

# 無線感測網路密度與能量感知叢集方法

朱鴻棋  
朝陽科技大學  
資訊與通訊研究所  
助理教授  
hcchu@cyut.edu.tw

許峻榮  
朝陽科技大學  
資訊與通訊研究所  
研究生  
s10130602@cyut.edu.tw

## 摘要

無線感測網路是由數百至數千個感測節點所構成。在感測環境中佈署大量感測節點達到環境監測的目的。感測節點有著體積小、成本低、低耗電等特性。由於感測節點是由電池供電且能源有限。因此如何有效運用有限的能源以延長網路生存期是十分重要的議題。在大規模的感測網路環境中，叢集化技術降低單一節點傳輸負載過大的狀況是有效的節能方法之一。因此，在本文中我們提出一個考量以節點分佈密度與能量的群組劃分方法，並依網路環境的改變動態調整群組大小以降低感測節點傳輸的能量消耗。實驗結果顯示，我們提出的方法能改善傳統無線感測網路，達到節省節點能量，延長整體網路的運作時間。

**關鍵詞：** 無線感測網路、密度控制。

## Abstract

Wireless sensor network is composed of hundreds to thousands of sensor nodes. A large number of sensor nodes deployed to achieve the purpose of environmental monitoring. Sensor node has a small size, low cost and low power consumption. Since the sensor nodes are powered by batteries and limited energy. Therefore, efficiently utilize the limited energy to prolong the lifetime of the network is a very important issue. In large-scale sensor network environment, clustering technology reduce transmission energy consumption of a single sensor node is an effective way to save energy. Therefore, the density and energy aware clustering method was proposed to reduce the energy consumption of sensor node. The experimental result shows that the proposed method can reduce the energy consumption and prolong the network lifetime. As the network environment changes, a dynamically adjust clustering procedure was triggered to reorganize the clustering member.

**Keywords:** wireless sensor network, density

control.

## 1. 前言

近年來，隨著無線通訊以及微電子製成日益精進，使得無線感測網路的應用範圍也越來越廣泛，主要可以運用於家庭自動化、環境及棲息地的監測、軍事系統、工業自動化等[1-3]。無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)是由數百至數千個感測節點(sensor node)所構成，我們可以任意佈署感測節點在所感測的環境中，讓節點感測環境周遭的變化，如溫度、濕度、二氧化碳、聲音與壓力等，且節點透過無線通訊的方式，將收集到的資料傳輸回基地台(Base Station, BS)或資料收集中心(Sink)，使管理者可以掌握所需的資訊，進行即時的監控式管理。

而為了能達到大量佈署感測節點，其節點設計特性必須符合成本低、體積小、低耗電等特性，故受限於硬體的設計，使節點的運算能力、電池電力及記憶空間皆受到限制。且無線感測網路所監測的環境有時是管理者難以到達的地方，在欲監測的環境內大量佈署感測節點，因其硬體與資源等限制，使節點要一一重新充電是較為困難且不方便的。因此，如何運用有限的電力資源達到較長的網路生存期是十分重要的議題之一。

在無線感測網路裡能源的消耗可以分成三個部分：感測環境資訊、資料的傳輸、資料的處理，在這三個之中最為耗能源的是在資料傳輸方面。資料傳輸所消耗的能源與訊號強度與距離有著高度的關聯性，也就是說節點之間的距離越遠，需消耗較多的能源將資料傳輸至目的地，我們可將資料傳輸的方式大略分成直接傳輸、多跳傳輸與叢集化傳輸三種方式，摘出如下：

- (1) 直接傳輸(Direct Transmission)指的是感測節點將所收集到的資料直接傳回遠處的基地台，這種方法的資料傳輸速度較快，若感測範圍較大時，節點需花費比較多的能源才能將資料傳送至基

