

無線感測網路上改善定向擴散之路由協定

An Improved Routing Protocol for Directed Diffusion in Wireless Sensor Networks

張恩瑞、蔡耀斌、李榮宗、李琦峰、劉如生

元智大學資訊工程系

csrobinl@saturn.yzu.edu.tw

摘要 — 無線感測網路是由多個具有感測、通訊能力的感測電子元件所組成的網路系統，其元件通常具有低成本、低電量、低傳輸功力的特性。本論文探討在應用為導向的網路環境，利用鄰居節點的路由節點數及剩餘電量做為挑選資料傳送路徑的依據。此外，針對緊急訊息事件的傳送，本論文採用兩條路徑的方式，以提升資料傳送的成功率。基本上，我們的機制可減少多餘的封包充斥於網路環境，以降低整體網路的負載及延長網路的生存時間。

關鍵詞：無線感測網路、應用導向、緊急訊息、定向擴散

Abstract — Wireless Sensor Networks consist of a lot of sensor nodes that have sensing, communication capabilities. The sensor nodes are usually the electronic components with low-cost, low power, low transmission ability. In this paper, we consider the application-aware network environment and utilize the hop-count and remaining energy to select the transmission path. In addition, this paper adopts two routing paths for the urgent event to promote the successful rate of the data transmission. Basically, our mechanisms could eliminate many unnecessary transmission packets, reduce the burden for the network, and extend the life time of the network.

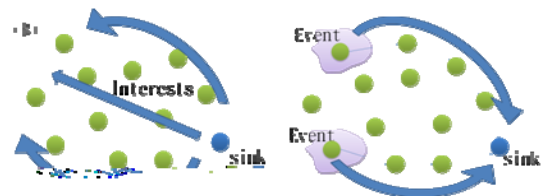
Keywords: Wireless Sensor Networks, application aware, urgent event, Directed Diffusion

一、簡介

1.1 研究背景

無線感測網路，是一種由多個具有感測、通訊能力的感測元件(或稱感測節點)所組成的網路

系統，利用眾多感測元件可覆蓋大範圍的特點，將其運用於環境事件的偵測，如森林火災、戰場上的偵敵、海底火山偵測、動植物園區的監視...等應用。本篇論文以應用為導向之網路環境為背景，當使用者對於環境中某些事件有興趣時，透過資料收集點(Sink)發出需求訊息後，資料收集點與感測節點間的路徑才會建立，接著感測節點會進行環境偵測、並將收集到的資料傳送給資料收集點，如圖一所示。



圖一：資料收集點發送興趣後，才建立路徑傳送資料

1.2 研究目的

由於感測元件的電力是無法補充的，當網路中節點的電力耗盡時，網路便失去功效。因此，有效使用感測元件的電力是一項非常重要的研究議題。在以應用為導向的Directed Diffusion及Reliable and Energy Efficient Protocol 論文協定中，並無考量路由節點的數量，可能因路徑過長或是節點數過多而造成浪費網路資源，同時因使用較多的廣播傳送，加速網路中感測節點的電量消耗，縮短網路壽命。因此，減少網路負載，確保電力有效的利用、以增加網路生存時間，便是本篇論文主要的研究目的。

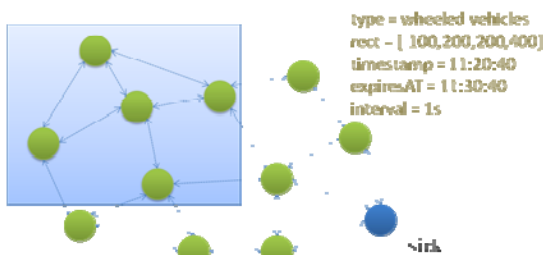
此外，針對某些產生緊急事件的情況，我們將提出一項機制，以提升緊急事件的封包傳送成功率、且不會造成網路過多的負擔。

