

# 叢集無線感測網路具能源效益的負載分攤繞徑協定

## An Energy-Efficient Load-Amortized Routing Protocol for Clustering Wireless Sensor Networks

黃志銘

陳信營

逢甲大學

逢甲大學

資訊工程學系

資訊工程學系

e-mail: jmhuang@fcu.edu.tw

e-mail: M9317092@fcu.edu.tw

### 摘要

本篇論文乃針對目前一些以LEACH[6]為藍本的叢集式繞徑協定缺點，提出一個兼具改善多部分能源效益的負載分攤繞徑協定。我們藉由(1)加入節點剩餘能源的考量因素，慎選叢集首(Cluster Head, CH)；(2)分散叢集首，降低叢集重疊機會，來縮短大部分節點因傳輸距離過長所導致的能源浪費；(3)在叢集內增加聚集節點(Aggregation node)與傳送節點(Transmission node)，分擔叢集首的工作負載，平衡節點與叢集首能源的流失，以延長網路壽命。經由模擬比較，證明我們所提的負載分攤繞徑協定，在大型感測區域(200\*200)下，比RCCT協定[3]平均提升約56%，比LEACH協定[6]平均提升約171%，比LEACH-m協定[4]平均提升約3倍的網路運作時間(Network lifetime)。

**關鍵詞：**叢集、網路壽命、無線感測網路、繞徑協定

### 1. 簡介

無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)通常是一個由數以千、百計的感測節點(Sensor node)與基地台(Base Station, BS, 或Sink)所組成的通訊網路。其內的感測節點大都由四個部份構成：即感測元件、處理元件、無線通訊元件、與能源元件[1]；並具有體積小、資源有限(如記憶體與電池能源)、與低成本的特性。感測節點負責周遭事件偵測、資料處理、與訊息傳送等工作；基地台則負責收集感測節點所回傳的資訊，提供後端決策人員的統計與分析。目前常見的無線感測網路應用包括：敵

情資料的蒐集、生態環境的監控、火山活動的監測、居家保全與醫療監控...等[11]。

由於無線感測節點通常都採用隨機方式佈建在廣大、危險、惡劣、或是人員不易到達的環境，對節點能源裝置的更換或補充常是困難且不可行的。當感測節點能源耗盡時，無線感測網路將喪失其功能。因此，如何有效的運用節點能源，提升無線感測網路的系統壽命(System lifetime)，是一個一直被熱烈討論的議題。

通常用來降低無線感測節點能源耗損的技巧大致上有：

- 儘量縮短兩節點之間的傳輸距離：由於感測節點能源耗損與傳輸距離成平方比，因此，資料傳送距離的長短，將嚴重影響節點能源的消耗。
- 採用資料融合(Data aggregation)技術，降低傳輸的資料量：由於感測節點能源的耗損亦與傳輸資訊的長度有關；因此，感測節點通常於接收到其他節點的資料後，會與自己的資料融合，縮短資料量，再傳送給下一個感測節點，藉以達到節省能源的目的。
- 利用休眠機制(Sleeping mode)減少能源浪費：當感測節點不需參與運作(Inactive)時，便讓節點進入休眠狀態，以節省能源流失。
- 減少傳輸次數：儘量縮減節點資料傳送次數，亦可降低節點通訊能源之耗損。

叢集式無線感測網路(Clustering WSN)，是一種將感測區域內的感測節點以叢聚特性區分成若干個叢集(Cluster)的通訊網路(如圖1)。每一個叢集內挑選一個節點，稱之為叢集首(Cluster Head, CH)；叢集內的感測節點先

將偵測資料傳送至叢集首，再由叢集首進行融合後，以單點直接 (Single-hop) 或多重轉傳 (Multi-hop relay) 的方式送回基地台。

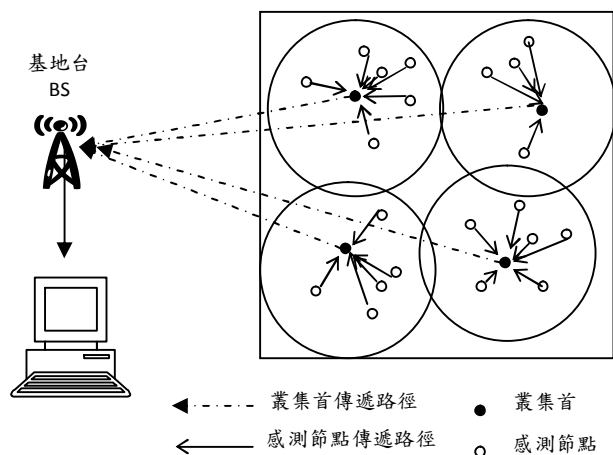


圖 1. 叢集式無線感測網路架構

LEACH [6] 是叢集架構中最具代表性的繞徑協定之一；以 LEACH 協定為基礎而演變出來的相關協定更是不勝枚舉，如 [3][4][5][6] 均是。但綜合各種機制的作法，大都存在下面幾個共同的缺點：（詳細演算法與原因詳見下一章節）

