸資料(2000 bit)、 $pr_{TH,T}$: 傳送路徑之調整因子、 α : 路徑衰減指數(2~6)。可整理得調整因子 $pr_{TH,T}$ 值

$$pr_{TH,T} = \left[\frac{d_{SD}^\alpha}{(d_{SD1}^\alpha + d_{SD2}^\alpha)} \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (5)$$

當接收端能量 E_{RX} 及電路能量 E_{elec} 在不忽略之情況下，可將(3)改寫成

$$l \times E_{amp} \times d_{SD}^\alpha = l \times E_{amp} \times pr_{TH,TR}^\alpha \times (d_{SD1}^\alpha + d_{SD2}^\alpha) + (l \times E_{elec}) \quad (6)$$

整理得在考慮接收端能量 E_{RX} 及電路能量 E_{elec} 的情況下，調整因子 $pr_{TH,TR}$ 為

$$pr_{TH,TR} = \left[\frac{d_{SD}^\alpha - \left(\frac{E_{elec}}{E_{amp}} \right)}{(d_{SD1}^\alpha + d_{SD2}^\alpha)} \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (7)$$

在分析的過程中，為了達到資料從來源節點傳送到目的節點在直傳消耗能量與轉傳消耗能量在相等的情況下，所以我們定義一個中繼因子為 $f_h = \frac{d_{SD1}}{d_{SD1} + d_{SD2}}$ ，將直傳距離 d_{SD} 乘上中繼因子 f_h 再乘上調整因子 $pr_{TH,T}$ ，作為在傳輸能量消耗相等時的中繼路徑距離 d_{SR} 與 d_{RD} 。

經由數值分析後可以得知在忽略與不忽略接收端能量 E_{RX} 及電路能量 E_{elec} 的情況下，可得知調整因子 pr_{TH} 與中繼因子 f_h 在路徑衰減

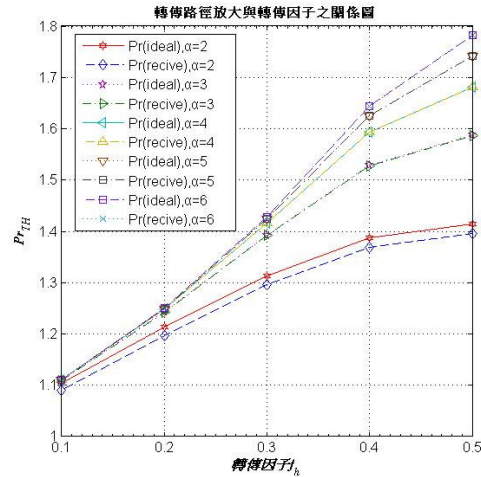
指數 $\alpha=2\sim6$ 時的變化，如圖四所示，在直接傳輸路徑 d_{SD} 固定時當路徑衰減指數越大時，調整因子 pr_{TH} 與中繼因子 f_h 則越大，所以中繼路徑距離 d_{SR} 與 d_{RD} 相對越大，因此，調整因子 pr_{TH} 與中繼因子 f_h 為正比關係，為了求得中繼路徑 h_{SR} 與 h_{RD} 所形成之夾角 θ_R 之角度，利用倍角公式可改寫成

$$d_{SD}^2 = pr_{TH}^2 \times \left[(d_{SD1}^2 + d_{SD2}^2) - 2 \times d_{SD1} \times d_{SD2} \times \cos \theta_R \right] \quad (8)$$

整理得夾角 θ_R 之角度為

$$\theta_R = \cos^{-1} \left[\frac{(d_{SD1}^2 + d_{SD2}^2) - \frac{d_{SD}^2}{pr_{TH}^2}}{2 \times d_{SD1} \times d_{SD2}} \right] \quad (9)$$

我們可以將式(5)和式(7)所求得之調整因子，代入式(9)，可知中繼路徑在不同的中繼因子與路徑衰減指數 $\alpha=2\sim6$ 的情況下，夾角 θ_R 所相對應的角度之變化，如圖五所示。



