

一個以梯度為基礎結合依需求喚醒機制的感測網路資料傳送協定

鄭瑞恒、郭彥良

玄奘大學資訊科學研究所

rhc@hcu.edu.tw, jarickuo@gmail.com

摘要

無線感測網路(Wireless Sensor Networks), 是由一群分散的節點所共同組成, 其主要功能為環境偵測與資料收集、傳送, 可以應用在相當多領域。這些無線感測節點(Wireless Sensor Node), 因為有電力上的限制, 因此研究如何延長整個無線感測網路的使用週期, 為一相當重要的議題。

在 GRAB(Gradient Broadcast Protocol)中, 作者使用了成本欄位(Cost Field)及預算(Budget)控制廣播範圍的方法, 來達到單路徑(Single Path)及多路徑(Multi Path)的實現, 而使用 GRAB 的協定, 可達到相當高的封包到達率。但是大部分的節點, 在節點初始化完之後, 如果沒有在傳送資料封包時, 仍不停的等待鄰近節點傳送資料, 我們希望能夠讓節點在沒有傳送資料封包時, 能夠處於一種較為省電的睡眠狀態(Sleep Mode)。

本篇論文則是針對 GRAB 方法做改良, 首先讓所有的節點在不需要傳送封包時, 進入睡眠狀態, 以節省更多的電量, 在感測到資料時, 先發送 Beacon 封包, 喚醒傳送資料封包所需要路徑上的節點, 以期讓不需要運作的節點, 節省大量的電能。根據實驗模擬的結果, 我們提出的方法能有效的提升省電效能, 也能保有一定的封包到達率, 特別在節點電量不足的情況下, 效果越趨顯著。

關鍵詞: 無線感測網路、GRAB、預算控制

1. 緒論

隨著科技的進步與無線傳輸技術的發展, 無線網路技術的應用與發展愈來愈多元, 由大量無線感測節點所建構而成的無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN), 也應運而生。其主要功能為環境偵測與資料收集、傳送, 可運用在軍事、醫療及科學研究等方面。無線感測網路是由一到數個不等的資料收集中心(Sink), 以及數量眾多的感測節點所構成的網路系統, 各元件之間則透過無線通訊的方式做溝通。而感測節點的運作都必須依賴具有電量限制的電池以供給電源。若感測節點的電量消耗殆盡時, 則此佈建的WSN 極有可能無法順利的完成感測及傳送資料之任務。再者許多WSN之應用為收集或感測深具危險性或是人類難以到達區域之資訊。當感測節點的電量消耗殆盡時, 以人工的方式對感測節點進行電池的更換或充電將難以實現。因此如何有效率地使用感測節點的電

源, 讓整個 WSN 持續長時間的運作, 一直是 WSN 研究中, 相當重要的議題, 而在目前探討如何達到較佳的省電效能方面, 大致上可以朝向三方面來研究。

1. 架構於 MAC 協定之上的睡眠機制研究: 如 TEA-MAC[6]、S-MAC [11]、T-MAC [9], 藉由週期性的協定來達到省電以及有效率的避免碰撞。
2. 良好的資料傳送協定: GRAB [2]、MCP、MCP-PS[8]、BIPAR [3], 可同時兼具良好的封包到達率及省電效果。
3. 將資料傳送協定配合上睡眠機制: RAW[10]、RAW-E[7]、Power Saving Mobility Protocol[1]。

而在良好的資料傳送協定中, GRAB是一具有高封包到達率的資料傳送協定。將每個感測節點傳送到資料收集中心所需要花費的最小電量做為成本, 而感測節點在資料的傳送上, 必須遵循著只能替成本比自己小的節點傳送。而透過一開始分配傳送路徑的預算可以推算出目前的預算是否足夠使用多路徑模式來傳送資料封包, 這種傳送方式, 不僅可以有效率的傳送封包外, 也能省下不少可觀的電量。

然而仔細探究, GRAB 在省電方面仍有改進空間, 本篇論文針對 GRAB 原有架構做調整與改善, 加上一個睡眠省電機制, 以節省大量的等待電源。我們希望透過以上的方式, 可以使GRAB保有高封包到達率的特點, 進而達到更佳的省電效能, 這是本篇的目的。