- (1) 叢集首的選擇均採用隨機與輪流的方式，未能將節點剩餘能源列入考慮條件，導致叢集首快速耗盡能源，影響網路運作壽命。
- (2) 叢集首因為隨機選擇可能產生過度集中，此時若未考慮將其分散，容易導致部分節點需以極長之距離與叢集首通訊，浪費寶貴的能源，而影響網路壽命。
- (3) 叢集首在叢集運作過程中因工作負荷過重（接收、整合、及傳送資料），導致能源迅速流失，嚴重影響網路壽命。

為了解決上述問題，我們在本文中提出一個兼具改善多部份能源效益的負載分攤繞徑協定。我們 (1) 藉由加入節點剩餘能源的考量因素，慎選叢集首 (Cluster Head, CH)；(2) 藉由分散叢集首降低叢集重疊的可能性，讓大部分節點以較短的傳輸距離選擇其歸屬的叢集，減少節點因傳輸距離太長所引起的能源耗損；(3) 藉由在叢集內增加聚集節點 (Aggregation node) 與傳送節點 (Transmission node)，分擔叢集首的工作負載，減緩節點與叢集首能源的迅速流失，以延長網路壽命。我們經由模擬比較，證明所提的負載分攤繞徑協定，在大型感測區域 (200\*200) 下，比同類型

的 RCCT 協定 [3] 平均提升約 56%，比 LEACH 協定 [6] 平均提升約 171%，比 LEACH-m 協定 [4] 平均提升約 3 倍的網路運作時間 (Network lifetime)。

我們將在第二章節中探討過去幾個以 LEACH 協定為藍本而演變出來的叢集式繞徑協定做法，並指出其優、缺點。第三章節則詳細介紹我們所提出的叢集式負載分攤繞徑協定觀念與作法。並於其後章節中詳述我們的模擬環境與結果。第五章節則為本篇論文的結論。

## 2. 相關研究

叢集式繞徑架構因具有良好的網路擴充性 (Scalability)，是目前無線感測網路繞徑協定研究上經常採用的平台。在此種架構下所發展出來的繞徑協定相當豐富。以下則列舉幾個代表性的作法，並探討其優、缺點。

### 2.1 LEACH 協定 [6]

低能源調適叢集階層架構 (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH) [6] 是無線感測網路叢集式架構中最具有代表性的繞徑協定之一。其主要概念乃是於資料收集前 (即設定階段)，節點藉由隨機亂數與輪流的方式擔任叢集首，其叢集首挑選的門檻值 (Threshold)  $T(n)$ ，如下列公式；當節點產生的亂數值小於  $T(n)$  時則為叢集首，其餘節點則各自尋找距離自己最近的叢集首加入形成叢集。之後，即進入通訊階段。

$$T(n) = \frac{P}{1 - P \times \left( r \bmod \frac{1}{P} \right)} \quad \forall n \in G$$

$$T(n) = 0 \quad \forall n \notin G$$

其中  $P$  代表每回合叢集首選擇百分比， $r$  為當時的回合數、 $G$  表示尚未為成為叢集首節點的集合、 $n$  表節點的 ID。

LEACH 協定最主要的目的是希望利用分散節點能源消耗的手段，延長網路運作壽命。但由於採用隨機與輪流的方式挑選叢集首，故也存在下列一些缺點：

- 叢集首挑選時未考慮節點能源條件：在叢集的繞徑協定中，叢集首由於需負擔比較繁重的工作，因此將會迅速消耗能源。LEACH 協定在叢集首選擇過程中，並未將

節點剩餘能源列入考慮條件，容易造成部份節點快速死亡，影響網路壽命。

- 叢集重疊性太高：由於 LEACH 協定在挑選叢集首時，未能考慮讓叢集首之間的距離儘量錯開，以致極容易造成叢集太過集中或重疊，因此，部分叢集內的節點，需以較長的傳輸距離將資料回傳叢集首(如圖 2)，導致節點能源消耗過速，影響網路壽命。
- 叢集首負載太重：由於叢集首選擇時即未考量能源因素，再加上網路運作過程中叢集首須同時擔任叢集內節點的資料收集、融合與傳送工作，作業負擔沉重，節點能源易迅速消耗；因此，若能在叢集中挑選其他節點，分攤叢集首(作業)能源負載，當可延長節點能源耗盡的時間點。

