

非對稱式無線感測網路之多跳式路由設計

黃志明
玄奘大學
資訊管理所
教授

yalo.huang@gmail.com

鄭瑞恒
元培科技大學
資訊工程所
教授

reiheng@gmail.com

林正義
玄奘大學
資訊管理所
研究生

ian90041@yahoo.com.tw

陳秉暘
玄奘大學
資訊管理學系
學士

bnb730995@yahoo.com.tw

摘要

在多跳式無線感測網路(WSN)中，感測器所蒐集的資訊，需藉由其他感測器將資料傳送回基地台(sink)，因此不同層的感測器會因為所在位置不同，而承受不同的轉送壓力，因而造成網路瓶頸。在過去的文獻中，感測器依據所承受的壓力來調整傳輸距離，但傳輸距離較長的感測器，卻只能傳送到下一層而無法傳送至更遠的距離，而使資料再回傳基地台的過程中增加跳數，造成資源的浪費，本文中，我們容許各層的感測器將資料傳送至下一層或下兩層之感測器，以減少資源的浪費。事實上，此時各層的傳輸範圍比，剛好形成費伯納西(Fibonacci)數列以達到平衡的目的。由我們的實驗結果顯示這樣的傳輸距離調整策略確實可以提升整體網路效能並提高資料到達率。

關鍵詞：多跳式無線感測網路、網路瓶頸、傳輸距離、費伯納西、資料到達率

Abstract

In multi-hop wireless sensor networks, sensors collect information which is delivered by other sensors to the BS. Therefore, sensors in different layer would suffer different loading for the different amount of data forwarded causing the network bottleneck in the layers near the BS. In the previous studies, transmission range was adjusted by the loading of sensors where the more loading of sensors, the shorter the transmission range. But while the transmission range is longer than the distance between the adjacent layers, the data would be delivered to the next layer instead of delivering to more layers such that the hop counts for data delivered to the BS would be

increased causing the more energy consumption. In this paper, we allow sensors sending data to sensors located in the next one or the next two layers in order to reduce the hop count of delivering data the BS. In fact, the transmission range of each layer would form a series of Fibonacci to achieve the purpose of balance. Performance would be displayed by our experimental results which indeed balance the loading of sensors in network and improve data delivery rate.

Keywords: Multi-hop wireless sensor networks、Network bottleneck、transmission range、Fibonacci、Data delivery rate

1. 前言

無線感測網路(wireless sensor networks)是由許多感測器(sensor)以及少數的基地台(sink)所組合成的，它被常用於監視人煙稀少且較難以到達的地方，如高山和雨林等等。無線感測網路一般在成本的考量下，感測器通常是使用電池來做為它的能源，而使用電池做為能源則會有能源耗盡的問題，因此，如何延長感測器的使用壽命並且將所蒐集到的資料成功的回傳到基地台，一直是無線感測網路領域中一門重要的課題。一般無線感測網路中，為了降低使用成本，感測器的傳輸範圍通常是固定的，而為了將偵測到的資料傳回基地台，常見的傳送方式有兩種，一種是直接將所偵測到的資料傳回基地台，此種方式稱為直傳式，而另一種則是藉由其他感測器，幫忙將資料轉送回基地台，此種傳送方式則稱為多跳式。

如果感測器透過直傳式，將資料傳回基地台，由於感測器的傳輸距離與能量消耗成正相關(2到4次方)，因此感測器在距離基地台越遠的情況下，能量消耗的速度越快，反之越靠近

基地台的感測器，傳送資料時所消耗的能量越慢，因此遠近之間的感測器存活比例，在傳送事件數越多的情況下，比例落差就越大。若藉由其他感測器來幫忙做轉送，可以讓每個感測器的傳輸距離固定相同，在單次傳送能量消耗上，各層感測器消耗的能量也會相同，而此種方式的轉送路徑可以經由梯度協定[1]運算出來，一個位於第 i 層的感測器，資料經過 i 次轉送後，才能將資料傳回基地台，那麼，此種資料傳送方式，除了一開始產生資料的層外，其他層中的感測器，都將為其他的感測器做資料轉送，雖然傳送距離相同，能量消耗也相同，但越靠近基地台的感測器，因為必須幫越多外層感測器做轉送，所以越靠近基地台的感測器所要承受的壓力將遠遠高於那些較高層的感測器[2-5]，因此感測器能源消耗得越快，當低層的感測器能源消耗完畢後，就無法在幫忙其他層的感測器做資料轉送，因此外層的感測器所蒐集的資料，將在無法回傳到基地台，造成資料到達率低落的瓶頸現象[2]。

