

LEACH with Minimum Distance Cluster Head

鄭凱文¹、林仁勇²、譚旦旭¹

¹ 國立台北科技大學電機工程系

² 大葉大學資訊工程學系

摘要—無線隨意網路(Ad Hoc Network)的發展與需求，帶起無線感測網路(Wireless Sensor Network)的進步，但是阻礙無線感測網路進展原因之一，是感測節點(Sensor Node)本身能量的限制，如何改善感測網路能量消耗，以進一步達到延長整體系統生命週期(System life)的效果，為本篇論文主要研究主題。本研究以 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)傳輸協定為主體架構，並提出新的叢集首(Cluster head)選擇方法，稱為 MDCH-LEACH。模擬結果顯示 MDCH-LEACH 傳輸協定相對於 LEACH 傳輸協定，明顯延長感測網路生命週期。

關鍵詞：無線感測網路、叢集、LEACH

Abstract-The development and demand of Ad Hoc Network leads the progress of Wireless Sensor Networks. However, the development of Wireless Sensor Network was restricted to the limit energy which sensor nodes can carry. The main objective of this research is to extend the system life by reducing the energy consumption. We modify the cluster head selection algorithm in the LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) protocol. The new proposed algorithm is called as MDCH-LEACH. The simulation results show that the system life of sensor network with MDCH-LEACH is longer than that with LEACH.

Keywords: wireless sensor network, cluster, LEACH

1. 前言

隨著無線通訊技術與嵌入式微處理器技術的進步與整合，帶動了無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)的發展。無線感測網路是由許多的感測節點(Sensor node)所組成，這些節點能夠在其感測範圍(Sensor range)裡偵測目前的環境數據，例如：溫度、溼度、光度等。透過無線通訊方式，感測節點能夠與週遭的其它感測節點溝通，並且將收集到的資料數據使用直接傳輸(direct transmission)[2]或多重跳躍(multihop)[5]的方式傳送回資料收集端(Sink)，使用者藉此可以分析感測點回傳的資料應用於許多用途，如軍事、環境監控、醫療用途等。目前研究上，電源能量的消耗控制仍然為主要發展限制因素之一[3]，因此如何改善無線感測網路系統能量消耗，延長整個無線感測網路的系統壽命成為熱門的研究主題。

在各種研究中 LEACH[1]以所有感測節點輪流當作叢集首(Cluster Head)方式延長了整個無線感測網路的系統壽命。然而從分析中我們也看到雖然所有感測節點輪流當叢集首，不過距離資料收集端較遠的感測節點因為在當叢集首時需要消耗較多的能量，因此也較早耗光電池能量以致影響整個系統壽命。所以本篇論文將以無線感測網路資料傳輸協定 LEACH[1]作為本篇論文系統架構，並將此架構加以修改，透過不同的叢集首選擇方法來延長無線感測網路的系統壽命(在此系統壽命定義為 75%的感測節點仍擁有電池能量)。

本篇論文其他章節說明如下：第二節介紹 LEACH 的基本架構，第三節則是描述我們所提出的 MDCH LEACH 架構，第四節為

MDCH LEACH 的模擬結果以及與 LEACH 的性能比較，最後第五節是本篇論文的結論。

2. LEACH

無線感測網路資料傳輸方式中，主要是由多個來源感測節點傳至單一目的地(Sink)。目前許多的研究已提出適用於無線感測網路的資料傳輸協定，這些研究中基本上可以分為三大類：階層式(Hierarchical)協定、資料中心(Data-centric)協定、以及位置導向(Location-based)協定[7]。其中階層式(Hierarchical)協定採用的是網路叢集化(Clustering)的概念，以增加網路的延展性(scalability)，可避免當網路區域變大，或是感測節點數大量增加時，造成網路過多的負載(overhead)、延遲，同時可降低網路管理的複雜度[7]。

