

Neighboring-Sensitive and Load Balanced Unequal Clustering Scheme for Wireless Sensor Networks

黃志銘

逢甲大學資訊工程學系

407 台中市西屯區文華路100號

jmhuang@fcu.edu.tw

顏柏偉

逢甲大學資訊工程研究所

407 台中市西屯區文華路100號

m9685306@fcu.edu.tw

摘要

無線感測網路 (Wireless Sensor Networks, WSNs) 中，如何有效延長網路壽命(Network Lifetime)，一直以來都是被廣泛聚焦的議題。階層式叢集繞徑架 (Hierarchical Clustering Based Routing Architecture) 即是其中一種頗具節能效益的繞徑平台。但在此種繞徑環境下，越靠近基地台(Base Station, BS)的叢集卻極易發生所謂的熱點(Hot Spot)問題，導致網路功能驟減。因此，眾多學者曾提出以不等叢集(Unequal Clusters)的作法來改善上述缺點。然而，在多數不等叢集協定的演算法上，並未考量叢集內部成員節點數對不同大小叢集所造成的能源影響，亦未在挑選代傳節點(Relaying Node)時，將其負載流量(Relaying Traffic)因素納入考慮。本篇論文即整合加入兩者的思考，提出一個鄰點感知負載平衡不等叢集繞徑機制(Neighboring-Sensitive and Load Balanced unequal clustering scheme)，簡稱NSLB。透過模擬比較證實，我們所提出的方法，在不同的網路環境中(200*200m²，200及400個節點)，第一個節點死亡時間較過去EEUC協定延遲約72.2~121.7%；較EELTC協定改善了約36.5~37.1%。而在半數(50%)節點死亡時間點上，亦較EEUC延緩約24.8~31.2%；較EELTC改善約14%。

關鍵字：無線感測網路，叢集繞徑協定，不等叢集，鄰點感知，負載平衡。

1. 前言

無線感測網路(Wireless Sensor Networks, WSNs)近年來常被廣泛應用在生態環境監測、程序安全控管、人體健康監督、與許多民生議題上[1][2][13]。無線感測網路通常由數以千百計，且具有限資源(如能源、記憶容量、無線傳

輸功能)的感測節點(Sensor Nodes)所組成[1][5]；這些節點常經由隨機鋪灑(Randomly Deployed)的方式，散置在人員無法輕易到達的地方，自主性的形成網路；或採事件驅動(Event-driven)模式，或依使用者的需求，將感測到的周遭資料傳回基地台(Base Station, BS)，以供後端人員決策判斷。由於設計限制與應用環境特殊性使然，感測節點能源的替換(Replacement)或再補充(Recharging)，通常有其困難度存在。因此，如何有效善用節點寶貴的能源以延長網路壽命，一直都有許多學者從不同的層面提出不同的觀念與作法[4][8][12]。階層式叢集繞徑(Hierarchical Cluster-based Routing)普遍被認為是網路層中頗具能源效益的繞徑方式之一[3][9][14]。然而，在此種繞徑架構下，透過多步代傳(Multi-hop Relay)的方式，將使得越靠近基地台的叢集節點，因代傳頻率過高，而形成所謂的熱點(Hot Spot)區域，導致該區節點能源迅速被用罄，而影響整體網路的運作壽命。有鑑於此，多有學者曾提出以不等大小叢集(Unequal Clusters)共存建構的方式來解決此一問題[11][15][17]。

EECS[17]是一個類似LEACH[6][7]作法的階層式叢集傳輸協定；藉由分散式(Distributed)觀念與地域性資訊(Local Information)建構出多個網路叢集(Cluster)；叢集大小(或稱叢集競爭半徑)則根據叢集首(Cluster Head, CH)與基地台的距離遠近作變化調整，使得越遠方的叢集其成員數越少，好讓叢集首節省下接收內部成員資料傳送時所耗的能源，轉而運用於叢集首對基地台資料傳輸之用。無獨有偶的，同一作者群亦以不同的角度思考，反向提出EEUC協定[10]，使得越靠近基地台的叢集涵蓋範圍變小，以便節省內部傳輸耗損的能源，移作叢集間代傳(Relay)時的補償；同時創造較多的叢集個數，提供更多元的代傳叢集首選擇機會，以解決熱點問題。EELTC[16]則藉由分層(Level)

