

靜宜大學資訊工程學系

碩士論文

Department of Computer Science and Information Engineering,

Providence University

Master Thesis

有效能量傳輸的動態排程在階層式無線感測網路上

Dynamic Scheduling with energy-efficient transmissions in

Hierarchical Wireless Sensor Networks

研究生：陳炳仰

Graduate Student : Ping-Yang Chen

指導教授：謝孟諺 博士

Advisor : Meng-Yen Hsieh, Ph.D.

中華民國九十九年七月

July, 2010

有效能量傳輸的動態排程在階層式無線感測網路上

Dynamic Scheduling with energy-efficient transmissions in Hierarchical
Wireless Sensor Networks

研究生：陳炳仰

Student : Ping-Yang Chen

指導教授：謝孟諺 博士

Advisor : Meng-Yen Hsieh, Ph.D.

靜宜大學

資訊工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Computer Science and Information Engineering

College of Computing and Informatics

Providence University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master

in

Computer Science and Information Engineering

July 2010

Shalu, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年七月

有效能量傳輸的動態排程在階層式無線感測網路上

學生：陳炳仰

指導教授：謝孟諺 博士

靜宜大學資訊工程學系碩士班

摘 要

近年來，無線感測網路的應用已經相當普遍，並實際運用在我們的生活上。同時它也是熱門的研究話題，例如網路生命週期、能量消耗、傳輸優先權和碰撞的問題。因此，本論文提出一套動態排程方法以達到感測節點省電的效果，進而增加網路生命週期。首先，提出的網路架構支援數個週期性狀態，決定出感測節點的工作和睡眠的週期時間，此模型適用於以叢集架構為基礎的感測網路。再者，針對叢集內的傳輸排程以傳輸投影距離方法去決定區域性節點的感測資料回傳順序。考慮個別感測節點的能量消耗情況或事件發生機率，我們提出了動態的休眠排程與動態的傳輸排程，能夠延長睡眠時間和改變傳輸順序。最後透過模擬環境來分析整個感測環境，包括了能量消耗、週期性傳輸、活動與睡眠的安排等問題。分析與模擬經驗上的數據顯示出此研究提出的方法是合適且有效率的應用在感測網路上。

關鍵詞：無線感測網路、休眠排程、傳輸排程。

Dynamic Scheduling with energy-efficient transmissions in Hierarchical Wireless Sensor Networks

Student : Ping-yang Chen

Advisors : Dr. Meng-Yen Hsieh

Department of Computer Science and Information Engineering
Providence University

ABSTRACT

In recent years, the applications of wireless sensor networks are already quite general and practical in our daily life. The development of the networks is also a hot topic for researching, and be able to generate many challenges, such as the network life cycle, energy consumption, transmission priorities and collision problems. Therefore, this paper presents a set of scheduling methods in order to achieve energy-saving effect in wireless sensor nodes. First, the proposed network architecture with few cyclic states, dscides sleep/active scheduling that is applied to the cluster-based sensor network. Furthermore, the transmission projection distance determines the returning sequence of sensing data from localized sensor nodes. We provides dynamic sleep and transmission schedulings by computing individual sensor node's energy consumption and the probability of events happening in localized sensing environments. Finally, we organizes the simulated environment to test the proposed entire network for energy consumption, cyclic transmission, and sleep/active scheduling questions. The simulation results show that the proposed mechanism is energy-efficient transmission in wireless sensor networks.

Keywords: Wireless Sensor Network, Sleep Schedule, Transmission Schedule.

誌 謝

在研究所的求學過程中，首先要先感謝我的指導教授謝孟諺教授，不論是在研究上的指導，還是平時的關心，都讓我得到很多的啟發與研究的動力。因為在研究的過程裡，自己一時的放鬆而產生的惰性，也模糊了自己的目標，但教授不僅關心我，還分享做研究的經驗，使我可以繼續專心在研究上，順利的在兩年裡畢業，真的很感恩。

再者就是感謝口試委員丁建文博士、鄧德雋博士、李冠憬博士與羅峻旗博士，在口試中給予了許多的指導及寶貴的建議，讓我可以更完整的去檢視問題的所在，使這篇論文更加的完善。

當然，朋友和同學們的鼓勵與幫助，學弟妹們的陪伴與幫忙，真的是很感動，有他們的生活裡，真是多采多姿，所以很謝謝他們，

最後，要感謝家人的支持與鼓勵，讓我在研究所的求學裡，能專心的念書，順利的畢業。在未來裡，希望自己所學到的能學以致用，可以專注的在任何崗位上。

陳炳仰 謹誌
民國九十九年七月



目 錄

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
誌 謝.....	III
表 目 錄.....	VI
圖 目 錄.....	VII
第一章、緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機與目的.....	2
1.3 研究方法.....	4
1.4 論文架構.....	7
第二章、相關文獻.....	8
2.1 休眠排程相關方法.....	8
2.2 傳輸排程相關方法.....	9
2.3 其他相關問題.....	9
2.4 相關研究的方法分析.....	10
2.5 設計方向.....	11
第三章、網路模型與排程的設計.....	12
3.1 網路通訊與初始化的休眠排程.....	12
3.2 初始化的傳輸排程.....	14
3.3 動態的傳輸與休眠排程.....	15
第四章、網路分析與實驗模擬.....	19
4.1 網路分析.....	19

4.2 實驗模擬.....22

第五章、結論與未來方向..... 26

參考文獻..... 27



表 目 錄

表 1 事件機率及節點排序表	21
表 2 能量及睡眠週期計算表	21



圖目錄

圖 1 感測網路環境(資料來源：[2]).....	2
圖 2 Broadcast 及 Convergecast 示意圖	5
圖 3 在一個 cluster 裡，member 傳送順序決策圖	6
圖 4 活動狀態圖	13
圖 5 網路叢集架構和通訊模式的案例	14
圖 6 在一個 Cluster 裡，會員節點傳送順序決策圖.....	15
圖 7 Algorithm 示意圖	17
圖 8 在一個週期內節點能量與事件機率的分布圖。其中下一週期能量與機率臨界值分別為 $(0.3J, 0.3)$ 。	20
圖 9 節點平均能量	22
圖 10 階層能量消耗	23
圖 11 cluster 與 sink 之間的平均延遲時間.....	24
圖 12 與未規劃的無線感測網路之比較	24
圖 13 cluster 的平均封包遺失率	25
圖 14 未經規畫的無線感測網路之 cluster 的平均封包遺失率	25