2. 相關研究

由於目前感測節點在電量上, 仍受限於硬體技術, 無法經由外力補給電能, 所以電量的耗費速度, 將嚴重的影響整體感測網路的使用壽命與機能。而在無線感測網路環境中, 有許多研究[7][8][2]探討如何透過良好的資料封包傳送機制達到較佳的省電效能, 在此章節中, 我們將探討一些資料收集的協定, 以及探討其問題所在。

2.1 Energy Aware Random Wakeup Scheme

RAW-E 使用了 Greedy geographical routing protocol 找出來源端與目的端的最短路徑, 配合上睡眠機制。感測節點彼此間記錄一個電量使用狀態, 藉由這電量等級資訊, 來調整節點適當的清醒時間長度。

$$w_x = \max\left(\frac{E_x * w}{E_{avg}}, w_{th}\right)$$

E_x 是節點的電量等級資訊、 w 是網路環境所配置的節點清醒時間長度、 E_{avg} 是節點與周遭節點的平均電量等級， w_{th} 則是節點最少需要清醒的時間。藉由良好的資料傳送方法配合上適當的睡眠機制，讓 RAW-E 不但顧及了良好的封包到達率，也同時省下了許多節點等待傳送的電量，不過若是全部感測節點的清醒時間，都已經達到最少需要清醒時間的階段，那節點的封包到達率可能就會跟著下降許多。

2.2 Maximum Capacity Path Scheme

MCP 則是找出使用最小電量路徑的方法，一開始藉由節點彼此交換資訊，以記錄兩跳內的鄰近節點資訊，建立連結記錄，等到需要傳送資料時，則可以按照節點內的資訊，找出電量耗費最少的路徑，不過這樣一來，某些特定的節點，可能因為一直被使用的關係，導致電量消耗的速度比其他節點來的快，所以該作者也提出一個 MCP-PS 的方法來解決這問題，除了紀錄原本的連結之外，在額外記錄其他的鄰近節點電量資訊，在傳送時，比較原本的連結點與鄰近節點的電量資訊，挑選電量較多的節點傳送。藉以達到電量消耗平衡的效果，不過也為了達到節點間電量消耗平衡的效益，所以在資料傳送時，就無法挑選電量耗費最少的路徑來傳送。

2.3 Gradient Broadcast Protocol

GRAB 的傳送模式，如下圖 1，由於不用記錄周遭無線感測節點位置資訊，一旦節點感測到環境有變化，欲傳送資料至 Sink 時，便只要將資料封包向外廣播即可，由於限制 Cost 只能越傳越低的特性 (Sink 點的 Cost 為 0)，任一節點皆不能替 Cost 值高過自己的節點傳送資料，所以不論從任何感測節點發送資料，皆能很有效率的將資料傳送至 Sink。

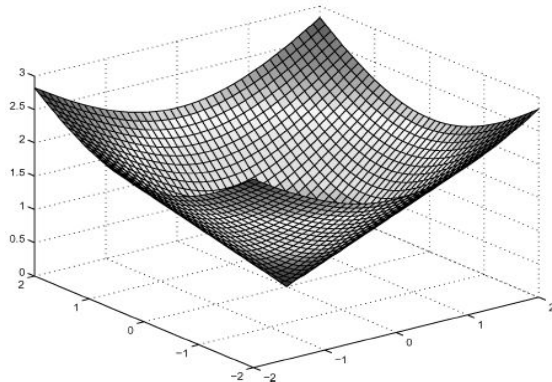


圖 1 GRAB 的傳送模式 [2]

但是仍存在著浪費過多等待電源的問題，GRAB 為了確保擁有較佳的傳送效能，所以任何節點都隨時處於待命的狀態，一旦周遭的節點感測到資料，便

立即做預算計算，決定是否傳送。

如圖 2，可以很清楚的看出來，只有中間黑色群的節點是有在傳送資料的，而其他周遭兩旁白色的節點，都是沒有再傳送資料，可是即便他們沒有在傳送資料封包，卻仍然浪費電源在等待隨時可以傳來的資料封包。有鑑於此，如何節省處於非工作狀態的節點電源，卻又不影響資料封包的傳送效率，便是我們首要解決的問題。