二、相關研究

本篇論文主要是探討以應用(興趣)為導向的網路型態。在此類型的協定中，以 Directed Diffusion(以下簡稱 DD)較為著名，其利用廣播的方式、將包含興趣的訊息傳送至網路中，以獲得所需資料；另外一個協定 Reliable and Energy Efficient Protocol(以下簡稱為 REEP)，則提出注重傳輸品質的方法，主要依剩餘電力做為路徑的選擇，以達到提升品質保證及確保傳送成功率的目的。以下將介紹此兩種方法。

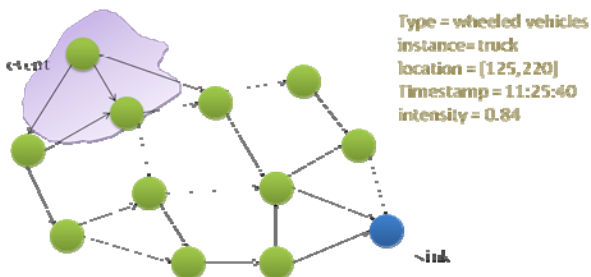
2.1 Directed Diffusion

以圖二為例，首先，資料收集點(Sink)利用廣播的方式發送興趣訊息出去，通知某一區域的節點、依照訊息內容進行環境的感測。



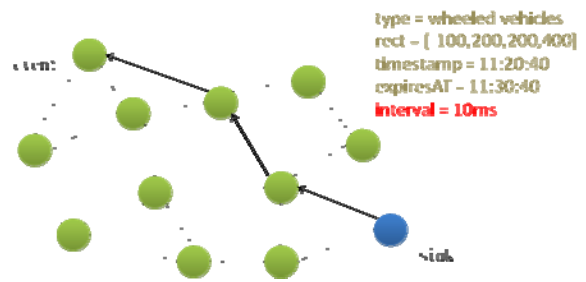
圖二：使用者透過資料收集點(Sink)廣播「興趣訊息」

其次，當範圍區域中的感測節點收到興趣訊息後，便會開始針對環境進行偵測。某來源節點若偵測到符合興趣的物體時，便會以廣播的方式發送訊息回去，其他中間節點收到此訊息時，將與最先傳送此訊息的節點建立路徑，如此便可產生來源節點與資料收集點之間的路徑，如圖三所示。



圖三：來源節點將資訊訊息回傳給資料收集點

最後，使用者透過資料收集點得知事件產生後，便會進行「增強」的動作，此方式為資料收集點選擇單一路徑重新發送興趣訊息，並且將訊息的發送時間間隔變小。來源節點收到興趣訊息後、必須依照此單一路徑將相關資料傳送給資料收集點，如圖四所示。



圖四：資料收集點透過「增強」送出興趣訊息

2.2 Reliable and Energy Efficient Protocol(REEP)

REEP 主要是針對 DD 的架構去做傳輸品質及延遲時間的改良，將剩餘電量的因素做為資料傳送路徑的依據，並且將周圍的鄰居節點存進佇列，以節省維護路徑時所花的成本。

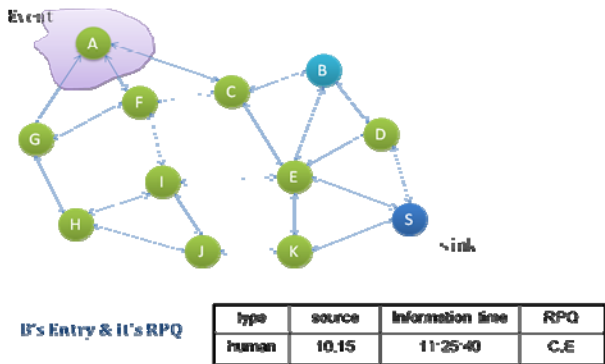
REEP 與 DD 在剛開始時的做法相同，先將興趣感測訊息以廣播的方式傳送出去。

