

具能量效率之最小平均距離叢集式無線感測 網路之效能

Performance of Energy Efficient Relaying Clustering for Wireless Sensor Networks

黃永發

朝陽科技大學
資訊與通訊系副教授
yfahuang
@mail.cyut.edu.tw

洪玲隆

建國科技大學電機工
程系副教授
hlh@cku.edu.tw

蔡秉衡

朝陽科技大學資訊
與通訊系
s9930608
@cyut.edu.tw

郭昭璋

朝陽科技大學資
訊與通訊系
s9630606
@cyut.edu.tw

摘要

本論文主要探討叢集式(clustering)無線感測網路架構下，叢集頭(cluster head, CH)及中繼節點之選擇對資料傳輸所消耗能量之影響。以固定叢集法(fixed clustering algorithm, FCA)來劃分叢集區域後，我們提出具能量效率之最小平均距離(energy efficient minimum mean distance, EEMMD)演算法，以每個節點之最小平均距離法來選擇叢集頭，由模擬結果可驗證 EEMMD 能減少叢集內資料傳輸的能量消耗，並可改善固定叢集法(FCA)的存活期(lifetime)。

關鍵詞：無線感測網路、固定叢集法、最小平均距離演算法、能量效率之叢集法、網路存活期。

Abstract

In this paper, the performance of energy efficiency of cluster-based wireless sensor networks (WSNs) is investigated. We consider the effect of cluster head (CH) and relaying nodes (RN) selection on the energy consumption in WSNs. With the fixed clustering algorithms (FCA), we propose energy efficient minimum mean distance (EEMMD) algorithm to improve the energy efficiency for WSNs. Simulation results show that the proposed EEMMD can slightly improve the energy efficiency.

Keywords: Wireless sensor networks, fixed clustering algorithm, energy efficient relaying algorithm, network lifetime.

1. 前言

無線感測網路(wireless sensor network, WSN)[1,2]是由許多體積微小的感測節點

(sensor nodes)散佈在一特定區域所組成的網路，而感測節點主要是結合感測器和微機電系統兩大技術開發出來的應用裝置，由於感測節點體積小、價格低且低功率，使得感測網路可應用的範圍更寬廣。

無線感測器網路是由許多具有感應(sensing)、通訊(communicating)及處理資訊(data processing)能力的感測器節點所組成[1,3]，這些節點能夠在其感測範圍(sensing range)內偵測環境的目標物(target)及環境的改變(例如：溫度、濕度、光度等)，並可以處理收集到的資料，此外還能將收集到的資訊透過無線通訊的方式傳送給資料收集端(sink)或基地台(base station, 簡稱BS)，相較於傳統無線網路，無線感測網路上的感測節點因為會大量地散佈在需要感測的地區中，所以其生產成本不能太高，且因為需考量感測地區的地形以及環境因素，所以體積也不能太大[1,3,4]；基於以上的種種限制，感測節點所能搭載的電量通常都不會太高，且幾乎沒有機會能進行補充能量的動作，所以無線感測網路在整體設計上著重的是：(1)不管是處理哪種動作，感測節點的能量消耗越少越好、(2)相較於延長個別節點的存活時間，如何能使感測網路上的節點存活時間相近才是需要優先考量的，因此在無線感測網路中，如何有效利用有限的能量提高感測器的存活期或整個網路的存活期為本論文研究的重要課題[5,6,7]。

感測網路的資料傳輸，最簡單的方式就是直接傳輸(direct)，每個感測器直接把所收集到的資料傳送到遠處的基地台(sink)，應用這種方式的缺點，距離基地台較遙遠的感測器很容易就沒電，故能量消耗速率就無法一致。而第二個方法是經由多重跳躍的傳輸方式，過去常用於隨意網路(Ad hoc network)[8,9,10]的路由協

定，這樣路由協定可以將感測節點形成一個或數個鏈架構，而每個鏈都會有一個收集者擔任鏈結頭，節點只需要將資料往鏈上靠近鏈頭的鄰居傳遞，最後鏈頭則會將鏈上的資料收集並傳遞到基地台，這種傳遞資料方式的缺點是，當感測點收集完資料，要傳送至遠端基地台時，必須經由點對點方式傳遞，越靠近基地台的節點將傳送越多筆資料，因此就消耗越多能量[5]。