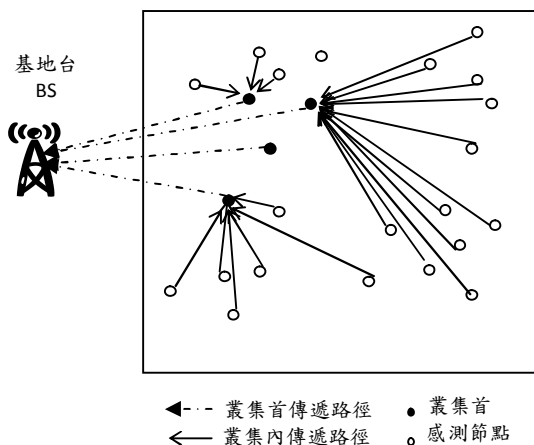


圖 2. 部份叢集首因過度集中，形成節點長距離傳輸

## 2.2 LEACH-m 協定[4]

為了改善LEACH協定未能將節點剩餘能源列入叢集首選擇條件的缺點，Handy等人修正了LEACH協定中叢集首選擇的門檻公式( $T(n)$ )，加入了節點剩餘能量因子(如下列公式)，降低門檻值，讓剩餘能源越高的節點越有機會擔任叢集首[4]。為了模擬比較方便，本篇論文暫且將其協定稱之為LEACH-m (Modified LEACH)。

$$T(n)_{new} = \frac{P}{1 - P \left( r \bmod \frac{1}{P} \right)} \frac{E_{n\_current}}{E_{n\_max}}$$

其中 $E_{n\_current}$  表節點當時的剩餘能源、 $E_{n\_max}$  為感測節點初始能源(Initial energy)。

事實上，LEACH-m協定只解決了叢集首選擇上部分(能源)問題，其他類似LEACH協定中叢集太過集中或重疊，或叢集內節點傳輸距離過長，或沒能分擔叢集首工作負荷等點問題仍未列入考慮。因此，對延長網路壽命的效果仍然有限。

## 2.3 RCCT 協定[3]

RCCT(Robust Clustering with Cooperative Transmission for Energy Efficient Wireless Sensor Networks)繞徑協定亦採用了類似LEACH的觀念實作；不同點在於RCCT設定了一個叢集首間隔距離門檻值，利用動態調整該門檻值，以讓感測網路的叢集首數量儘量達到預設比率值 $P$ (即5%)。除此之外，叢集首亦會在收到其內感測節點資料後，找尋自己叢集內具最大能源的感測節點，由其擔任資料回傳基地台的工作。以分擔叢集首的能源消耗。

雖然RCCT透過上面兩種技巧，間接減輕能源耗損，但在叢集首選擇階段仍未考慮能源的條件，且亦未考量叢集內節點傳輸資料至叢集首時，因距離過長導致的能源浪費。

綜合上述幾個協定的優、缺點，我們在下一章節中提出一個考慮多方能源效益的負載分攤叢集式繞徑協定。

## 3. 負載分攤繞徑協定

接下來我們將介紹我們所提負載分攤繞徑協定的設計理念與演算法。

### 3.1 網路模式之假設

在詳細說明之前，先描述我們對網路環境所做的一些假設。

- (1) 感測節點採隨機鋪灑的方式，散置於感測區域內，且配置後位置即不再變動。
- (2) 感測節點均能提供自己的剩餘能源資訊(即Energy aware)。
- (3) 感測節點與基地台之間的位置、距離關係均為已知(即Location aware)：此部份可利用全球定位系統(GPS, Global Positioning System)裝置，或藉由三點定位的方式計算得知[12]。

### 3.2 負載分攤繞徑協定

我們所提出的負載分攤繞徑協定，在設計理念與運作上計分4個階段：

第一階段為叢集首挑選與叢集形成階段：

為了讓叢集首有更充裕的能源擔任領導者的工作，我們仍然採用LEACH-m[4]隨機與輪流的理念，且融入節點剩餘能源的考量，作為叢集首選擇條件。即便如此，但為避免叢集首因過度集中與重疊，導致部分節點需使用較長的距離與叢集首通訊，我們另外於此階段加入了叢集首彼此間距離須滿足最低門檻值的條件，儘量錯開叢集分布，讓節點更有機會找到較近的叢集歸屬。叢集首間距離最低門檻值的計算，設定為叢集平均覆蓋面積的半徑( $r$ )；即

$$r = \sqrt{\frac{A}{p * N * \pi}}$$

其中  $A$  為感測區域面積； $p$  為叢集首挑選比率； $N$  為網路中節點總數。

第二階段為叢集內聚集節點(Aggregation node)挑選階段：

雖然在第一階段叢集首選擇過程中，我們已將能源因素列入考慮，但為避免叢集內一般節點，因資料傳回叢集首距離過長產生的能源浪費，我們透過叢集首的協助，利用在叢集內建立多個資料聚集節點(Aggregation node)的方式縮短節點傳輸距離，並分攤叢集首融合資料的能源負擔。