地台，使得離基地台較遠的節點因傳送資料而消耗過多的能源而提早死亡，使所有節點的能源消耗速率不同，造成能源負載不平衡的狀況。

- (2) 多跳傳輸(Multihop Transmission)過去常用於 ad hoc 隨意網路，這種路由協定是將感測節點形成一個或數個鏈狀結構，每條鏈路都有一個鏈結頭，節點只需要將感測到的資料往靠近鏈結頭鄰居傳送，最後鏈結會將收集到的資料傳送回遠端的基地台，這種方式可以節省長距離傳輸資料的能源消耗，但是當網路節點數量較多或離基地台較遠的節點回傳的資訊會因多次節點的轉傳而造成資料傳輸而延遲。
- (3) 叢集化傳輸(Clustering Transmission)是在眾多的感測節點中選擇特定的感測節點擔任叢集頭(Cluster Head, CH)，其餘的感測節點依照設定好的條件找尋適當的叢集頭加入成為叢集成員，形成一個完整的叢集。叢集頭負責把叢集成員所收集到的資料進行匯總，最後把資料傳送回基地台。叢集頭除了負責本身的感測工作外，還需處理和轉傳同叢集內的資料，因此消耗的能源也比一般感測節點多，可能會造成叢集頭節點較快死亡，造成節點之間負載不平衡，若能讓叢集頭以適時適地輪替，則能源的使用效率會較前兩者佳。

上述的資料傳輸方式以多跳傳輸與叢集化的資料傳輸方式較為優異，故我們選擇在叢集化的方式內加入密度能量的分群的方式，使能源消耗能降低，並考慮到在大規模的感測網路中，若沒有將感測範圍劃分成數個區域，運行網路時可能會發生其中單一節點負載較大，致使部分節點發生提早死亡的狀況產生。因此，我們在叢集化架構下提出一個新的群組劃分方法，將感測區域劃分成數等份，且持續監控劃分後的區域節點能量與密度值，來動態調整群組區域的大小，使節點在傳輸資料時能以有效率且節能的方式，將資料傳送至基地台，並藉由所提之群組劃分機制使網路能源負載平衡，提升網路運作的效能。

本文其餘的內容組織架構如下，第二部份將描述無線感測網路的相關研究。第三部份提出我們的系統架構以及密度能量分群演算法設計。第四部份是我們的實驗結果與分析。最後為本文的結論。

## 2. 相關研究

感測節點主要的任務是感測環境資訊，然後傳送感測資料至基地台，最簡單的方式是直接傳輸，傳輸速度快，但離基地台較遠的感測節點會因距離較遠所傳輸的能源也較多，該節點死亡也較快。鏈結式傳輸改善了因傳輸距離過遠而消耗過多能源的問題，但因資料會經過多個感測節點而造成傳輸的延遲，所以本文選擇叢集化傳輸，減少感測節點的傳輸距離，傳送資料也不會造成過多的延遲。以下為叢集式路由方法。

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[4]：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，而沒有擔當叢集頭的感測節點則在下一個回合增加當選叢集頭的機率。此方法不需要太多的相關資訊就能快速的組織叢集。LEACH 主要分成兩個階段設定階段(set-up phase)及穩定階段(steady-state phase)，在叢集設定階段，每個節點隨機產生 0 至 1 之間的亂數值，經由此值與閾值  $T(n)$  進行比較，當亂數值小於閾值  $T(n)$ ，則該節點當選為叢集頭。叢集頭閾值運算如公式(1)所示

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \lceil \frac{r}{p} \rceil}, & \text{if } n \in G \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

在公式(1)中  $P$  為網路初始設定每個節點成為叢集頭的機率， $G$  為在  $I/P$  回合之前為當任過叢集頭的節點之集合， $r$  為回合數。由這個叢集頭閾值公式中可以看出，若感測節點在此回合內沒能成為叢集頭，將會在下一回合增加此感測節點成為叢集頭的門檻值  $T(n)$  以增加此感測節點成為叢集頭的機率。

