

在無線異質感測網路下具能源感知之重建叢集機制

朱鴻棋 朝陽科技大學 資訊與通訊系 助理教授 hcchu@cyut.edu.tw	紀孟宏 朝陽科技大學 資訊與通訊系 研究生 s9730613@cyut.edu.tw
--	--

摘要

在無線感測網路中，每個感測節點的能源限制將直接影響整個無線感測網路的生存時間，所以如何節省能源消耗是一個重要的議題。由於在實務應用中，因感測節點存在環境的差異賦予每個感測節點不同的任務，所形成的異質感測網路將會更加導致網路的能源負載不一及減少有效的生存時間(Lifetime)。因此本文提出一個在無線異質感測網路下具能源感知之重建叢集機制，將各種影響叢集能源效益的重要因素與感測節點傳送頻率因素透過分析，制定出各叢集頭最適合的重建叢集門檻值(Threshold)，藉由減少重建叢集次數來節省更多能源。

關鍵詞：無線異質感測網路、叢集架構、能源負載平衡。

Abstract

In wireless sensor networks, energy constraint of each sensor node will affect lifetime of wireless sensor network, so how to save energy is an important issue. In practice, due to environment difference of sensor nodes, different tasks are assigned to each node, and the resulting heterogeneous wireless sensor network will be more likely to cause inconsistency of network energy load and reduce effective lifetime. Thus, this paper presented a re-clustering mechanism with energy awareness under heterogeneous wireless sensor network. The mechanism can analyze key factors affecting cluster energy efficiency and transmission frequency of sensor nodes and create an optimal threshold of re-clustering for each cluster head to reduce frequency of re-clustering to save energy.

Keywords: Heterogeneous wireless sensor network, Clustering, Energy load balance.

1. 前言

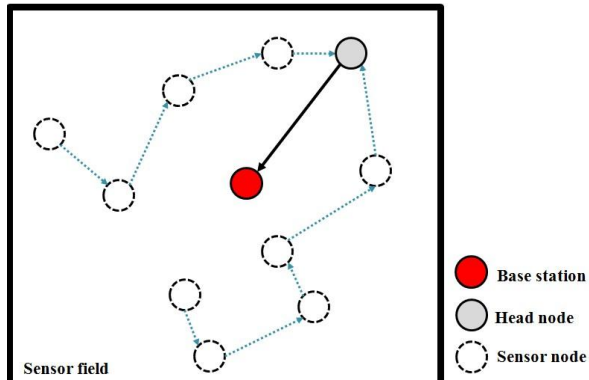
近年來，隨著微機電系統與無線網路通訊技術的蓬勃發展，使得無線感測網路(Wireless Sensor Networks, WSN)[1, 2]的應用範圍愈來愈廣泛，無線感測網路是一種由眾多的感測節點(Sensors)所構成的網路系統，感測節點之間的溝通是採用無線的通訊方式，並且可以感測周圍環境的變化，如溫度、溼度等資料。無線感測網路一般以同質性感測節點來感測環境資料，由於應用環境的需求增加，許多應用上使用異質性感測節點來彌補同質性感測節點的不足，這種由異質性感測節點所組成的感測網路稱為無線異質感測網路(Heterogeneous wireless sensor network, HWSN)。

由於感測節點具有成本低、體積小、低功耗等特性，因此感測節點在感測環境中進行無線通訊、環境感測、資料運算與儲存等能力都將受到其硬體上限制。另外，由於每個感測節點的能源限制直接影響整個無線感測網路的生存時間，因此如何節省能源消耗以延長網路生存時間(Lifetime)是近年來相當熱門的議題。

為了增加網路生存時間，最重要的就是有效的減少能源的消耗。資料聚集(Data Aggregation)是一種能夠有效地減少能源消耗的方法。資料聚集是感測節點將感測資料傳送至某些聚集節點，這些聚集節點將收集到的資料集合並刪除其重複資料後再傳送至基地台(Base Station)，透過這樣的方式可減少資料直接傳送至基地台的次數，以及重複資料的傳送，而達到有效節省能源的效果。在許多資料聚集的研究中，以鏈狀架構(Chain-based)及叢集式架構(Cluster-based)較為常見。