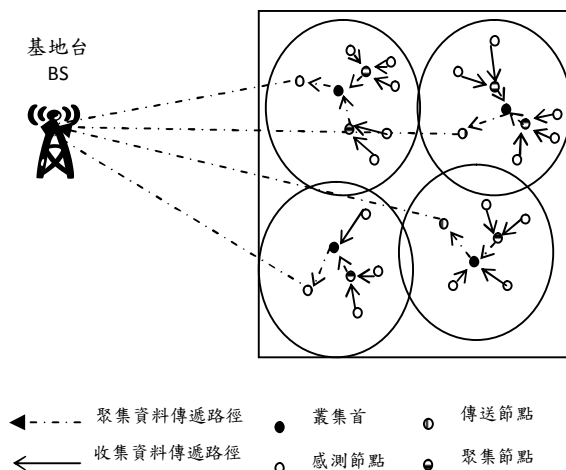


圖 3. 具聚集節點與傳輸節點之叢集式網路架構

我們以叢集首為中心，將叢集範圍切割成四個象限，每一個象限中尋找一個聚集節點幫

助叢集首收集、融合該區域內感測節點的資料(如圖3)。

聚集節點的選擇則須符合下列條件：

- 聚集節點的剩餘能源必須高於該象限中所有節點的平均剩餘能源：由於聚集節點必須收集、融合該象限內一般感測節點的資料，能源消耗較大，因此我們設定聚集節點的剩餘能源必須高於象限中所有節點的平均能源值。
- 聚集節點至象限內各節點的距離平方和應為最小：如此該象限內所有節點傳輸資料所耗的能源當為最經濟。
- 若同時存在多個合乎距離最短條件的候選節點，則選擇最近叢集首之節點擔任之，以減低資料回傳叢集首之耗能。

當然，若該象限中沒有感測節點或只有一個感測節點存在時(為當然聚集節點)，則該象限不須選擇聚集節點。

第三階段為叢集內傳輸節點(Transmission node)決定階段：

傳統上，叢集式繞徑協定中叢集整合後資料的傳輸，都是藉由各個叢集首直接回傳基地台。但可能因傳輸距離過長嚴重影響節點能源消耗。為了讓叢集首的能源消耗進一步被分攤掉，我們另外在叢集內選擇一個傳送節點(Transmission node)負責傳輸工作。叢集首利用下列包含距離與剩餘能源二個參數的權重公式決定何者擔任傳輸節點的角色。

每一感測節點( $i$ )的權重值

$$W(i) = e_i / e_{init} * c1 + (1 - sd_i / \max(sd)) ^ 2 * c2$$

其中

$$c1 + c2 = 1$$

$i$ :表叢集內的節點 id

$e_i$ : 節點  $i$  剩餘能源

$e_{init}$ : 節點  $i$  初始能源

$sd_i$ : 節點  $i$  到基地台的距離

$\max(sd)$ : 叢集中節點到基地台的最大距離

叢集首於計算出自己叢集中每一個感測節點的權重值後，選擇最大者擔任之(若相同，則選擇能源較多者)。上述公式中的權重常數，經

由模擬結果得知，當 $c_1=0.7$ ， $c_2=0.3$ 時，可以得到較好的網路壽命時間。

第四階段為資料傳輸階段：

當上述三階段完成後網路則進入資料傳輸階段。叢集內的一般節點先將資料傳送至其所在象限內的聚集節點後，由聚集節點轉傳至叢集首整合後。之後，再經叢集內的傳輸節點回傳至基地台完成工作。

### 4. 模擬環境與結果

為瞭解本文所提出的繞徑協定對網路整體能源效益的影響，我們利用MATLAB模擬工具，對網路壽命(Network lifetime)進行評量(Evaluation)。我們定義網路壽命為網路中第一個感測節點死亡時所模擬過的回合數(Round)。我們亦定義網路中每一個感測節點傳送一次資料至基地台所經過時間為一個回合(Round)。另外，為了更清楚瞭解本文所提協定中因加入聚集節點與傳輸節點，對網路能源所產生的不同影響，我們將本文所提的協定再細分成兩種協定，其一是只在叢集中僅加入傳輸節點的協定，我們稱之為Proposed-1；其二則是在叢集中同時考慮傳輸節點與聚集節點存在的協定，我們稱之為Proposed-2。我們對每一種環境各進行100次的模擬，並取其平均結果與其他相關的協定(如LEACH、RCCT、與LEACH-m等)做比較。以下是我們模擬環境參數與能源模式的描述。

