

PEGASIS 架構之長存活期無線感測網路之鏈結頭選擇

戴良峻
朝陽科技大學
資訊與通訊系
s9630608@cyut.edu.tw

黃永發
朝陽科技大學
資訊與通訊系
yfahuang@cyut.edu.tw

林仁勇
大葉大學
資訊工程學系
jylin@mail.dyu.edu.tw

摘要

本篇論文主要探討 PEGASIS 鏈結架構下的網路存活期，我們探討了鏈結中兩相鄰節點間的平均距離與變異量對網路存活期的影響，此外本篇論文也探討選擇鏈結頭的方法對網路存活期的影響，由模擬結果顯示平均距離與變異量會影響第一個節點能量耗盡的回合數，此外將剩餘能量及節點與基地台的距離列為選擇鏈結頭的評估參數也可有效延長網路存活期。

關鍵詞：PEGASIS、平均距離、變異量、網路存活期。

Abstract

In this paper, we investigate the lifetime improvement of PEGASIS scheme by chain head selection methods for wireless sensor networks (WSNs). From simulation results, it is shown that both the average distance and variance between two adjacent node of the chain can decrease the lifetime of the first node death. Moreover, to improve the network lifetime we propose two energy-aware methods, maximum remaining energy (MRE) and maximum remaining energy to distance ratio (MEDR), to choose the chain head. Simulation results show that both proposed energy-aware methods can effectively prolong the lifetime of the first node death and the half node death.

Keywords: PEGASIS, average distance, variance, network lifetime.

1. 前言

近年來由於無線通訊技術的成熟，微型感測元件、通訊電池技術的發展，使微小感測器具有無線通訊傳輸、資料聚集處理以及環境感測等能力，透過這些微型感測器經由無線網路的協定，可以針對某一個區域環境狀況做適當的監視及設備控制(例如:感測雷達、紅外線、地震訊號...等等)。然而在無線感測網路(Wireless Sensor Network)[1]中節點所佈署的位置通常是不易到達的區域，對能量裝置的更換或充電

是比較困難且不可行，當感測器因電力耗盡而無法作用時，網路所收集的資料將不完整或不夠精確，因此在電源有限的條件下，感測器在做任何動作時，都應該考量到電量的消耗，如何有效應用感測網路的節點能量是非常重要的問題。

感測網路中主要能量之消耗是在感測資料傳輸的過程，不同的資料傳輸架構的能量消耗分佈[2]會有很大的差異。感測網路的傳輸架構可以分三類，其中最簡單的方式就是直接傳輸，每個感測器直接傳送所收集到的資料傳送到遠處基地台(Sink)，透過應用這種方式時，節點能量消耗速率因為離基地台的遠近而有所不同，距離基地台較遠的感測器很容易就能量耗盡，故較大面積的感測網路就不適合此種傳輸架構[3]。第二個架構則是經由多重跳躍(Multi-hop)方式將資料傳送到基地台，這種傳輸架構主要是先將感測網路的感測節點形成一個或多個鏈結(Chain)架構，而每個鏈結都會有一個感測節點成為資料的收集者並擔任鏈結頭，而其他的節點只需要將收集到的資料往鏈結上靠近鏈結頭的鄰近節點傳遞，最後鏈結頭會將鏈結上所收集的資料再傳送給基地台。這種傳遞資料的架構的最大缺點是，當感測節點所收集到的數據資料傳送到遠處的基地台時，必須經由點對點的傳輸方式，而越靠近基地台的節點會因為傳送的資料筆數越來越多造成耗費太多之能量而失去所有功能，不適合用於感測範圍較大的環境，此一方法較常用於任意式網路(Ad Hoc Network)的路由協定[4-6]。