觀念與時間差的作法來建構不等叢集。它首先以基地台為中心，將網路依序切割成若干個由小至大的環，並透過時間差(同時考量節點剩餘能源、所在層級、與其至層中心的距離權重來形成時間函數)的調整，儘可能讓位於每個環中線的節點擔任叢集首，如此即可使得越靠近基地台的叢集越小，越遠離基地台的叢集越大。EEDUC[11]則綜合了EEUC及EELTC的作法，在叢集競爭半徑與叢集首形成等待時間公式上，納入鄰居節點數的考量，以建構出更具能源效益的不等叢集繞徑架構。

雖然上述各種不等大小叢集的形成機制，或可舒緩部分熱點區域問題，但多數協定在形成叢集期間，並未考慮到距離基地台不同遠近、不等大小的叢集，其所含的鄰居節點數多寡對叢集首能源耗損的影響，亦關係到整個網路壽命。除此之外，它們亦未考量於多步式的繞徑協定上，由於較接近基地台的叢集常需協助較遠者作轉傳的動作。因此，節點代傳的次數也是造成節點能源耗損的一大主因；畢竟頻於轉傳資料的節點，提早死亡的機率將更大。詳細的內容介紹請見第二節。

為了改善上述缺點，我們去蕪存菁，在本論文中提出一個更強化的作法。我們仍然沿用EELTC協定[16]的概念，將感測網路先分割成若干不等大小的環形結構，以建構出多步傳輸(Multi-hop Relay)的基本平台。但不同於EEDUC機制[11]的作法，我們在叢集首的選擇過程中，對競爭節點計時器時間長短的設定，不但考慮其所在環的位置相對鄰居節點數的影響，亦斟酌了節點剩餘能源的因素，以組織更適大小的叢集來節省能源。另外，在資料傳輸階段，對於後續代傳叢集首(Next-hop Relaying Node)的挑選，除了考慮距離與能源因素外，更加入了已代傳次數的因子，做為負載平衡的控制。透過如此的設計，經由模擬比較證實，我們所提出的鄰點感知負載平衡不等叢集繞徑協定(Neighboring-Sensitive and Load Balanced routing protocol, 簡稱NSLB)，對於平均分散節點能源消耗與增加網路壽命，具有顯著的改善效果。在第一個節點與半數節點死亡的時間上，相較於過去的EEUC與EELTC協定均可得到大幅的改善，亦能有效提升網路整體運作功能。