網路中的感測節點收到訊息後，便開始對環境進行偵測的動作。當節點偵測到物體或事件後，便將關於此物體的相關資訊利用廣播的方式回傳至資料收集點。

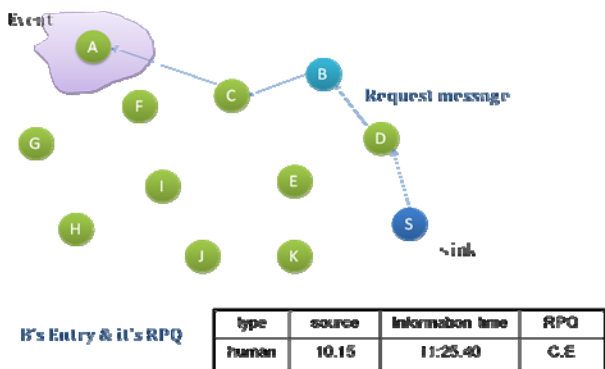
由於資訊訊息是藉由廣播的方式傳送出去，因此網路中的相鄰節點都會收到此訊息，當任一節點收到此訊息後，便會將此訊息的內容存入一個實體表格(entry)。

以圖五為例，我們以 B 做說明。當 B 收到從 C 及 E 送來的資訊訊息後，便會針對此訊息建立一個實體，其中 Type 表示為物體的類型，source 為偵測到物體的節點座標，Information time 為感測到事件的時間，RPQ 為需求訊息優先權佇列。RPQ 為一個先進先出的佇列，裡面的存放順序是依照收到資訊訊息的先後次序所建立的，此佇列是為了之後傳送需求訊息時，不必再尋找路徑，直接從 RPQ 此佇列中挑選第一順位的節點做傳送需求訊息的動作，如圖六所示。RPQ 的另一目的，則是當目前的路徑失效時，可

立刻從其中挑選次順位的節點做為路徑的選擇，省下重新尋找路徑時所需的時間及成本。



圖五：以 B 為例的 entry



圖六：資料收集點發送「需求訊息」至來源節點

REEP 為了增加資料傳送的可靠性，對於網路中的每一個節點都設定了剩餘電量門檻值，讓節點可以隨時檢查自己的剩餘電量，以確定自己是否可以做為傳送資料的節點。

REEP 設定每個節點在下述兩種情況、檢查自己的剩餘電量是否低於門檻值：

1. 接收到需求訊息時：當節點接收到需求訊息時，檢查自己的剩餘電量是否低於門檻值。如果低於門檻值，便回傳訊息給傳送此需求訊息的鄰居節點，請此鄰居節點從 RPQ 中將它移除，並另外挑選次順位的節點傳送需求訊號。反之，若未低於門檻值，則從本身的 RPQ 中挑選第一順位節點、繼續傳送需求訊息。

2. 傳送感測資料時：當一個節點收到感測資料後，檢查自己的剩餘電量是否低於門檻值。如果是，則改變感測資料的狀態並且傳送下一個節點，目的在告知下一個節點，請其從 RPQ 中將它移除，待下次傳送需求訊息時，便不再考慮它做為路徑的選擇。反之，則不改變感測資料的狀態，並把感測資料繼續往資料收集點做傳送。

2.3 問題探討

DD 及 REEP 這兩種方法，在傳送興趣封包以及傳送資訊訊息時都是採用廣播傳送，只有在傳送真正資料時採用單一路徑傳送，如此造成整個傳送資料的過程中使用了兩次的廣播傳送。由於廣播傳送會消耗網路中所有節點的電力，因而降低網路中各節點的剩餘電量。

此外，DD 及 REEP 均未探討緊急(高度需求)事件的應變措施。在應用為導向的網路形態中，緊急事件極有可能發生，因此應當設計一項適當的處理機制。

三、研究方法

本篇論文將考量路由節點數及鄰居節點的剩餘電量做為傳輸資料路徑的依據，並依照路由節點數，挑選封包的傳遞路徑，以減少網路資源的使用。其次，在資料的傳送上，我們將減少廣播傳送的次數，以降低整體網路電量的使用。最後，在傳輸上採用需求封包等級制，依照使用者的需求程度來規劃路徑，讓使用者有緊急需求時、可以不受剩餘電量的限制，並採用兩條路徑傳送緊急事件的資料，以確保資料正確的送抵資料收集點。