在過去的研究中，都是依靠各層感測器能源耗損的情況來進行感測器佈署，雖然這些方法可以有效平衡感測器能源耗損的情況及提高資料的到達率，但實際上被無線感測網路所監控的環境區域，通常是一般人難以到達的地方，所以想在這些地方做控制佈署，實際上是相當困難的[5]。過去的研究中[8]就提出，以層為基礎分析出均勻分佈下各層感測器的壓力，並依據各層感測器所承受的壓力，來調節傳輸距離，讓壓力越大的感測器，靠著降低傳輸距離來降低自身的負載，反之壓力越小的感測器則提高自身的傳送距離，來分擔內層感測器所承受之壓力，以達到能源負載平衡，不過在做法上卻忽略了，當感測器壓力越小，傳輸距離就越大的情況下，卻以層為基礎傳遞，不能將資料傳輸到最大的傳送距離，而僅限於下一層的感測器，造成能源上不必要的浪費。因此本文將以此為基礎，建構一套有規律的方式來調整傳輸距離，並且降低沒必要的能源耗損，並且藉此達到網路的負載平衡，進而提升整體網路的資料到達率。

本文的章節內容如下，第二章介紹無線感測網路的相關文獻。第三章介紹分層的概念及能源的耗損分析，第四章為實驗，第五章為文章結論。

2. 相關文獻探討

各層感測器在每一層有不同程度的負載，文獻[4-7]所提出問題解決辦法，主要在於有效的佈署感測器位置和資料匯集點以解決負載不均的問題。

文獻[6]提出對感測器做電量的控制，越靠近基地台的感測器，因需幫忙外層感測器做轉送，所以加大基地台附近感測器的電量，反之，離基地台越遠的感測器，電量則成反比，如此一來便能達到負載平衡，減少網路瓶頸。但在實際的無線感測網路環境中，要去控制感測器佈署，是危險和不容易的，試想將控制電量後的感測器依照電量多寡去佈署在各個不同層難度之大，而在成本上，生產相同電量的電池與生產不同電量的電池，其成本會高出許多。

文獻[4]中，提出依照感測器到基地台的距離以及感測器的傳輸範圍和事件的發生率，更改感測器佈署的密度，確實，此方法可以達到網路的負載平衡，降低網路瓶頸的發生，而且也比較合乎成本，但需要參考的參數太多，一旦環境資訊有任何改變，感測器之密度也就必須更著改變。

文獻[7]，提出改變基地台附近感測器傳輸距離的方法，藉由縮小傳輸距離來降低能量耗損，使基地台附近的內層感測器，已達到減少網路瓶頸的現象，但此文獻在能量耗損分析中，將複雜的轉送路徑問題簡化為單一路徑問題，明顯低估了低層感測器壓力為高層感測器的好幾倍。

文獻[5]中，提出了以線性的方式佈署感測器的方法，並透過以層為基礎的方式做準確的分析，但是感測器在實際運用上，要做到控制佈署是非常不容易的。

本文中，我們提出一套有規律的方式來調整感測器傳輸距離，以達到整個網路的負載平衡，進而提升整體網路資料的回收率。

3. 分層的概念

在無線感測網路領域裡，為了簡化無線網路裡複雜的數學研究分析，因此在許多的研究中都出現了層的概念。在本篇論文中，我們將層分為兩大類，一種是為了幫助計算不會改變的層，在此我們將它稱為 physical Layer，而另一種則是依據感測器將資料送回基地台中間的傳送次數，我們稱之為 logical Layer。