本篇論文的架構將先在下一節中，探討過去一些以不等大小叢集繞徑方式達成網路節點效果的相關研究，並指出其中缺點所在，以對照本篇論文擬改善的方向。接著，我們將在

第三節中，針對我們所提出的鄰點感知負載平衡協定(NSLB)之節能設計觀念作一詳細描述。並於第四節展示我們的模擬結果。最後，則對本論文作簡單的結論。

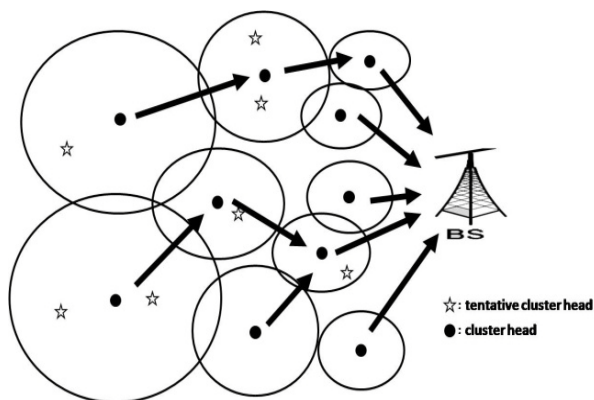
2. 相關研究

在正式說明本論文所提協定的設計理念之前，我們將先於本節中回顧過去一些學者所提出的不等叢集繞徑架構相關研究，並分析其中優、劣點，以引出本文的研究動機與目的。

2.1. EEUC

Li 等人曾在2005年提出以建構不等大小叢集，來解決網路因熱點(Hot spot)傳輸所導致的節點能源耗損過速，網路壽命嚴重縮短的EEUC (Energy-Efficient Unequal Clustering Mechanism) 繞徑機制[10]。EEUC的理論基礎乃是希望透過距離遠近劃分的觀念，使得越靠近基地台的叢集變小，以節省叢集內(Intra-cluster)資料傳輸所耗的能源，轉為叢集間(Inter-cluster)代傳時所需能源的補償。因此，EEUC首先根據其預設的機率門檻值(Threshold)挑選出若干數量的節點作為競爭叢集首(Tentative Cluster Head)，並以其至基地台的距離函數來決定其叢集的競爭半徑，讓越靠近基地台的節點其競爭範圍越小。各競爭叢集首在其所涵蓋的競爭半徑內，互相挑選出最高剩餘能源者作為真正的叢集首(Cluster Head, CH)，以建構出最後的網路叢集結構。如圖一所示，越靠近基地台的熱點叢集所涵蓋範圍將越小，但數量也越多。如此，則可省下叢集內部資料傳輸所耗能源，以供叢集間代傳時運用，並舒緩熱點過度集中所造成節點能源迅速消耗殆盡的危機。然而，由於EEUC是以機率模式挑選競爭叢集首，再加上網路節點隨機配置的特性，仍極有可能形成某些較小叢集內卻具有較多叢集成員的現象。果真如此，叢集首將會浪費過多的能源在內部資料傳輸過程上，反造成代傳效果打了折扣。再者，EEUC機制在叢集間選擇代傳對象時是透過公式(1)的最小值來做為選擇條件。此一作法僅在距離因素作簡單判斷，並未將代傳叢集首的負載情形納入思考。因此，某些代傳叢集首可能將因代傳頻率過高，造成節點與網路提早喪失功能。

$$d_{relay}^2 = d^2(s_i, s_j) + d^2(s_j, BS) \quad (1)$$



圖一 EEUC的叢集架構

2.2. EELTC

EELTC (An Energy-Efficient Level-based and Time-based Clustering Algorithm) 演算法 [16] 則是以基地台為中心，將整個感測區域依序劃分成若干層寬度由小至大的同心環，並根據節點剩餘能源、節點所在環的平均能源、與節點所在環的層次位階(Level)，儘可能挑選出各層次接近中線之節點，利用時間差來競爭擔任叢集首。公式(2)即為各節點競爭叢集首時所需等待的前置時間。之後，叢集首即以各層次環的寬度為其叢集大小。如此，便可由基地台依次向外建構出由小至大的不等叢集結構。

$$T = \omega_1[f(E)] + \omega_2[g(k)] + \omega_3[h(d)] \quad (2)$$

其中 $f(E)$ 表節點剩餘能源函數。

$g(k)$ 表節點所在環的位階函數。

$h(d)$ 表節點距環中心線距離函數。

雖然EELTC利用大小不同的環迅速勾勒出不等叢集平台，亦藉由等待時間差的概念，來減少叢集首選擇相互競爭所消耗的能源。然而，與EEUC相同的是，EELTC在叢集建構階段亦未考慮到叢集首鄰居節點數多寡對能源耗損的影響，故可能造成單一叢集內部具過多、或者毫無其他節點的情形發生。再者，EELTC在挑選代傳叢集首時，同樣亦未將代傳叢集首的負載平衡條件納入考慮。因此，具有最小距離和的叢集首將永遠頻繁地為其他叢集首代傳資料，造成能源迅速流失，讓節點提早死亡，網路提早崩潰。

2.3. EEDUC

Lee等七學者改良了EELTC[16]倒數計時與EEUC[10]叢集競爭半徑的計算方式(分別如公式(3)與(4))，提出了一個分散式不等叢集建

構協定 -- EEDUC (An Energy Efficient Distributed Unequal Clustering Protocol) [11]。EEDUC與前述兩者主要不同之處在於將鄰居節點數併入叢集組織的參考，藉此平衡整體網路的能源消耗。雖然EEDUC將鄰居節點數併入了叢集組織參考，但其對每一叢集首的影響權重卻是一樣的。然而，我們相信距離基地台遠近不同的叢集，其鄰居節點數的影響程度亦應有所分別。因此，針對此點，我們以不同的思考方式，在叢集首競爭計時器的時間設定上，與叢集競爭半徑的調整上，均考慮叢集距基地台的層次距離，納入不同的叢集鄰居節點數比重，讓該方法更趨完善。另外，該論文在叢集間代傳演算法部分並未多有著墨，僅以簡單的挑選鄰居叢集首字眼帶過。對此，我們則改良了EEUC與EELTC的距離條件公式，再加入代傳次數的權重模型控管，來提升負載平衡的效益。詳細作法則於下一節中闡明。

$$\left[(1 - \alpha) \times \frac{N_i}{N_{MAX}} \right] + [\alpha \times V_{random}] \quad (3)$$

$$R_{comp} = \left[\begin{array}{c} 1 - w_1 \left(\frac{TS_i}{TS_{MAX}} \right) - \\ w_2 \left(1 - \frac{E_i}{E_{MAX}} \right) \\ - w_3 \frac{N_i}{N_{MAX}} \end{array} \right] R_{MAX} \quad (4)$$