第三種方法是叢集化(clustering) [6]，數量眾多的感測節點會以分散式的方法自行組成一個個的叢集(cluster)，叢集裡的任一個感測器將可能被選為叢集頭(cluster head, CH)，叢集中的感測節點會依照叢集頭所分配的時間槽(time slot)來傳送感測到的資料到叢集頭，叢集頭將收集到的資料整合後，再依照由基地台建立出的路由將感測資料傳送給基地台，這種方法中，叢集頭自然成為資料整理的點，故叢集頭將會消耗更多的能量，而叢集頭的存活期(lifetime)會比其他感測節點短[8,9]，但若能使叢集頭擁有較多之能量，那麼叢集架構將更具有能量使用效率。因此，本論文以叢集式無線感測網路為例，研究有效的節能技術，來增加一般節點及叢集頭的能量效率。

在文獻中[11]，所提出之固定叢集演算法(fixed clustering algorithm, FCA)可依據所需之叢集數劃分出適當之叢集區以提升感測節點之傳輸能量效率，但因為每個叢集頭所感測的範圍以及距離基地台的距離皆有所不同，因此在整體的無線感測網路的環境中叢集頭的存活期往往都不一樣，也影響了整個無線感測網路的存活期。因此，本文探討叢集式(clustering) [5,6]無線感測網路架構，將固定叢集法和低能量最小距離演算法[12] (energy efficient minimum mean distance, EEMMD)結合，提出了用 FCA 劃分叢集範圍和用最小距離演算法的叢集頭部署方法，希望用最低的能量消耗來監控最多的區域以延長無線感測器網路存活期。

2. 無線感測網路架構

在任何的無線傳輸系統中，訊號強度的衰減與距離有關。路徑損失是由於訊號強度隨著傳輸距離增加而衰退，若我們不考慮多路徑衰減與遮蔽效應均忽略，只考慮路徑損失的話，接收訊號定義為

$$P_r = c \frac{P_t}{d^\alpha} \quad (1)$$

其中 c 是傳送端與接收端接收有效有關之常數， P_t 是傳送的訊號功率， d 是傳送端到接收端的距離， α 是無線電波衰減指數(attenuation exponent)， α 範圍 2~6 之間。一般來說，自由空間(free space)中， $\alpha=2$ ，即接收訊號之功率與 d^2 成反比關係。所謂的自由空間的概念是假設無線傳輸的通道沒有阻礙，例如反射、散射與繞射[13]。

無線感測網路對於能量節省是必要的，而減少傳輸的資料量可以有效的節省能量，因此在從各個感測節點收集資料的過程中，利用節點本身的計算及儲存能力處理資料，進行資料(data aggregation)融合操作是節省能量所必須的機制，主要將多個相同或類似的資料合併成單一個資料，藉以刪除重覆或冗餘的資料，去除冗餘的訊息，盡量減少傳輸量，達到節省能量的目的，此外感測節點容易發生失效性，無線感測網路也需要資料融合的技術對多份資料進行融合，以提高資料的準確度。

為敘述本論文較常用的系統參數， q 為在感測範圍內所有叢集數總和， x 及 y 為感測範圍的兩邊長，而 α 為無線電波衰減指數，通常 $2 \leq \alpha \leq 6$ ，本論文皆以 $\alpha=2, 4$ 為路徑衰減指數， B 為基地台到感測範圍的最短距離，本論文中，基地台假設於(0,-10)的地方，最後 η_i 代表轉傳節點的資料融合因素，通常 $0 < \eta_i \leq 1$ ，當 η_i 越小代表節點轉傳的效率越好。

表 1 一般變數

變數名稱	敘述
q	總叢集數
D_1	感測範圍的長度
D_2	感測範圍的長度
α	無線電波衰減指數
B	基地台到感測範圍最短距離
η_i	資料融合因素

本文中，將探討的感測網路範圍定為正方形，並設其 X 與 Y 座標之邊長分別為 D_1 與 D_2 ，其感測面積的座標如圖 1 所示；圖中“+”符號為叢集頭的感測點位置，“o”符號為一般感測節點

的位置。我們使用的模擬環境實現在一個感測範圍上，圖 1 所示為一例，圖中叢集頭是根據感測面積平均分割後，假設一般感測節點隨機均勻分布(uniform distribution)於感測範圍中，各叢集區內之數據資料先由一般感測點收集之後，再經由叢集頭傳遞給基地台，基地台的座標點位置被固定於(0,-B)。