第三種架構是叢集化(Clustering)架構[7-9]，主要的概念是將感測範圍區域內的感測器形成數個叢集(Clusters)。每個叢集範圍裡的某一個感測節點會經由一定的程序被挑選為叢集頭(Cluster head)，此一叢集頭負責將叢集範圍內所有感測節點收集到的資料傳送到遠處的基地台。利用這種架構，叢集頭會成為資料壓縮和數據資料融合的點，因此會造成叢集頭消耗的能量比一般感測節點高出許多，所以叢集頭的存活期比一般感測節點來的短，但如

果每個感測節點可以輪流擔任叢集頭，將可延長整個系統存活期[8]。

在目前無線感測網路中，能量問題一直是被討論的重點，而降低能量消耗達到延長網路存活期是必須的。因此 Lindsey 等人[11]提出 PEGASIS 的方法利用鏈結架構，透過多重跳躍的方式減少能量的消耗以延長網路存活期。但 Lindsey 等人在[11]中並未探討鏈結長度對網路存活期的影響，理論上，當鏈結長度越長時，所消耗能量也越大，但是平均長度與變異量對於網路存活期之間的關連性為何，仍需進一步探討。此外，Lindsey 在[11]中選擇鏈結頭方法中，只有使用輪流的方式來選擇鏈結頭，不同的選擇鏈結頭方法是否可以延長網路存活期，也是一個值得研究的方向。因此本論文利用 MATLAB 模擬 PEGASIS 的運作，並統計整理鏈結平均長度與變異量對於網路存活期的影響以提供鏈結形成演算法可以努力的方向，此外本論文也提出兩種不同於 PEGASIS 的選擇鏈結頭(Chain head)的方法用以達到延長網路存活期的目的。

本論文剩餘部份說明如下，第二節是 PEGASIS 運作機制的簡介，第三節則是鏈結的長度對於網路存活期影響的分析，第四節我們提出兩種不同鏈結頭選擇方法，並探討此兩種方法對網路存活期的影響，最後第五節是本研究的結論。

2. PEGASIS 鏈結架構

PEGASIS 是以鏈結架構為主的一種感測網路資料收集方法[10-11]，此方法先使用貪婪演算法(Greedy Algorithm)來建立一個鏈結結構，之後利用形成的鏈結結構及多重跳躍方式將感測資料傳輸至目的端。PEGASIS 在建構一個鏈結時，首先會以離基地台最遠的感測器節點作為鏈結的起點，然後尋找距離它最近的感測器節點，成為下一個加入鏈結的節點，如此重複此動作，將未加入鏈結的感測器節點一一加入鏈結中。

在鏈結架構完成後，PEGASIS 將時間切割成以回合(Round)為單位的週期，在每一回合中，所有節點會將一筆感測資料傳輸到鏈結頭，而鏈結頭則在聚集所有節點的資料後，將資料融合後再傳輸到基地台。PEGASIS 採用輪流方式讓所有感測節點擔任鏈結頭以避免能量消耗不均的情況發生，鏈結頭的選擇方式則是在資料收集的第 i 回合時，由鏈結中第 $i \bmod N$ (N 為感測器節點的數目)個感測器節點擔任

鏈結頭，整個資料傳輸路徑如圖 1 所示。

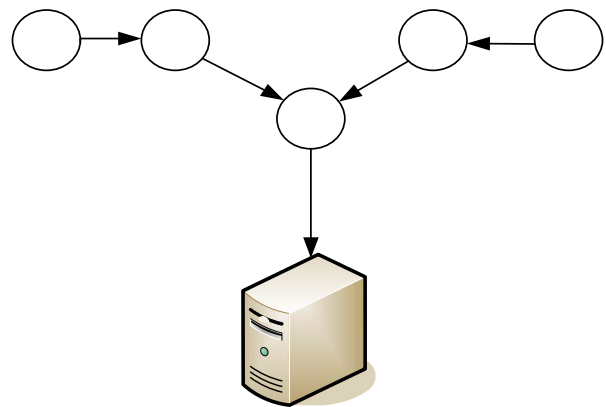


圖 1 PEGASIS 鏈結式基礎架構

3. 鏈結距離之統計特性

在本節中，我們將探討鏈結長度對於網路存活期的影響。我們利用 MATLAB 模擬 PEGASIS 在 100 個不同拓模下的網路存活期。在這 100 次的模擬中，我們紀錄了每個拓模所形成的鏈結中兩相鄰感測器節點的距離，並求出所有距離的平均值與變異量(Variance)，其中變異量(E)則是由式(1)求得，