鏈狀架構(Chain-based)(如圖一所示)，是一種將網路中感測節點串連成一條鏈狀，並依照此鏈狀進行通訊。鏈狀架構的典型代表作為電力效益聚集(Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems, PEGASIS)[3]，它的運作方式首先將網路中距離基地台最遠的節點當作

起始點，然後使用貪婪演算法依序將距離本身最近的節點加入鏈中，當網路中所有節點皆加入鏈中後，選擇鏈中其中一個節點當作鏈頭(Head Node)，其餘節點將資料依照鏈狀路由方式依序聚集至鏈頭，最後透過鏈頭將聚集過後的資料傳送至基地台。此種方法節點間以最短通訊距離傳輸資料可以節省資料傳送所消耗的能源，但是當網路節點數較多或者距離基地台較遠的節點擔任鏈頭，都將會導致收集資料的時間過長的問題。

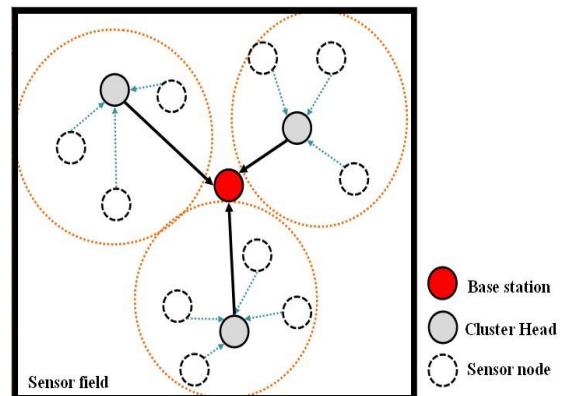


圖一、鏈狀架構

叢集式架構(Cluster-based)[4-6]，如圖二所示，同樣以資料聚集的原理來建立網路拓樸，主要的運作方式，首先在感測環境中選擇特定的感測節點來擔任叢集頭(Cluster Head)，其餘的感測節點根據制定好的條件選擇加入最適當的叢集頭成為其叢集成員(Cluster Member)形成一個完整的叢集(Cluster)，而每個叢集頭負責收集該叢集內所有叢集成員的感測資料，再將收集到的資料傳送至資料收集中心或基地台，透過叢集頭將所接收的資料進行壓縮及刪減重複資料的過程，以達到節省能源的效果。由於叢集式架構中，叢集頭不僅要負責一般的感測工作，還必需處理及轉送整個叢集的資料，因此所需要消耗的能源將會比一般的感測節點來的更多，造成叢集頭節點將會較快死亡，所以整個網路也較容易產生能源負載不平衡的問題。此外，一旦叢集頭死亡的情況陸續發生，則必需發送大量控制封包，以重新選擇新的叢集頭與建立新的叢集，然而這將會有額外的能源消耗，造成更大的負載。

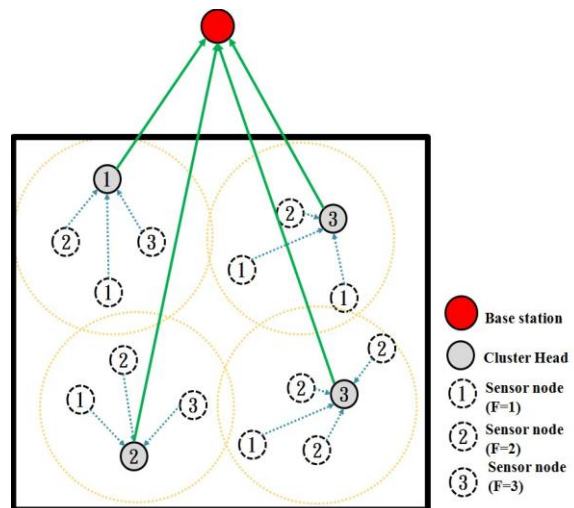
隨著科技的發展，使得無線感測網路的應用範圍愈來愈廣泛，由早期偵測環境大多為險峻的火山口、軍事戰場等一般人難以接近的地區，現今這種技術的應用漸漸地於日常生活環境中產生，如智慧居家、醫療照護等。在現今眾多的感測環境下，所感測的資料也日益多樣