我們假設感測期間由基地台接收完感測區每個感測點一筆資料的週期為一回合，而一個回合包含資料的感測以及封包的傳輸到叢集頭，再經由叢集頭轉傳到基地台的週期時間，當在沒有資料傳送期間的叢集頭就假設它為休眠狀態。

在固定叢集演算法[11]中為有效地劃分叢集區域，已知要劃分之叢集數為 q ，此演算法乃將感測面積平均切割出面積相同的叢集區域，則每個叢集區面積的重心點即為其叢集頭所在位置， p 是叢集數開根號所得到的值，為了求出當叢集皆為正方形時的行列數值， n 及 s 則是當叢集皆為相同矩形時的行列數值，對於矩形感測面積，應用 FCA，可求出每個叢集中叢集頭位置的座標，變數定義如表 2 所示[11]。

表 2 FCA 變數定義

變數名稱	敘述
p	$\sqrt{q}$
n	$\lceil p \rceil$
k	$\text{mod}\left(\frac{q}{n}\right)$
s	$\left\lfloor \frac{q}{n} \right\rfloor$
l	$\frac{D_1(n-1)}{q}$

首先判斷 p 是否為自然數，如果是就使用 A 類，否則先判斷 k 是否為 0，是則使用 B 類，否就判斷 s 是否有大於 $n-1$ ，如果有大於 $n-1$ 則使用 C1 類，否則使用 C2 類。

在固定叢集演算法中，由叢集數的不同分為 3 種類型去劃分，當叢集數是自然數的平方時，使用 A 類演算法可求出叢集頭之座標，否則須使用 B 類演算法或 C 類演算法，叢集頭的座標位置由叢集頭編號 i 經過固定叢集演算法計算，由左邊第一行第三列的叢集頭編號 $i=1$ 而第一行第二列 $i=2$ ，依此類推最右上角的第三行第一列 $i=9$ ，例如：當要取第二行第二列

的叢集頭位置， i 則為 5，就把 $i=5$ 的值代入 A 類的叢集頭座標演算法，可得到不同的 x 及 y 座標值，即為叢集頭的位置。而判別 B 類演算法跟 C 類演算法，是看 k 值是否為 0，如為 0 則使用 B 類演算法，如果不為 0，則使用 C 類演算法；當叢集頭數 $1 \times 2, 2 \times 3, 3 \times 4, 4 \times 5, \dots, M \times (M+1)$ 等，則使用 B 演算法來找叢集頭座標，例如：當叢集數為 12 時由 B 類 FCA 求出固定叢集及其叢集頭座標如圖 1 所示。

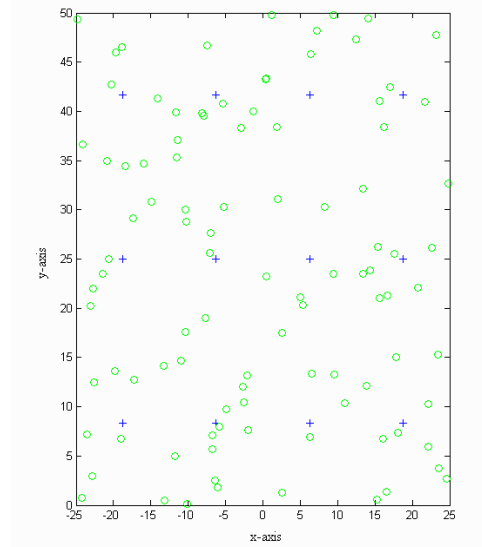


圖 1 固定叢集網路感測範圍及其座標，叢集數為 12 [11]

使用 C 類演算法之一，當叢集數為 11 時由 C 類 FCA 求出之固定叢集及其叢集頭座標，於 s 跟 $n-1$ 的大小差別，當 $s < n-1$ 時，例如：叢集數 = 5、10、11...。而當 $s > n-1$ ，叢集數 = 3、7、8、13、14、15...。

3. 基於固定叢集法區域劃分的最小距離演算法

能量效率最小平均距離(energy efficient minimum mean distance, EEMMD)演算法是一種按照最小平均距離的方法來選擇叢集頭(cluster head)的方式。假設待感測區域劃分成 q 個叢集區域，在第 i 個叢集區域中有 l_i 個節點，則在該叢集區域中，按如下原則選擇叢集頭：

$$\min_k \sum_{p=1}^{l_i} d_{kp}^{(i)} \quad (2)$$

其中 $d_{kp}^{(i)}$ 代表在第 i 個叢集區域中第 k 個節點與第 p 個節點之間的距離，其可以求得如

$$d_{kp}^{(i)} = \sum_{k=1}^{l_i} \sqrt{(x_k - x_p)^2 + (y_k - y_p)^2} \quad (3)$$