在過去單一傳輸距離的多跳式無線感測網路裡，因各層感測器的傳輸距離都相等，所

以單一傳輸距離的 physical Layer 與 logical Layer 幾乎相同，可以用傳送跳數來決定，而在改變傳輸距離的無線感測網路裡就不同了，因為傳輸距離的不同，所以同時也造成了 physical Layer 與 logical Layer 的不同，例如下圖(1)，A 因傳輸距離過大，會直接跳過 physical Layer 裡的第 2 層將資料送往第一層，在由第一層的感測器將資料傳送回基地台，因此 A 所處位置的 physical Layer 為 3 而 logical Layer 則為 2。

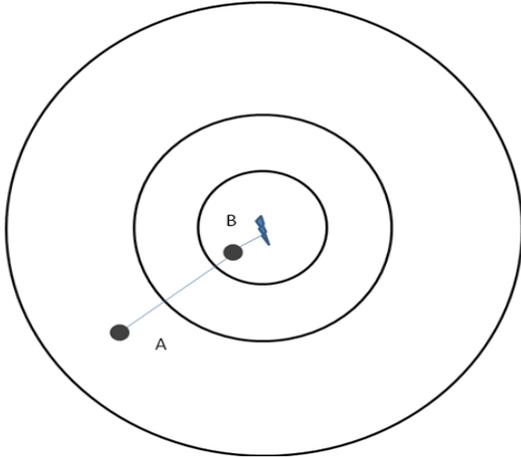


圖 1. 改變傳輸距離

3.1 能量耗損分析

在有了分層的概念後，就可以開始對於無線感測網路的能量耗損進行分析，一般無線感測網路可以被看成是隨機分佈(均勻分佈) $N(\cdot)$ 個感測器在一個半徑為 R 的圓形網路區域環境上。過去單一傳輸距離的無線感測網路都是以 r 做為感測器傳輸半徑，但本篇論文傳輸距離比因為與 Fibonacci 數列相符，因此分析上傳輸距離則為

$$r(1) = r,$$

$$r(2) = r,$$

$$r(i) = r(i-1) + r(i-2)$$

$$h \geq i \geq 3$$

上述算式中我們可以看到 $r(1)=r(2)=r$ ，在過去的研究中，我們知道一但內層感測器傳輸範圍縮小，那麼同層的感測器數量也會相應變少，而感測器數量一但變少了，感測器則必須負擔起比相同傳輸距離時還要大的封包轉送數量，而 $r(2)$ 層的感測器傳輸距離又與 $r(1)$ 相同，無法跨層傳輸將資料直接傳回基地，因此，本篇論文中我們將 $r(1)$ 視為基地台。在無線感測網路中，每個感測器分佈在不同層的圓範圍裡，並且根據不同的傳輸距離可以分裂成

許多不同大小的圓環，在做法上，形狀是不平滑的[4]。不過，感測器佈署在特定的圓中，即 i 層，所以在傳輸距離上部分感測器距離 Sink 的距離是 i 跳，而感測器佈署在 i 層裡表示為 $N(i)$ ，整個網路中最遠層是 $h=R/r(i)$

$$N(\cdot) = \sum_{i=1}^h N(i) \quad (1)$$

在單個感測器上能源的消耗大致可分為三種，(i) 感測、(ii) 計算和 (iii) 通信(接收和傳輸)。傳輸和接收的能源消耗是個別獨立的。根據文獻[4]，感測器三種耗能中，(i) 感測、(ii) 計算和其他的耗能在與(iii)通信的比較上是微乎其微的小，所以在接下來的分析上，並不採入計算之內，只考慮(iii) 通信(接收和傳輸)的能源消耗。在本文中，一個封包傳遞和接收的耗能，假設分別是 ξ_T 和 ξ_R ， r 則是感測器的傳輸距離，在過去的文獻裡，傳輸距離對於傳輸所需的耗能佔有很大的影響。