化。因此，考量現今針對特定區域、特定資料的感測，感測節點設置感測頻率的差異來感測不同時效性的資料。



圖二、叢集式架構

在我們考慮的無線異質感測網路中，感測節點擁有三種不同的感測頻率，如圖三所示，感測節點在異質感測網路下將導致更嚴重的能源負載不平衡問題。在本篇論文中，為了考量符合現實上的應用環境需求，我們將提出在無線異質感測網路下具能源感知之重建叢集機制來達成減少能源消耗與達成能源負載平衡的目的。



圖三、無線異質叢集架構環境圖

本文其餘部分的組織架構如下，第二部分介紹目前改善無線感測網路能源效益的相關研究，第三部分則說明我們提出的能源感知重建叢集機制及詳細運作流程，第四部分為針對本篇論文所提出機制的模擬結果與效能分析，最後為本論文的結論。

2. 相關工作

由於無線感測網路的發展性質及應用上的擴展，因此許多學者不斷地在其各種環境與架構中進行深入的研究。每個感測節點的能源限制以及網路節點能源負載平衡與否將會直接影響整個無線感測網路的生存時間(Lifetime)，其中影響的因素包括重新傳送資料造成額外能源的消耗、資料聚集節點的負載過重造成的負載不平衡、傳送距離的能源消耗等，因此針對其各方面影響提出改善的方法。

在重新傳送資料造成額外能源耗方面，頻道配置資料聚集(Integrated Channel Assignment and Data Aggregation Routing Problem, ICADAR)[7]，提出頻道配置的方法與資料聚集路由做結合，由於無線網路節點間傳送資料所可能造成資料碰撞，將以 CDMA/CA 方式進行重新傳送以確保資料的送達，當資料碰撞頻繁將會造成資料重傳次數增加，而造成額外的能源消耗。ICADAR 將資料聚集路由中各相鄰節點配置不同的頻道，藉由這種方法減少資料碰撞所引發的額外能源消耗。當頻道量有限制而造成無法在聚集路由中各節點配置頻道時，它將新建一條較長但可完整配置的路徑來傳送，以傳送至基地台。這種方法的缺點是當節點佈署過於密集，必需使用較多頻道來配置，在頻道數有限的情況下則無法將所有相鄰節點配置不同頻道，因而使用最長的新路由來傳送資料造成能源的浪費。而備援叢集頭機制(Achieving Reliability Over Cluster-Based Wireless Sensor Networks Using Backup Cluster Heads)[8]指出在網路運作至後期時，所造成封包遺失率高達 18%至 20%，造成這樣的原因主要因為後期各節點能源不足，而叢集頭又需消耗較龐大能源，將造成在叢集頭未將收集到之資料傳送至基地台就能源耗盡，需要等待叢集頭重新選取才能進行資料重傳，因此造成許多資料封包傳送的遺失以及延遲，故作者提出一個在叢集式架構下增加備援叢集頭(Backup Cluster Heads)的解決方法，有效的減少過多的封包遺失率，增加可靠性。這個方法主要運作是在選擇叢集頭的階段多選擇一個備援叢集頭告知其他成員節點，這個備援叢集頭在平時運作時如同一般普通節點將感測資料傳送至叢集頭，直至網路後期叢集頭能源不堪負荷時，叢集頭發送訊息告知備援叢集頭，再直接由備援叢集頭直接接替資料傳送至基地台，並廣播更換叢集頭的通知訊息給其他成員節點。