假設無線感測網路由許多大量相同的感測節點組成，並且隨機分佈在固定的區域裡。叢集頭是叢集內能量耗費速率最快的節點，也是最快沒電源的感測點，如何對叢集頭能量消耗做有效管理就很重要，為了改善 FCA 中叢集頭能量消耗過大的問題，我們提出基於上述 EEMMD 演算法，按照最小平均距離的方法來選擇叢集頭。

在叢集數為 9 時，EEMMD 感測環境其感測面積的座標如圖 2 所示；在該叢集區域中叢集頭 (cluster head, CH) 如黑色所標示，圖中叢集頭是根據感測面積平均分割後，假設一般感測節點隨機均勻分佈於感測範圍中，採用 EEMMD 演算法按照最小平均距離的原則來選擇叢集頭。

各叢集區內之數據資料先由一般感測點收集之後，再經由叢集頭傳遞給基地台，基地台的座標點位置被固定於(0,-B)。

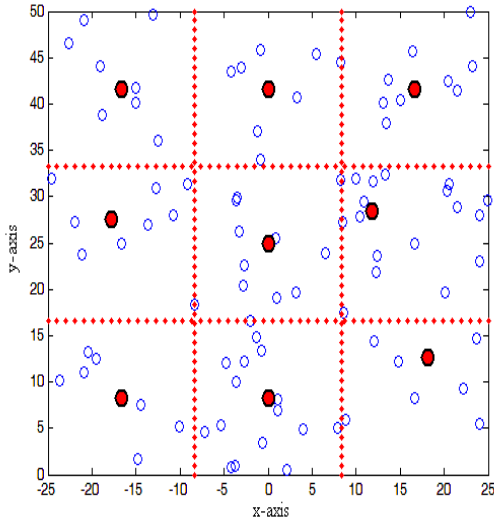


圖 2 EEMMD 感測範圍及其座標，叢集數為 9

要估計網路的存活期，就必須先知道網路生存的回數，感測點從一般感測點經由叢集頭回傳資料到基地台的這個循環就被稱為一個回合，而在一個回合中網路的總能量消耗可被表示為

$$E_T = \sum_{i=1}^q \left(\eta_i \cdot E_{ch,i} \cdot \frac{Q}{q} \right) + \sum_{j=1}^{Q-q} E_{n,j} \quad (4)$$

上式中 η_i 為資料的壓縮因子，每個叢集中 $0 < \eta_i < 1$ ， $E_{ch,i}$ 和 $E_{n,j}$ 分別為叢集頭及一般感測點傳送一個封包所消耗的能量，而影響能量損失的主要因素取決於路徑的損失。

為了計算出叢集內感測點傳給叢集頭的平均距離的，我們假設感測點均勻分佈於感測範圍上，因此叢集頭轉傳資料於一回合中的能量損耗可表示為

$$E_{ch,i} = \eta_i \cdot e_l \cdot W_i \cdot \frac{Q}{q} \quad (5)$$

其中 e_l 表示每平方公尺傳送一個封包所消耗的能量，能量損耗是由每個叢集到基地台之間距離的路徑損失所造成，可表示為

$$W_i = d_i^\alpha / c = d_i^2 = x^2(i) + [y(i) + B]^2 \quad (6)$$

其中 $\alpha = 2$ and $c = 1$ 。並且，一般感測點在叢集區域內傳送每平方公尺傳送一個封包所消耗的能量為

$$E_{n,j} = e_l \cdot Z_j \quad (7)$$

而 $Z_j = d_j^2$ 是矩形叢集區域內一般感測點跟叢集頭之間距離的隨機參數。

我們首先令 L_1 與 L_2 分別代表每個叢集的兩邊長， $Z = d^2$ 是從感測點到叢集頭之間距離的隨機參數，而叢集頭位於 $(L_1/2, L_2/2)$ ， x 及 y 代表叢集內一般感測點的兩軸座標，利用期望值算出每個叢集一般感測點與叢集頭之間的平均距離，如圖 3。經計算可表示為

$$E[Z] = E[d^2] = E[(x - \frac{L_1}{2})^2 + (y - \frac{L_2}{2})^2] = \frac{1}{12}(L_1^2 + L_2^2) \quad (8)$$

