

# 行動隨意型網路下具有負載平衡 之節能網格路由

## Energy-Saving Grid Routing with Load Balance in Mobile Ad hoc Networks

段裘慶  
C.-C. Tuan

吳亦超  
Y.-C. Wu

陳柏君  
P.-G. Chen

國立臺北科技大學 電腦與通訊研究所

[cctuan@ntut.edu.tw](mailto:cctuan@ntut.edu.tw)

[t5419001@ntut.edu.tw](mailto:t5419001@ntut.edu.tw)

[t5418012@ntut.edu.tw](mailto:t5418012@ntut.edu.tw)

### 摘要

受限於行動節點的電能限制，如何減少電能消耗仍為行動隨意網路重要的研究議題。然而，大部分的節能路由只考慮如何減少電能消耗並無考慮到電能消耗分佈是否均等，導致部分節點因電能消耗快速而失效，進而造成連結斷裂。因此，本文提出隨意型網路下具有負載平衡之節能路由協定(EsGrLb)來減少路由所需的電能消耗且兼具負載平衡。當開道節點因為電能不足需作替換時，新開道節點可直接由EsGrLb選出，而不需透過傳統的開道節點推舉機制；同時，開道節點的角色也不會集中於少數特定節點上，而導致部分節點電能快速消耗，進而造成連結斷裂。因此，EsGrLb不但能減少電能消耗，同時可達到電能負載平衡，以延長網格生命週期。模擬結果發現，在節點密度越高下，EsGrLb將可節省更多的電能，節點存活率也越高。

**關鍵詞：**行動節點、行動隨意網路、負載平衡、網格、開道節點。

### Abstract

How to reduce the energy consumption is an important issue of mobile ad hoc networks. Most of energy saving strategies didn't consider whether the distribution of energy consumption is equal; therefore, some nodes easily become invalid due to the energy consume quickly. This

paper proposed an energy saving grid routing with load balance in mobile ad hoc networks (EsGrLb) to reduce the energy cost of routing. When grid-header needs to be changed, new grid-header can be elected by EsGrLb without the process of traditional grid-header election. At the same time, the roles of grid-headers are played by most nodes to balance nodes' energy. Consequently, EsGrLb can reduce energy consumption as well as extend the lifetime of network. From simulation results, in the high density of nodes, the EsGrLb can save more energy and the nodes' survival rate will be higher.

**Keywords:** mobile node, mobile ad hoc networks, load-balance, virtual grid, grid-header.

### 一、簡介

行動隨意網路(Mobile Ad hoc Networks, MANET)為一不需要基礎設施且由許多行動節點組成之無線網路，節點本身除了具有轉送與接收功能外，並兼具路由功能。封包傳遞採用多重跳躍的方式，因此常常應用於戰場、緊急救難區域、或那不易架設基地台的區域。

由於行動節點主要由電池提供電能，因此，如何減少電能消耗已成為近年來行動隨意型網路的研究重點之一。

有鑒於此，本文提出一具有負載平衡之節能路由。此路由協定主要以網格架構為基礎，

每個網格皆有一個節點擔任閘道節點，資料的傳輸主要透過閘道節點間多重跳躍之方式來完成。因此，只需部份節點擔任閘道節點即可保持網路的連結性，其他節點可進入休眠模式以節省電能。在閘道節點推舉維護機制上，閘道節點可由 EsGrLb 直接選出，而不需經由傳統的閘道節點推舉機制，因此，減少競選時之電能消耗；同時，閘道節點也不會集中於少數特定節點，以達到電能負載平衡，進而提升節點存活率與網路生命週期。

在論文的第二章中，將介紹相關網格及節能路由之研究；第三章詳細敘述具有負載平衡之節能路由協定、閘道節點的選擇以及節能的方式；第四章為模擬結果；最後是結論與未來工作。

## 二、相關文獻探討

GRID[1]為一以網格架構為基礎之位置感知路由協定。GRID 主要透過全球定位系統所獲得的位置資訊，將通訊區域分割成數個虛擬網格。每個網格皆有一節點擔任閘道節點，封包傳遞則透過閘道節點的多重跳躍方式，如圖 1 所示。