在資料聚集節點負載過重的影響方面，低

能源叢集階層架構(The Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH)[9, 10]的方法，以一個機率值在每回合亂數決定叢集頭，其餘節點則選擇加入最近的叢集頭，而沒擔任叢集頭的節點則在下一個回合會增加其當選叢集頭的機率。此機制不需透過基地台挑選叢集頭，因此可以避免多餘的延遲，快速的佈署叢集及重建叢集。另外，透過每回合的更換叢集頭可以達到分散能源負載。這種方法不需繁瑣的設定即可維持一定的能源負載平衡，因此在各種無線感測網路應用中，皆有不錯的能源效益。

在傳送距離所影響的能源消耗上，能源感知叢集通訊協定(Inter-Cluster Communication Based Energy Aware and Fault Tolerant Protocol, ICE)[11]提出各叢集間的通訊方式以提供基於查詢、事件驅動的無線感測網路在各方面更有效率，如節省能源、資料傳送率、封包延遲率等。由於傳送資料所消耗電量與所傳送的距離有很大的影響，所以它提出當網路下兩個叢集必須傳送資料時，它比較其叢集內最接近與次接近節點，並透過這兩個節點輪流來傳送資料，而叢集內其他節點則啟動睡眠模式僅具感測功能，若兩個叢集之間距離超出範圍則以多重跳躍(Multi-Hop)方式由介於兩個叢集中間的節點進行轉傳。這種方法雖然多方面提升網路效率，在能源效益方面主要以睡眠模式的啟用來達到能源的節省，受限於事件驅動的環境，而且容易造成較嚴重的能源負載不平衡問題。一個改善網路負載不平衡的方法，同心圓能源效益叢集(An Energy Efficient Concentric Clustering Scheme ,EECCRS)[12]以同心圓方式劃分等級區域，同等級區域內節點以鏈狀架構方法運作，每個等級區域內鏈頭(Head Node)以鏈狀串連聚集資料並依序轉送至基地台。作者發現這樣的方法在整體網路會發生離基地台愈遠的節點所消耗能源愈少，所以作者在等級區域的劃分方法中，以節點殘留能源為主要考量，將距離愈近的等級區域劃分能源較多，距離愈遠則能源愈少，如此一來則將可改善網路負載不平衡的問題。然後以此同心圓劃分等級並以鏈狀架構運作的方式，雖可增加能源的負載平衡，主要延遲(Delay)問題卻依然存在，在大型網路下將會導致嚴重延遲(Delay)。

除上述研究之外，在無線感測網路中，也有許多考量異質節點，在優先權擁塞控制方法(Priority-based Rate Control for Service Differentiation and Congestion Control, PRCCC)[13]，考量感測資料的異質性，針對維

護不同資料的傳送品質(QoS),所考慮的網路環境中每個感測節點擁有多種資料感測能力,且各種感測資料擁有不同重要性等級,為了達到傳送資料的 QoS 需求,PRCCC 將資料依照重要性區分優先權等級,每個中繼節點收到資料則將資料依優先權等級分類,最後依優先順序製造一個時間排程將資料傳送出去。

由於我們考慮的無線異質感測網路在時效性需求較大,上述研究中,叢集式的資料聚集架構較符合時間延遲上的限制,因此,我們以叢集式架構為方向,並提出一個能源感知重建叢集機制來改善能源負載不平衡,增加網路生存時間。

3. 能源感知重建叢集機制

在本章節中,我們將介紹本文所使用的能源消耗模組及能源感知重建叢集機制的詳細運作流程。

3.1 能源消耗模組

本文所使用的能源消耗模組[9]如下,一個感測節點傳送 k 位元訊息到 d 距離的目的節點的能源消耗是:

$$T_x = \begin{cases} k * E_{elec} + k * \varepsilon_{fs} * d^2, & d < d_o \\ k * E_{elec} + k * \varepsilon_{mp} * d^4, & d \geq d_o \end{cases} \quad (1)$$