$$E = \sum_{i=2}^N \frac{(d_i - d)^2}{N - 2} \quad (1)$$

式(1)中， N 是感測節點數量， d_i 是鏈結中第 i 個節點與第 $i-1$ 個節點的距離， d 是全部平均距離。為了模擬整個感測網路運作的存活期，我們必須計算無線電能量模組所消耗的電量，在本論文中，我們採用 Lindsey 等人在[10]中所提出的模型。此一模型規範感測器節點在傳送電路部份所消耗的能量為 $E_{ele}=50\text{nJ/bit}$ ，而在傳輸放大器消耗的能量為 $E_{amp}=100\text{pJ/bit/m}^2$ 。當傳輸資料為 k bits，傳輸距離為 d 時，傳送時與接收時，一個節點能量消耗分別為

$$E_{TX}(k, d) = E_{ele} * k + E_{amp} * k * d^2 \quad (2)$$

及

$$E_{RX}(k, d) = E_{ele} * k \quad (3)$$

表 1 模擬參數

變數名稱	值
電路能量(E_{elec})	50 nJ/bit
資料聚集能量(E_{DA})	5 nJ/bit/signal
節點初始能量(E_{init})	0.25 J
感測區域範圍(M^2)	100 m*100m
感測節點數(N)	100 nodes
基地台位置(X, Y)	(50,300)
放大器能量(ε_{amp})	100pJ/bit/m ²

為了解平均距離對於網路存活期的影響，我們將 100 個拓樸的模擬整個參數如表 1 與模擬結果(平均距離與網路存活期的回合數)顯示在圖 2。由於不同的研究採用不同的網路存活期定義，因此在圖 2 中我們列出數個不同的網路存活期週期 $round(n)$ ，在此 $round(n)$ 代表有 n 個節點死亡(能量耗盡)的回合數。若網路存活期週期是定義為第一個感測節點能量耗盡的回合數，也就是 $round(1)$ ，則從圖 2 中我們可以觀察到， $round(1)$ 的分佈呈現右上左下的趨勢，換句話說， $round(1)$ 在平均距離較小時有較長的存活期週期，由此看出平均距離對於第一個節點死亡是影響很大的。進一步觀察 $round(5)$ 的分佈也呈現右上左下的趨勢，但趨勢已不如 $round(1)$ 明顯，再觀察 $round(25)$ 、 $round(50)$ 、 $round(75)$ 及 $round(100)$ 顯示，平均距離對於網路存活期影響已越來越小。

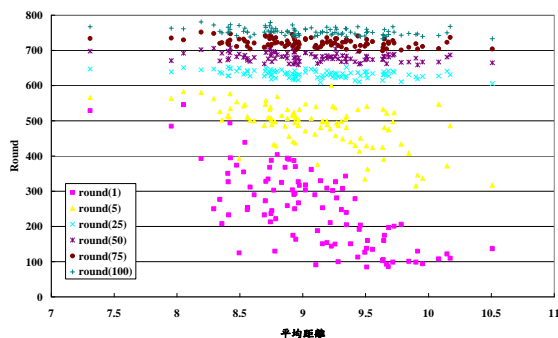


圖 2 平均距離與網路存活期之關係

我們進一步探討節點之間距離的變異量與網路存活期的關係，圖 3 顯示 100 個拓樸下，節點之間距離的變異量與網路存活期回合數的分佈圖。從圖 3 可觀察到，變異量大約在 20 至 35 之間時， $round(1)$ 的網路存活期最大可以到達 500 多回合，而變異量在 160 至 180 之間時，最小則不到 100 回合，兩者相差 400 多回合，表示出變異量對於 $round(1)$ 的節點死亡