在閘道節點維護上，閘道節點透過週期性發送 GATE 封包，告知網格內其他節點與鄰近網格之閘道節點自己的存在。當閘道節點之剩餘電能不足時，則透過閘道節點競選機制選出新的閘道節點。然而 GRID 並沒有考慮到能量因素，導致一般節點在沒有資料傳輸的情況下，並無進入休眠模式以至於消耗不必要的能量。

有鑑於此，作者以 GRID 為基礎提出一能量與位置感知路由協定(FPALA)[2,3]。FPALA 主要提出新的電量管理機制來改善 GRID 的閘道節點競選機制，讓一般節點在沒有資料傳輸時，可以進入休眠模式以節省能量。在 FPALA 的閘道節點競選機制下，當節點收到 BID 封包時，會比較 BID 封包內的電量值與本身的剩餘

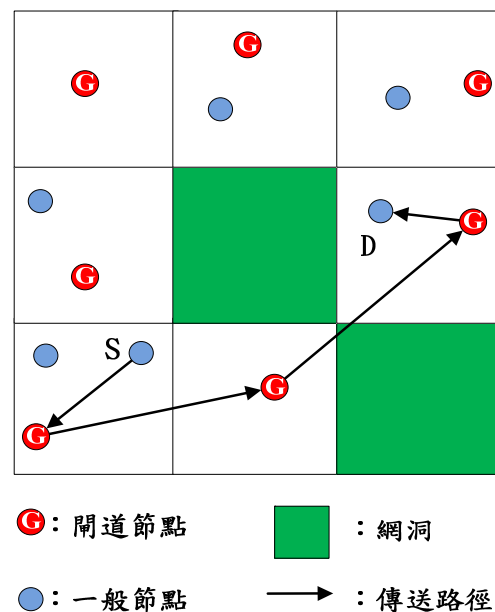


圖 1 GRID 路由

電量，當節點的剩餘電量大於封包內之電量時，則會更新 BID 封包內之電量值，並繼續廣播出去，否則，則停止廣播。在一定時間後，最後一個廣播 BID 的節點則自動轉換成閘道節點，並發送 GATE 封包給網格內其他節點與網格外其他閘道節點來宣告自己的存在。當有兩個節點的電量相同時，則以最靠近網格中心的擔任閘道節點，因此 FPALA 可以比 GRID 節省更多的能量並延長網路生命週期。然而，在閘道節點維護機制上，當閘道節點因為能量不足需要替換時，還是需要透過閘道節點競選機制來選出新閘道節點。因此，EsGrLb 提出新的閘道節點競選與維護機制以節省更多的電量，同時，透過所提出的控制參數與新增封包來達到電能負載平衡。

## 三、具有負載平衡之節能路由

EsGrLb 透過全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 所獲得之位置資訊將通訊網格區域分割為數個虛擬網格，網格大小為  $d \times d$  的正方形區域，網格位置以二維座標  $(x, y)$  標示，如圖 2 所示。每個節點皆有唯一的辨識編號，如 MAC 位址。透過位置資訊，

節點得知自身所在的網格位置，並參考 GRID[1]，令  $d = \sqrt{2}r / 4 \cong 0.354r$ ，其中  $r$  為閘道節點無線電通訊的傳輸半徑。在此條件下，位於正中央網格的閘道節點擁有八個鄰居閘道節點可供選擇，以作為下一個轉送節點，而節點會根據所擔任的角色而改變其傳輸半徑，如圖 3 所示。而一般節點因為只需透過閘道節點才能與網格外之節點做資料傳輸，因此，其傳輸半徑為閘道節點傳輸半徑的一半 ( $r/2$ )。

由於路由的建立與維護主要是由閘道節點負責，如何提出一有效的閘道節點競選與維護機制是相當重要的。因此，本論文提出 EsGrLb 來節省傳統閘道節點競選與維護時所需消耗的電能，並兼具電能負載平衡。為了維護閘道節點的正常運作，EsGrLb 定義一控制封包：nGATE 封包之格式及功用如下：