一個感測節點接收 k 位元訊息所消耗的能源是:

$$R_x(k) = k * E_{elec} \quad (2)$$

E_{elec} 是通訊模組的電子元件所需要的能源, ε_{fs} 與 ε_{mp} 分別是兩種傳輸模型的放大器傳送訊息所需要的能源。此能源消耗模組是根據理想傳輸模型(Free Space Model)與多重路徑干擾模型(Multipath Fading Model)兩種傳輸模型所制定,如果傳輸距離在門檻值(d_o)以內使用理想傳輸模型(d^2 能源消耗),若超過了門檻值則使用多重路徑干擾模型(d^4 能源消耗)。

3.2 運作流程

本文考慮的無線異質感測網路,依照節點傳送頻率(Frequency)區分為三種感測節點,如

圖三所示。 $F=n$ 表示節點在單位時間內傳送 n 次資料,在本文中設定 $n=1、2、3$,即其有 3 種不同傳送頻率的感測節點,而隨著 F 的增加,節點的能源消耗也隨之增加。我們所提出的能源感知重建叢集機制主要利用叢集頭的殘留能源來判斷是否更換叢集頭,定義了一個殘留能源門檻值(E_{th})於每個叢集頭,如式(3),門檻值的制定依照節點當選叢集頭時的殘留能源來計算該節點消耗能源的比例,當叢集頭殘留能源少於門檻值時,即重新進行叢集頭的選擇。

$$E_{th} = E_i \times \left(\frac{D_{i,bs}}{D_{max}} \right) \times \left(\frac{C_i}{C_{avg}} \right) \quad (3)$$

其中 E_i 為節點 i 成為叢集頭時的殘留能源, $D_{i,bs}$ 為節點 i 至基地台距離, D_{max} 為該網路至基地台最遠之距離, C_i 為節點 i 在叢集中與其餘節點通訊成本總和, C_{avg} 為叢集中節點平均通訊成本,如式(4)所示。

$$C_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^M Si_{Cost}}{M} \quad (4)$$

公式(4)為叢集內節點平均通訊成本計算公式,其中 M 為叢集內節點數量, Si_{Cost} 為該節點與叢集內其餘節點通訊成本總和。在 Si_{Cost} 的計算我們以節點間距離搭配能源消耗模組並與節點本身的傳送頻率計算傳送成本。以下為本文重建叢集演算法之虛擬碼。

Phase I: Initialize

1. $N \leftarrow$ all of sensor
2. $P \leftarrow$ total cluster number
3. **for** $i=1; i \leq P; i++$
4. $Cluster_Head \leftarrow$ random sensor $j, j \in N$
5. $E_{\perp} = CH_i$ residual energy
6. Broadcast control message
7. **end for**
8. sensor join nearest CH
9. **for** $i=1; i \leq P; i++$
10. All sensor of Cluster i compute cost
11. Compute C_{avg}
12. Compute $E_{th} = E_i \times \left(\frac{D_{i,bs}}{D_{max}} \right) \times \left(\frac{C_i}{C_{avg}} \right)$
13. **End for**

Phase II: Re-clustering

14. **repeat**

```

15. for  $i=1; i \leq P; i++$ 
16.   if  $E_i < E_{th}$ 
17.     new  $CH_i \leftarrow \text{Max sensor residual energy}$ 
18.     Broadcast control message
19.     Update  $C_{i_{avg\_cost}}$ 
20.     Update  $CH_i E_{re\_threshold}$ 
21.   end if
22. end for