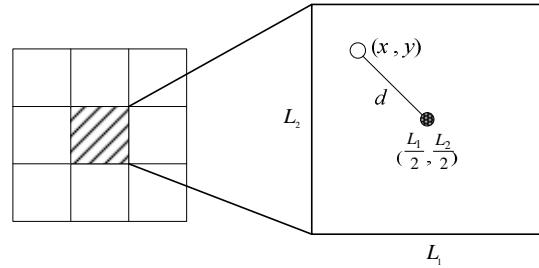


圖 3 叢集內節點傳輸平均距離

4. 模擬結果

為驗證與比較我們提出之 FCA 能量使用效率，我們應用 MATLAB 程式語言作電腦模擬，在我們的模擬中，假設感測節點在一公尺距離時，每傳送一筆資料所需的能量為 e_l 焦耳 (J)，故一般感測節點傳送數據資料給叢集頭所消耗的能量則為 $e_l d^\alpha$ J，其中 d 為感測節點至叢集頭之距離， $\alpha=2$ ，而叢集頭傳送數據資料給基地台所消耗的能量為 $e_l d^\alpha$ J，其中 B 為叢集頭至基地台之距離，之前的 e_l 為 5×10^{-7} 焦耳，假設每個感測器傳送的每筆資料量皆為 x bits，在模擬中假設全部的感測點有 $Q=100$ 個，每個感測節點初始能量為 1 焦耳，叢集頭有 q 個，一般感測點為 $100-q$ 個，而邊長各為 50m 的感測範圍，基地台的座標點位置被固定於 (0,-10)，模擬參數如表 3 所列。我們模擬固定叢集式 (FCA) 與低能量最小平均距離 (EEMMD) 兩種叢集化，並比較它們在能源效率上之效能，其中 EEMMD 是以按照最小平均距離的方法來選擇叢集頭的位置。

首先，我們比較固定叢集式 (FCA) 與低能量最小平均距離 (EEMMD) 在一個回合內消耗之能量，如圖 4 所示，由圖 4(a) 可看出 FCA 當叢集越多時，叢集頭所需能量慢慢地增加，達到某個臨界值，叢集頭所需能量增加之速度漸漸的減緩，這是因為當叢集越多，叢集頭雖增加了，而每個叢集內的感測點也會減少，因此感測點所消耗之能量也減少了，如圖 4(b) 所示。

但相對於我們提出的 EEMMD 的叢集頭，因為叢集頭的選擇是透過在感測環境中利用每個叢集區裡所有節點互相比較彼此距離，選出最短距離的節點當作 CH，所以叢集頭所花費的總能量會比 FCA 叢集頭減少能量消耗。此外，由圖 4 明顯地可看出在一回合中所需之能量，不管是一般感測點或叢集頭，我們提出之 EEMMD 都比 FCA 方法低許多。

表 3 模擬環境參數

模擬參數	D_1, D_2	α	B	η_i
模擬值	50 m	2	10 m	1

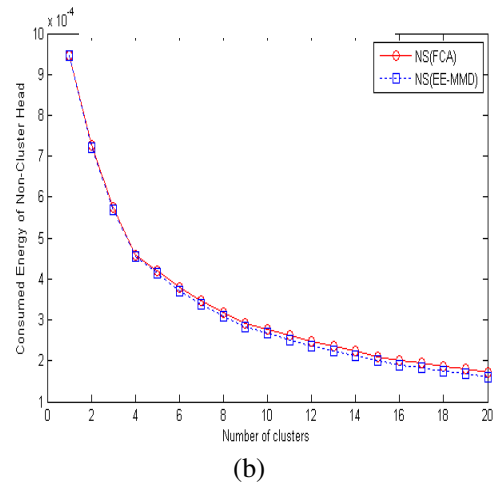
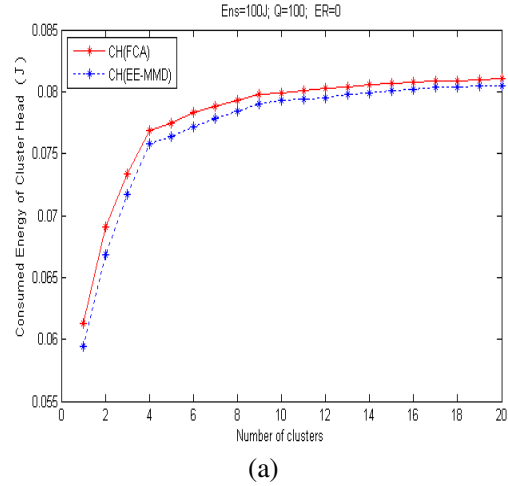