為了知道第 i 層中的感測器能源耗損情形，必須知道第 i 層感測器所接收到的事件數多寡，而第 i 層感測器所收到的事件數量則與上層感測器數量有關，所以我們必須先知道各層感測器的數量，因此藉由密度算式 $D=N(\cdot)/\pi R(h)^2$ 可以得到在第 i 層感測器的數量為

$$N(i) = D[\pi R(i)^2 - \pi R(i-1)^2] \quad (2)$$

在得到 i 層感測器數量後，由於第 i 層感測器能量的消耗，除了須將自己所偵測到的資訊傳回基地台外，還必須替來自上一層及上上層的感測器做轉送(如圖 2)，因此則必須知道，將 i 層涵蓋在最遠傳輸範圍裡的上一層及上上層的感測器數量，所以藉由公式(2)我們可以得知在 $(i+1)$ 層及 $(i+2)$ 層，可能將封包傳送至第 i 的感測器數量為公式(3)。

$$N_{\text{Rec}}(i, i+1) = D\{\pi R(i+1)^2 - \pi[R(i+1) - r(i)]^2\} \quad (3)$$

$$N_{\text{Rec}}(i, i+2) = D\{\pi[R(i+1) + r(i)]^2 - \pi R(i+1)^2\}$$

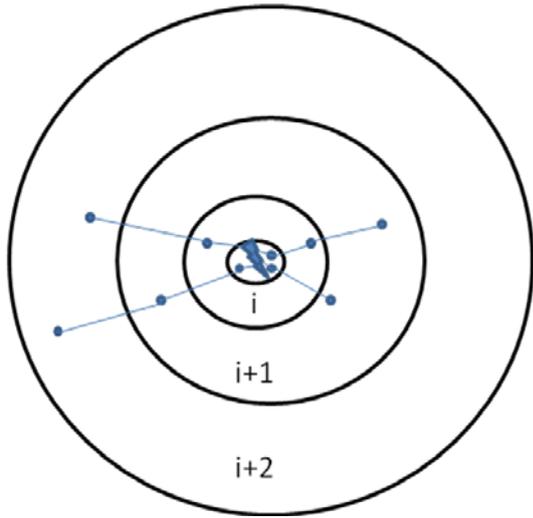


圖 2. i 層感測器的接收封包示意圖

在得知 $(i+1)$ 層及 $(i+2)$ 層的感測器數量後，便能開始推算出第 i 層感測器接收到來自第 $(i+1)$ 層及第 $(i+2)$ 層的大概封包數。由於各層感測器傳輸距離皆不相同，因此即便在相同層的感測器，會因位置的不同，在封包轉送到的下一層層數也會有所不同，所以第 $(i+1)$ 層及第 $(i+2)$ 層中的感測器，並不是所有的封包都會經過第 i 層在轉送回基地台，因此下列式子(4)為將封包傳送到第 i 層的 $(i+1)$ 層及 $(i+2)$ 層感測器數量的大概機率。

$$P_{\text{Rec}}(i, i+1) = N_{\text{Rec}}(i, i+1) / N(i+1) \quad (4)$$

$$P_{\text{Rec}}(i, i+2) = N_{\text{Rec}}(i, i+2) / N(i+2)$$

$$h-2 \geq i \geq 1$$

$$P_{\text{Rec}}(h-1, h) = N_{\text{Rec}}(h-1, h) / N(h)$$

否則

$$P_{\text{Rec}}(i, j) = 0 \quad \text{則為} \quad i \geq h \quad \text{或} \quad j \neq i+1, i+2$$

假設有 V 個事件數隨機發生在感測器周圍，那麼平均一個感測器所接收到的數據封包量則為 $V/N(\cdot)$ 。我們使用 $\rho = V/N(\cdot)$ 來表示縮寫。在知道了可能傳送自第 i 層的 $(i+1)$ 層及 $(i+2)$ 的感測器大概機率後，公式(5)為在 $h-2 > i > 1$ 時，第 i 層感測器所接收到來自於 $(i+1)$ 和 $(i+2)$ 的事件數總量：

$$\begin{aligned} N_{\text{Rec}}(i) &= [N_{\text{Rec}}(i+1) + \rho N(i+1)] \times P_{\text{Rec}}(i, i+1) \\ &+ [N_{\text{Rec}}(i+2) + \rho N(i+2)] \times P_{\text{Rec}}(i, i+2) \end{aligned} \quad (5)$$