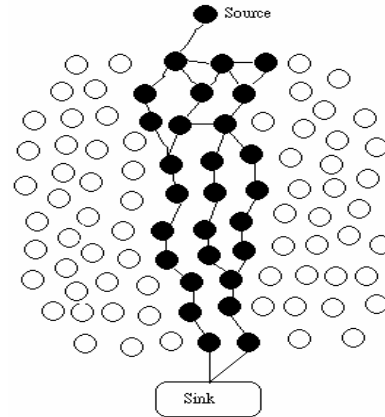


圖 2 GRAB 資料傳送圖

3. 我們的方法

本篇論文針對 GRAB 的問題提出改進方法。因此本論文使用與 GRAB 相同的假設條件：

- 感測節點散佈在一大範圍區域上，任何在這範圍內的感測節點包括 Sink 皆為固定不會移動的。
- 所有節點皆有電力限制的。
- 感測節點彼此間沒有位置資訊。
- 所有的感測節點具有計算出傳送資料到鄰近節點，所需耗費的最小電量。
- 任一節點只能替來源的 Cost 值較低於自己 Cost 值的節點傳送封包。

對於等待電源的浪費情形，我們採取增加一個睡眠機制，來解決這個問題，在 3.2 節我們將詳細描述此解決模式。在後續文中，將以 GROW (GRAdient-based data forwarding protocol with On-demand Wakeup) 來稱呼此一方法。以下為相關細節。

3.1 建立節點欄位資訊

第一次初始時每個感測節點，都將自己的 Cost 值設為 ∞ ，然後由 Sink 點廣播帶有 Cost 為 0 的 ADV 封包 (Advertisement Packet)，當無線感測節點收到來源端帶有來源節點 Cost 值的 ADV 封包，無線感測節點會計算目前本身的 Cost 值加上與來源端節點的 Link Cost 值 (來源端節點與接收端節點的最小耗電量)，如果比目前的 Cost 值小，便更新目前的 Cost 值。如圖 3，無線感測節點 A、B 的 Cost 分別為 50、80，節點 A 廣播帶有 Cost 值 50 的 ADV 封

包，節點B收到之後，便比較節點A的Cost值(50)加上節點A傳送資料到節點B耗費的最小電量(Link Cost A→B:15)，若大於目前節點B所擁有的Cost值，便更新節點B的Cost值為節點A的Cost值加上節點A與節點B的Link Cost值，之後如果需要重建Cost Field的資訊，則由 Sink 往外廣播Beacon封包，喚醒全部的節點，接著就依照目前所擁有的Cost 值做交換即可。

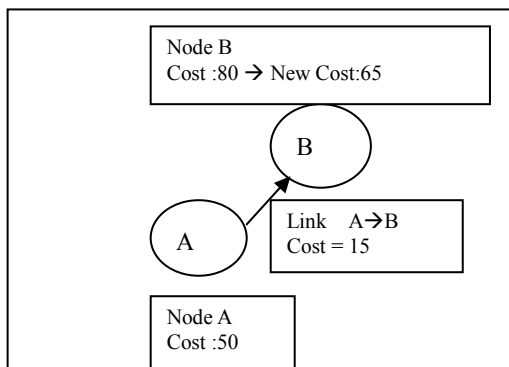


圖3 初始化 Cost Field

3.2 進入睡眠狀態

如同GRAB一般，在一開始的時候，GROW必須先建立Cost Field，並紀錄可達到三個Cost值低於本身節點Cost值的鄰近節點的廣播範圍，作為多路徑時使用。待 Cost Field建立與資料交換完成後，便進入睡眠狀態[5]。接著我們來定義感測節點處於不同狀態時，分別具有的功能如表1。

表1. 感測節點狀態功能表

	正常狀態	睡眠狀態
傳送資料封包	○	X
接收資料封包	○	X
傳送 Beacon	○	X
接收 Beacon	○	○
感測環境功能	○	○

3.3 預算式傳送控制 (Credit-based robust forwarding)