第一章、緒論

1.1 研究背景

無線感測網路已經變成相當熱門的網路話題，它可以應用在軍事策略、城市交通運輸、火災偵測和醫療監控等方面[1-3]。而無線感測網路是由許多體積小、功能簡單的感測器所連結而成的網路架構，因此，感測器上硬體設備的設計都是竭盡所能的簡單化。由於大部份的感測節點皆佈置在開放式的網路環境如圖 1 所表示，因此隨時可能發生損壞或能量耗盡的問題。所以，在無線感測網路的研究應用上，一般發展的目標至少會包括能量消耗降低、簡單和低成本的硬體設計、高效率的傳輸、具擴充性以及容錯能力。在無線感測網路運作時，也能夠處理動態拓樸、動態決定傳輸路徑，而節點進行資料傳輸的節能更是設計首要目標。由於無線感測器是可以大量且隨意的分散設置，且在硬體簡單化和節能的前提之下，每個感測節點都必須以最省電的方式來進行彼此的互動。因此大部分無線感測網路的形成是靠著節點自我組織的機制[4]。自我組織的機制會讓這些感測節點以互相合作的方式，進行彼此的溝通，進而完成整個無線感測網路的傳送和接收的工作。

無線感測網路設計上的挑戰,我們的歸類如下(參考[2,5,6])：

- 可以隨意的設置大量感測器在任意環境中。
- 感測器很容易失效。
- 感測網路拓樸改變頻率是非常頻繁。
- 感測節點傳輸時主要是利用廣播。
- 感測器為有限的電能，計算能力和記憶體。

感測器必須透過互相協調工作和他們的行為應該是具體的應用。

上面提到的這些限制，在設計有關的 WSNs[2]必須包括：容錯失敗、可擴充性、成本、

硬體限制、動態拓樸、應用環境、傳輸媒體、路徑及能量消耗。此外還有一個重要的挑戰在於感測器自我組織能力。

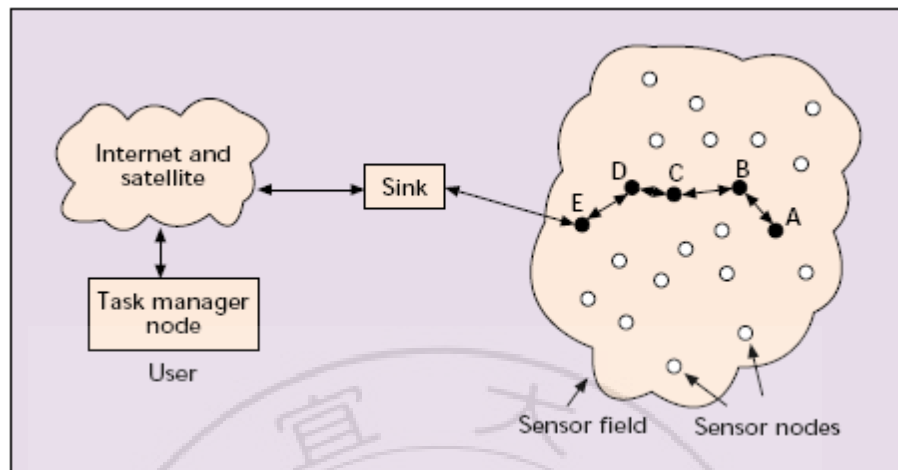


圖 1 感測網路環境(資料來源：[2])

1.2 研究動機與目的

在上個章節裡談論到無線感測器得各種特性，然而這些特性可能會引發的問題如結能、拓樸建立、傳輸、負載平衡及碰撞等等，其中節能的部分是最需要克服的問題[7]。因此，本論文主要目的是希望能達到能量有效使用，再者針對休眠排程和傳輸排程問題的解決，下面則依照各項問題做個說明。

耗能問題 Demirkol 等人在[8]文獻中提到有關感測器會造成電能的消耗因素包括下列幾點：

- 封包碰撞 (packet collision)：當感測器在同一個時間點，同時接收到多個感測器傳來的封包，這時就會產生封包的碰撞，所有的封包就得拋棄或者再重新去傳送封包。
- 過度聆聽 (overhearing)：感測器額外去聆聽不屬於自己該聽取的封包，導致不必要的能量消耗。
- 控制封包花費 (control-packet overheads)：假如控制封包所佔的比例太高，將會大

大的降低效能。

- 閒置聆聽 (idle listening)：感測器在啟動時沒有資料的傳收，會造成感測器閒置，造成不必要的電能消耗。
- 過多的發送 (over-emitting)：當要傳送的目的地感測器還沒準備可以接收時，送過去的封包也只能夠拋棄，造成浪費。

所以，為了解決上述這些不必要的能量消耗，最重要的解決方法就是設計適當的休眠排程方法。

休眠排程問題：有關休眠排程的方法，就是為每個無線感測網路的節點安排一個啟動/休眠時程，讓每個節點能週期性的在工作和休眠兩個狀態之間轉換。在休眠排程的設計，過去學者有提出利用細胞自動機 (Cellular Automata) 模型來設計感測節點的休眠排程。此模型具有規則性及狀態循環的機制，每個週期上，都會制定專屬自己適合的 table 表，再依據 table 表的規則去做週期性的狀態轉換。休眠排程之後的問題還有傳輸排程，它的目的是希望將資料有效率的傳送到 sink。