3.1 環境設定

針對本篇論文所使用的環境，我們做了以下假設：

- 資料收集點與感測節點都為固定的，不具移動性。
- 每個感測節點的通訊範圍以 100m 傳輸距離為限。
- 感測節點與資料收集點都有各自的座標資訊。

- 每個感測節點均訂定剩餘電量門檻值，而剩餘電量門檻值設定為電池初始容量的 10%
- 訊息的緊急狀態是由使用者透過資料收集點決定，而非感測節點決定。

3.2 感測訊息的傳送

當使用者對環境中的事件產生興趣時，便會透過資料收集點、利用廣播的方式送出感測訊息，此訊息的作用為呼叫網路中的感測節點進行環境偵測，並且利用各感測節點收到感測訊息的路由節點數來建立與資料收集點之間的梯度。

當每個感測節點收到感測訊息時，除了建立梯度外，還會將發送此訊息的資料收集點座標以及相關資訊儲存於一個表格中，其中一個欄位是根據周圍鄰居的路由節點數及剩餘電量、將鄰居節點紀錄在一個佇列(queue)中，我們稱之為 Hop-count & Energy queue(HEQ)，而儲存的方式主要以路由節點數為考量，鄰居的路由節點數越小，則優先權越高，反之越低。如遇到相同路由節點數，則以剩餘電力做依據，剩餘電力越多則優先權越高。儲存的表格格式如下。

sink	Hop-count & Energy queue(HEQ)	urgent
(120,230)	C,D	E

表格中 sink 表示資料收集點的座標，HEQ 所記錄的是佇列中的順序，而最後一個 urgent 則也是一個佇列，此欄位所記錄的是剩餘電量已低於門檻值的節點，將可做為處理緊急封包時的選擇，此部分將在稍後會詳細說明。

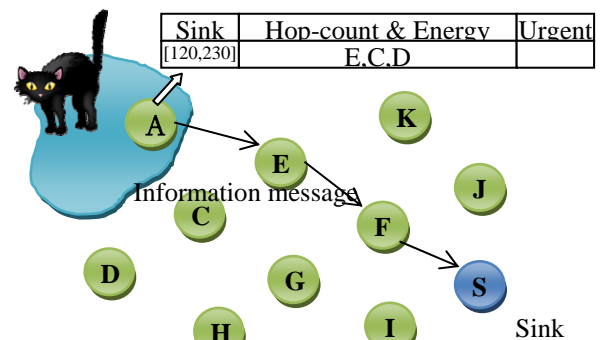
3.3 資訊訊息的傳送

感測節點收到感測訊息後，便會針對環境進行感測。當感測節點在自己的感測範圍內偵測到物體時，便會回傳一個訊息給資料收集點，其目的為告知本身的位置、偵測到的物體以及感測到物體的時間。

在傳送資訊訊息的路徑選擇上，以表格中 HEQ 欄位所記錄的第一個節點做為選擇，如圖七所示。以 A 為例，當 A 偵測到物體後，便會從自己的 HEQ 中找出第一個節點做為傳送訊息的節點，將封包傳送 E，並依序傳送下去，直至資料收集點收到訊息為止。

3.4 需求訊息及感測資料的傳送

當資料收集點收到節點傳送來的資訊訊息後，可由使用者或系統來決定是否發送需求訊息。如資訊訊息的內容為使用者感興趣的事件，便會針對此資訊訊息發送相對應的需求訊息，而這個傳送需求訊息的選擇節點則為原先傳送資訊訊息過來的節點。當感測到物體的節點收到需求訊息後，便會再依此路徑將真正的感測資料傳至資料收集點。