等全部節點的 Cost Field 都建立好之後，便可以開始進行預算控制式傳送資料，當任何一個感測節點，感測到資料，欲將資料傳回 Sink點時，便會分配一個預算值(Budget)，若是往後在傳送過程中，節點會計算目前已經消耗了多少Cost值，若預算夠多，便會向外廣播至鄰近三個節點範圍，若沒有多餘預算可使用時，便只能向最近的節點廣播達來傳送資料。

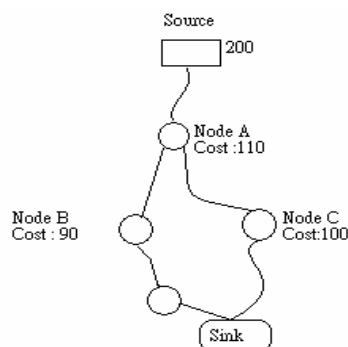


圖4 預算控制式傳送

如圖4，Source端要擁有200的預算，傳送資料封包至節點A時，預算只剩下90可以使用，這時節點A再往外廣播資料封包時，節點B跟C會分別計算剩下的預算值，是否足夠讓自己使用，以圖3.2為例，節點C變會丟棄這個資料封包，而節點B則會收下來，繼續往外廣播。

3.4 睡眠機制的運作

整個環境建置完成之後，全部的節點都處於睡眠狀態，如下圖5，假設節點A感測到資訊，那節點A的狀態會由睡眠轉換成正常狀態，然後往外廣播二次Beacon封包，然後發送資料封包後，再進入睡眠狀態。而鄰近節點B收到Beacon封包，也同樣會由睡眠狀態轉換為正常狀態，等待一段亂數決定的時間，這段期間內，丟棄相同來源的封包，並將節點醒過來的時間，設為等待時間的兩倍，在這段期間內，如果有收到不同來源的封包，則比較兩倍的亂數時間與目前節點設定的醒過來時間長度，取較大值。亂數等待時間結束則繼續往外廣播Beacon封包，而節點只有處於醒過來的狀態時，能接收與轉發資料封包，收到資料封包之後，再根據預算式傳送控制的演算法，判別預算使用狀態，不夠，則使用單路徑，若仍足夠，則往外廣播至鄰近三個節點。

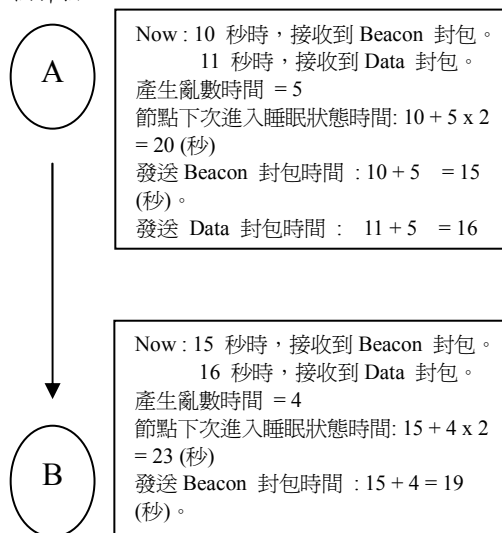


圖5 睡眠機制運作規則

為了避免Beacon封包中途遺失，所以我們選擇發送二次 Beacon 封包，以確保我們能夠預先將要傳送的路徑喚醒。而在實驗結果中也可從電量耗盡的節點數得到佐證證明，在節點擁有相同的電量下，我們的方法的確可以讓節點消耗較少的電量，而由於我們的方法讓節點能存活較久的緣故，我們的封包到達率表現的也較GRAB佳，在第四章會有更詳細的說明。

3.5 路徑修復機制

在節點電量有限的實驗過程中，我們發現，在傳輸過程中若是有某些特定節點，常被使用到，則可能造成該路徑斷裂。雖然 GRAB 是一具有多路徑的傳送方法，不過在電量有限，而單路徑不多的情況下，仍能發現，有些資料封包會因為單路徑上的某個節點已經死亡，而無法將資料封包順利傳送到 Sink 節點。