傳輸排程問題：對於感測網路的休眠排程能達到省電的效能之外，傳輸排程的問題也是被拿來討論的話題。因為設計好的傳輸排程目的可以有效率的將資料傳送到 sink，碰撞的情形也會有所改善，同時間還可以降低延遲時間的問題，再者距離 sink 越遠的感測資料也相對地較為重要。根據 Yusuke Inoue[9]的研究，針對在 MANETs (Mobile Ad hoc NETWORKS) 的環境中，舊有的 BLR (Beacon-Less Routing algorithm) 方法在於減少當感測節點在接收封包時的總延遲時間，可再獲得更好的改善，因此提出了另一套方法，稱為 DAF (Distance-Aware Forwarding)。因此，根據他所提出的傳輸排程方法，除了可以更有效的降低延遲時間，也使得資料有效率的傳送到 sink。然而在整個無線感測網路運行時，感測節點的能量會隨著時間的變化而降低，或者因為感測事件的增多而造成大量能量消耗。因此，在節點傳輸排程方法中，考慮感測節點能量的消耗狀況和感測事件發生機率，將可以改善節點能量有效利用和增加網路生命週期。再者感測節點可依照事件發

生機率去調整傳輸順序，以減少鄰近的感測節點重複回傳相同的感測資訊。避免重複資訊傳送將可減少不必要的傳輸能量消耗。

其他問題：其他方面有可能會發生碰撞問題、拓樸建立及擴充性、動態拓樸問題等等。

(1)碰撞問題，在一個叢集裡，感測節點會各自傳送感測資料到 Head，但節點之間並不知道彼此的傳送時間，容易形成碰撞的問題，因此，我們必須將節點之間的傳輸時間錯開，而這就是傳輸排程。所以，我們可以說，一個好的傳收時間排程可以達到減低碰撞的目的。(2)拓樸建立問題，感測器節點必須形成某種拓樸(如樹狀、網狀或叢集拓樸)，才能在此拓樸組織之下進行資料的傳輸功能，所以感測網路的拓樸建構必須要有效率。還有(3)擴充性、動態拓樸問題，由於感測區域增大或是有節點死亡是否也可以達到良好的效果，是很值得去研究的問題，此外當改變拓樸環境時，該如何再去規劃時間排程問題，也是我們未來討論的重點之一。

1.3 研究方法

根據無線感測器所需要改善的節能、休眠排程、傳輸排程以及動態的傳輸排程等等各項因素，下面我們將提出說明我們所設計的方法，主要是為了解決在無線感測網路中節能以及排程問題。論文提出模型的特性包括了通訊模式的建立、動態休眠排程模式、動態傳輸排程模式和避免競爭。

避免競爭 感測器事先都必須透過傳輸排程來知道它所傳收的時間，在依據所制定的排程時間去傳收資料，所以這樣就可以避免掉一些互相爭奪傳收時間的狀況，因而減少一些不必要的能量浪費。

通訊模式運作 每一個無線感測器傳送訊息可以有兩種模式[10]：Broadcast 和 ConvergeCast。如圖 2 所示，藉由兩種模式可以幫助每個節點建立上下游 (UpStream 和

DownStream) 的關係。當 Broadcast 模式為從 Sink 廣播出來的封包傳至每個節點。而 ConvergeCast 模式為節點將收集到的 Broadcast 封包依反向路徑回傳，中介節點接收到其他節點來的 ConvergeCast 封包，需幫忙將這些資料往 Sink 方向傳送。

由於節點是隨意佈署在網路，則我們假設網路一開始 Sink 會 Broadcast 傳送一個 Hello 封包給鄰近節點感測器，然而節點接收來自 Sink 的封包則會繼續傳送給其他的節點，直到所有的節點都接收封包為止，之後每個節點收到 Hello 後，會回送一個 ConvergeCast 封包循著接受的路徑回傳給 Sink。因此每個節點可以建立起其上下游 (upstream/downstream) 的節點關係。倘若，網路節點的佈署為決定性，則此方式可以省略。

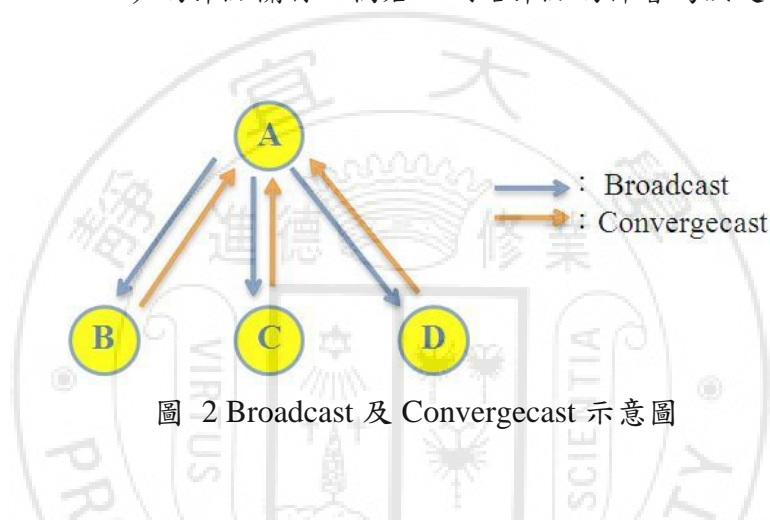


圖 2 Broadcast 及 Convergecast 示意圖

動態休眠排程設計 休眠排程的一般設計中，在每一個感測器都會擁有循環狀態轉換模式，這樣可以減少不必要的能源浪費，如 Idle Listening，感測器在一個週期中有可能醒來一次或多次，來傳遞一個從上游節點送來的訊息給下游的節點，並接收從下游節點收集來的資料，同時結合本身的感測訊息，最後往上層結點送，朝向 Sink。等到一個週期結束，自動的轉換成睡眠狀態。然而在整個無線感測網路運行時，節點能量的消耗到達我們預定的門檻值時，我們會需做休眠的延展，也就是進行動態調整休眠的時間，讓節點可以活到網路所要求的週期數。