LEACH[1]為一個兩階層(Two-tier)的傳輸協定是屬於階層式協定的一種，它將無線感測網路中感測節點分為許多個叢集，在每個叢集裡都有一個叢集首，叢集首的選擇是以隨機亂數法則產生，在每個傳輸回合(round)開始，都會對每個感測節點獨立執行是否為叢集首的選擇判斷，等叢集首確認後，每個感測節點就透過叢集首將收集到的資料傳至收集點。在執行一段時間後會結束此一個傳輸回合並重新啟動另一傳輸回合，此時系統會重新選擇別的感測節點作為叢集首，由於感測節點擔任叢集首會使得本身能量消耗較大，因此系統希望能讓各個感測節點都能輪流擔任叢集首，以分擔系統整體能量消耗，延長網路生命週期(System life)。

LEACH 傳輸協定在選擇叢集首的方式為將每個感測節點都給予一個隨機數值，而系統會根據已執行的回合數設定一個門檻值(threshold)，門檻值的設定公式如式(1)[1]：

$$T(i) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \times (n \bmod \frac{1}{p})} & i \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, (1)$$

其中 p 為預設常數，表示在每個傳輸資料的回

合中，叢集首佔全體感測節點的比率， n 代表感測網路傳輸的回合數，而 G 代表在第 n 回合裡尚未被選為叢集首的感測節點。由式(1)顯示在所有感測節點都當過叢集首之前，當過叢集首的感測節點將不再被選為叢集首，因此能夠讓所有感測節點都被選為叢集首，以達到分擔系統整體能量消耗進而延長網路壽命的目的。

在 LEACH 傳輸模型裡，將感測節點發送與接收兩節點間資料量定為 k -bits，而兩節點之間距離為 r 公尺。由此假設，將感測節點發送與接收時所消耗的能量定義為[4]：

$$E_T(k, r) = E_{Tx}k + E_{amp}(r)k \quad (2)$$

$$E_R(k, r) = E_{Rx}k \quad (3)$$

其中 E_T 與 E_R 分別表示為感測節點發送與接收時所消耗的能量，而 $E_{amp}(r)$ 為感測節點發送時放大器 (amplifier) 所消耗的能量，放大器的消耗能量定義為[4]：

$$E_{amp} = \begin{cases} \epsilon_{FS}r^2, & r \leq r_0 \\ \epsilon_{TR}r^4, & r > r_0 \end{cases} \quad (4)$$

其中 ϵ_{FS} 與 ϵ_{TR} 分別表示為放大器存在於自由空間 (free-space) 與二維多路徑空間 (two-ray) 所代表的變數(在自由空間與多路徑傳播時所消耗的能量係數)， r_0 則定義為[4]：