這種運作方式有利於在一定回合內使多數感測節點輪流擔任叢集頭，避免某些感測節點重複的擔任叢集頭，造成能源負載不平衡的問題。叢集頭選出來後，一般感測節點選擇最近的叢集頭加入，叢集頭則回覆同意加入訊息並通知分時多工(Time Division Multiple Access, TDMA)方式的傳輸排程訊息給該節點，完成設定階段。在穩定階段，每個感測節點負責各自的感測資料的工作，每個叢集成員依造分時多工排程傳送資料至叢集頭，叢集頭將感測資料收集完成，最後再將匯總的資料傳送至基地台，完成穩定階段流程。

LEACH-C(LEACH-Centralized)[5]：修改

LEACH 的方法，直接透過基地台進行建立叢集的運作，假設基地台擁有所有感測節點的殘餘能源與位置資訊，基地台以節點的殘餘能源為擔任叢集頭的判斷依據，並利用計算位置資訊來分析如何配置叢集頭可形成較均勻的叢集，解決亂數選擇叢集頭所造成的問題。

An energy efficient cluster head selection for wireless sensor network[6]：修改 LEACH 的方法，叢集頭閾值運算如公式(2)所示

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \lfloor \frac{r}{p} \rfloor} * \frac{E_{residual}}{E_{initial}} * K_{opt}, & \text{if } n \in G \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

在公式(2)中  $E_{residual}$  為節點剩餘能量， $E_{initial}$  為節點初始能量， $K_{opt}$  為最佳叢集數量。

$$K_{opt} = \sqrt{\frac{N}{2\pi}} * \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} * \frac{M}{d_{toBS}^2} \quad (3)$$

其中  $N$  為節點總數， $M$  為網路大小  $d_{toBS}$  為節點與基地台的距離。

此論文參考感測節點的殘餘能源為判斷依據，來選擇叢集頭，使感測節點達到負載的平衡，以增加網路的生存期。

ESSCSTA(Energy Efficient Sleep Scheduled Clustering & Spanning Tree based data aggregation in wireless sensor network)[7]：修改 LEACH 的方法，在叢集穩定階段加入睡眠機制，而叢集頭選擇階段除了依據以往的電量選擇條件，還加入了蒐集資料的相關性來產生叢集頭，在形成之後先讓一半的感測節點實施睡眠機制，另外一半的感測節點傳送資料到叢集頭，在傳送完成之後才換另一半節點輸，節省一半閒置節點的能源，叢集頭在蒐集完成後經過資料匯總(Aggregation)，另外在修改 LEACH，叢集頭直接將資料傳送到 Sink，因距離較遠所消耗的能源也較多，所以 ESSCSTA 利用叢集頭到叢集頭之間建立樹狀架構形成 Multi-hop 的資料傳送方式到 Sink，減少能源因直接傳送到 Sink 距離過長而消耗過多的能源問題。

SEP(A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks)[8]：修改 LEACH 的方法，主要應用於擁有不同感測節點的異質無線感測網路，針對 LEACH 於異質無線感測網路中能源附載不平衡的問題進行改良。感測節點分成兩種高級感測節點與一般感測節點，依照初始能源不同來設定叢集頭的閾值，讓出使能源較多的感測節點來當認叢

集頭，平衡節點因初始能量不同而造成剩餘能源不均的問題。

### 3. 能量密度分群方法

在本章節將說明提出的密度分群方法的運作流程。

#### 3.1 運作環境

- I. 所有感測節點的位置固定且不會移動。
- II. 所有感測節點擁有相同的初始能源。
- III. 所有感測節點電源無法進行更換或充電。
- IV. 依照能源消耗模組在不同的傳輸距離，有不同的能源消耗。
- V. 感測節點擁有能直接與基地台通訊的能力。