1. nGATE ( $g, N_{id}$ ) 封包：閘道節點用來通知同網格的節點及鄰居閘道節點自己的存在。其中  $g$  表示發送封包之閘道節點所在的網格座標， $N_{id}$  為節點辨識號碼。網格內之節點接收到 nGATE 封包後會將此閘道節點的  $N_{id}$  作記錄，之後若有資料待傳送，即透過此閘道節點送出。

在閘道節點競選機制上，EsGrLb 定義五個指標：

1. 閘道節點之競選上，大部分時間是由同一網格內擁有最多剩餘電能的節點來擔任之，若是原閘道節點因故障或將離開目前網格而發送 RETIRE 封包時，則先以隨機方式選出一閘道節點。
2. 競選機制不宜過度地執行，以避免發生乒乓效應。
3. 一般節點電能少於臨界值 ( $10j$ ) 時，不得再發送 nGATE 封包。
4. 閘道節點電能少於臨界值時，即發送 RETIRE 封包予鄰近的閘道節點以及同

網格內之一般節點，並轉變角色成瀕死節點。

5. 即使電能大於發出封包之閘道節點，當收到 nGate 封包時，節點須立即轉換成一般節點。

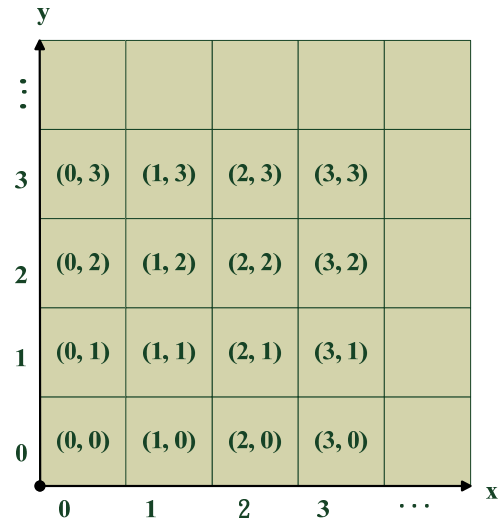


圖 2 虛擬網格座標

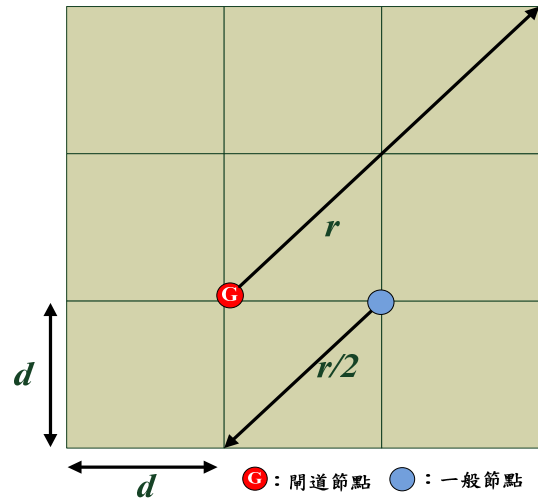


圖 3 閘道節點與一般節點之傳輸半徑

在節點狀態上，主要有三種角色，如圖 4。

1. 閘道節點：為網格的管理者，有較大的傳輸半徑 ( $r$ ) 與較沉重的封包傳遞工作，所有傳出或傳入網格的封包均要透過閘道節點作轉遞，但同網格的資料傳遞則毋需透過閘道節點。

2. **一般節點**：為非閘道節點，其正常的傳輸距離為  $r/2$ ，只能與同網格內之節點互通，若要與他網格內之節點做資料傳輸則須透過閘道節點。此外，若節點之控制參數  $T_i = 0$ ，則會發送 nGATE 封包並轉換成閘道節點之角色。
3. **瀕死節點**：代表其殘餘電能已經少於臨界值，當節點殘餘電能很低時，若還擔任閘道節點會因節點耗能殆盡而快速失效，因此瀕死節點不再計算控制參數  $T_i$  來參與競選，以節省電能，其餘同一般節點之功能。