動態的傳輸排程設計 在無線感測節點被佈署完，經過網路模型建置後，並建立出整個無線感測網路的叢集架構，但此時尚未建立區域回傳的順序。所以，我們在一個叢集裡，傳送順序的建立我們採用了以傳輸投影距離方式，去決定區域性節點的感測資料之回傳

1.4 論文架構

本論文的主要架構共分成五個章節。第一章節主要以無線感測網路研究的動機以及研究的方向為主軸，根據感測網路節點能量消耗的問題，進一步的簡單介紹我們所設計的方法。第二章節我們會介紹一些無線感測網路相關文獻。從先前已發表的論文中去探討和分析別人已提出的時間排程方法，如何運用至無線感測網路中。第三章節將介紹我們提出的網路模型以及如何去設計出網路節點中休眠排程和動態傳輸排程的方法。第四章節按照我們所提出的方法，使用模擬軟體進行模擬實驗，並分析網路效能和相關特性，如節點平均能量變化、平均傳輸延遲時間變化、和平均封包遺失變化等。第五章節是結論，總結我們提出的方法，以及提出未來方向。



第二章、相關文獻

無線感測網路的研究以相當的廣泛，有關無線感測網路休眠排程及傳輸排程的文獻也很多，而本章將針對休眠排程與傳輸排程相關的文獻與其方法做介紹及說明。

2.1 休眠排程相關方法

有關休眠排程方面，是為了調節感測器工作與睡眠的時間，因為感測器只需短暫的時間去做偵測及傳收工作，這樣感測器可以有更多睡眠的時間，延長整個生命週期。

過去學者有提出利用細胞自動機（Cellular Automata）模型來設計感測節點的休眠排程。此模型具有規則性及狀態循環的機制，它會制定專屬自己適合的 table 表，再依據 table 表的規則去做週期性的狀態轉換。

在 Indeaiit Banerjee[11]的論文研究中，希望在有限能量之下，達到能量有效保存的目的，因此，提出了一套 Eemca（Energy efficient maximally covered Ad-hoc sensor network）方法。這套方法就是在隨意（Ad-hoc）感測網路的環境中使用一維（one-dimensional）細胞自動機模組，在每個週期裡每個感測節點都可能成為一個協調者（coordinator），但感測節點要成為協調者必須根據鄰居節點 Active/Standby 的狀態，或細胞自動機的規則，如感測節點可以取消自己協調者的身分，以及使用最少量的協調者但必須確保整個網路區域的最大覆蓋率。此外，還設計了一個計時器（timer），當計時器為零時，會根據細胞自動機的規則去改變狀態，然後再重置計時器。另外，Indeaiit Banerjee[12]的研究，提出了一套 CASM（Cellular Automata management scheme）方法，能在無線感測網路中減少感測節點額外的能量消耗。這套方法是依據細胞自動機的規則，參考制定的 table 表，而不用考慮到鄰居節點的狀態，就能做到整個感測環境的睡眠和工作的週期狀態轉換。

2.2 傳輸排程相關方法

傳輸排程方面，決定傳送順序是一個很重要的前提，因為在決定傳送順序之後，可以改善封包傳遞時的延遲時間，減少能量的消耗。根據 Yusuke Inoue[9]的研究，針對在 MANETs (Mobile Ad hoc NETWORKS) 的環境中，舊有的 BLR (Beacon-Less Routing algorithm) 方法，在於減少當感測節點在接收封包時的總延遲時間，可再獲得更好的改善，因此提出了另一套方法，稱為 DAF(Distance-Aware Forwarding)。DAF 是以計算的距離做為傳輸順序的選擇節點方法，在多點跳躍(multiple-hop) 傳輸過程中，某一節點它是以從來源端往目的端經過下一點的投影距離，當作傳輸次序選擇的依據。在減少總延遲時間的效果方面，雖然 DAF 略為增加了跳點數，卻能比 BLR 獲得更好的成效。

2.3 其他相關問題

除了上述所討論的主題，其他還有一些要考慮的問題，我們在這章節作個探討。

在解決通訊模式方面，根據 Kulkarni[10]的定義，在無線感測網路中有四個主要的溝通模式：(1) broadcast：利用基地台(sink)在無線感測網路環境中傳送一些資訊給其他所有的感測器。(2) converge-cast：感測器會收集各方傳來的資料，再傳送給特定感測器，如此傳下去。(3) local gossip：感測器將訊息傳送到鄰居的範圍。(4) multicast：感測器可以固定傳送訊息給多個特定的感測器。本論文的無線感測網路模型我們以兩個最重要的傳輸模式， broadcast 及 converge-cast，為主要的通訊模式。因此，sink 會以廣播方式或者訊問方式給所有的感測器，而所有的感測器也會將感測到的資訊回傳給 sink。

在無線感測網路中，叢集式架構[13]是將感測器分為一個或多個叢集，每個叢集裡都會有一個叢集頭負責收集每個叢集的資料，再將資料回傳到 Sink，因此，具有資料融合 (Data Fusion) 的優點。但是，對於能量有效使用和延長網路生命週期的目標，由一個叢集頭負責收集資料再回傳給 Sink，叢集頭會比一般感測節點更加消耗能量。所以，由 W. Heineman 等人提出的 LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) [14] 是以分散式方式在每個週期裡每個感測節點都會產生一個機率值，當一個感測節點的機

率值小於計算出的門檻值時，他就會被選為叢集頭。然而每個週期開始，每個感測節點都有機會擔任叢集頭。再者透過週期性的變換叢集頭，可以達到整個網路節點能量的平均消耗，使得每個感測節點都有機會成為叢集頭。還有其他學者提出有關 LEACH 的方法[15-18]，是為了減少感測節點能量消耗的問題，進而延長整個無線網路生命週期。

因為碰撞是無線感測網路必須要處理的事情，所以很多文章也會提出相關的作法去解決碰撞的發生。根據 Kay [19]的這篇文章，他設計了 ACK feedback automaton 方法，當一個感測節點新產生的隨機傳輸機率大於現有的傳輸機率，就成為傳輸節點，否則就繼續處在睡眠狀態，然後透過叢集頭 (clusterhead) 對每個傳輸節點做獎勵及懲罰的指令，鼓勵傳輸節點工作，且以不同步的傳輸方法，降低了傳遞訊息時的碰撞率。