其中

V_{random} : 為隨機亂數。

TS_i : 為Node_i至BS的距離。

TS_{MAX} : 為Nodes至BS的最遠距離。

R_{MAX} : 為最大叢集半徑。

E_i : 為Node_i的剩餘能源。

E_{MAX} : 為節點最大(最初)能源。

N_i : Node_i的鄰居節點數。

N_{MAX} : 網路節點總數。

w_1 、 w_2 、 w_3 : 為各項值的權重係數。其中

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

3. NSLB不等叢集繞徑協定

針對上述所探討的協定缺點，本論文另外提出一個改良式的不等叢集繞徑機制，我們稱之為鄰點感知負載平衡不等叢集繞徑協定 (Neighboring-Sensitive and Load Balanced Unequal Cluster Routing Protocol)，簡稱NSLB協定。以下即針對該協定的運作流作詳細的描述。

3.1. 網路模型與假設條件

首先，我們針對感測節點及整體網路作以下的假設：

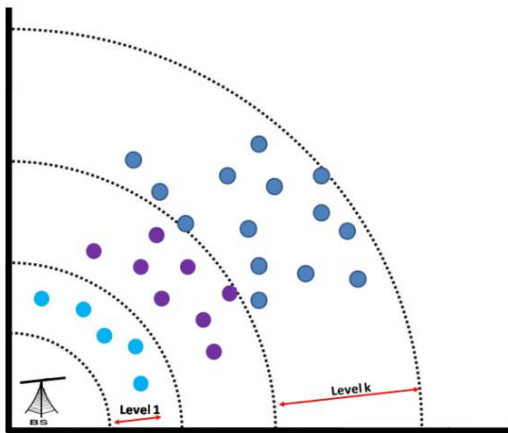
- 假設有 N 個具能源限制的感測節點，並隨機配置在感測區域內。另於感測區域的外圍遠方設置一個基地台(BS)。所有感測節點與基地台經佈署後，便不再移動。
- 所有感測節點功能均相同，且不具備全球定位系統(Global Positioning System, GPS)。
- 感測節點可藉由所接收到的RSSI (Received Signal Strength Indication) 訊號強度，推算出其與訊號源(Source)的距離。
- 感測節點可依其傳輸距離遠近，動態調整其傳輸功率。

3.2. NSLB協定

我們將NSLB協定的運作流程歸納為兩個階段：初始叢集建構階段與資料傳輸階段。

1) 初始叢集建構階段

當感測節點配置好之後，NSLB首先藉由基地台廣播訊號封包，將整個網路切割成如圖二之不同大小的環，並依序附予層次編號(Level number, 1~ k)。同時假設每個環內的節點，其初始廣播半徑為其所在環寬度的一半，以此來作為其尋找鄰居節點的範圍依據。



圖二 NSLB的層次環狀架構圖

感測節點於收到BS廣播封包後，立刻將其本身的剩餘能源及所在層次資訊回傳給BS，據以計算出各個不同環的平均能源與節點總數。之後，連同不等的時間亂數值 T_{random} ，再分別廣播送回各階層內之節點。時間亂數值 T_{random} 是為了讓各環內的節點能依距離基地台的遠近，循序形成叢集的控制參數。各節點於收到BS計算回傳的資料後，即以其初始廣播半徑，廣播統計其鄰居節點數，並利用公式(5)計算其競爭叢集首所需等待的前置時間。

$$\alpha \cdot \left(\frac{[level_{max}]}{2} - level_i \right) \cdot \frac{N_k^i}{N_{max}^i} + \beta \cdot \frac{Energy_{k.res}^i}{Energy_{avg}^i} + \gamma \cdot T_{random} \quad (5)$$

其中：

$level_{max}$ ：為NSLB所切割出環(階層)的總數。

$level_i$ ：節點 i 所在環的階層編號。

N_k^i ：第 i 層環中Node k 的鄰居節點數。

N_{max}^i ：第 i 層環的節點總數。

$Energy_{k.res}^i$ ：第 i 層環中Node k 的剩餘能源。

$Energy_{avg}^i$ ：第 i 層環的平均剩餘能源。

α 、 β 、 γ ：為各項值的權重係數。其中 $\alpha + \beta + \gamma = 1$

公式(5)所以加入了 $\left(\frac{[level_{max}]}{2} - level_i \right)$ 比值的目地，主要是考慮到不同遠近的叢集首，其鄰居節點數多寡對叢集大小應具有不同的影響力。我們希望離BS越近的叢集首，其鄰居節點數越少越好，藉此形成較多的叢集。因此，當 $\left(\frac{[level_{max}]}{2} - level_i \right)$ 為正值時，表示該節點位於較前方的環。根據公式(5)，當其鄰居節點數較多時其等待時間相對較長，因此發佈競爭為叢集首的機率會較低。反之，代表該節點位於離BS較遠的環內。因此，當其鄰居節點數越多時，應提早發佈為叢集首。