有鑑於此，我們特地設計了一個路徑修復的機制，利用 GRAB 本身的 Cost 概念，有效的更新上一跳的路徑資訊。如下圖 6，原先節點利用本身記錄的最小廣播範圍來實現單路徑，由 A → B → C → D，假若節點 B 的電量一旦耗盡，而節點 A 仍舊使用最小廣播範圍將資料傳送給節點 B，這時資料封包便無法繼續傳送，所以，我們在 B 節點傳送資料之後，便判斷剩餘電量是否大於一個門檻值，如果小於門檻值，便依序往外廣播 Beacon 封包，帶有節點 B 的 ID 與 Cost 值的資料封包，此時收到該封包的節點，則會根據下列兩點做規則判斷：

1. 本身節點的 Cost 值，是否大於封包上的 Cost 值。
2. 該封包上的節點 ID 是否為本身節點的最小廣播距離的節點 ID，如果是，則將最小廣播範圍資料更新為最大廣播範圍。以圖 6 為例，節點 A 在更新之後，下一次傳送時，就會同時透過節點 B 跟節點 E 傳送資料封包。

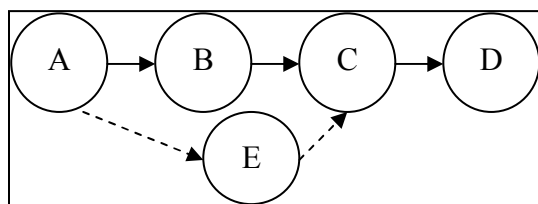


圖 6 路徑修復機制

4. 模擬與分析

4.1 實驗環境參數設定

本論文的實驗是採用自行開發的模擬工具分別模擬了 GRAB 與 GROW。我們分別實驗了預算值(Budget)，分別為 1 跟 3，節點電量狀態為有限制、沒限制的狀況下，亂數產生跑 30 組節點分佈，

每組分別產生 100 個 Report，比較封包到達率、傳送耗電量、電量耗盡節點數。而在參數設定上，封包的傳送、接收、一般狀態的等待電源、睡眠狀態的等待電源，是參考同類型研究[8]，傳送與接收 Beacon 封包的電量約為傳送與接收資料封包的百分之一，其餘的參數，則使用 GRAB 原實驗的參數，詳細參數設定如下表 2

表 2. 參數設定

參數名稱	參數值
產生 Report 電量	15 mA
傳送 / 接收 Beacon 電量	0.15 mA / 0.08 mA
傳送 / 接收資料封包電量	15 mA / 8 mA
節點正常狀態等待耗電量	7 mA
節點睡眠狀態等待耗電量	2 μ A
節點初始電量	15 A / ∞
實驗範圍大小	150 m ²
最大廣播範圍	10 meters
節點總數	1200 個
執行時間	2000 秒
最大亂數等待時間	10 秒

4.2 模擬結果與分析

由於預算值越高，資料傳送過程中，多路徑的情況便會增加，封包到達率也會因此隨之提升，所以如圖 7，我們可以發現，當節點電量都處於供給無限的狀態下，GRAB 的到達數跟 GROW 相同，能影響封包到達率的因素有電量、節點的狀態，而 GROW 在節點的醒過來時間的處理上，是以需要等待最久的封包為主，所以可以確保資料封包皆能順利轉送，而電量又供給無限，所以兩個方法的封包到達數皆相同。

可是當節點電量不夠時，特別是在預算值較高，造成多路徑較多的情況下，GRAB 不需要傳送的節點都消耗太多不需要花費等待電源，一旦需要代為傳送，剩餘電量又不夠多，更加速節點的死亡，降低封包到達 Sink 的數目，而 GROW 則有效的節省了許多等待電源，所以節點存活時間較長，也形成封包到達率較 GRAB 好的情況。