```

Phase I 為系統初始化的動作(Step1~12)，以隨機方式挑選出叢集頭，並廣播節點加入訊息，被挑選的叢集頭記錄當下之殘留能源(E_i)以作為爾後評估更換叢集頭之依據。其餘節點接收叢集頭廣播資訊後選擇加入最大訊號強度的叢集頭並形成叢集。在叢集形成之後，每個節點計算本身殘留能源與通訊成本，並廣播至該叢集內其他節點。而每個叢集頭計算本身距離比例以及通訊成本比例，並制定殘留能源門檻值(E_{th})。Phase II 為重建叢集機制(Step13~21)，在每回合的網路運作過程中，各叢集頭每回合評估本身殘留能源是否低於所制定的門檻值，若高於門檻值，則不必更換叢集頭，如此便不需要每回合皆更換叢集頭，反之，若低於門檻值則叢集內所有節點重新計算殘留能源及通訊成本，並更換最大殘留能源之節點成為新的叢集頭。以此重建叢集機制每回合判斷叢集頭的更換直至所有節點死亡為止。

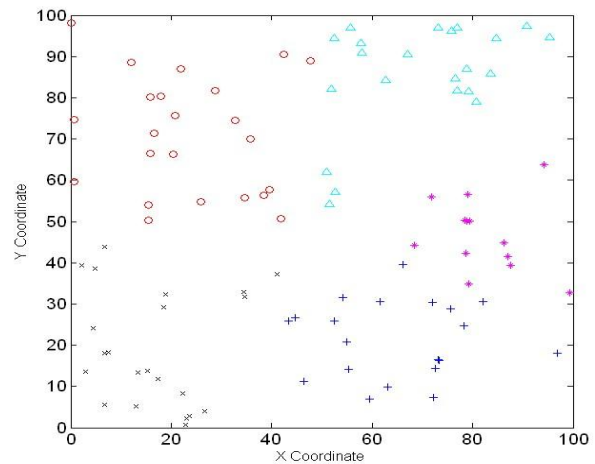
4. 模擬結果

由於考慮 LEACH 方法在各種網路環境中皆有不錯的效能，而且本文所考量的異質性網路環境，為了考量維持網路一定的資料時效性，所以不考慮其他具有能源效益卻必需擁有一定延遲時間的方法，因此本文所提出的能源感知重建叢集機制在模擬實驗中，分別針對網路生存時間、叢集頭平均殘留能源與網路總能源消耗進行模擬，並與 LEACH 方法做比較。

在我們模擬實驗設定部分，模擬的網路環境為在 $100m \times 100m$ 的區域中隨機部署 100 個感測節點，劃分五個叢集，如圖四所示，各叢集節點分別以 $\circ$ 、 $+$ 、 $\times$ 、 $\triangle$ 、 $*$ 符號區分。基地台設置在座標(50, 175)感測區域以外的位置，其中所有節點隨機設定傳送頻率，分別 1 次/1 回合，2 次/1 回合，3 次/1 回合，初始的能源為 0.5 焦耳(Joule)，節點通訊範圍(Communication Range)為 50m，其他相關模擬環境參數如表一。

表一、模擬實驗參數表

Simulation parameters	
Threshold distance(d_o)	75m
E_{elec}	50 nJ/bit
E_{da}	5 nJ/bit
ϵ_{fs}	10 pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	0.0013 pJ/bit/m ⁴
Data packet size	2000 bits
Control packet size	100 bits