圖四 調整因子 pr_{TH} 與中繼因子 f_h 之關係圖

在圖五中可知，當在直接傳輸路徑 d_{SD} 固定時，在路徑衰減指數 $\alpha=2\sim6$ 中，當中繼路徑距離 d_{SR} 與 d_{RD} 相對越大，所形成之夾角 θ_R 就會越小，由圖四與圖五中，可知當直接傳輸路徑固定不變之情況下，調整因子 pr_{TH} 和中繼因子 f_h 與中繼路徑距離為正比關係而與夾角 θ_R 成反比關係。

在 EEDR 演算法中，我們可由式(8)來作 EEDR 轉傳機制判斷之條件式，即判斷隨機分佈之節點是否可成為轉傳來源節點之資料傳

送到目的節點的中繼節點。因此，當條件式滿足

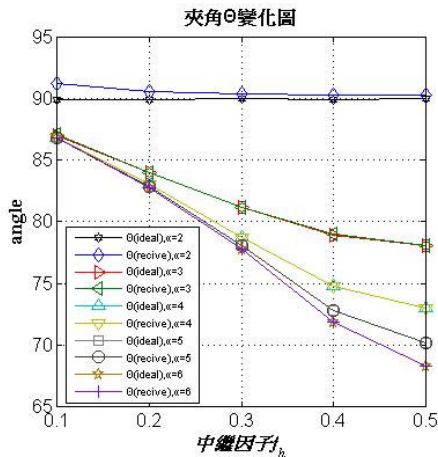
$$d_{SD}^2 \leq pr_{TH}^2 \times \left[(d_{SD1}^2 + d_{SD2}^2) - 2 \times d_{SD1} \times d_{SD2} \times \cos \theta_R \right] \quad (10)$$

時，將不經過中繼節點轉傳資料，而選擇將資料直接傳送至目的節點。反之，當中繼節點滿足

$$d_{SD}^2 > pr_{TH}^2 \times \left[(d_{SD1}^2 + d_{SD2}^2) - 2 \times d_{SD1} \times d_{SD2} \times \cos \theta_R \right] \quad (11)$$

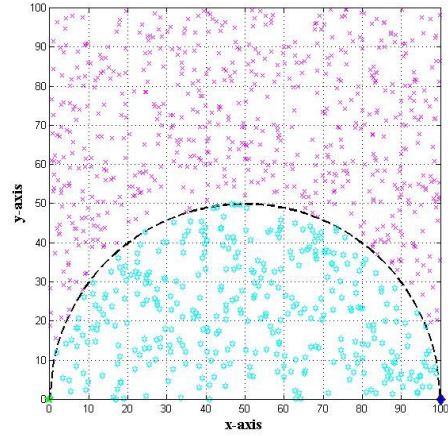
時，則透過中繼節點將資料轉傳至目的節點。

因此，我們假設一個 100×100 公尺的感測範圍內隨機佈點一個節點去模擬 1000 次，經由式(10)和式(11)之條件篩選，如圖六所示，其中虛線為 EEDR 之條件判斷基準線，其虛線內部區域之節點為模擬 1000 次中選擇轉傳方式之節點，然而在虛線外部區域之節點為選擇直接傳輸方式之節點。