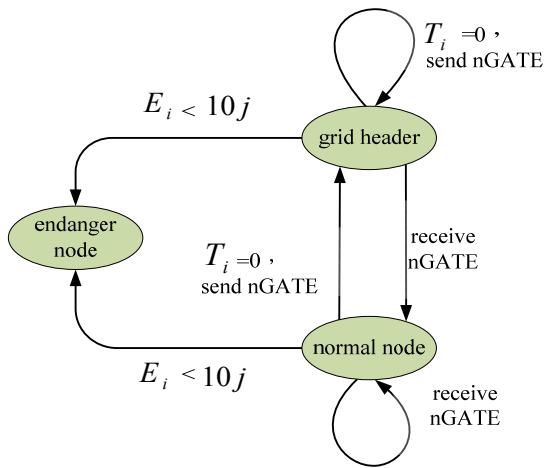


圖 4 節點( $N_i$ )之狀態轉換

依上述之競選指標來詳述 EsGrLb 閘道節點的競選機制：

1. 閘道節點必需週期性地廣播nGATE封包來宣示自己的存在，閘道節點收到鄰居閘道節點之nGATE封包後，會將該鄰居閘道節點加入其鄰居表(Neighbor Table)中。
2. 網路形成初期，節點透過GPS計算出自己所在的網格位置，接著以式子(1)所得之  $T_i$  來進行閘道節點之選擇。其中  $E_i$  代表節點  $i$  目前剩餘的電能(J)、 $K$  (s/J)為一常數，值為 0.05， $T_i$  (s)為控制參數、 $C_i$  (s)為一常數，值為 15，使nGATE封包之發

送間格之值維持在 15 到 10 之間。競選過程中，節點皆計算出自己的  $T_i$ ，而後開始做倒數歸零的動作，當有一節點的  $T_i$  先為零，此節點即廣播nGATE封包並轉換成閘道節點，且依目前電能重計算  $T_i$ 。同網格內之節點收到nGATE封包後，則記錄該閘道節點之辨識號碼( $N_{id}$ )，並重新計算  $T_i$  並作倒數之動作。

$$T_i = C_i - E_i \times K \quad (1)$$

3. 當閘道節點之  $T_i$  尚未歸零即收到同網格內其他節點的nGATE封包時，代表目前的閘道節點之殘餘電能已非網格內之最大值，因此須轉變成一般節點，同時記錄發送nGATE之新節點為新閘道節點，並清除原有的路由資訊，而其他節點同樣地也會記錄該新閘道節點。
4. 當閘道節點之剩餘電能小於臨界值，或閘道節點欲移動到其他網格時，必須先廣播RETIRE封包，之後便轉成一般節點，而同網格內之其他節點收到RETIRE封包後，第一個發送nGATE封包之節點即可轉成閘道節點，而其他節點則會記錄此節點為閘道節點。同時，鄰居閘道節點在收到RETIRE封包後，便從鄰居列表中刪除舊閘道節點的資訊。
5. 當網格內所有節點剩餘電能都少於臨界值時，意謂此網格內所有節點均已瀕臨失效，所以在此網格內並已無閘道節點以致無法對外通訊，故可將此網格視為一個網洞。
6. 閘道節點會持續監聽其鄰居閘道節點的變化，並藉由鄰居閘道節點所發出的nGATE、RETIRE封包來維護自己的路由表，以避免路由中斷。若經過一特定時間之後仍未接收到某鄰居閘道節點的nGATE封包時，即便是尚未收到RETIRE