2.4 相關研究的方法分析

經由我們的歸納，這些方法大致可依以下幾個方向作分析：

休眠排程 在使用具有規則性急狀態循環的細胞自動機，感測器會根據所制定的 table 表，參考鄰居節點的狀態，做 Active/Standby 的狀態轉換。這樣能避免太多的感測節點同時醒來工作，造成能量不必要的浪費。

傳輸排程 為了決定感測節點的傳送順序，因此使用了 DAF 的方法。DAF 是以計算的距離做為傳輸順序的選擇節點方法，除了可減少封包傳遞時的總延遲時間，還可減少能量的消耗。

動態及靜態的傳輸排程 當有感測節點損壞或沒有能量時，無線感測網路的拓撲將會隨之改變，這個時候感測節點的傳輸排程就必須重新調整，這種情形我們稱為動態排程方式；而靜態排程方式，將很可能因為感測環境中有節點或網路發生改變而導致失效。

2.5 設計方向

無線感測網路的應用非常廣泛，我們要採用或設計出哪一種方法最符合實際需要是不容易的。但對於無線感測網路節點的簡單功能而言，我們的設計將從休眠排程、傳輸排程及動態的時間排程為方向。

本論文會針對以上所提出的設計目標及必須克服的問題，提出一個名為 DSHWSN 的動態排程方法，在動態休眠及傳輸排程方法上做規劃。而這些排程決定之前，感測節點傳輸資料的路徑會在 Broadcast 及 Convergecast 時被建立出來，這些路徑的結構則是樹狀的拓樸。而為了讓感測節點的能量能有效使用，因此，在整個無線感測網路運行時，必須考慮節點能量及事件發生機率，做動態的傳輸排程規劃。

針對以上相關的文獻，我們提出的方法所希望達成的目標如下：

- 自動建立拓樸網路。
- 根據休眠排程讓感測節點增加睡眠時間，減少不必要的能量消耗。
- 根據動態傳輸排程以降低感測節點在傳遞訊息時的延遲時間。
- 感測器為非同步化的運作模式。
- 考慮感測節點能量及事件發生機率，延長整個無線感測網路的生命週期。

目的在下個章節提出我們的方法和結果。

第三章、網路模型與排程的設計

我們所設計的模型包含有以下幾個特徵。

- 採用Broadcast和Convergecast通訊模式。
- 具有週期性的休眠排程以及動態的休眠排程設計。
- 以投影距離為基礎做為初始化節點的傳輸排程。
- 考慮能量及事件發生機率，進行動態傳輸排程。

3.1 網路通訊與初始化的休眠排程

在我們論文所設計的方法，Sink 也可以透過 Broadcast 和 Convergecast 的運作來建立起叢集性或樹狀性的網路拓樸。網路資料可以分成一種是從 Sink 傳出來的 Query 封包(Broadcast)，另一個為回傳給 Sink 的 Confirm 封包(Convergecast)。Sink 先發送 Query 封包給鄰近節點，收到 Sink 的 Query 封包節點回覆 Confirm 封包，變成 Sink 的成員(Member Node)。並且也變成 Level-1 的叢集頭(Head)，重發 Query1 封包廣播出去。未收到來自 Sink 的 Query 封包，卻收到某 Level-1 Head 的 Query1，將回傳 Confirm 封包給 Level-1 Head，變成其成員。如此一直下去，最後上下游節點的關係和網路叢集或樹狀拓樸關係就建立起來了。在此我們會去限制每個叢集的會員節點個數，避免一個叢集頭擁有太多會員節點而照成多餘的能量花費。然而，當一個叢集頭會員節點數量額滿時，多餘的會員節點會去尋找另外的叢集頭，成為其會員節點。當拓樸建立之後，就開始制定休眠排程，使得節點以固定的時間來進行設定的傳收模式做動作及休眠的排程，之後就會以固定好的排程來收集資料。

在休眠排程方面，此論文設計一套具有循環狀態的休眠排程方式，決定每個感測節點的工作/睡眠(Active/Sleep)週期狀態。圖 4 描繪的就是週期性排程的狀態轉換圖，在每個週期中叢集頭都會執行以下的狀態轉換，Broadcast Sending (B)、Convergecast

Reception ($RC_1 \sim RC_m$)、Broadcast Reception (RB) 及 Convergecast Sending (TC)，感測器除了這些狀態之外，在每個週期其餘的時間都是處於睡眠的狀態。首先，B 狀態是表示從 Head 所發出的廣播封包，通知所有的會員節點，將要進行感測資料的收集。當所有的會員節點接收到這個廣播封包之後，各節點會進入到個別的資料回傳程序，也就是圖 4 中 RC_1 到 RC_m 的狀態，在這個階段所有的會員節點會在每個週期所制定的時間輪流醒來，分別去回傳收集到的感測資料，因此能避免碰撞的發生，而我們也設定每個節點醒來的活動時間都是一致的。經過一段時間之後，Sink 會傳送一個收集資訊的廣播封包給 head，通知所有的 head 要回傳感測資料了，此時也就是 RB 的狀態，在此狀態中，sink 可以動態調整一個 round 的時間。當所有的 head 接收到這個廣播封包之後，會進入回傳的程序，也就是 TC 的狀態，在這個階段所有的 head 會依照所制定的排程順序時間，輪流回傳所感測的資料給上一層的節點，上一層的節點會幫忙 relay 資料直到 Sink。雖然休眠排程的狀態轉換是一個週期性的轉換，然而封包在 Broadcast 及 Convergecast 時，被設計成需要所夾帶的額外資訊會包括節點能量、事件發生機率及感測資料，因此，封包長度會較為長些，造成能量消耗的問題。