$$r_0 = \sqrt{\epsilon_{FS}/\epsilon_{TR}} \quad (5)$$

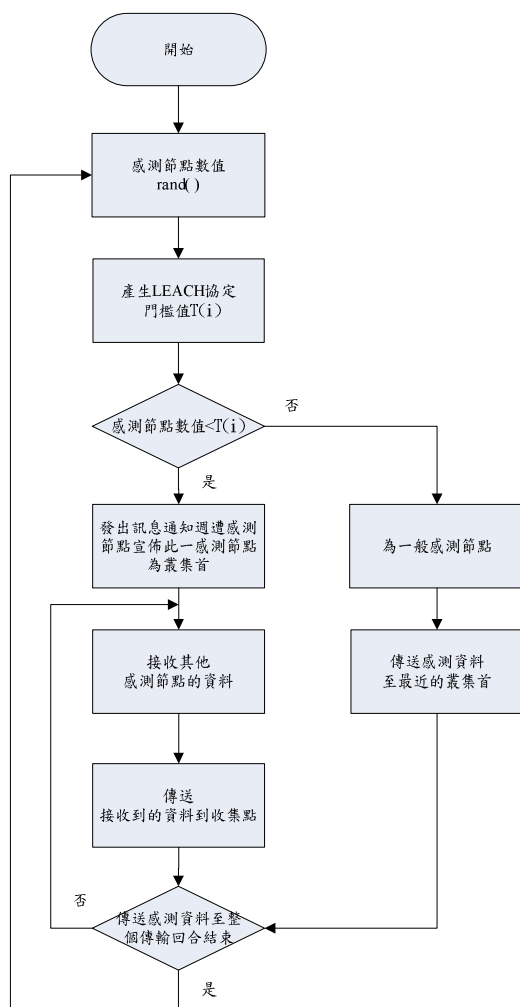
圖一為 LEACH 傳輸協定運作流程圖，整個流程說明如下：

- (一) 感測節點隨機產生一介於 0 到 1 uniform 分佈的亂數。
- (二) 以式(1)求出門檻值。
- (三) 將感測節點在步驟(一)中產生的亂數與步驟(二)的門檻值相比較，如果較小，則此感測節點成為這一回合的一個叢集首(Cluster Head)並執行步驟(五)，若較大，則為一般感測節點，執

行步驟(四)。

(四) 傳送感測資料至最近的叢集首至整個傳輸回合結束後重新執行步驟(一)。

(五) (a)發出訊息通知週遭感測節點宣佈此一感測節點為叢集首。(b)接收其他感測節點的資料。(c)傳送接收到的資料到收集點。(d)重複(a)、(b)、(c) 至整個傳輸回合結束後重新執行步驟(一)。



圖一 LEACH 傳輸協定流程圖

3. MDCH-LEACH

MDCH-LEACH 的基本系統架構相同於 LEACH 協定，不同之處為選擇叢集首的方法。利用 LEACH 協定選擇出叢集首後，接下來依 LEACH 協定方式形成各個叢集，叢集裡的感測節點數量為一不固定數。在完成叢集 (cluster formation) 後，MDCH-LEACH 利用最

小距離叢集法則 (Minimum Distance Cluster Head) 選出一個新的叢集首。在此最小距離叢集法則為找出叢集裡距離資料收集端最短距離的感測節點成為 MDCH-LEACH 協定的新叢集首。接下來的傳輸方式 MDCH-LEACH 和 LEACH 協定是完全相同。

圖二為 MDCH-LEACH 傳輸協定流程圖，整個 MDCH-LEACH 傳輸協定流程說明如下：

(一) 感測節點隨機產生一介於 0 到 1 uniform 分佈的亂數。

(二) 以式(1)求出門檻值。

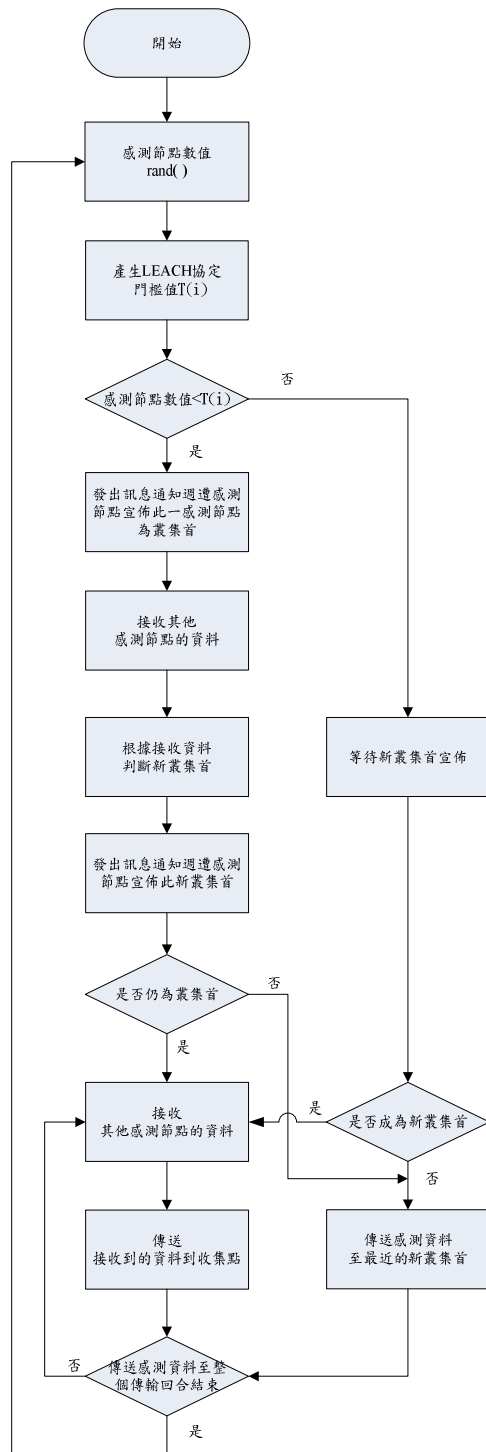
(三) 將感測節點在步驟(一)中產生的亂數與步驟(二)的門檻值相比較，如果較小，則此感測節點成為這一回合的一個叢集首 (Cluster Head) 並執行步驟(六)，若較大，則為一般感測節點，執行步驟(四)。