#### 3.2 能源消耗模組

能源消耗模組為[1][4-5]所提出，目前針對無線感測網路方面的許多研究皆使用此模組計算感測節點得能源消耗。

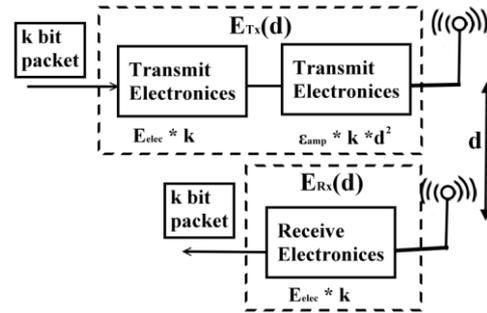


圖 1、無線通訊模組

感測節點傳送  $k$  位元資料到距離  $d$  的目的節點的能源消耗

$$E_{Tx}(k, d) = \begin{cases} k * E_{elec} + k * \epsilon_{fs} * d^2, & d \leq d_0 \\ k * E_{elec} + k * \epsilon_{mp} * d^4, & d > d_0 \end{cases} \quad (4)$$

其中距離的閾值  $d_0$  為

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (5)$$

感測節點在接收  $k$  位元資料的能源消耗

$$E_{Rx}(k) = k * E_{elec} \quad (6)$$

公式(4)為傳輸資料的能源消耗，其是根據理想傳輸模型與多重路徑干擾模型兩種傳輸

模式，傳輸距離如果小於距離門檻值( $d < d_0$ )，則使用理想傳輸模型計算能源消耗;若大於距離門檻值( $d > d_0$ )，則使用多重路徑干擾模型。另外  $E_{elec}$  為通訊模組的電子元件所需要的能源消耗，與分別是兩種傳輸模型的放大器傳輸能源。公式(6)，表示感測節點在接收  $k$  位元資料的能源消耗。

### 3.3 運作流程

在叢集頭選擇方法中，我們利用節點連結度與剩餘能源作為選擇叢集頭的門檻值( $S_{i\_dE}$ )，具有高度連結度的節點其顯示說節點附近有較多的鄰居節點，此一狀況可視為該節點所在位置俱有較高之節點密度。因此，在所有節點完成初始設置後，各個節點將門檻值廣播出去，讓各節點與鄰居節點交換此一數值，最後由節點選擇門檻值高的擔任叢集頭。感測節點的門檻值如公式(7)。

$$S_{i\_dE} = \alpha * \frac{E_{residual}}{E_{initial}} + \beta * \frac{d_s}{d_{max}} \quad (7)$$

其中  $d_{max}$  為相同叢集內的最大連結度， $d_s$  則為節點本身與同叢集鄰居的連結度， $E_{residual}$  為節點剩餘能量， $E_{initial}$  為節點初始能量， $\alpha$  與  $\beta$  為能量與連結度的權重值， $\alpha + \beta = 1$ 。