圖七：來源節點回傳資訊訊息封包給資料收集點

3.5 傳輸路徑的維護

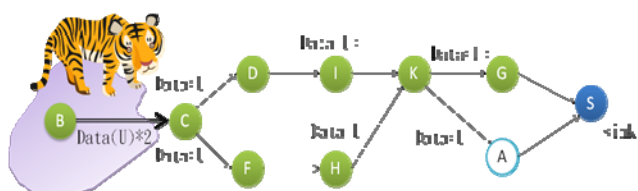
在網路環境中，如果某一感測節點發現自己的剩餘電力已低於剩餘電力門檻值，便會發送一個訊息給周圍的鄰居節點。鄰居節點可以更新各自的 HEQ 資料，將剩餘電量低於門檻值的節點從 HEQ 中刪除，並將該節點放進 Urgent 欄位中，僅做為遇到需傳送緊急資料的選擇。

3.6 緊急封包的處理

當使用者認為某一項資訊事件具緊急性，急需此份資料，可透過資料收集點發送“緊急”需求封包，我們將設定其狀態為(U)。

當來源節點收到此“緊急”需求訊息後，回傳給資料收集點的資料也必須改變其狀態，讓其他轉傳的節點得知此為緊急資料。為確保資料收集點可以確實收到完整的資料，我們將選擇兩條傳輸路徑做傳輸資料動作，以提高保險度。以圖八為例，在傳送緊急資料時，必須依照下列的傳輸原則。

1. 來源節點傳送此緊急資料時，會從 HEQ 及 Urgent 兩個欄位中、挑選路由節點數最小的兩個節點做為傳輸資料的節點，並將資料的狀態更改為(U)。如果只剩一個節點可以選擇，該挑選出來的節點將發送兩次資料(U)訊息出去。
2. 中繼節點如收到兩次狀態為(U)的資料時，則從 HEQ 及 Urgent 兩個欄位中、挑選兩個路由節點數最小的節點，做為傳送資料的選擇。如果只剩一個節點可以選擇，該挑選出來的節點將發送兩次資料(U)訊息出去。
3. 中繼節點若只收到一次狀態為(U)的資料時，則從 HEQ 欄位中挑選路由節點數最小的一個節點做為傳輸資料的節點。如 HEQ 中無節點可供挑選，則從 Urgent 欄位中做選擇。



圖八：緊急資料傳送給資料收集點的範例

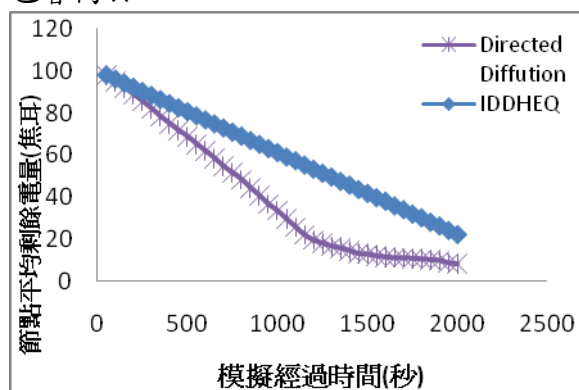
四、模擬結果

本篇論文的模擬平台為 Network Simulator Version 2.33(NS-2.33)；使用該模擬工具實做 Directed Diffusion 以及我們的方法(An Improved Routing Protocol for Directed Diffusion by HEQ，以下簡稱 IDDHEQ)，並針對剩餘電量、網路生存時間、網路中產生緊急事件後網路剩餘電量以及資料收集點封包接收量方面加以比較。模擬參數的設定如表 I 所示。

表 I：模擬參數設定表

Parameters	Value
MAC Protocol	802.11
Test Filed	600M*600M
Node	30、40、50
transportRange	100M
txPower	0.663 mW
rxPower	0.395 mW
idlePower	0.035 mW
initialEnergy	100 Joules
Simulation Time	2000 sec、3000 sec