#### 4.1 能源模式與環境參數

我們採用為大多數文獻所接受的能源模式[6]，如下列公式(1)(2)：

$$E_{tx} = \begin{cases} E_{elec} * k + emp * k * d^4, & \text{if } d > d_0 \quad (1) \\ E_{elec} * k + efs * k * d^2, & \text{if } d \leq d_0 \quad (2) \end{cases}$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{efs}{emp}}$$

上列公式( $E_{tx}$ )為節點傳送 $k$  bits資料量至另一個距離 $d$ 公尺外的感測節點所需消耗的功率。節點接收所耗能源( $E_{rx}$ )則為公式(3)。表1為本篇論文所採用的模擬參數值。

$$E_{rx} = E_{elec} * k \quad (3)$$

表 1. 模擬參數值

節點數(N)	100, 200
模擬區域(A) (x * y)	100*100 ~ 500*500
基地台 BS 位置	(x*0.5, y+50)
節點初始能源	0.5J
封包長度	4000 bits
控制封包長度	100 bits
Free space (efs)	10 pJ/bit/m <sup>2</sup>
Multi-path fading (emp)	0.0013 pJ/bit/m <sup>4</sup>
Data aggregation (EDA)	5 nJ/bit
E <sub>elec</sub>	50 nJ/bit
Threshold distance (d <sub>0</sub> )	87.7 m

#### 4.2 模擬結果與比較

由於無線通訊中傳輸距離與能源成平方比，我們首先分析我們所提負載分攤協定中，加入聚集節點前、後所影響傳輸距離的差異。圖4~圖7為四種不同模擬環境所產生的結果。由圖中，我們發現在叢集內加入聚集節點確實能縮減節點傳輸距離(約25~38%)，節省能源耗損。尤其在網路內節點數較少的情況下更是明顯。至於其他環境的模擬結果，亦有相同之結論，限於篇幅，在此省略。