封包，將認定該鄰居閘道節點已失效，並主動將其資訊從鄰居表中刪除，以維護路由的完整性。

行動節點之狀態轉變流程如圖 5 所示。

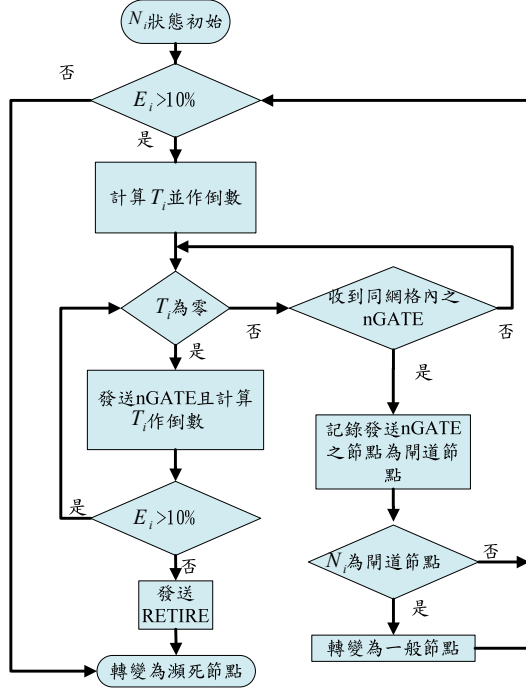


圖 5 節點( $N_i$ )運作狀態流程圖

在EsGrLb中，僅有閘道節點能參與封包轉送，非閘道節點若為來源節點或目的節點時，則進行封包傳、收工作。當閘道節點進行封包轉送時，須選擇一鄰居閘道節點作為下一轉送節點。閘道節點平時藉由nGATE封包來收集其鄰居閘道節點的資訊，並儲存於鄰居表中；此外，也將相同網格內之節點資訊儲存於另一表中。

在EsGrLb中，路由主要參照DSR反應式路由協定[4]，利用RREQ、RREP與RERR三種封包來完成路由建立與維護，如圖 6 所示。

當節點 S 欲傳送資料封包到節點 D，由於節點 S 之閘道節點為 A，因此便將封包傳送至 A。當 A 收到源自於 S 之封包，即檢查路由表。若表中並無到達 D 之路由，則廣播 RREQ 封

包。當鄰居閘道節點 B 與 I 接收到 RREQ 封包，即檢查有無到達 D 之路由，若亦無路由，則繼續廣播 RREQ。假若節點有收到相同之 RREQ 封包，則捨棄之。當閘道節點 H 收到 RREQ 封包，由於路由表中有到達 D 之路由，便循原路徑回送 RREP 封包予 A。當 A 收到 RREP 封包，便將所建立之路徑 A-B-C-E-F-G-H 加入路由表中，並將 S 欲傳送之資料封包由此路由傳送。

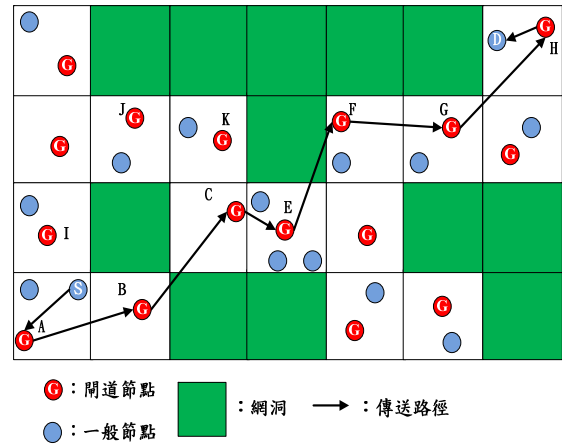


圖 6 EsGrLb之封包路由範例

由於路由的維護主要由閘道節點來負責，因此，如何設計一良好的閘道節點競選與維護機制是項重要的議題。透過本論文提出的EsGrLb，不僅可減少競選時的電能消耗，同時達到電能負載平衡，進而提升節點存活效率，並延長網路生命週期。

假若在一個  $x \times y$  的網格，共有  $m$  個網格，而網格的辨識是由左而右由下而上我們使用  $G_i$  來代表， $i$  表示網格的代號。假設  $x$  與  $y$  均為 3 則網格辨識號碼為  $G_1$  到  $G_9$ ，而每個網格中各

自分佈了  $N(G_i)$  個節點。在EsGrLb中，閘道節點的產生是透過控制參數之歸零倒數來產生，閘道節點傳送封包所消耗之電能為  $E_t$ 、節點接收封包之電能為  $E_r$ 、一般節點發送封包之消耗電能為  $E_{nt}$ ，則總耗費的能量即為



$E_1^*$ ，如式 2。在傳統開道節點競選機制中，由於需要使用BID封包來競爭，且每個節點發送的先後順序為隨機，假設每個網格中有  $P_i$  節點發送BID封包來競選，則所耗費之電能為如式 3。由式 2 與式 3 中可以發現，若節點密度越高，則  $N(G_i)$  之值也越大，所耗費的電能也越多。

$$E_1^* = E_t + \sum_{i=1}^m N(G_i) \times E_r \quad (2)$$

$$E_2^* = \sum_{i=1}^m (P_i \times (E_{nt} + E_r \times N(G_i))) + E_1^* \quad (3)$$