圖二為密度能量分群機制運作流程圖，以下將詳細說明整個運作流程步驟。

Step 0:所有感測節點初始化完成佈署。

Step 1:判斷節點是否全死亡，若是則結束模擬，若否則繼續進行模擬。

Step 2:計算節點本身的連結度  $d_s$ 。

Step 3:廣播節點  $d_s$  值。

Step 4:計算同區域內的最大連結度  $d_{max}$ 、每個節點依照公式(7)計算出本身的門檻值。

Step 5:廣播相關資訊包含 ID、位置、門檻值，讓所有節點能得知鄰居節點的相關資訊。

Step 6:每個節點收到相同區域內鄰居節點的相關資訊，將門檻值互相比較選出最大的  $S_{i\_dE}$  值，該節點成為叢集頭。

Step 7:節點比較門檻值後，具最大門檻值節點將擔任叢集頭，其餘節點則成為該叢集成員。

Step 8:每個節點進行感測工作，將感測資料傳送至同叢集的叢集頭。

Step 9:叢集頭匯總資料。

Step 10:將資料傳回基地台。

Step 11:若進行重新重組叢集則返回 Step 1。

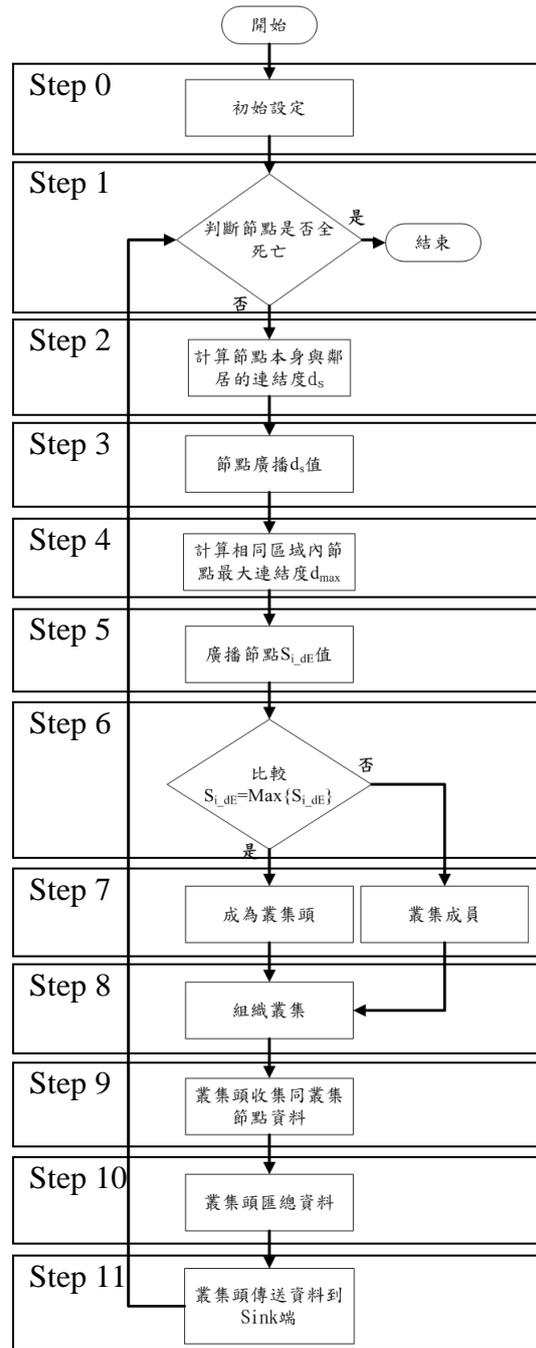


圖 2、密度能量分群流程圖

## 4. 模擬結果

我們使用 Matlab 來進行模擬，我們模擬實驗的網路環境為 100 m \* 100 m 的區域，且隨機佈署 100 個感測節點，劃分成四個叢集，如圖三，各叢集分別以 X、◇、○、\* 符號表示。而基地台設置在座標 (50,175) 感測區域外的位置，節點初始能量為 0.5 焦耳，詳細參

數設置如表一所示。

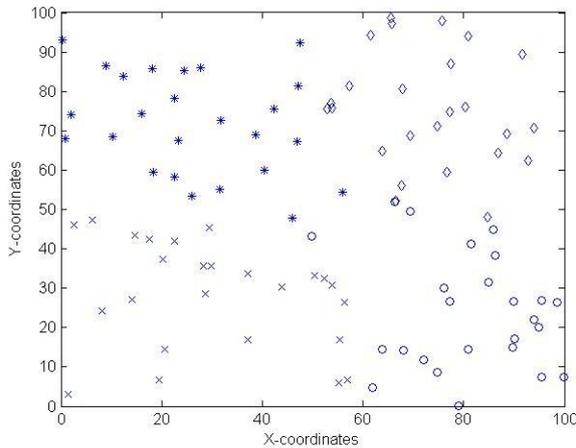


圖 3、網路環境佈署模擬圖

表 1 模擬參數表

模擬參數表	
Field size ( $M \times M$ )	100 m * 100 m
Number of nodes, $N$	100 nodes
Location of BS (Base Station)	(50,175)
Threshold distance ( $d_0$ )	87.7 m
With neighbor distance(ds)	10 m
Initial Energy of sensor node	0.5 J
The energy for aggregation ( $E_{DA}$ )	5 nJ/bit
$E_{elec}$	50 nJ/bit
$\epsilon_{fs}$	10 pJ/bit/m <sup>2</sup>
$\epsilon_{mp}$	0.0013 pJ/bit/m <sup>4</sup>
$\alpha$	0.5
Cluster-head probability	0.05
The data packet size	2000 bits
The control packet size	100 bits