圖 4 不同之叢集數時，一個回合(a)CH(b)NS 所需能量之比較。

在圖 5 之模擬結果中，為不同叢集數時感測網路存活期，一開始將能量平均地分配給每個感測節點；因為網路中任一個感測點或叢集頭節點能量耗盡時，表示網路可能將無法成功運作，而使網路功能結束，因此我們定義，從網路開始運作到網路中任一節點能量耗盡時，即其網路存活期。

由圖 5 可看到當叢集區域沒有劃分時，叢集頭只有一個，叢集頭離基地台的距離比當叢集數增多時為最短，所以網路存活期是最好，當叢集數增多時，相對於距離基地台較遠的叢集頭也會因傳遞資料而將能量耗盡，且網路存活期趨於平緩，此外我們所提出 EEMMD 的網路存活期回合數比 FCA 來的好。

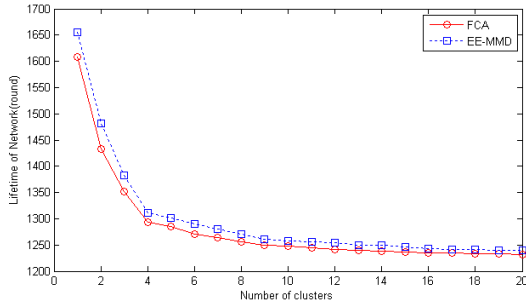
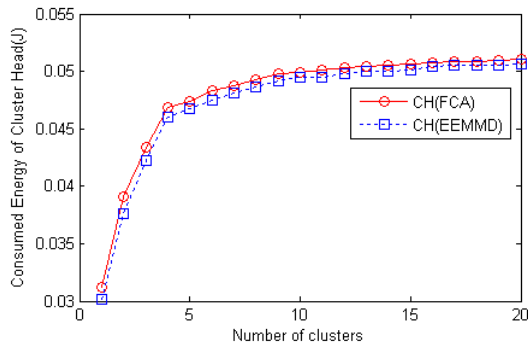
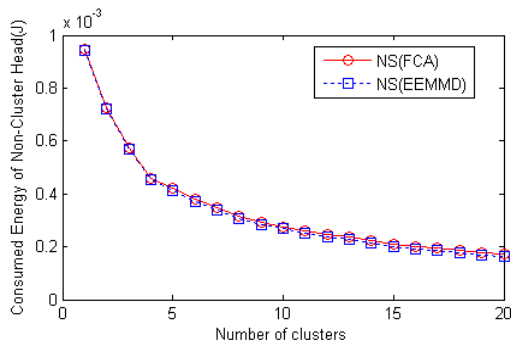


圖 5 不同之叢集數時，感測網路存活期之比較。

此外，我們為了探討當基地台到感測範圍的距離改變，能量效能之比較。因此首先把基地台分別放置在(0,0)，針對感測點一個回合所需能量去模擬，比較叢集頭與一般節點能量消耗情形如圖 6 所示，當基地台位置移到靠近感測環境時，叢集頭與一般節點消耗能量較節省，且提出之 EEMMD 的方法比 FCA 能量消耗少。



(a)



(b)

圖 6 不同之叢集數時，一個回合(a)CH(b)NS 所需能量之比較，BS=(0,0)