首先考量網路中，無緊急事件發生時的剩餘電量表現。由圖九可見，由於 IDDHEQ 於傳送訊息時減少廣播傳送的次數，因此在電量的消耗上低於 DD，相對的，在整體的平均剩餘電量上也會高於 DD。

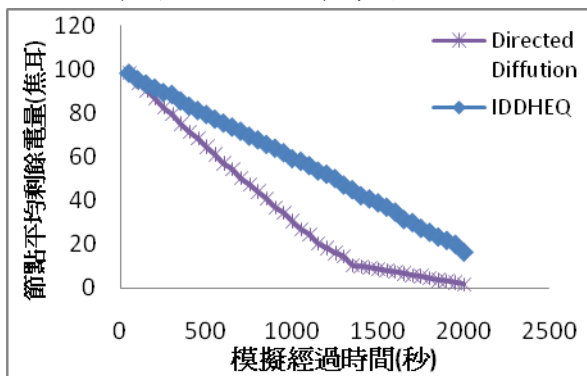


圖九：網路節點數為 50 時的剩餘電量比較圖

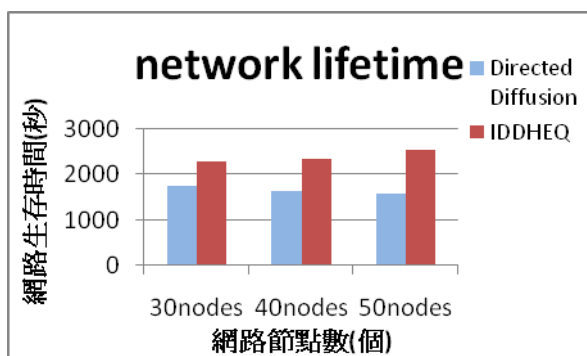
當網路中有緊急事件發生時的剩餘電量表現，如圖十所示。由於 DD 沒有緊急事件的處理方式，因此在此假設 DD 使用廣播傳送的方式傳遞緊急事件的資料。IDDHEQ 對於緊急訊息的處理以避免浪費過多的網路資源以及確保資料能確實送抵資料收集點為主要目標，因此在路由的選擇上除了原本的單一路徑外，另外增加一條備份路徑作為保證，且節點的選擇上也將低於電量門檻值的節點納入考量；這種方式相對於利用廣播傳送來傳送緊急事件的方式還要更為省電並可確保封包的傳送成功率。

關於網路存活時間，結果如圖十一所示。基本上，DD 會因密度的增加，使網路中的節點電量消耗也會因接收及處理較多的事件而隨之

增加。因此當網路節點數越多，資料收集點附近的鄰居節點電量也將消耗的越快，導致鄰居節點隨著時間接連失效，資料收集點便無法收到由來源節點傳送過來的資料，因此網路的生存時間也將縮短。IDDHEQ 所使用的方法中，在路徑的採用上都為單一路徑，因此網路整體的電量消耗會比 DD 少，且由於減少了廣播訊息的次數，資料收集點附近的節點不會收到太多訊息而提前死亡。另一方面，由於使用了電量門檻值的設計及緊急訊息的傳送機制，即便資料收集點周圍的節點剩餘電量已低門檻值，但實質上當有緊急事件發生，這些節點還是可以提供傳送資料，因此網路的服務時間獲得延長，也延長了網路的生存時間。