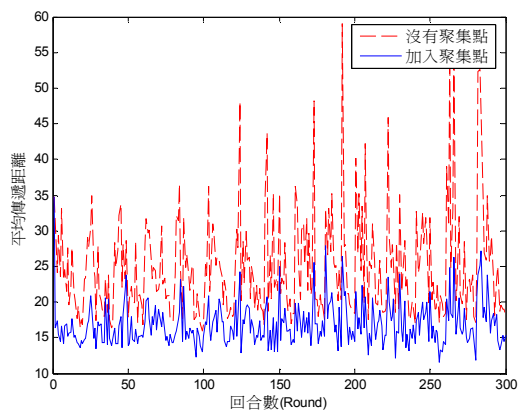


圖4. A=100\*100、N=100 加入聚集點前後，節點傳送資料之平均距離

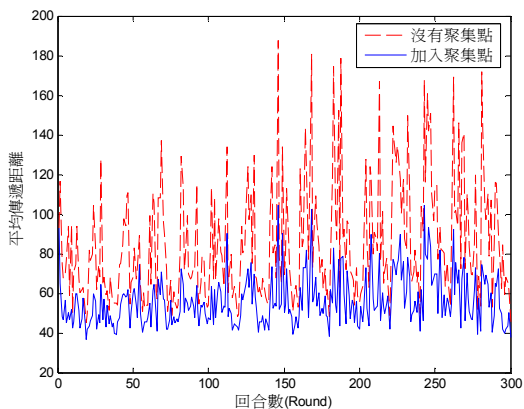


圖5.  $A=300*300$ 、 $N=100$  加入聚集點前後，節點傳送資料之平均距離

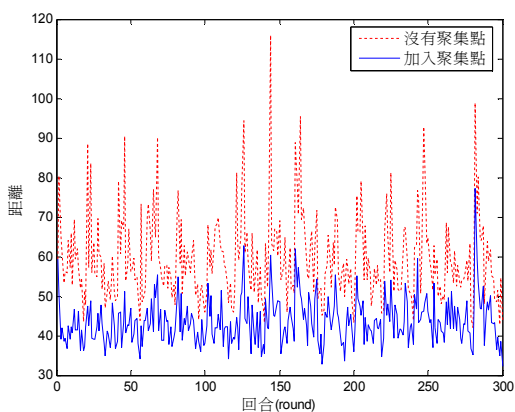


圖6.  $A=300*300$ 、 $N=200$  加入聚集點前後，節點傳送資料之平均距離

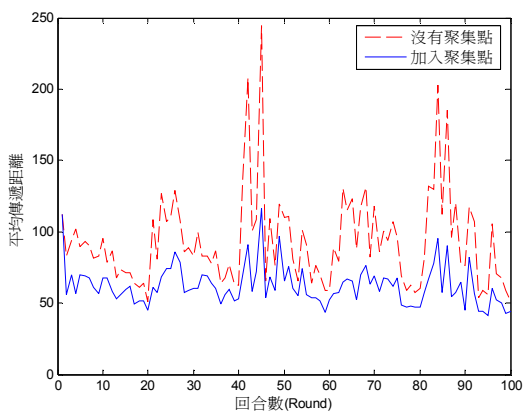


圖7.  $A=500*500$ 、 $N=200$  加入聚集點前後，節點傳送資料平均距離

圖8~圖11顯示四種環境下，我們所提負載分攤繞徑協定與其他相關繞徑協定(LEACH、RCCT、LEACH-m)單一節點平均能源消耗之比較。圖中顯示，叢集內增加聚集節點(Proposed-2)比未加入聚集節點(Proposed-1)

確實能收到節省節點能源的效果。除此之外，圖中亦顯示出我們所提出繞徑協定的節點平均耗能，不但較其他協定更為經濟，亦較平均。推究其原因，乃因我們所提負載分攤繞徑協定在叢集形成過程中，考量了多方面節能條件；同時，亦考慮節點通訊傳輸時距離過長，與負載分攤的問題，綜合各方面所累積的效益。