此外，整體網路存活期之比較如圖 7 所示，可以知道因為基地台距離感測位置近，相對於叢集頭傳遞資料給基地台的能量消耗低，相對於整體網路存活期延長。

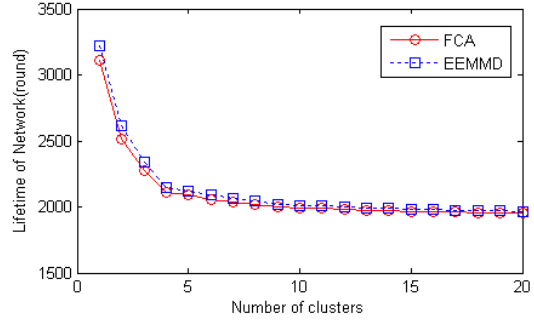
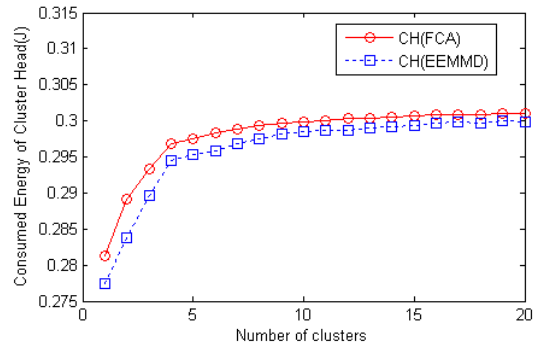
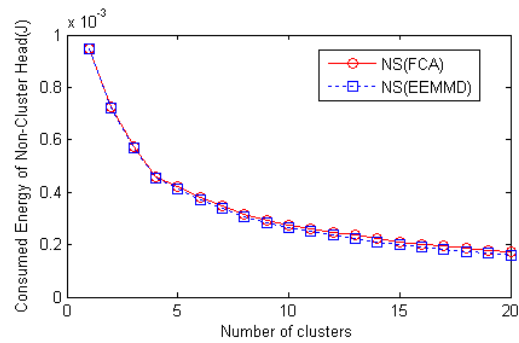


圖 7 不同之叢集數時，感測網路存活期之比較，BS=(0,0)

我們接著把基地台地點移動到(0,-50)的地方，首先針對感測點一個回合所需能量去模擬，如圖8所示，當基地台位置移到較遠的地方後，一般感測點不會受到能量消耗的影響，反倒叢集頭會因為距離增加使得能量消耗增加。



(a)



(b)

圖 8 不同之叢集數時，一個回合(a)CH(b)NS 所需能量之比較，BS=(0,-50)

因為基地台移到更遠時，叢集頭能量消耗量比一般感測點能量還多，並且當叢集數增加，叢集頭到基地台平均距離也增加，一般感測點不會受到能量消耗的影響，反倒叢集頭會因為距離增加使得能量消耗多花大概 1-2 倍左右。此時整體網路消耗能量與存活期如圖 9(a)與 9(b)所示，可以知道因為基地台距離感測位

置近，相對於叢集頭傳遞資料給基地台的能量消耗低，相對於整體網路存活期延長。

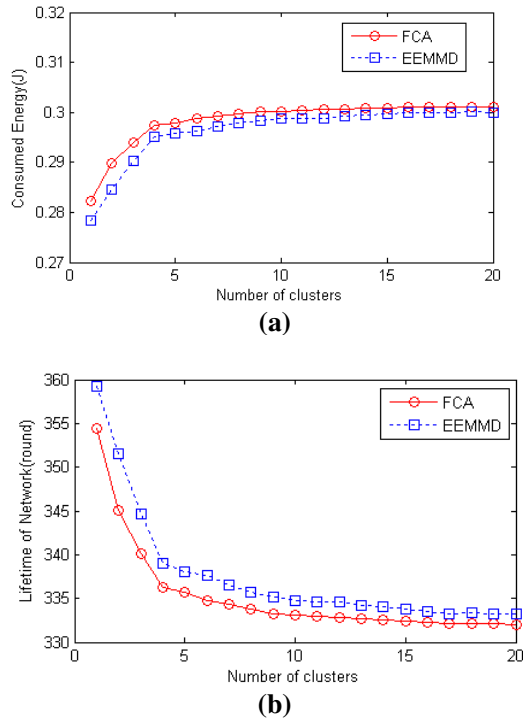


圖 9 (a)網路所需能量 (b)網路存活期之比較，
BS=(0,-50)

當基地台距離感測面積漸漸變遠時，叢集頭能量消耗量比一般感測點能量消耗還多，並且當叢集數增加，叢集頭到基地台平均距離也增加，網路的最長存活期也會隨之減少，且曲線的斜率也因為距離增加而逐漸減少，如圖10所示。