#### 四、模擬驗證

本研究使用C#撰寫模擬程式，並參考文獻[5,6,7,8]，定義開道節點傳送封包之消耗電能為  $2.46 \times 10^{-2}(j)$ 、非開道節點傳送封包之消耗電能為  $6.14 \times 10^{-3}(j)$ 、接收封包之消耗電能為  $5.11 \times 10^{-3}(j)$ 。網格數為  $10 \times 10$ ，網格大小共  $1767.7 \times 1767.7(m^2)$ ，一般節點之傳輸半徑為  $250(m)$ ，開道節點為  $500(m)$ 。所有節點之初始電能均為  $100(j)$ ，當節點之電能少於臨界值， $10(j)$  時，即不再參與開道節點之競選機制，但是依然會傳送與接收封包直到電能消耗殆盡。在模擬環境中，所有節點均會不停發送封包給其他節點，促使開道節點競選機制的影響可以更顯著。模擬參數如表 1。

圖七，為兩百個節點模擬之結果。節點移動方式是每次至少持續一秒，移動距離最少為  $35.354m$ ，而後再決定是否繼續移動。由圖中可以觀察到模擬時間越久，消耗的能量也越多，當模擬達 1650 秒時，EsGrLb較原先競選機制節省 33%之電能。

當節點數目提升到四百個節點時，由圖 8 得知，節點數目越多，在競選上消耗的電能也越多。另外，在GRID中，由於競選機制是藉由

節點發送BID封包，而發送BID的消耗電能會因為節點數量的提升而升高；但在EsGrLb中，當節點發送nGATE封包時，即能決定開道節點，所以每一次競選只需要一次封包之發

表 1 模擬參數

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| 模擬環境範圍                   | $1760 \times 1760(m^2)$  |
| 網格大小                     | $176 \times 176(m^2)$    |
| 節點數目                     | 200 ~ 600                |
| 移動速度                     | $35 \sim 0(m/s)$         |
| 模擬時間                     | 每 150 秒為一間隔              |
| 開道傳送封包之電能消耗( $E_t$ )     | $2.46 \times 10^{-2}(j)$ |
| 非開道傳送封包之電能消耗( $E_{nt}$ ) | $6.14 \times 10^{-3}(j)$ |
| 節點接收封包之電能消耗( $E_r$ )     | $5.11 \times 10^{-3}(j)$ |
| 節點初始電能                   | $100(j)$                 |
| 臨界值                      | $10(j)$                  |
| 節點部署方式                   | 隨機                       |
| 節點移動方式                   | Random Way Point         |

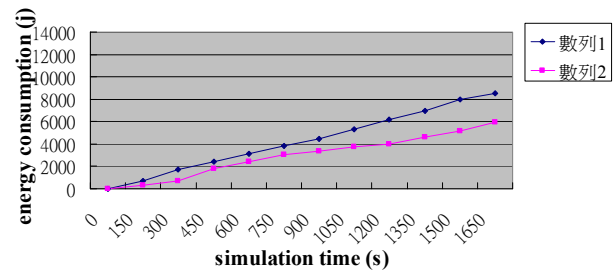


圖 7 開道節點競選之電能消耗(200 個節點)

送。在 1650 秒時，EsGrLb已經比傳統開道節點競選機制節省將近 66%之電能。另有一個值得注意的現象是，在EsGrLb中，兩百節點與四百節點的消耗電能是相近的，其最大的主因是由於EsGrLb發送nGATE封包的間隔會根據本身電量而遞增。

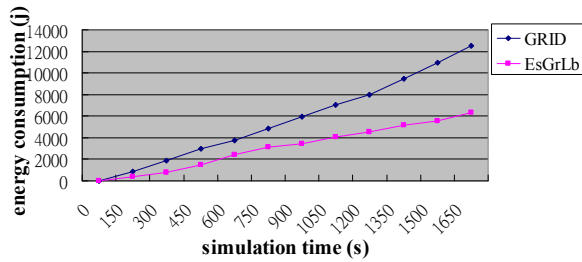


圖 8 開道節點競選之消耗電能(400 個節點)