當節點等待時間倒數計時達零時，節點再根據公式(6)計算出其競爭叢集首的廣播半徑，發佈競爭封包，參與競爭，形成最後的叢集首。同時，於相同環內且在該叢集首競爭半徑範圍內的其餘節點，將被強迫放棄自己的競爭權利，歸屬於該叢集之一份子。圖三即為競爭後所形成之叢集架構。

$$R_{comp} = \left[\begin{array}{l} 1 - \omega_1 \left(1 - \frac{TS_i}{TS_{MAX}} \right) - \\ \omega_2 \left(1 - \frac{E_i}{E_{MAX}} \right) - \\ \omega_3 \cdot \left(\frac{[level_{max}]}{2} - level_i \right) \cdot \frac{N_i}{N_{MAX}} \end{array} \right] \cdot R_{max}^i \quad (6)$$

TS_i ：為Node i 至BS的距離。

TS_{MAX} ：為Nodes至BS的最遠距離。

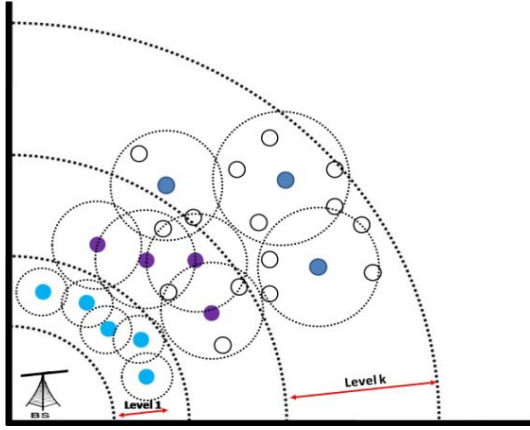
R_{max}^i ：為第 i 環間距的一半。

E_i ：為Node i 的剩餘能源。

E_{max} ：為節點最大(最初)能源。

ω_1 、 ω_2 、 ω_3 ：為各項值的權重係數。其中

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$$



圖三 NSLB的叢集架構

公式(6)中，我們同樣也使用 $(\frac{level_{max}}{2} - level_i)$ 的設計。當叢集首位於離基地台較近之環內時，其競爭半徑會因此減小，使得形成的叢集數量增加，讓後方的叢集首有更多的代傳叢集選擇機會。相反的，當叢集首位於較遠的環的時候，則競爭半徑會相對較大，叢集數量便因此而縮減。畢竟，此位置的叢集首擔任代傳的機會較少。因此，只需將其大部分的能源花費於內部節點的資料傳輸即可，如此達到平均分散能源的目的。

2) 資料傳輸階段

在多步式叢集繞徑協定的資料傳輸過程中，首重如何挑選出一個最具能源效益的代傳叢集首(Relay Node)。雖然傳輸距離的遠近嚴重影響節點的能源消耗，但代傳次數的多寡，亦會造成節點剩餘能源的不平衡，同樣也不可忽視。因此，我們在挑選代傳叢集首時，除了考慮節點剩餘能源，節點至BS的距離外，另外加入了其過去代傳次數作為因子。公式(7)可視為每一代傳候選叢集首(設為Node_j)擔任代傳工作的成本負擔。傳送節點(Sender)根據公式(8)挑選出具最小代傳總成本(TC_i)的叢集首擔任代傳工作。圖四為代傳叢集首挑選演算法。

$$C_j = \delta_1 \cdot E_{res}^j + \delta_2 \cdot D_{BS}^j + \delta_3 \cdot Relaytimes \quad (7)$$