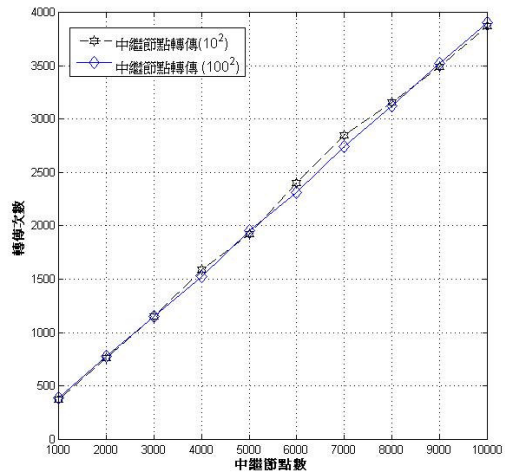


圖五 中繼因子 f_h 與 θ_R 之關係圖

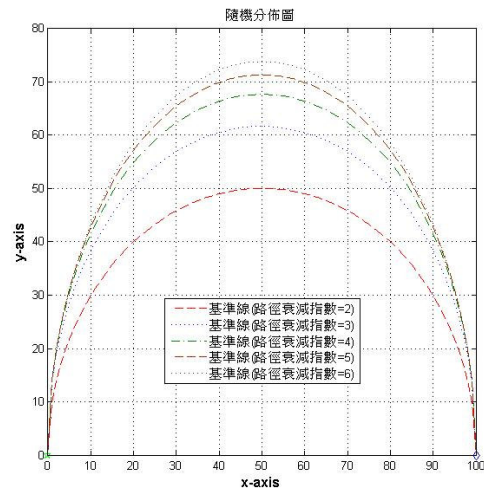
此外，我們假設在 10×10 和 100×100 平方公尺兩個不同範圍去分析模擬，由圖七所示，可知在模擬 1000 - 10000 次的情況下，去比較總轉傳的次數。在圖七中可知，在 10×10 和 100×100 兩個不同的範圍中，EEDR 傳輸機制之轉傳的次數幾乎是相同的，由此可證明 EEDR 的傳輸機制在相同的條件下是不受到範圍所影響。之後我們在不同的路徑的衰減指數的情況下，去模擬中繼節點的轉傳判斷基準值，如圖八所示，我們可以在路徑衰減指數越大時，EEDR 傳輸機制的判斷基準線就越往外移，表示當路徑衰減指數越大，EEDR 機制之基準的中繼節點 Relay 就會越外移表示在相同的範圍判斷轉傳之範圍就會越大。



圖六 EEDR 感測範圍及其座標分佈圖



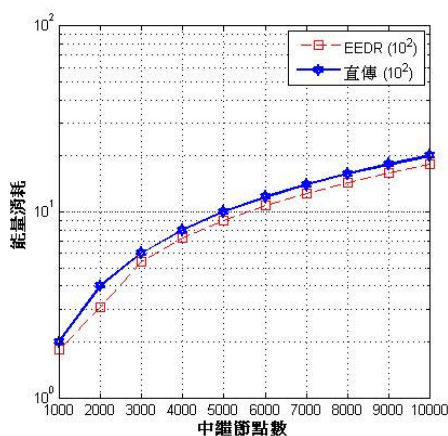
圖七 轉傳的次數



圖八 路徑衰減指數 $\alpha = 2 \sim 6$ 基準線表示圖

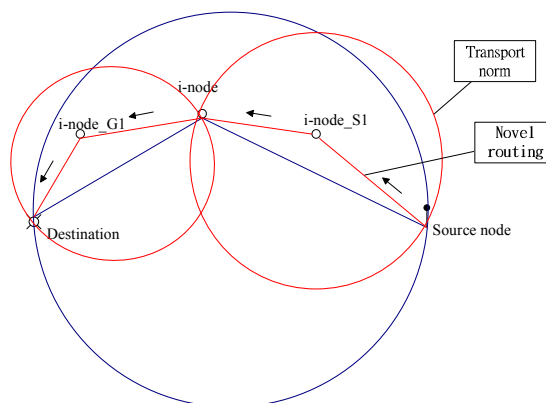
4. 模擬結果

為驗證我們提出之具效率能量的傳輸機制(EEDR)演算法，並與直接傳輸方式比較其能量效率，我們假設 10^2 平方公尺兩個範圍去模擬比較兩種方式在隨機模擬 1000 - 10000 次的情況下比較總能量消耗，如圖九所示。在圖九中，我們可以看出 EEDR 在範圍 10^2 平方公尺範圍中將所消耗之能量累加取指數去統計隨機分佈 1000 - 10000 次的情況下，去比較其能量消耗之總和，EEDR 明顯比直接傳輸之機制好，且在模擬次數增加的情況下，EEDR 依然能比直傳所消耗的能量節省大約 10% 之能量。