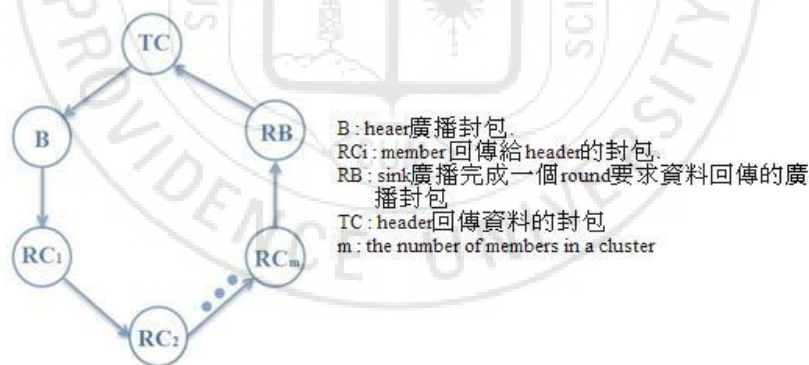


圖 4 活動狀態圖

如圖 5，為建立起的案例，其中 E、F、G 節點為 B 節點的成員，而 B、C、D 節點為 A 節點的成員。每個叢集頭（如圖 5 中 B 節點）在一個週期內至少傳送一個給成員的 Broadcast 和接收一個來自成員的 Convergecast 兩個封包，也會接收一個來自叢集頭（如圖 5 中 A 節點）的 Broadcast 封包。此外，我們會安排每個叢集頭可能限制他的成員數量。在此，我們假設 B 節點會接收一個來自 A 節點的 Broadcast 封包，和發送給 E、F、G 節點的 Broadcast 封包，再者，B 節點會接收來自 E、F、G 節點的三個 Convergecast 封包，和傳回給 A 節點的 Convergecast 封包，所以，B 節點在一個週期將會有兩個傳送

封包和四個接收封包，共有六個傳收動作。但對於 E、F、G 三個節點，他們是最底層的節點 (Leaf)，因此只會接收一個來自 B 節點的 Broadcast 封包和回傳給 B 節點的 Convergecast 封包。在每個週期裡，這六個傳收動作的時間也都是預先決定好的。

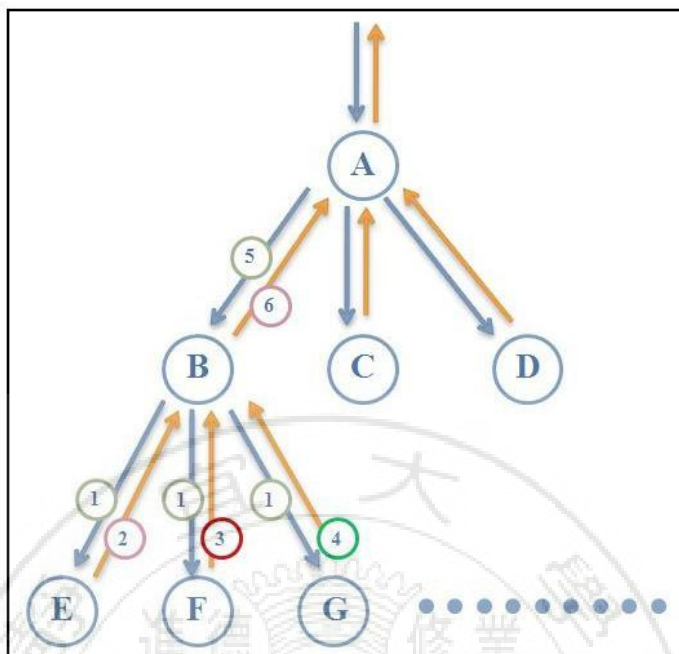


圖 5 網路叢集架構和通訊模式的案例

3.2 初始化的傳輸排程

在傳輸排程方面，在一個叢集中的每個成員是對應到活動狀態圖 $RC_1 \sim RC_m$ 的狀態，在此我們採用了以傳輸投影距離方式，去決定節點的感測資料之回傳順序。而採用以傳輸投影距離方式的目的，是為了縮短資料傳送時的延遲時間。圖 6 的部分，是在一個叢集裡，A~H 皆為感測節點，其中 B 為 A 的會員節點，而 C、D、E、F、G 及 H 為 B 的會員節點。在無線感測節點被部署完，經過網路模型建置後，並建立出整個無線感測網路的叢集架構，但此時尚未建立區域回傳的順序，因此，我們以傳輸距離決定區域性節點的感測資料做為回傳順序，再者，圖 6 中每個節點也都具有固定的座標位置。剛開始 B 會以與 A 之間的傳送路線做為所投影的直線，在建立叢集同時，讓 B 的會員節點知道 A 至 B 的向量距離，以此直線為基準，各節點 C、D、E、F、G 及 H 會自己去做傳輸距離計算，但在圖中我們以 B 為座標 (0,0) 來看，G 及 H 是在第二和第三象限，計算出的距離會是負的數值，因此，我們會將此負值做絕對值計算，得到正的數值。在計算出 B 和每個 member 的向量和角度等數值之後，再計算出跟 B 投影直線之間的距離，

最後所有 member 距離 B 的長度也會得到，如圖 6 所示，F 在直線上是距離 B 最遠的節點，所以，F 就是做為最先回傳資料的 member，依此類推，接下來的傳送順序為 E、H、G、D 及 C。以 F 節點作舉例，正射影距離 (1) 表示方式：

$$\| \overline{AB} \| = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2} ; \overline{AB} = [X_1, Y_1] ;$$

$$\| \overline{BF} \| = \sqrt{X_2^2 + Y_2^2} ; \overline{BF} = [X_2, Y_2] ;$$

$$\overline{AB} \cdot \overline{BF} = \| \overline{AB} \| \cdot \| \overline{BF} \| \cdot \cos \theta \Rightarrow \text{得知 } \theta ;$$