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1$$

$$TC_i = \rho \cdot D_j^i + (1 - \rho) \cdot C_j \quad (8)$$

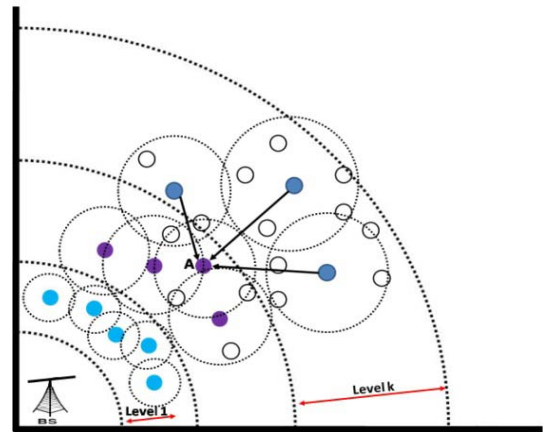
D_j^i : 表Node_i至Node_j的距離

藉由此種控管方式，當某一叢集首位傳次數過多時(如圖五之節點A)，便不易再被高階叢集首選為代傳節點。如此便可提昇平均分散能源消耗的效益。

```

/* Relay Node Selection Algorithm */
1: for each sending cluster head i
2:   if  $D_j^i < D_{BS}^i$  and  $D_{BS}^j < D_{BS}^i$  and
        $Level_j < Level_i$  and Nodej is within
       Nodei's transmission range
3:     Add Nodej to Relay list with Nodej's  $C_j$ 
4:   endif
5:   Calculate TC for each node in Relay list
6:   If Relay list is empty
7:     Nodei's Relay node ← BS
8:   else
9:     Nodei's Relay node ← node k s.t
       min( $TC_k$ ) is true
10:  endfor
    
```

圖四 代傳叢集首挑選演算法



圖五 NSLB的資料傳輸

4. 模擬與結果

為了驗證我們所提鄰點感知負載平衡不等叢集繞徑機制(NSLB)的能源使用效益，本節將展示我們透過MATLAB[18]工具多次模擬，並與其他相關機制比較的結果。表一是我們採用的模擬環境與參數值。之後的圖形結果則是在單一環境下10次模擬的平均值。

至於能源消耗的計算，我們採用較常被接受的下列模式[7]:

$$E_{Tx}(l, d) = E_{Tx-elec}(l) + E_{Tx-amp}(l, d)$$

$$= \begin{cases} lE_{elec} + lE_{efs}d^2 & d < d_0 \\ lE_{elec} + lE_{emp}d^4 & d \geq d_0 \end{cases} \quad (9)$$

$$E_{Rx}(l) = E_{Rx-elec}(l) = lE_{elec} \quad (10)$$

其中， $E_{Tx}(l, d)$ 表示傳送 l -bit資料到距離 d 公尺外之節點所需消耗的能源； $E_{Rx}(l)$ 則表示節點接收 l -bit的資料所需的耗能； $E_{Tx-elec}$ 、 $E_{Rx-elec}$ 、及

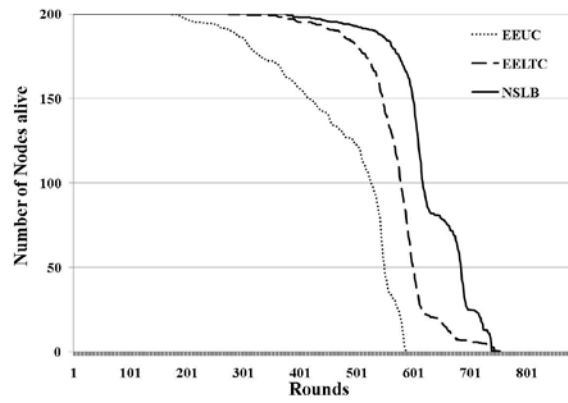
E_{TX-amp} 則分別表示傳送、接收與放大傳輸訊號所需消耗的功率。此外，我們另假設每個叢集首將消耗 E_{DA} 的能源單位來進行資料整合(Data Aggregation)工作。

另外，為了將模擬結果與EELTC、EEUC兩協定作較公平的比較，我們除將模擬環境儘可能一致化外，也將NSLB協定中公式(5)等待時間的權重係數 α 、 β 、 γ 設定與EELTC相同，分別對應其 $h(d)$ 、 $f(e)$ 、與 $g(k)$ 函數的係數。而對競爭半徑上的 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 這三個係數，為了觀察鄰居節點數的影響程度，我們則刻意將 ω_3 的係數拉高至0.5的值來做模擬；公式(7)Relaytimes的係數 δ_3 亦是如此。至於其他權重係數則採隨機決定方式處理。