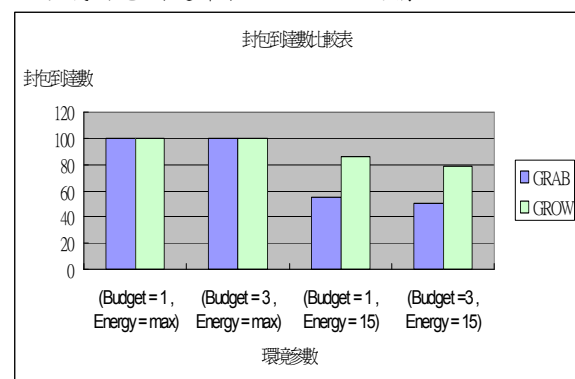


圖 7 不同的節點電量對封包到達數的影響

而在整體耗電量上，如圖 8，由於 GROW 方

法，加上了睡眠機制，所以在電量供給無限大的情況下，確實能夠達到較好的省電效能。而在節點電量有限的情況，GRAB 因為浪費過多等待電源，很多中繼節點很早就處於電量耗盡的狀態，無法順利的替上游節點傳送封包，使的許多下游節點仍有電源，可是卻無法收到封包，只能一直等待。所以若是能有效節省大量等待電源，相對的，也能夠轉送的節點數也會增加，所以能提供較高的封包到達率。

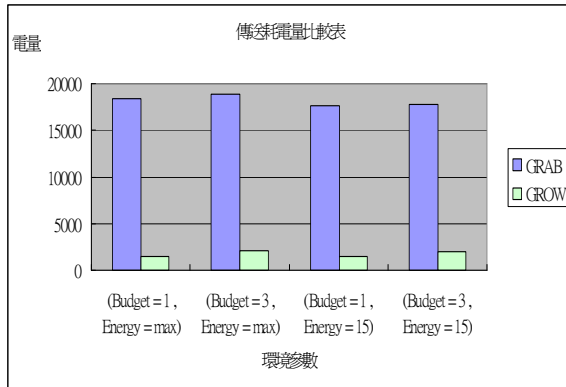


圖 8 不同的節點電量對整體電量消耗的影響

GROW 在節點不需要傳送資料時，都處於睡眠狀態，所以時間一旦拉長，有透過睡眠節電的節點，跟沒有透過睡眠節電的節點，彼此電量的差距將會越來越多，如圖 9，當多路徑情況越多時，節點已經處於電量供給不足的狀態，GRAB 浪費電源在所有節點等待封包的傳送，等到真的有封包需要傳送時，再扣除封包傳送的電量，則節點電量耗盡的情況，便相當明顯。

本論文的方法，在省電方面，有較佳的效能，而封包到達率上，也能有擁有與 GRAB 相同的水平，在節點電量快耗盡的狀態下，甚至優於 GRAB。

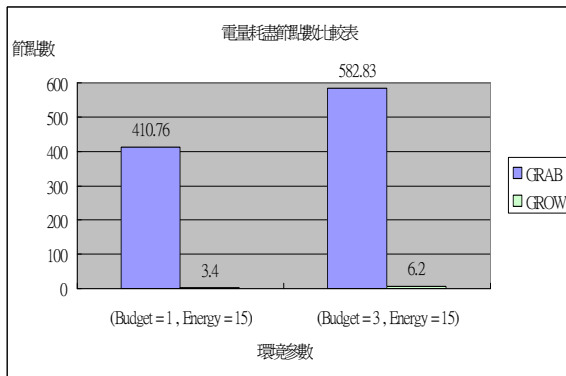


圖 9 電量耗盡節點數比較表

至於在路徑修復方面，我們分別比較了電量有限的情况下，不同 Source 數 100、200、300、400、500，分別比較有無路徑修復方法。而從實驗中發現，在多了路徑修復方法之後，不論哪一個 Source 數的實驗，封包到達率都較大於沒有路徑修復方法。從實驗過程中，可以發現有些明顯有用的例子，原本沒有該路徑修復方法的封包到達率約為 40 左右，

加上路徑修復方法之後，封包到達率提升了 10 多個。以及在使用路徑修復方法之後，節點的整體耗電量有少許的提高，表示我們的路徑修復方法的確有讓某些原本斷掉的路徑，能修復繼續往下傳送，根據圖 10，我們可以看到封包到達率，也有少許的提升。