$$\therefore \text{距離B點} : \| r \| \cdot \cos \theta ; \quad (1)$$

其中 r 為 B 的圓半徑；以 B 為中心， (X_1, Y_1) 和 (X_2, Y_2) 分別為 A 和 F 的座標。

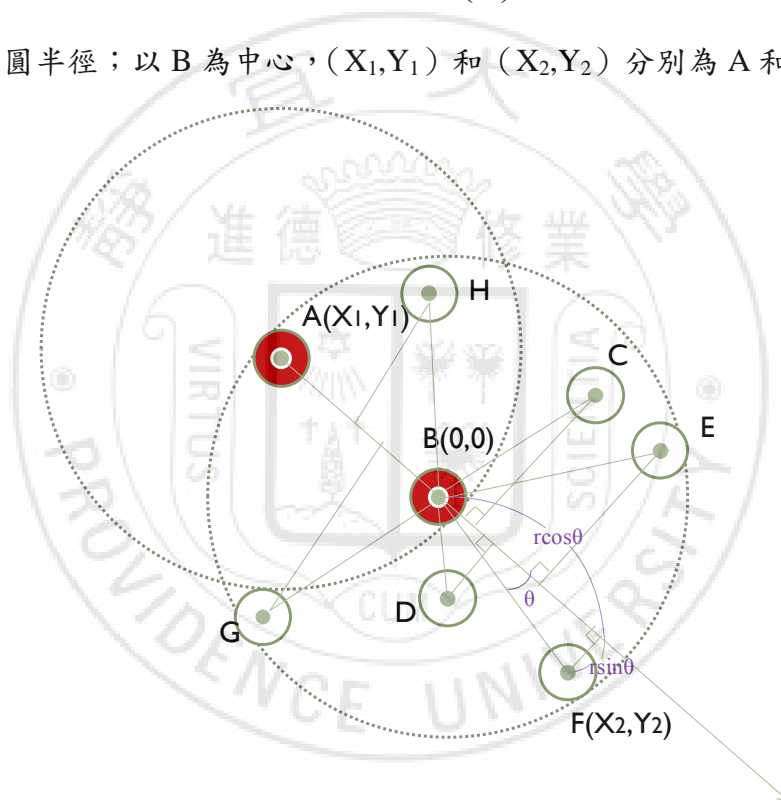


圖 6 在一個 Cluster 裡，會員節點傳送順序決策圖

3.3 動態的傳輸與休眠排程

在整個無線感測網路運行時，考慮各別感測節點能量的消耗，或節點感測事件發生機率，影響節點能量有效利用和為了增加網路生命週期，因此必須去做動態的傳輸與休眠排程。在這我們提出了計算能量消耗 (2) 和事件發生機率 (3) 的方法，設定了當事

件發生機率高於門檻值 $P_{threshold}$ ，就做動態的傳輸與休眠排程。

$$r_i = E_R - E_{work} ; \quad (2)$$

E_R : 先前剩餘的能量；

E_{work} : 一次工作的能量；

$$m_i = \frac{\text{一個週期中節點 } i \text{ 的異常感應次數}}{\text{一個叢集中總感應次數}} \times 100\% ; \quad (3)$$

重新排程時間: $T_x^R \sim T_{x+1}^R$ ；

當節點能量低於門檻值 $E_{threshold}$ 時，我們會延長其睡眠時間，並調整叢集內節點的傳送順序，例如圖 6 中，節點 C、D、E、F、G 及 H，原本的傳送順序為 F、E、H、G、D 及 C，當 F 的能量低於 $threshold$ 時，會去計算其他節點的剩餘能量，此時計算出的剩餘能量由大到小的排列分別為 E、H、G、D、C 及 F，因此，傳送順序也改變成 E、H、G、D、C 及 F。當某個節點事件發生機率高於門檻值 $P_{threshold}$ 時，代表著某個節點事件發生機率較為頻繁，因此需要調整傳輸順序，例如圖 6 中，原本節點的傳送順序為 F、E、G、H、D 及 C，當 E 的事件發生機率高於 $P_{threshold}$ 時，會去計算其餘節點的事件發生機率，此時計算出的事件發生機率由大到小的排列分別為 E、F、G、H、D 及 C，因此，傳送順序也改變成 E、F、G、H、D 及 C。

在依照能量消耗和事件發生機率所做動態的傳輸與休眠排程，但還是會遇到一些特殊情況，因此，以能量的門檻值做為判斷何時該使用能量消耗或事件發生機率的判斷以決定傳送順序。當節點能量大於能量的門檻值時，節點會以事件發生機率做為傳送順序的決定；當節點能量小於能量的門檻值時，節點會以能量消耗做為傳送順序的決定。

對於整個方法的設計，我們也提出了一個演算法，如圖 7 所示。演算法一開始會先定義整個無線感測網路的環境是經過感測節點在叢集架構競爭的階段之後建立起來的。在環境建立後，我們必須去決定感測節點的傳送順序。感測節點之間是透過 HELLO、SIGNAL1、SIGNAL2 及 SIGNAL3 等四個封包，分別夾帶著相關的資訊，經過計算就能決定出傳送順序。

Initialization:

N: 代表某 cluster 可以直接連接的節點成員數量;
HELLO: 代表某 cluster 給 sink 之訊息通知;
SIGNAL1: 代表 Sink 發給某 cluster 之訊息通知;
SIGNAL2: 代表某 cluster 發給 member 之訊息通知;
SIGNAL3: 代表某 cluster 的 member 發給 cluster 之訊息通知;
Ethreshold: 剩餘能量的門檻值;
Pthreshold: 事件偵測機率的門檻值;
 M_{E1} : 為一集合, 存放一個叢集所有成員節點 ID, 共 N 個節點成員
 M_{E2} : 為一集合, 存放 M_{E1} 中, 能量大於 Ethreshold 的節點 ID, 共 k 個節點;
 E_1 : 為一集合, 對應到 M_{E1} 的順序, 存放所有節點的剩餘能量;
 E_2 : 為一集合, 對應到 M_{E2} 的順序, 存放該 k 個節點的剩餘能量;
 P_1 : 為一集合, 對應到 M_{E1} 的順序, 存放所有節點的事件偵測機率;
 P_2 : 為一集合, 對應到 M_{E2} 的順序, 存放該 k 個節點的事件偵測機率;