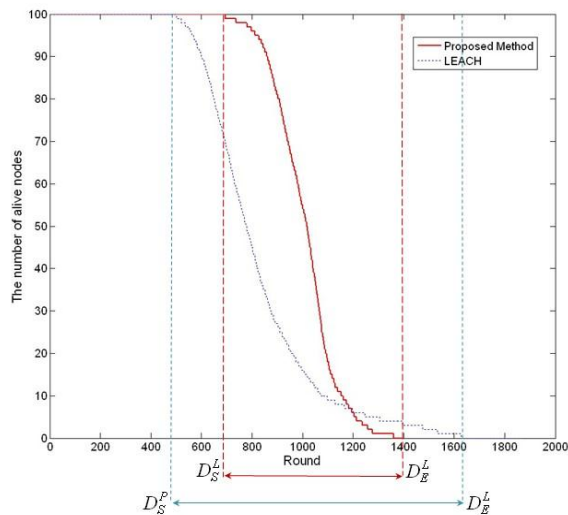


圖四、感測節點佈署模擬環境圖

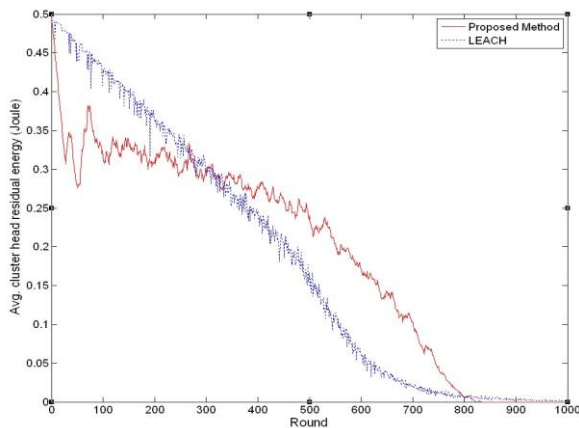
在網路生存時間的模擬結果中，如圖五所示，圖中 D_S^L 、 D_S^P 分別表示 LEACH 與本文方法的節點開始死亡時間， D_E^L 、 D_E^P 分別表示 LEACH 與本文方法的全部節點死亡時間。在 D_S 部分，可以觀察出 LEACH 方法約於第 440 回合開始出現節點死亡，而我們提出的方法約於 640 回合才開始出現節點死亡；而 D_E 部分，LEACH 方法約於 1620 回合結束時所有節點死亡，而我們的方法則約於 1400 回合結束時所有節點死亡。此在模擬結果 D_S 比 LEACH 來得晚，因此可以說明在我們提出的方法可有效延長了網路生存時間，因為在感測網路中，若有節點死亡則可能產生感測區域內無法完全偵測，造成整個網路功能產生缺失。除此之外，基於能源負載的平衡必需使得每個節點死亡時間趨於一致，此模擬結果可以觀察出我們提出的方法在節點死亡的時間區間 ΔD ，我們的方法小於 LEACH。其中 $\Delta D = D_E - D_S$ 。因此可以說明於能源負載上，我們的方法比 LEACH 更能分散每個節點的能源負載，而達到有效的能源負載平衡。

在 LEACH 方法與本文方法的叢集頭平均殘餘能源，如圖六所示，LEACH 隨著回合數的增加，叢集頭的平均殘留能源也快速的遞

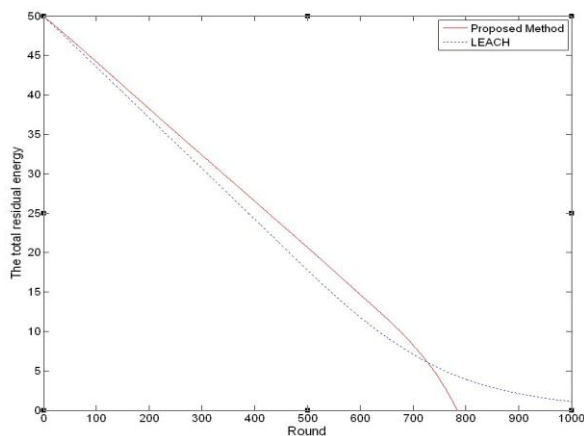
減，可以判斷 LEACH 因為每回合更換叢集頭的關係，而我們的方法使用門檻值來判斷是否重新選擇叢集頭，因此擁有高負載能力的節點擔任叢集頭的時間愈長，反之則愈短。因此在叢集頭平均殘餘能源的模擬結果，可以判斷我們的方法比 LEACH 為有效益。