圖 4 為網路生存期，圖中比較了 LEACH[4]、SEP[8]、only E(energy aware 單純考慮節點剩餘能量來選擇叢集頭)，我們提出的方法以漸進死亡的方式延長網路壽命。

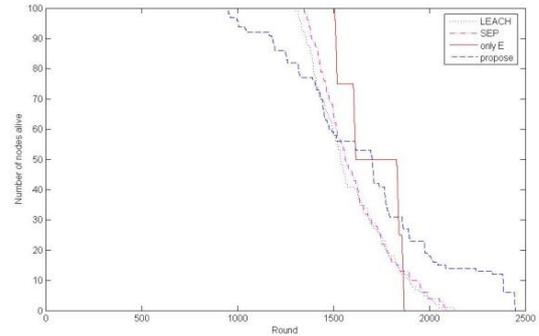


圖 4、網路生存期

圖 5、為整體網路的連結度變化，從圖五可以發現當連結度下降時，也就代表有節點開始死亡。

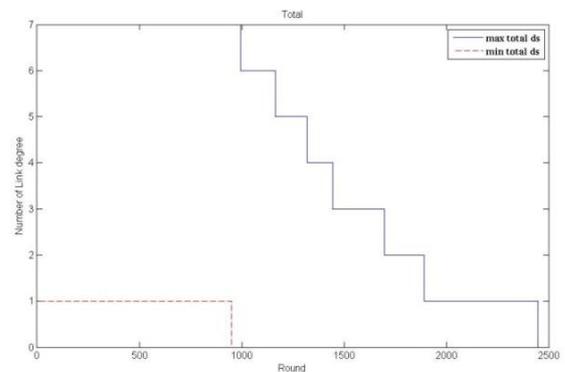


圖 5、整體網路的連結度變化

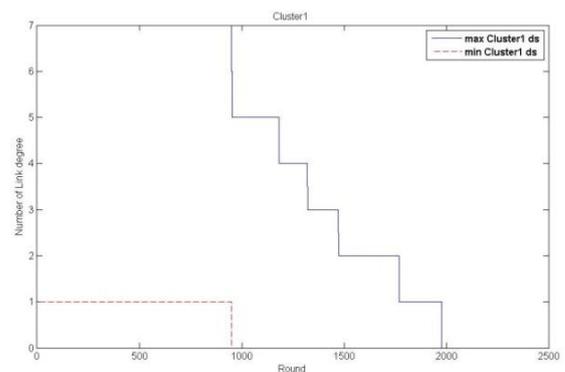


圖 6、叢集一連結度變化

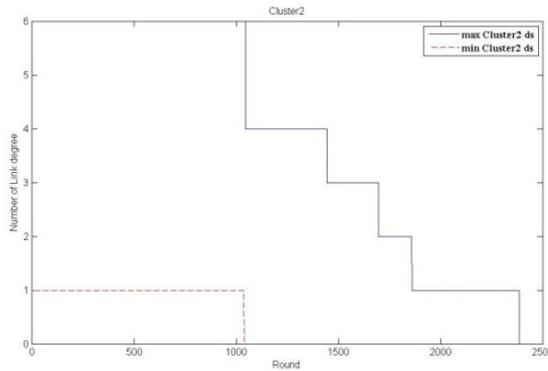


圖 7、叢集二連結度變化

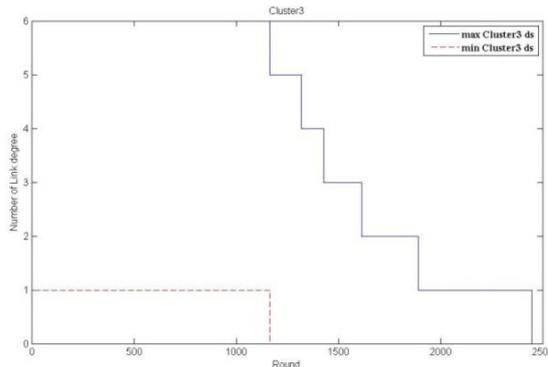


圖 8、叢集三連結度變化

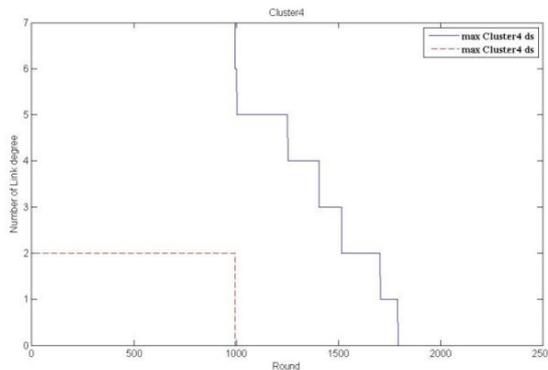


圖 9、叢集四連結度變化

在模擬結果可得知我們的方法能有效的延長網路生存期，但我們所提出的密度能量分群方法適用於網路環境密度較高的狀況下，考量節點與鄰居節點之間的能量與連結度較具有延長網路壽命的優勢。

除此之外我們還能監控各個叢集的狀態，從模擬結果可以發現，網路生存期與連結度是有關聯性的，我們能得知哪個叢集密度不足，維護網路也變得比較容易，也能迅速的去到問題點去維護網路。

## 5. 結論

本篇提出能量密度分群的方法來改善節點能消耗的問題，以延長網路的生存期，由實驗結果顯示使用能量密度分群方法可以將網路的生存期延長，在相同密度環境的狀況中只考量節點殘餘能量相比，能有效的延長整個網路的壽命，不僅如此我們能更有效率的去維護整個網路。本結果可以應用在登山、監控牛群等，在高度密度網路下能有效的傳送資訊到基地台外，當有節點消失(牛離群)時會造成密度下降，我們也能立刻發覺在哪個地點節點消失(牛離開群體)，方便我們進行監控。

在未來的工作方面，將以所提出的密度分群機制為基礎，延伸加入其他考量因素，使達到延長網路壽命與平衡節點能源耗損的問題。

## 參考文獻

- [1] I.F. Akyildiz, Su Weilian, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "A survey on sensor networks", IEE Communications Magazine, vol.40, no. 8, pp. 102–114, Aug. 2002.
- [2] A. Nandi and S. Kundu, "Energy level performance of packet delivery schemes in wireless sensor networks over fading channels," International Journal of Future Generation Communication and Networking, vol. 4, pp. 91–104, 2011.
- [3] J. Wu, K.-M. Hou, X. Diao, and J.-J. Li, "Fuzzy position based routing in clustered wireless sensor network for smart environment," in Proceedings of the International Conference on Computer Science and Service System (CSSS '11), pp. 3945–3948, June 2011.
- [4] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks", Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 4-7 Jan. 2000.
- [5] 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.
- [6] M.C.M. Thein, T. Thein, "An Energy Efficient Cluster-Head Selection for Wireless Sensor Networks", International Conference

on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, pp. 287-291, Britain Liverpool, 27-29 Jan. 2010

- [7] R. Chauhan, V. Gupta, "Energy Efficient Sleep Scheduled Clustering & Spanning Tree based data aggregation in wireless sensor network", International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT), pp. 536-541, March 2012.
- [8] G. Smaragdakis, I. Matta and A. Bestavros, "SEP: A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks," in: Second International Workshop on Sensor and Actor Network Protocols and Applications (SANPA 2004), 2004.