然而並非每一層感測器都有替上層感測器作轉送動作，如；一個無限感測網路環境中最外圍的 h 層，因為本身已處於最外圍，所以並沒有封包需要幫忙轉送，因此我們可以知道 h 層的感測器接收封包數為 0，而 $h-1$ 層感測器，也因為除了 h 層感測器外，不會再有其他層感測器需藉由 $h-1$ 層感測器幫忙做轉送，所以計算上也只需考慮可能來自 h 層感測器封包概數即可。

$$N_{\text{Rec}}(h) = 0$$

$$N_{\text{Rec}}(h-1) = \rho N(h) \times P_{\text{Rec}}(h-1, h)$$

顯然通過上面幾項式子我們可以分析出第 i 層全部感測器的總體耗能為 i 層所接收到的事件數總量加上 i 層感測器隨機分佈下所觸發的事件數，並且乘上傳送的能量消耗及加上接收事件數所消耗的能量，如公式(6)

$$\bar{E}(i) = [N_{\text{Rec}}(i) + \rho N(i)] \zeta_T + N_{\text{Rec}}(i) \zeta_R \quad (6)$$

在得出公式(6)後，為求各個 i 層的感測器平均耗能，只需將公式(6)除上各個 i 層的感測器數量 $N(i)$ ，即可得到各個 i 層感測器的平均能量消耗。分析完改變傳輸距離的能量耗損後，接下來將以模擬實驗，來實證透過費伯納西數列的辦法，來改變傳輸距離的方式，確實有助於無線感測網路的感測器的負載平衡，且可以提升整體網路效能並提高資料的到達率。

4. 實驗結果

在實驗中，我們設置了半徑為 300 的圓形多跳式無線感測網路區域模型，感測器佈署數量為 2000，總事件數為 15000，電量為 3000，事件數每 1000 回傳一次，同時我們增加了傳遞資訊的壓縮率，感測器在感測環境資訊時，除了將自身資料合併及壓縮外，在接收到別層感測器的資料後，也可以將傳送資料做合併壓縮，壓縮比例表示為 μ ，壓縮率係數介於 $[0, 1]$ 之間， $\mu=1$ 表示不執行壓縮，且 $\mu > 0$ ，而各層傳輸距離如下：

	1	2	3
調整傳輸距離	50	100	150
單一傳輸距離	100	100	100

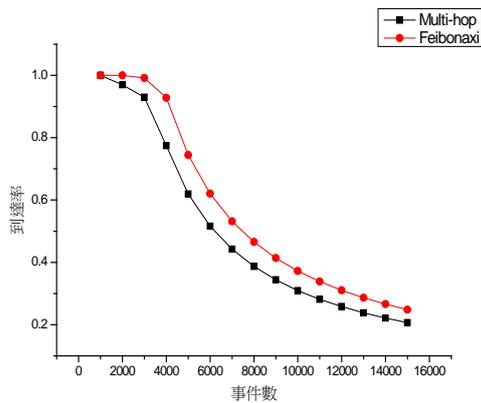


圖 3. 壓縮率為 1 的情況下感測環境資料到達率。

圖 1 紅色線為我們所提出的費伯納西調整傳輸距離的方法，而黑色線則是一般的多跳式無線感測網路，可以看到在壓縮率為 1 (不壓縮) 的情況下，傳輸距離調整過後的感測網路，在 physical Layer 上雖然第 1 層範圍縮小了，但因第 2 層範圍大於第 1 層，所以在 logical Layer 上感測器數量與一般的多跳式無線感測網路相同。而在 2.3 層中，改變傳輸距離的感測網路，第 3 層因傳輸距離大於第 2 層所以部分較靠近基地台的感測器會直接將資料傳送至第 1 層，在由第 1 層傳送至基地台，第 2 層較靠近基地台的感測器也因傳輸距離大於第一層，所以會將資料直接傳送回基地台，在感測網路的總轉送次數上，改變傳輸距離的無線感測網路明顯要低於一般多跳式無線感測網路，因此在能源的耗損上就相較於一般多跳式無線感測網路要來的更低，所以在內層感測器的壓力負載上，要比一般多跳式無線感測網路來的更平衡，使的整體資料到達率的提升。