影響可以歸納出一個趨勢，進一步觀察 $round(5)$ 的分佈也呈現右上左下的趨勢，在其他的網路存活期與變異量之間也無法觀察出一個趨勢。

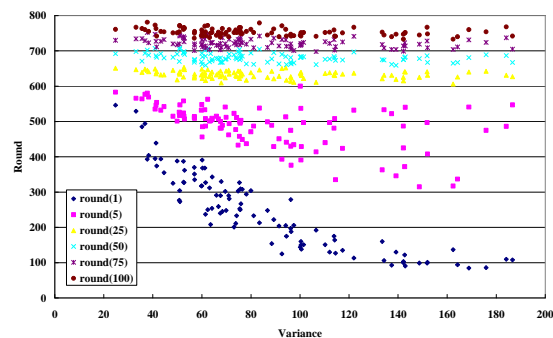


圖 3 變異量與網路存活期之關係

由本節的模擬結果顯示感測器節點之間的平均距離與變異量對 $round(1)$ 與 $round(5)$ 的網路存活期影響甚大，因此如果我們在設計鏈結形成演算法時可以著重在平均距離與距離變異量的改善，將對網路存活期定義為 1% 與 5% 的節點死亡的感測網路會具有延長存活期的效果。

4. 鏈結頭之選擇法

在這節我們探討 PEGSASIS 鏈狀架構下，在同樣的拓樸與鏈結架構下，使用不同的鏈結頭選擇方法與基地台位置，對網路的存活期是否有所影響。在鏈結頭選擇方法上，除了 PEGASIS 所使用的鏈結頭選擇方法外，我們提出兩種不同鏈結頭選擇法，第一種方法是將感測器的剩餘能量列入選擇鏈結頭的評估參數，因為在 PEGASIS 中選擇鏈結頭並未參考感測器的剩餘能量，當感測器節點剩餘能量已不多時，若仍然被選為鏈結頭，那此一感測器節會因為需消耗較多能量將資料傳送至基地台而將剩餘能量消耗殆盡，如此將造成網路存活期下降。因此我們提出的第一種方法在每一回合使用在整個鏈結中擁最大剩餘能量的感測節點作為鏈結頭，並負責聚集全部感測器節點的資料，再把資料傳輸到基地台，此一方法我們稱為最大剩餘能量選擇法(Maximum Remaining Energy, 簡稱 MRE)。在 MRE 的方法中，並沒有考慮到感測器節點離基地台的距離，因此可能會浪費多餘的能量，因此我們提出第二種選擇鏈結頭的方法，此一方法除了考量節點的剩餘能量外，也將節點與基地台的距離列入評估參數。此一方法在每一回合先以式 (4) 計算出一比值(R)為

$$R = \frac{E_{remain}}{D_{nbs}^2}, \quad (4)$$

其中 E_{remain} 代表節點的剩餘能量， D_{nbs} 代表節點與基地台的距離，在計算出每個節點的 R 值後，選擇擁有最大 R 值的感測節點作為鏈節頭。由於此一方法選擇以擁有最大剩餘能量與距離平方比的節點為鏈結頭，因此我們稱此方法為最大剩餘能量與距離平方比選擇法 (Maximum remaining Energy to Distance square Ratio, 簡稱 MEDR)。