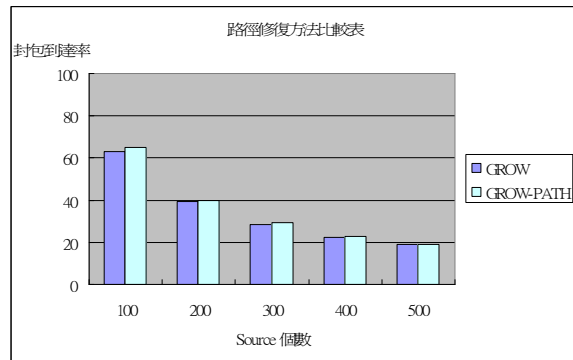


圖 10 有無路徑修復方法比較表

5. 結論

本論文以 GRAB 為基礎，發展了一個依需求喚醒的睡眠機制，解決了 GRAB 在原本的電量使用上，許多閒置的節點所產生的電源浪費問題，而達到延長整體無線感測網路環境壽命的目的。

本論文探討的是節點在資料傳輸過程中，如何擁有較佳的省電效能，而在傳送過程中，由於目前考量的因素只有節點電量、節點狀態，並無把實際網路環境的封包碰撞因素列入考量，未來希望可以針對這點做改進，此外，在感測資訊方面[4]，則沒有加以探討，未來也希望能夠更進一步的探討，如何利用 Cost Field 的特性，來達到較佳感測模式。

6. 參考文獻

- [1] Dong-Hyun Chae; Kyu-Ho Han; Kyung-Soo Lim; Kyeong-Hak Seo; Kwang-Ho Won; We-Duke Cho; Sun-Shin An; "Power saving mobility protocol for sensor network"; Software Technologies for Future Embedded and Ubiquitous Systems, 2004. Proceedings. Second IEEE Workshop on 11-12 May 2004 Page(s):122 – 126
- [2] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang, "GRAdient broadcast: A robust data delivery protocol for large scale sensor networks," ACM Wireless Netw. (WINET), vol. 11, no. 2, Mar. 2005.
- [3] Hany Morcos, Ibrahim Matta, and Azer Bestavros. "BiPAR: A Bimodal Power-Aware Routing Protocol for Wireless Sensor Networks". In Proceedings of the First International Computer Engineering Conference (ICENCO 2004), Cairo, Egypt, December 2004.
- [4] Hoilun Ngan; Yanmin Zhu; Ni, L.M.; Renyi Xiao; "Stimulus-based adaptive sleeping for wireless sensor networks"; Parallel Processing, 2005. ICPP

2005. International Conference on 14-17 June 2005
Page(s):381 – 388

[5] Luo, R.C.; Liang Chao Tu; Chen, O.; “An efficient dynamic power management policy on sensor network”; Advanced Information Networking and Applications, 2005. AINA 2005. 19th International Conference on Volume 2, 28-30 March 2005

[6] Nguyen, C.K.; Kumar, A.; “An energy-aware medium-access-control protocol with frequent sleeps for wireless sensor networks”; Proceedings of the 10th IEEE Symposium on Computers and Communications, 2005. ISCC 2005. 27-30 June 2005
Page(s):386 – 391

[7] Paruchuri, V.; Durresi, A.; Barolli, L.; “Energy Aware Routing Protocol for Heterogeneous Wireless Sensor Networks “;Database and Expert Systems Applications, 2005. Proceedings. Sixteenth International Workshop on 22-26 Aug. 2005
Page(s):133 - 137

[8]Shih-Chang, Huang and Rong-Hong, Jan;“Energy-aware, load balanced routing schemes for sensor networks”; Parallel and Distributed Systems, 2004. ICPADS 2004. Proceedings. Tenth International Conference on 7-9 July 2004
Page(s):419 - 425

[9] T. Dam and K. Langendoen, “An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks”, SenSys’03, November 2003.

[10] V. Paruchuri, S. Basavaraju, A. Durresi, and R. Kannan.; ”Random asynchronous wakeup protocol for sensor networks” .In Proc. BroadNets’04, San Jose, CA, October 2004.

[11] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, “Medium Access Control with Coordinated, Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks”, IEEE/ACM Transactions on Networking 2003.