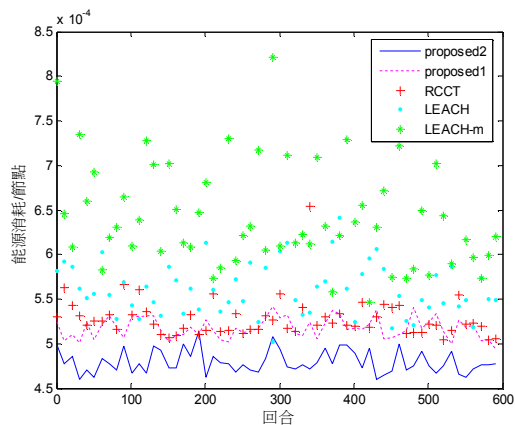


圖8.  $A=100*100$ 、 $N=100$  節點平均消耗能源

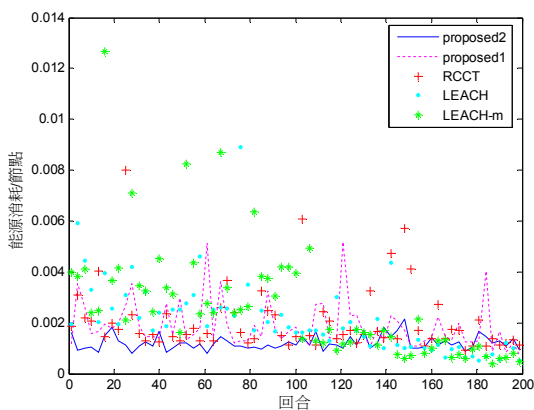


圖9.  $A=300*300$ 、 $N=100$  節點平均消耗能源

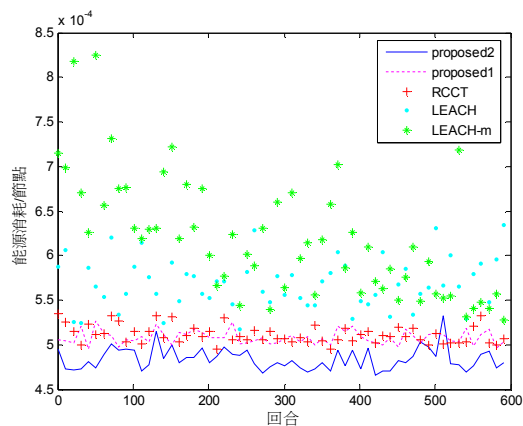


圖10.  $A=100*100$ 、 $N=200$  節點平均消耗能源

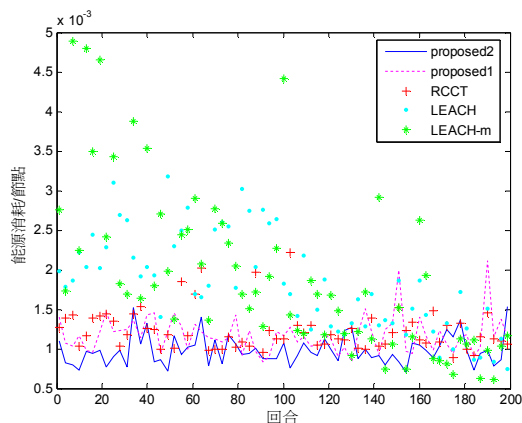


圖 11. A=300\*300、N=200 節點平均消耗能

最後我們比較各相關協定的網路壽命(圖 12~圖 17)。雖然在小區域(A=100\*100)的表現上,我們所提出的 Proposed-1 協定,並未有太多的改善,但 Proposed-2 卻分別提升了 RCCT、LEACH、與 LEACH-m 協定約 57%、16%、與 32%的網路壽命。但在大型感測區域時(A=200\*200~400\*400),比 RCCT 協定平均提升約 56%~78%,比 LEACH 協定平均提升約 171%~295%,比 LEACH-m 協定平均提升約 3~4.6 倍的網路壽命。綜合其原因,乃由於 Proposed-2 能(1)善用剩餘能源,避免低能源節點成為叢集首;(2)藉由錯開叢集,避免叢集首集中造成節點傳送資料到叢集首的距離過長;(3)增加傳送點分擔叢集首傳送資料能源;(4)增加聚集節點分擔叢集首融合、接收的工作和縮短節點傳送資料距離。