圖 4 是三種不同鏈結頭選擇法的剩餘節點數與傳輸回合數的關係圖，從圖 4 中我們可以看出在同樣的拓撲下，以 PEGASIS 原先的鏈結頭選擇法，在剩餘節點超過 50% 以上的傳輸回合數都較 MRE 及 MEDR 法來得少，從圖 4 可以看出大約在 450 回合時，PEGASIS 方法節點死亡比其 PEGASIS(MRE) 與 PEGASIS(MEDR) 來的多，這是因為 PEGASIS 方法並沒有考慮節點是否有多餘的能量去傳送資料到基地台，造成節點會提早死亡。而在 MRE 方法可中當節點剩餘能量不多時，可由較高剩餘能量去當任鏈結頭，進而提升其它能量不多的節點的存活回合數。至於 MEDR 方法，則進一步將剩餘能量與距離因素考量進去，加入距離因素可以讓能量的消耗更平均。

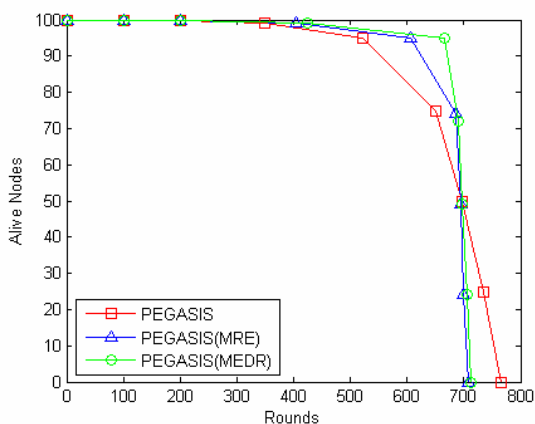


圖 4 選擇鏈結頭的方法網路存活期之比較,基地台位於(50,300)

表 2 比較不同選擇鏈結頭的方法的網路存活期，在表中 $r(n\%)$ 指的是 $n\%$ 感測器節點死亡的回合數，從表中可以看出在 $r(1\%)$ 與 $r(5\%)$ 節點陣亡的回合數之間的差異，這是因為選擇鏈結頭的方法會影響網路存活期，使用最大能量與考慮距離兩個因素可以有效的延長節點

會提早死亡的回合數。

表 2 選擇鏈結頭方法的網路存活期之比較,基地台位於(50,300)

	PEGASIS	PEGASIS (MRE)	PEGASIS (MEDR)
平均距離	8.89	8.89	8.89
E (變異量)	54.02	54.02	54.02
$r(1\%)$	348	404	425
$r(5\%)$	522	605	665
$r(25\%)$	650	685	690
$r(50\%)$	698	694	697
$r(75\%)$	734	700	705
$r(100\%)$	765	706	712

在表 3 與圖 5 中，比較再不同基地台與選擇鏈結頭的方法，當基地台(50,200)時，從表中可以看出在 $r(1\%)$ 與 $r(5\%)$ 可有效的改善網路存活期。

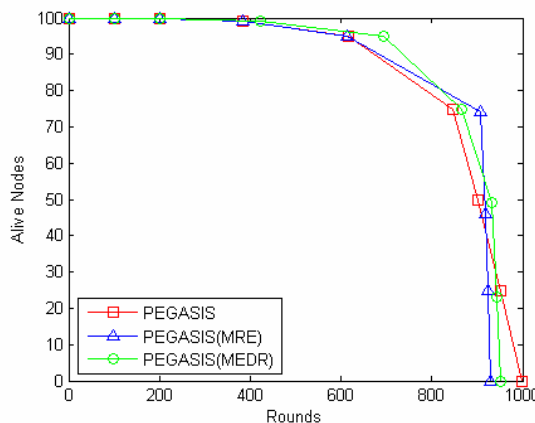


圖 5 選擇鏈結頭的方法網路存活期之比較,基地台位於(50,200)

表 3 選擇鏈結頭方法的網路存活期之比較,基地台位於(50,200)

	PEGASIS	PEGASIS (MRE)	PEGASIS (MEDR)
平均距離	8.89	8.89	8.89
E (變異量)	54.02	54.02	54.02
$r(1\%)$	348	383	423
$r(5\%)$	615	614	694
$r(25\%)$	846	906	867
$r(50\%)$	902	919	933
$r(75\%)$	952	923	942
$r(100\%)$	998	928	951