(四) (a)傳送距離資料至最近的叢集首。(b)等待新叢集首之宣佈。(c)若成為新的叢集首執行步驟(六)。若非新的叢集首則執行步驟(五)。

(五) 傳送感測資料至整個傳輸回合結束後重新執行步驟(一)。

(六) (a)發出訊息通知週遭感測節點宣佈此一感測節點為叢集首。(b)接收其他感測節點的距離資料。(c)根據接收資料判斷新叢集首。(d)發出訊息通知週遭感測節點宣佈此新叢集首。若此感測節點仍為叢集首執行步驟(七)，若非叢集首則執行步驟(五)。

(七) (a)接收其他感測節點的資料。(b)傳送接收到的資料到收集點。(c)重複(a)、(b)至整個傳輸回合結束後重新執行步驟(一)。



圖二 MDCH-LEACH 傳輸協定流程圖

4. 模擬結果

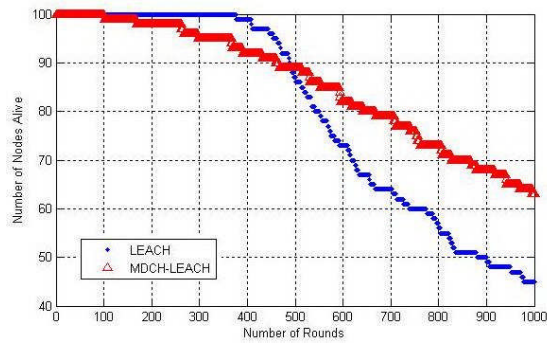
為了比較 MDCH-LEACH 與 LEACH 效能的差異，我們以 MATLAB 撰寫模擬程式來模擬兩者的運作。整個模擬之系統條件如下：

- 在每次模擬實驗裡，使用 100 個感測節點作為無線感測網路的傳輸節點，每個感測節點初始能量值為 2 焦耳(Joules)。

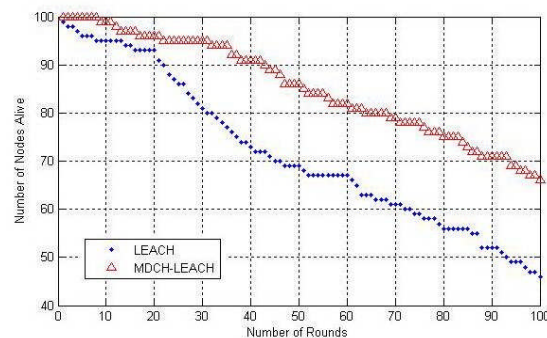
- 感測節點進行資料傳輸時，設定每次傳送與接收資料皆為一個訊框(frame)，每個訊框包含傳輸資料量(data message) 500 位元組(bytes)與資料封包標頭(packet header)25 位元組(bytes)。
- 模擬環境的拓撲(topology)共有 10 個。100 個感測節點以 uniform 分佈在邊長分別為 100、300 以及 500 公尺的正方形範圍內，而資料收集端則設定在距離最近感測節點 25、75 及 125 公尺的位置上。
- 在模擬裡，設定 $E_{Tx} = E_{Rx} = 50$ nJ/bit， $\epsilon_{FS} = 10$ pJ/bit/m²，而 $\epsilon_{TR} = 0.0013$ pJ/bit/m² [4]。