圖五、網路生存時間



圖六、叢集頭平均殘餘能源



圖七、網路總能源消耗

另外，在網路總能源消耗的模擬結果，如圖七所示，可以觀察出我們方法在網路進行期間，顯示中在考量無節點死亡的完整偵測網路下總能源皆比 LEACH 來得多，因此可以說明我們的方法有效的減少能源的消耗而保留較多的能源。

綜合上述各項模擬結果，顯示我們的方法能夠有效的節省整體的能源消耗，並且達到有效的能源負載平衡的效果。

5. 結論

在無線感測網路的快速發展之下，在各種應用上的無線異質感測網路需求也漸漸增加，因此本文考量節點因感測資料差異影響傳送頻率的情況下，各節點能源消耗不穩定，所以需要改善其能源負載不平衡之狀況，以達到節省能源的效果。本文以 Phase I 計算節點傳送頻率、通訊成本及基地台距離比例，建立殘留能源門檻值，Phase II 評估重建叢集門檻值與相關因素的更新。透過 Phase I 及 Phase II 來完成所提出在無線異質感測網路下具能源感知重建叢集機制。在我們模擬實驗中，進行了網路生存時間、叢集頭平均殘餘能源與網路總能源消耗的評估，結果顯示本文提出的方法皆可達到優異節省能源的消耗及能源負載平衡，可使無線異質感測網路有效延長生存時間，使其能發揮更大的效益。

參考文獻

- [1] J. Yick, B. Mukherjee and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer Networks*, Vol. 52, No. 12, pp. 2292-2330, Aug. 2008.
- [2] H. S. Ahn and K. H. Ko, "Simple Pedestrian Localization Algorithms Based on Distributed Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 56, No. 10, pp. 4296-4302, Oct. 2009.
- [3] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems," *IEEE Aerospace Conference*, pp. 1-6, Mar. 2002.
- [4] T. Kaur and J. Baek, "A Strategic Deployment and Cluster-Header Selection for Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 55, No.4, pp. 1890-1897, Nov. 2009.
- [5] G. Venkataraman, S. Emmanuel and S.

- Thambipillai, "Energy-Efficient Cluster-Based Scheme for Failure Management in Sensor Networks," ***IET Communications***, Vol. 2, Issue 4, pp. 528-537, Apr. 2008.
- [6] E. Sakhaee and A. Jamalipour, "Stable Clustering and Communications in Pseudolinear Highly Mobile Ad Hoc Networks," ***IEEE Transactions on Vehicular Technology***, Vol. 57, No. 6, pp. 3769-3777, Nov. 2008.
- [7] H. H. Yen and C. L. Lin, "Integrated Channel Assignment and Data Aggregation Routing Problem in Wireless Sensor Networks," ***IET Communications***, Vol. 3, Issue. 5, pp. 784-793, May. 2009.
- [8] S. U. Hashmi, H. T. Mouftah, N. D. Georganas, "Achieving Reliability Over Cluster-Based Wireless Sensor Networks Using Backup Cluster Heads," ***Global Telecommunications Conference***, pp. 1149-1153, Nov. 2007.
- [9] W. B. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," ***IEEE Transactions Wireless Communications***, Vol. 1, No. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.
- [10] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," ***The 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences***, Vol. 2, pp. 1-10, Jan. 2000.
- [11] A. Boukerche, A. Martirosyan and R. Pazzi, "An inter-cluster communication based energy aware and fault tolerant protocol for wireless sensor networks," ***ACM Transaction on Mobile Network Application***, Vol. 13, No. 6, pp. 614-626, Dec. 2008.
- [12] M. W. Park, J. Y. Choi, Y. J. Han and T. M. Chung, "An Energy Efficient Concentric Clustering Scheme in Wireless Sensor Networks," ***Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC***, pp. 58-61, Aug. 2009.
- [13] M. H. Yaghmaee, D. Adjeroh, "Priority-based rate control for service differentiation and congestion control in wireless multimedia sensor networks," ***Computer Networks***, Vol. 53, Issue 11, pp. 1798-1811, 2009.