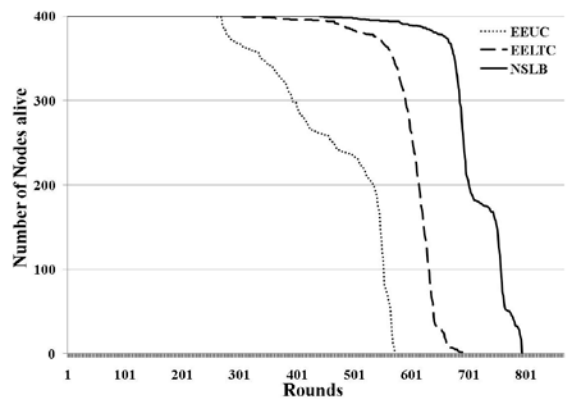
表一 模擬環境與參數

參數名稱	值
網路大小	100x100m ² ~300x300 m ²
感測節點總數	50、100、200、400
基地台位置	(50,150);(100,350);(150,450)
節點初始能源	0.5 J
E_{elec}	50 nJ/bit
ϵ_{fs}	10 pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	0.0013 pJ/bit/m ⁴
E_{DA}	5 nJ/bit/signal
資料大小	4000 bits
$\omega_1, \omega_2, \omega_3$	0.2,0.3,0.5
$\delta_1, \delta_2, \delta_3$	0.3,0.3,0.4
α, β, γ	0.2,0.2,0.6
ρ	0.6

圖六與圖七為在200m*200m的環境中，分別配置200個節點與400個節點，模擬三種不等叢集繞徑協定的網路壽命(即能源效益)結果。圖中可以發現，我們所提出的NSLB協定，在第一個節點死亡時間(Rounds)上，較EEUC延遲約72.2~121.7%；比EELTC延後約36.5~37.1%。而在半數節點死亡時間點，則較EEUC改善約24.8~31.2%；較EELTC提升約14%。且整體網路壽命也有所增長。此乃因為我們所提出的方法：1) 在叢集首競爭等待時間與競爭半徑的設計上，考量了不同遠近距離的叢集，其鄰居節點數對網路能源耗損有不同的影響程度；2) 同時考慮了代傳叢集首的剩餘能源、傳輸距離與代傳次數，來避免選擇同一叢集首疲於替其他叢集首執行代傳動作的窘境，以平衡節點能源耗損。

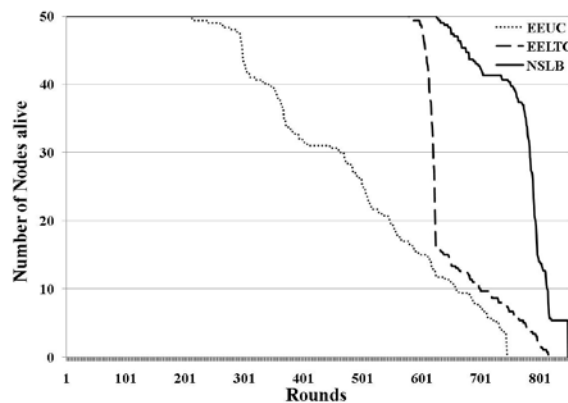


圖六 能源效益比較圖(200*200m²，200個節點)

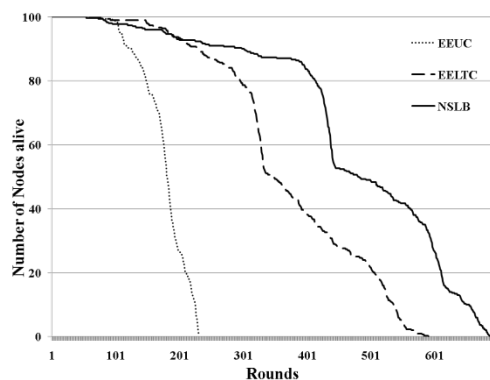


圖七 能源效益比較圖(200*200m²，400個節點)

圖八與圖九則顯示不同網路環境下的模擬結果。圖形亦證實我們所提出的方法在不同的網路大小下，依然有著類似的效益。其中較值得一提的是，圖九中似乎顯示NSLB與EELTC在第一個節點死亡時間上會較EEUC為差，此乃因為目前我們僅簡單地將大型模擬網路切割成三個階層(環)，故易造成遠方叢集半徑過大，單一節點迅速耗盡能源。相信若透過適量階層環的分割，必能提升其效果。



圖八 能源效益比較圖(100*100m²，50個節點)



圖九 能源效益比較圖(300*300m², 100個節點)