圖三、四及五分別顯示 MDCH-LEACH 與 LEACH 在資料收集端設定在距離最近感測節點 75 公尺地方且感測區域分別為邊長 100、300 及 500 公尺的正方形時，剩餘感測節點個數與傳輸回合關係的模擬結果。在此所謂的剩餘感測節點個數代表在該傳輸回合結束後，仍然具有傳輸能量的感測節點個數。我們承繼 Muruganathan 等人的定義[4]，以剩餘感測節點個數佔初始感測節點 75%作為整個感測網路的系統生命週期(system lifetime)。

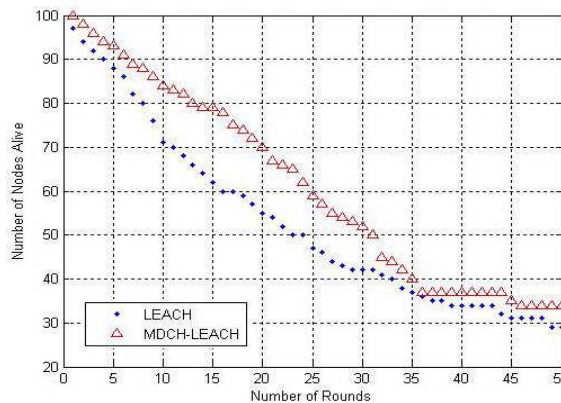
由圖三、四及五的模擬結果顯示，LEACH 在感測區域為邊長 100、300 及 500 公尺的正方形時分別在第 575、第 37 及第 10 回合時到達剩餘感測節點個數佔初始感測節點 75%的臨界點，換句話說，LEACH 在感測區域為邊長 100、300 及 500 公尺的正方形時，系統生命週期分別為第 575、第 37 及第 10 回合。而 MDCH-LEAH 在感測區域邊長為 100、300 及 500 公尺的正方形時，系統生命週期則分別為第 753、第 80 及第 17 回合。模擬結果顯示不管感測區域的大小 MDCH-LEACH 都擁有比 LEACH 較長的系統生命週期。