在表 4 與圖 6 中，當基地台越近時，節點所消耗的能量也越低，在選擇鏈結頭的方法中，PEGASIS(MEDR)可以有效的延長網路生存期。

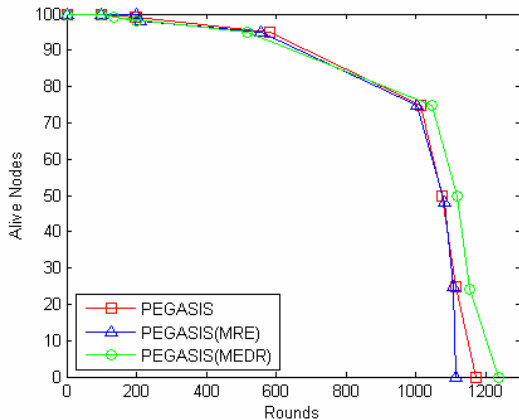


圖 6 選擇鏈結頭的方法網路存活期之比較,基地台位於(50,100)

表 4 選擇鏈結頭方法的網路存活期之比較,基地台位於(50,100)

	PEGASIS	PEGASIS (MRE)	PEGASIS (MEDR)
平均距離	8.70	8.70	8.70
E (變異量)	70.85	70.85	70.85
$r(1\%)$	197	210	135
$r(5\%)$	581	556	515
$r(25\%)$	1015	1002	1046
$r(50\%)$	1076	1082	1118
$r(75\%)$	1114	1108	1153
$r(100\%)$	1171	1115	1236

5. 結論

在本論文中，我們利用 MATLAB 模擬 PEGASIS 的效能，並分析鏈結長度與網路存活期的關係，從我們的模擬資料中，可以看出平均距離與變異量對網路存活期是有影響的。此外我們也提出兩種選擇鏈結頭的方法：MRE 與 MEDR 選擇法，從模擬資料顯示這兩種方法都可比 PEGASIS 所提出的方法延長網路存活期。因此未來我們希望提出不同的鏈結架構演算法來改善鏈結的長度讓平均距離降低，並將新的鏈結架構演算法與我們提出的選擇鏈結頭的方法結合，進而有效的延長感測網路存活期。

參考文獻

- [1] D. Culler, D. Estrin and 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 and E. Cayirci, "Wireless sensor network: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, issue 8, pp. 393-422, Mar. 2002.
- [3] E. J. Duarte-Melo and M. Liu. "Analysis of energy consumption and lifetime of heterogeneous wireless sensor networks," *Proceedings of Global Telecommunication Conference*, vol. 1, pp. 21-25, 17-21 Nov. 2002.
- [4] M. Chatterjee, Sajal K. Das, and D. Turgut, "A weighted clustering algorithm for mobile ad hoc networks," *Proceedings of the 7th International Conference on High Performance Computing*, vol. 5, pp. 511-521, Dec. 2000.
- [5] 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*, vol. 1, pp. 350-355, 17-21 Mar. 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] B. Huang, F. Hao, H. Zhu, Y. Tanabe, and T. Baba, "Low-energy static clustering scheme for wireless sensor network," *Proceedings of International Conference on Wireless Communications*, pp. 1-4, 22-24 Sept. 2006.
- [8] 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, issue 4, pp. 660-670, Oct. 2002.
- [9] 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, issue 3, pp. 8-13, Mar. 2005.
- [10] S. Lindsey, C. Raghavendra, and K. M. Sivalingam, "Data Gathering Algorithms in Sensor Networks using Energy Metrics," *IEEE Transactions on Parallel and*

- Distributed Systems*, vol. 13, issue 9, pp. 924–935, Sept. 2002.
- [11] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, “PEGASIS: Power-efficient gathering using in sensor information systems,” *Proceedings of IEEE Aerospace Conference*, vol. 3, pp. 1125-1130, Mar. 2002.