## 五、結論及未來工作

目前行動隨意網路所遭遇到的最大瓶頸，仍受限於電池電能的因素。本文所提出的 EsGrLb 利用新增的控制參數  $T_i$  與封包格式來改善傳統開道節點廣播 BID 封包之競選機制，以減少網格內推選開道節點所需耗費的電能，此外，EsGrLb 亦能使電能消耗均勻地分擔於個節點上，使得整體網格內節點盡量達到電能負載平衡。因此，節點可節省更多的電能做資料傳輸，同時提升節點存活率。

在一網路節點密度較高的環境下，透過 EsGrLb 可減少更多競爭開道節點所需消耗的電能，但在網路密度較低的環境下，節能的效果就較為有限。因此，採用指向性天線作封包傳送是一個可思考的方向。未來將參考 DRP[9, 10]作更進一步的探討。此外，為達到電能負載平衡，在競選開道節點時可能會發生乒乓方效應，這也是需要再探討的議題。由於目前採用 DSR 為 EsGrLb 的路由建立方是，未來將整合其他路由方式並分析其效能優缺。

## 致謝

本研究獲國科會計畫「代理節點解決無線感測網路之能量洞問題」(計劃編號 NSC-96-2221-E-027-007)與「臺北科技大學 96 年伯樂計劃」贊助，特此致謝。

## 參考文獻

[1] Wen-Hwa Liao, Jang-Ping Sheu, and

Yu-Chee Tseng, "GRID: A Fully Location-Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," *Telecommunication Systems*, Vol. 18, pp. 37-60, 2001.

- [2] Yu-Chee Tseng and Ten-Yueng Hsieh, "Fully Power-aware and Location-aware Protocols for Wireless Multi-Hop Ad Hoc Networks," *Computer Communications and Networks Conference*, pp. 608-613, 2002.
- [3] Y.-C. Tseng and T.-Y. Hsieh, "An architecture for power-saving communications in a wireless mobile ad hoc network based on location information," *Microprocessors and Microsystems* 28, pp. 457-465, 2004.
- [4] D. Johnson, D. Maltz, and J. Jetcheva, "The dynamic source routing (DSR) protocol for mobile ad hoc networks", IETF Internet draft, draft-ietfmanet-dsr-10.txt, July 19, 2004.
- [5] Huey-Ing Liu and Po-Chang Yen, " $LB^2R$ : A Load Balanced & Location Based Routing Protocol for Ad-Hoc Networks," *Vehicular Technology Conference*, Vol. 6, pp. 3970-3974, 2004.
- [6] Baoxian Zhang and Hussein T. Mouftah, "Energy-aware On-demand Routing Protocols for Wireless Ad Hoc Networks," *Wireless Communications and Networking Conferences*, Vol. 12, pp. 481-494, 2006.
- [7] Hyun Kyung Cho, Eun Seok Kim, and Dae-Wook Kang, "A Load-balancing Routing Considering Power Conservation in Wireless Ad-Hoc Networks," *The Sixteenth International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, pp. 128-132, 2005.
- [8] M. Tarique, K. E. Tepe, and M. Naserian, "Energy Saving Dynamic Source Routing

- for Ad Hoc Wireless Networks,” *the Third International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile Ad Hoc, and Wireless Networks*, pp. 305-310, 2005.
- [9] Hrishikesh Gossain, Tarun Joshi, Carlos De Morais Cordeiro, and Dharma P. Agrawal, “A Cross-layer Approach for Designing Directional Routing Protocol in MANETs,” *Wireless Communications and Networking Conference*, Vol. 4, pp. 1976 - 1981, 2005.
- [10] Hrishikesh Gossain, Tarun Joshi, Carlos De Morais Cordeiro, and Dharma P. Agrawal, “DRP: An Efficient Directional Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks,” *Parallel and Distributed Systems*, Vol. 17, Issue 12, pp. 1438-1541, 2006.