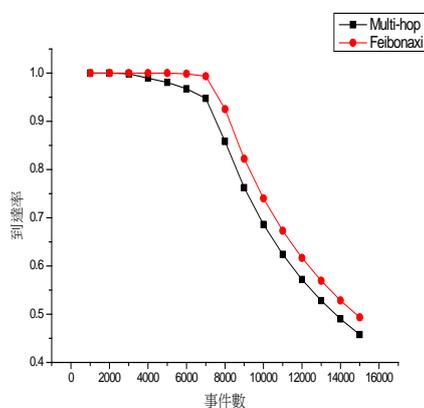


圖 4. 壓縮率為 0.7 的情況下感測環境資料到達率

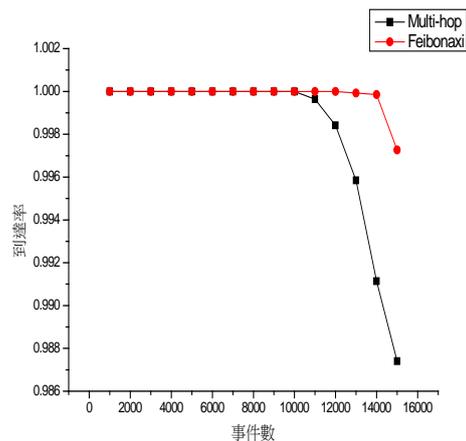


圖 5. 壓縮率為 0.4 的情況下感測環境資料到達率

5. 結論

本文中，我們質疑透過壓力分析來調整傳輸距離的方式，在資料的傳遞上，無法有效的將資料傳送到最遠的傳輸距離，增加了資料回傳到基地台時的跳數，造成能源上不必要的浪費，因此我們容許各層的感測器將資料傳送至下一層或下兩層之感測器，以減少能量消耗上不必要的浪費。而此種傳遞方式各層感測器的傳輸範圍比，剛好形成費伯納西數列，同時，並透過模擬實驗證明了，在允許感測器將資料傳送至下一層或下兩層之感測器傳輸距離調整策略，確實能夠提升感測器間的負載平衡，並且有效的提高資料的到達率。

參考文獻

- [1] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang, "GRADient Broadcast: A Robust Data Delivery Protocol for Large Scale Sensor Networks," *Wireless Networks*, vol. 11, pp. 285-298, 2005.
- [2] C. M. Huang, R. H. Cheng and K. Y. Chou, "Evaluation of Tier-Based Energy Consumption in Wireless Sensor Networks," *The 6th IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2010)(EI)*, Chengdu, China, sep 23-25, 2010.
- [3] C. M. Huang, R. H. Cheng and T.C. Shu, "Load Distribution of Sensors in Multi-Sink Wireless Sensor Network," *The 2nd*

- International Conference on Information Technology Convergence and Services (ITCS2010)*, Cebu, Philippines, Aug 11-13, 2010.
- [4] K. Padmanabh and R. Roy, "Bottleneck around Base Station in Wireless Sensor Network and its Solution," *3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems - Workshops*, 2006., pp. 1-5. 2006.
- [5] Chiming Huang, Rei-Heng Cheng, "An Effective Sensor Deployment Strategy by Linear Density Control in Wireless Sensor Networks," *International Journal of Advanced Information Technologies(IJAIT)*, to appear.
- [6] M. L. Sichitiu and R. Dutta, "Benefits of Multiple Battery Levels for the Lifetime of Large Wireless Sensor Networks," *Proceedings of Networking 2005*, pp. 1440-1444, 2005.
- [7] K. Padmanabh, P. Gupta, and R. Roy, "Transmission range management for lifetime maximization in wireless sensor network," in *Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, 2008. SPECTS 2008. International Symposium on*, 2008, pp. 138-142.
- [8] C. Huang , R.H. Cheng, T.M. Huang , W.Y. Lai, "非固定傳輸距離之多跳式路由協定以平衡無線網路耗能" *2012 International Conference on Advanced Information Technologies and The Second National Conference on Web Intelligence and Applications*. 2012.