圖三 模擬環境邊長各 100 公尺時，生存感測節點個數之比較



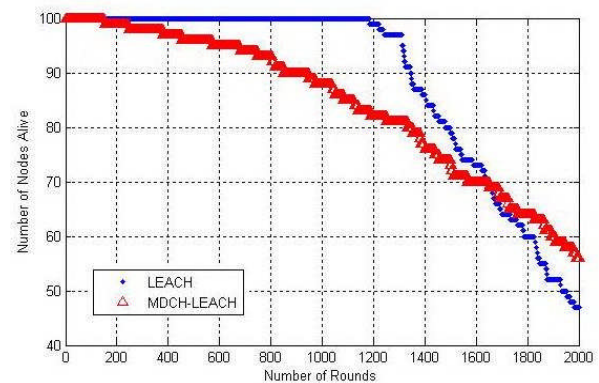
圖四 模擬環境邊長各 300 公尺時，生存感測節點個數之比較



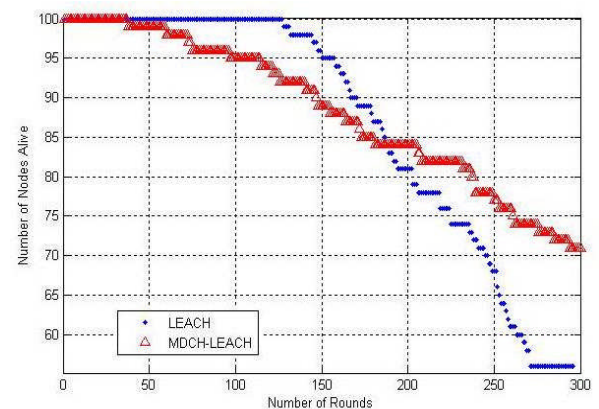
圖五 模擬環境邊長各 500 公尺時，生存感測節點個數之比較

圖三、六及七的模擬結果顯示，LEACH 在資料收集點距離最近感測節點為 25、75 及 125 公尺時，分別在第 1540、第 575 及第 225 回合時到達剩餘感測節點個數佔初始感測節點 75% 的臨界點，因此 LEACH 在資料收集點距離最近感測節點為 25、75 及 125 公尺時，

系統生命週期分別為第 1540、第 575 及第 225 回合。而 MDCH-LEACH 在資料收集點距離最近感測節點為 25、75 及 125 公尺時，系統生命週期則分別為第 1437、第 753 及第 261 回合。模擬結果顯示資料收集點距離感測節點較遠，MDCH-LEACH 可以比 LEACH 擁有較長的系統生命週期。



圖六 資料收集點距離最近感測節點為 25 公尺生存感測節點個數之比較



圖七 資料收集點距離最近感測節點為 125 公尺生存感測節點個數之比較

5. 結論

在本篇論文中我們提出以 LEACH 傳輸協定為基礎但修改叢集首的選擇演算法的 MDCH-LEACH 傳輸協定。由模擬結果顯示，不管感測區域範圍的大小，MDCH-LEACH 傳輸協定的系統生命週期都可以較 LEACH 傳輸協定的系統生命週期來得長。而在改變資料收集點的位置下，模擬結果顯示，資料收集點距

離邊界較近時，LEACH 傳輸協定的表現較好，而資料收集點距離邊界較遠時，MDCH-LEACH 能量消耗表現較好。由此結果顯示，在模擬環境範圍越大以及資料收集點距離環境範圍邊界越遠，MDCH-LEACH 的節省能量消耗上的表現，遠比 LEACH 傳輸協定優秀。

參考文獻

- [1] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks." *In Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000, pp. 1-10.
- [2] Stephanie Lindsey, Cauligi Raghavendra, and Krishna M. Sivalingam, "Data Gathering Algorithms in Sensor Networks Using Energy Metrics." *IEEE Trans. Parallel and Distributed System* vol. 13, no. 9, Sep.2002, pp. 924-935.
- [3] Andrea J. Goldsmith and Stephen B. Wicker, "Design Challenges for energy-constrained ad hoc wireless networks," *IEEE WL Commun.*, Aug. 2002, pp. 8-27.
- [4] Siva D. Muruganathan, Daniel C. F. Ma, Rolly I. Bhasin, and Abraham O. Fapojuwo, "A centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor network," *IEEE Radio Communications*, March 2005, pp. S8-S13.
- [5] Yao-Chung Chang, Zhi-Sheng Lin and Jiann-Liang Chen, "Cluster Based Self-Organization Management Protocols for Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 52, No. 1, FEB 2006, pp. 75-80.
- [6] Fei Ye, Yao Hua, Zhisheng Niu, "Sub Cluster Aided Data Collection in Multihop Wireless Sensor Networks," in Proc. *IEEE WCNC*, 2007, pp. 3970-3974.
- [7] 曾煜棋、潘孟鉉、林致宇, "無線區域及個人網路-隨意及感測網路之技術與應用," 知城數位科技股份有限公司, 2006, pp. 13.1-13.14.