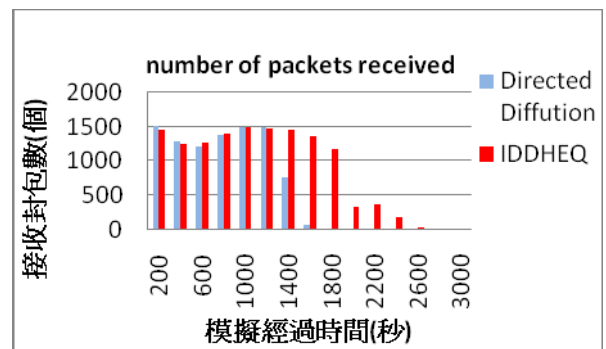
圖十：網路中產生緊急事件後的剩餘電量比較圖



圖十一：網路生存時間比較圖

關於 Sink 接收封包數，結果如圖十二所示。模擬的前段時間，DD 與 IDDHEQ 的封包接收數量上表現的差不多，但是隨著時間的增加後，DD 由於資料收集點附近的鄰居節點因消耗過多電量而陸續死亡，導致資料收集點接收的封包數開始往下降，直至完全無法接收由來源節點傳送過來的封包。IDDHEQ 因電量的消耗上比 DD 少，且採用單一路徑將封包傳送至資料收集點，因此

可以降低資料收集點附近的鄰居節點其電量之消耗；此外，由於本篇論文使用的電力門檻值與緊急事件處理機制設計，於模擬的後段時間中，資料收集點因附近的鄰居節點保有低於門檻值的剩餘電量，還是可以進行緊急事件封包的傳送，因而確保在較長時間裡、資料收集點可以接收由來源節點傳送過來的封包，延長網路整體的服務時間。



圖十二：Sink 接收封包數之比較圖

五、結論

本論文中，每個節點藉由感測訊息的傳送來紀錄鄰居的路由節點數與剩餘電量，並利用各自 Entry 的 HEQ 欄位加以紀錄。為降低 DD 使用過多的廣播傳送次數，我們在開始傳送資訊訊息時，就利用 HEQ 挑選單一節點來傳送後續訊息與資料，以節省整體電量的消耗，同時延長網路的生存時間。

另外，本論文考量網路中產生緊急事件之處理機制，我們會多挑選一條路徑加以傳送，因此可提高封包送抵的成功率。

六、參考文獻

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, Volume 40, Issue 8, pp. 102-144, Aug. 2002.
- [2] D. Puccinelli and M. Haenggi, "Wireless Sensor Networks: Applications and Challenges of Ubiquitous Sensing," IEEE Circuits and Systems Magazine, Volume 5, Issue 3, pp. 19 - 31, 3rd quarter 2005.
- [3] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, F. Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM

TRANSACTIONS ON NETWORKING,
VOL. 11, NO. 1, PP. 2-16, FEB. 2003.

- [4] F. Zabin, S. Misra, I. Woungang, H.F. Rashvand, N.-W. Ma, M. Ahsan Ali “REEP: data-centric, energy-efficient and reliable routing protocol for wireless sensor networks,” IET Communication, Vol. 2, No. 8, pp. 995–1008, sep. 2008.
- [5] W. Jincheng, L. Deshi, Z. Mi, D Ghosal, “Data Collection with Multiple Mobile Actors in Underwater Sensor Networks,” The 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, pp. 216 – 221, June 2008.
- [6] W. Chen, W. Li, H. Shou, B. Yuan, “A QoS-based Adaptive Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks,” Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 1947 - 1952, June 2006.
- [7] S. Bajij, L. Breslau, D. Estrin, K. Fall, S. Floyd, P. Haldar, M. Handley, A. Helmy, J. Heidemann, P. Huang, S. Kumar, S. McCanne, R. Rejaie, P. Sharma, K. Varadhan, Y. Xu, H. Yu, and D. Zappala, “Improving simulation for network research,” Univ. Southern California, Los Angeles, Tech. Rep. 99-702b, 1999.
- [8] Kevin Fall, Kannan Varadhan, "The NS Manual," <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>, March 9, 2006.
- [9] Ns2, http://nsnam.isi.edu/nsnam/index.php/User_Information, access on Feb. 2009.
- [10] I-LENSE Directed Diffusion, <http://www.isi.edu/ilense/software/diffusion/index.html>, access on Feb. 2009.
- [11] D. Coffin, D. Van Hook, R. Govindan, J. Heidemann, and F. Silva, “Network routing application programmer’s interface (api) and walk through 8.0,” Information Sciences Institute, University of Southern California, Tech. Rep. 01-741, 2001.