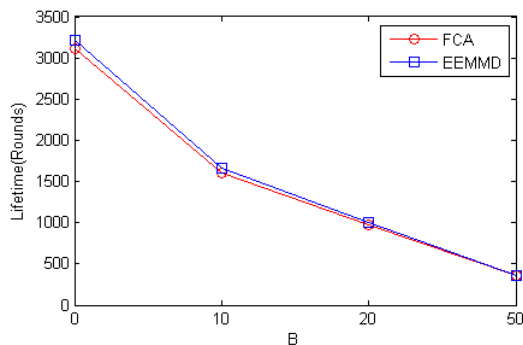


圖 10 基地台距離改變之網路存活期比較
($q=1$)。

5. 結論

在本文中，我們提出 EEMMD 演算法，叢集頭是根據感測面積平均分割後，假設

一般感測節點隨機均勻分佈於感測範圍中，採用低能量最小平均距離演算法按照最小平均距離的原則來選擇叢集頭，我們提出的 EEMMD 跟 FCA 比較，在 EEMMD 的方法中我們將 CH 的能量消耗減少，雖然在 NS 的能量消耗上只有少部分的改善，但在整體網路存活期上比 FCA 來的佳。

我們經由模擬結果達到驗證，基地台距離感測範圍近時，因為叢集頭與基地台距離短，相對於在傳送資料時較節省能量，且網路存活期較長，但基地台移到更遠時，叢集頭能量消耗量比一般感測點能量還多，並且當叢集數增加，叢集頭到基地台平均距離也增加，一般感測點不會受到能量消耗的影響，反倒叢集頭會因為距離增加使得能量消耗多花大概 1-2 倍左右。因此，由模擬結果可知 EEMMD 能減少叢集內資料傳輸的能量消耗，並可延長網路存活期。

參考文獻

- [1] D. Culler, D. Estrin, M. Srivastava, "Guest editors' introduction: overview of sensor networks," *IEEE Computer*, vol. 37, issue 8, pp.41- 49, Aug. 2004.
- [2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor network: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [3] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, no.4, pp. 660-670, Oct. 2002.
- [4] S. D. Muruganathan, D. C. F. Ma, R. I. Bhasin, and A. O. Fapojuwo, "A centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks," *IEEE Communication Magazine*, vol. 43, no.3, pp. S8-13, March 2005.
- [5] E. J. Duarte-Melo and M. Liu, "Analysis of energy consumption and lifetime of heterogeneous wireless sensor networks," *Proceedings of IEEE. Global Telecommunication Conference*, pp. 21-25, Nov. 2002.
- [6] C. Schurgers and M.B. Srivastava, "Energy efficient routing in wireless sensor networks," *Proceedings of IEEE Military*

- Communications Conference for Network-Centric Operations**, vol.1, pp. 357-361, 28-31 Oct. 2001.
- [7] Mainak Chatterjee, Sajal K. Das, and Damla Turgut, "A weighted clustering algorithm for mobile ad hoc networks," **Proceedings of the 7th International Conference on High Performance Computing**, pp. 511-521, Dec. 2000.
- [8] R. C. Shah and J. M. Rabaey, "Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks," **Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference**, pp. 17-21, 2002.
- [9] Y. C. Chang, Z. S. Lin and J. L. Chen, "Cluster Based Self-Organization Management Protocols for Wireless Sensor Networks," **IEEE Transation on Consumer Electronics**, Vol. 52, Issue 1, pp. 75-80, Feb. 2006.
- [10] B. Huang, F. Hao, H. Zhu, Y. Tanabe and T. Baba, "Low-Energy Static Clustering Scheme for Wireless Sensor Network," **Digital Object Identifier (WiCOM)**, pp. 1-4, 22-24 Sept. 2006.
- [11] Y.-F. Huang, W.-H. Luo, J. Sum, L.-H. Chang, C.-W. Chang, and R.-C. Chen, "Lifetime Performance of an Energy Efficient Clustering Algorithm for Cluster-Based Wireless Sensor Networks," **Frontiers of High Performance Computing and Networking, LNCS 4743**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 455-464, Aug. 2007.
- [12] Wei Peng and David J Edwards , **Low-Energy Minimum Mean-distance Algorithm for Wireless Sensor Networks** , CHAOYANG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2009.
- [13] B. Sklar, **Digital communications fundamentals and applications**, Prentice Hall, 2002. D. Culler, D. Estrin, M. Srivastava, "Guest editors' introduction: overview of sensor networks," **IEEE Computer**, vol. 37, issue 8, pp.41- 49, Aug. 2004.