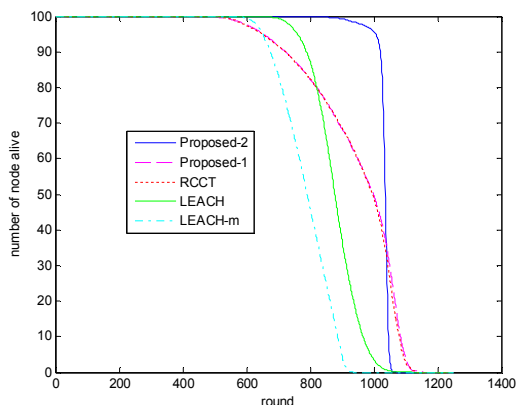


圖 12. 網路壽命比較; A=100\*100、N=100

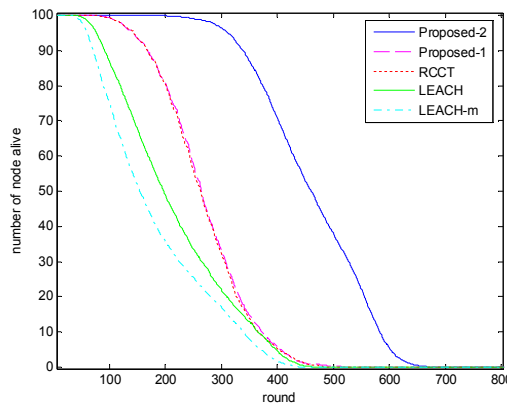


圖 13. 網路壽命比較; A=300\*300、N=100

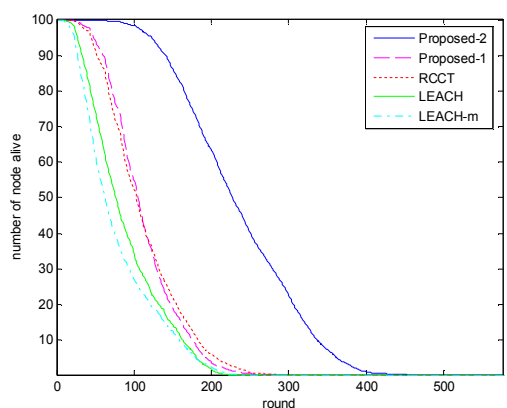


圖 14. 網路壽命比較; A=400\*400、N=100

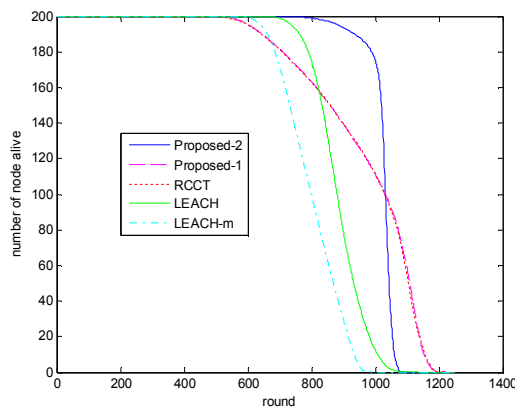


圖 15. 網路壽命比較; A=100\*100、N=200

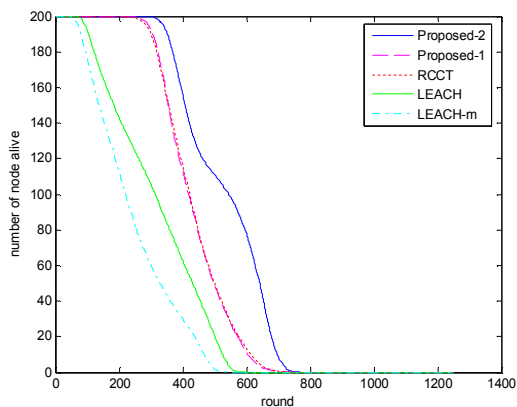


圖 16. 網路壽命比較；A=300\*300、N=200

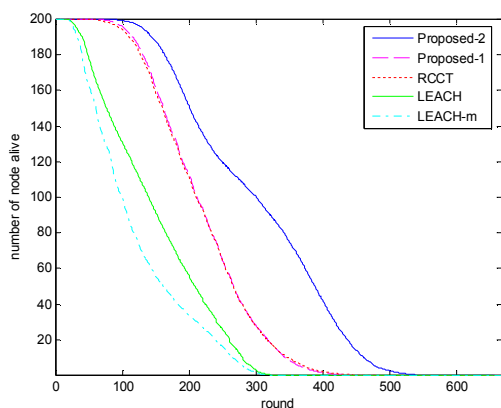


圖 17. 網路壽命比較；A=400\*400、N=200

## 5. 結論

本篇論文乃針對過去一些以LEACH協定為基礎所變化發展出來的繞徑機制缺點，做進一步的能源效益改善，並提出一個較佳的負載分攤繞徑協定。我們在叢集首選擇條件考量加入剩餘能源因素，並以須滿足最低間隔距離分散形成叢集，讓節點能以較近的距離歸屬鄰近的叢集首，大量節省兩者間傳輸能源的消耗。另外，更在叢集中藉由聚集節點的建立，二度縮減節點傳輸能源支出，並分攤叢集首部分工作量平衡能源消耗。除此之外，我們更利用同時擁有距離與能源優勢的傳輸節點負擔叢集首資料回傳的工作，避免單一節點因能源負荷沉重，影響網路迅速喪失其功能。經由模擬證明，我們所提出的負載分攤繞徑協定對網路壽命延長的貢獻度，明顯優於其他演算法。

## 參考文獻

- [1]. I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Mag.* Vol.40, Issue8, pp.102-114, 2002.
- [2]. J. N. Al-Karaki, and A. E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," *Proceedings of Wireless Communications, IEEE [see also IEEE Personal Communications]*, Vol.11, pp. 6-28, 2004
- [3]. M. Ghelichi, S. K. jahanbakhsh, and Esmail Sanaei, "RCCT: Robust Clustering with Cooperative Transmission for Energy Efficient Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the 1st international conference on Mobile Wireless MiddleWARE, Operating Systems, and Applications*, pp.761-766, 2008.
- [4]. M. J. Handy, M. Haase, and D. Timmermann, "Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy with Deterministic Cluster-head Selection," *Proceedings of the 4th international workshop on Mobile and Wireless Communications Network*, pp.368-372, 2002
- [5]. W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.1, Issue 4, pp.660 – 670, 2002
- [6]. W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proceedings of the 33th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000
- [7]. C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: a Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2000.
- [8]. Q. f. Jiang, and D. Manivannan, "Routing Protocols for Sensor Networks," *Proceedings of the 1st International Conference on Consumer Communications and Networking*, pp.93- 98, 2004
- [9]. T. W. Kang, J. K Yun, H. S. Lee, I. S. Lee, H. S. K, B. H. Lee, B. J. Lee, and K. J. Han, "A



- Clustering Method for Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks,” *Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Electronics, Hardware, Wireless and Optical Communications*, pp.16-19, 2007
- [10]. S. Lindsey, and C. S. Raghavendra, “PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems,” *Proceedings of the IEEE Aerospace Conference*, Vol.3, pp. 1125-1130, 2002.
- [11]. K. Romer, and F. Mattern, “The Design Space of Wireless Sensor Networks,” *IEEE Wireless Communications*, [see also *IEEE Personal Communications*], Vol.11, Issue 6, pp.54-61, 2004.
- [12]. A. Wadaa, S. Olariu, L. Wilson, M. Eltoweissy, and K. Jones, “Training Wireless Sensor Networks,” *Mobile Networks and Applications*, Vol.10, Issue 1-2, pp.151-168, 2005.