圖九 能量消耗比較圖

因為在無線感測網路中，感測節點彼此溝通傳遞資料必須建立一個路由樹(routing tree)，將收集的資料從傳資料的來源節點經過中繼節點(Inside node)傳送到目標節點(Goal node)，如圖十所示，因此我們將 EEDR 傳輸機制演算法應用在實際佈點的感測範圍之中去尋找一條最佳的傳輸路由，因此，在來源節點與目標節點之間運用最大角度找尋第一個中繼節點來作轉傳的節點我們簡稱為 i-node 然後將 i-node 分別和來源節點與目標節點兩個節點再運用最大角度去尋找下一個中繼節點 i-node_S1 與 i-node_G1 之後將 i-node_S1 與來源節點而 i-node_G1 與目標節點分別運用最大角度去尋找下一個中繼節點 i-node_S2 與 i-node_G2 以此類推直到兩點間無中繼節點為止，再將所找到的中繼節點鍊結成一條新的路由。



圖十 EEDR 演算法架構圖

5. 結論與未來研究

本論文中，我們提出 EEDR 演算法，可判斷中繼節點之省電轉傳機制。此外，為了證明我們提出的 EEDR 演算法能夠將能量有效率的使用已達到延長網路壽命的目的，所以我們將進一步在感測範圍中，將 EEDR 演算法與 EE-MLMR 演算法進行效能分析之比較。

致謝

本研究成果為國科會所贊助，計畫編號 NSC 98-2221-E-324 -009 -。

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] G. Yin, G. Yang, W. Yang, B. Zhang and W. Jin, "An Energy-Efficient Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks," *Proc. of International Conference on Internet Computing in Science and Engineering, ICICSE '08*, pp. 181-186, 28-29 Jan. 2008.
- [3] S. Lindsey, C. Raghavendra and K. M. Sivalingam, "Data Gathering Algorithms in Sensor Networks using Energy Metrics," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 13, pp. 924-935, 9 Sept. 2002.
- [4] X. Xie and L. Hughes, "Statistic-Based Routing in Wireless Sensor Networks," *Proc. of International Conference on Information Technology: Coding and Computing, ITCC '04*, pp. 390-394, Vol. 2, 2004.

- [5] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering using in Sensor Information Systems," *Proc. of IEEE Aerospace Conference*, Vol. 3, pp. 1125-1130, Mar. 2002.
- [6] G. Yang, G. Yin and W. Yang, "Intra-cluster Multi-hop Routing Algorithm Based on Forwarding Restriction Angle in WSNs," *Proc. of Conference on Control and Decision, CCDC '08*, pp. 2035-2039, 2-4 July 2008.
- [7] M. Zhang, C. Gong and Y. Feng, "An Energy-Efficient Algorithm for Maximum Lifetime and Minimum Routing in Wireless Sensor Networks," *Proc. of International Symposium on Computational Intelligence and Design, ISCID '08*, Vol. 1, pp. 507-510, 17-18 Oct. 2008.
- [8] Y. Liu, H. Zhu, K. Xu and Y. Jia, "A Routing Strategy Based on Ant Algorithm for WSN," *Proc. of Third International Conference on Natural Computation, ICNC 2007*, Vol. 5, pp. 685-689, 24-27 Aug. 2007.
- [9] W. Choi, P. Shah, S.K. Das, "A Framework for Energy-Saving Data Gathering Using Two-Phase Clustering in Wireless Sensor Networks," *Proc. of IEEE International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Service (MOBIQUITOUS)*, Los Alamitos, CA, USA, pp. 203-212, 2004.
- [10] A. John Wiley, D. Minoli and T. Znati, "Wireless Sensor Networks Technology Protocols and Applications," Inc., *Publication*, 2007.
- [11] M. Zhang, S. Wang, C. Liu and H. Feng, "An Novel Energy-Efficient Minimum Routing Algorithm (EEMR) in Wireless Sensor Networks," *Proc. of 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM '08*, pp. 1- 4, 12-14 Oct. 2008.