事實上，在前述的模擬過程中，我們為了與EELTC及EEUC協定作公平比較，多數公式中的權重係數都採用與兩者相同或隨機之值，並未以最佳化的狀況顯示，這部分目前我們仍在繼續模擬中。我們相信，當NSLB在最佳環境係數支援下，應會具有更佳的效益才是。

5. 結論

本篇論文我們提出了一個鄰點感知負載平衡不等叢集繞徑協定，簡稱NSLB。首先透過階層分割技術建立不等叢集的基本平台，再藉由考量鄰居節點數對距離基地台不同遠近叢集的耗能影響差異，調整叢集內部傳輸的負擔，組織更適當的叢集架構。之後，利用叢集首已代傳次數頻率的控管，更進一步的平衡熱點區的能源消耗。模擬證實，我們所提的NSLB繞徑機制，相較於過去的一些相關研究(如EELTC與EEUC兩協定)，確實可改善網路中熱點區域能源耗損不平均的現象，以延長網路壽命。

參考文獻

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Commun. Mag.* vol 38, pp. 102-114, 2002.
- [2] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," *Proceedings of the IEEE Wireless Communications*, vol. 11, pp. 6-28, 2004.
- [3] K. H. Chen, J. M. Huang, and C. C. Hsiao, "CHIRON: An Energy-Efficient Chain-Based Hierarchical Routing Protocol in Wireless Sensor Networks," *Proceedings of International Conference on Wireless Telecommunications Symposium*, Apr. 2009. Prague, Czech Republic.
- [4] S. J. Choi, K. H. Kwon, and S. J. Yoo, "An Efficient Cross-Layer Based Flooding Algorithm with Retransmission Node Selection for Wireless Sensor Networks," *International Conference on Advanced Information Networking and Applications - Workshops*, pp.941 – 948, 2008.
- [5] C. Y. Chong and S. P. Kumar, "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges," *Proceedings of the IEEE*, vol.91, pp. 1247-1256, 2003.
- [6] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '00)*, January 2000.
- [7] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transaction on Wireless Commun.*, vol. 1, Issue 4, pp. 660-670, 2002.
- [8] J. M. Huang and C. J. Chang, "Energy Efficient Wave-Font Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology and Applications (ICITA2008)*, Jun. 2008. Cairns, Australia.
- [9] J. M. Huang and P. H. Yen, "CB-DHRP: A Cluster-Based Directed Hierarchical Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS'09)*, Mar. 2009. Greece.
- [10] C. Li, M. Ye, G. Chen, and J. Wu, "An Energy-Efficient Unequal Clustering Mechanism for Wireless Sensor Networks," *IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, (MASS 2005)*, 8pp, 7-10 Nov. 2005.
- [11] S. Lee, J. Lee, H. Sin, S. Yoo, S. Lee, J. Lee, Y. Lee, and S. Kim, "An Energy Efficient Distributed Unequal Clustering Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceeding of world academy of science, engineering and technology*, vol. 36, pp. 1274-1278, DEC. 2008.
- [12] B. H. Liu, N. Bulusu, H. Pham, and S. Jha, "CSMAC: A novel DS-CDMA based MAC protocol for wireless sensor networks," *IEEE Communications Society Globecom Workshops*, pp. 33 – 38, 2004.
- [13] D. Pompili, T. Melodia, and I. F. Akyildiz, "A CDMA-based Medium Access Control

- for Underwater Acoustic Sensor Networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, Issue 4 , pp.1899 – 1909, April 2009.
- [14] C. Schurgers and M. B. Srivastava, “Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks,” *Proceedings of IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, vol. 1, pp. 357-361, 2001.
- [15] S. Soro and W. B. Heinzelman, “Prolonging the Lifetime of Wireless Sensor Networks via Unequal Clustering,” *Proceedings of IEEE Parallel and Distributed Processing Symposium*, 8 pp , 4-8 April 2005.
- [16] F. Tashtarian, A. T. Haghghat, M. T. Honary, and H. Shokrzadeh, “A New Energy-Efficient Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks,” *IEEE International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, (SoftCOM 2007)*, 6pp, 27-29 Sept. 2007.
- [17] M. Ye, C. F. Li, G. H. Chen, and J. Wu, “EECS: An Energy Efficient Clustering Scheme in Wireless Sensor Networks,” *Proceedings of IEEE Int’l Performance Computing and Communications Conference (IPCCC)*, pp. 535-540, 2005.
- [18] The MatWorks – MATLAB and Simulink for Technical Computer:
<http://www.mathworks.com/ducation>