Main(){

```
//當建立網路, 執行下面程式碼, 節點傳送初始化
FOR each cluster DO
  IF (N >= 1) THEN
    send HELLO message to sink; (詢問 sink 投影的資訊)
    send SIGNAL1 message to cluster; (cluster 取得投影資訊)
    send SIGNAL2 message to member; (依據投影資訊, 計算出距離)
    send SIGNAL3 message to cluster; (cluster 決定傳送順序)
  END IF
END FOR

// 針對每個 Round 需做下面程式碼
FOR each cluster Do
  Computing e in  $E_1$  corresponding to  $M_{E1}$  (計算成員的剩餘能量)
  Computing p in  $P_1$  corresponding to  $M_{E1}$  (計算前一 Round 成員的事件偵測機率)
  IF (any p > Pthreshold) THEN
     $M_{E2} \leftarrow \text{NULL}; E_2 \leftarrow \text{NULL}; P_2 \leftarrow \text{NULL};$ 
    K = 0;
    WHILE i = 0 to N DO
      IF ( $E_1[i] < \text{Ethroushold}$ ) THEN (如果  $E_1$  裡元素小於 Ethroushold)
         $E_2 \leftarrow E_2 + E_1[i];$ 
         $P_2 \leftarrow P_2 + P_1[i];$ 
         $M_{E2} \leftarrow M_{E2} + M_{E1}[i];$  //將節點加入  $M_{E2}$  集合當中
         $E_1 \leftarrow E_1 - E_1[i];$ 
         $P_1 \leftarrow P_1 - P_1[i];$ 
         $M_{E1} \leftarrow M_{E1} - M_{E1}[i];$  //將節點從  $M_{E1}$  集合除去
        K = K + 1
      END IF
    END WHILE
    Sort( $E_2, M_{E2}$ ); (節點依照剩餘能量的排序進行排列)
    Sort( $P_1, M_{E1}$ ); (節點依照事件偵測機率的排序進行排列)
    Append( $M_{E1}, M_{E2}$ ); (合併兩個集合, 將  $M_{E2}$  集合中的節點加在  $M_{E1}$  之後)
    Print( $M_{E1}$ ); (將排序後的所有節點輸出)
  END IF
END FOR
}
```

圖 7 Algorithm 示意圖

由以上的說明，對於整個方法設計的好處，我們可以歸納如下：

- (1) 運作簡單：每個感測器可以快速的建立上下游關係後，就可完成排程的動作；
- (2) 延遲時間短：每個感測器的傳輸延遲時間固定且短暫，與以傳輸距離做為回傳順序的方法，都是可以減少總延遲時間；
- (3) 碰撞的避免：透過休眠排程及傳輸排程，可大為降低碰撞發生的次數。



第四章、網路分析與實驗模擬

本章總共有兩小節，第一節為分析，將說明在網路中，如何區別各個感測節點的能量及事件發生機率發生變化時，去做動態的傳輸與休眠，以決定變化後的傳送順序。第二節將針對我們所提出的方法，使用 NS2 模擬工具做模擬實驗。

4.1 網路分析

在上一節我們所提到會根據網路中，各個感測節點的能量及事件發生機率的變化去做動態的休眠與傳輸排程，但如何區別變化後的傳送順序，我們利用圖 8 的例子來幫助說明動態的休眠與傳輸排程。圖 8 中，橫軸的部分是事件發生機率，縱軸的部分是能量，感測節點的初始能量為 0.8J，一次傳輸的耗能為 0.0165J。圖中為網路某一週期的感測節點能量與機率分佈的情況。在此要決定下一週期各節點的傳送順序，目前假設(能量, 機率)的臨界值為 (0.3J, 0.3)，網路依照能量門檻值將節點分為兩部分。第一部分是在能量門檻值以上，E、F、G 及 H 節點是以事件發生機率做為判斷傳送順序的決定。由於 E 及 F 的事件發生機率超過事件發生機率門檻值 0.3。動態的傳輸排程，排程後的傳輸順序是 F、E、H 及 G，表一就是說明事件發生機率與節點排序的關係；第二部分是在能量門檻值 0.3J 以下，是以能量多寡做為判斷傳送順序的決定，這部分有兩個節點，原有順序是 C 及 D，排程後的傳輸順序是 D 及 C。所以，整個無線感測網路在此階段的傳輸順序為 F、E、H、G、D 及 C。

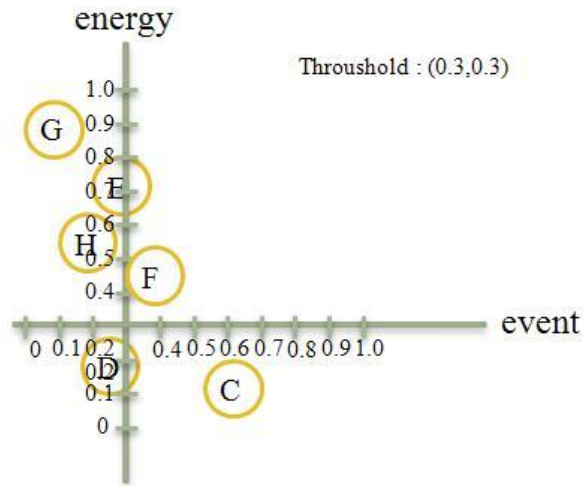


圖 8 在一個週期內節點能量與事件機率的分布圖。其中下一週期能量與機率臨界值分別為 (0.3J, 0.3)。

當節點具有足夠的能量時，節點將會依照網路週期進行 Active。即每個 round，回報一次目前 sensing 到的資料。然而若節點能量低於能量門檻值，每次 Active 的週期需被延長，以維持節點可以活到網路所要求的壽命。在圖 8 中，由於節點 C 及 D 兩個感測節點都低於能量門檻值以下，因此，必須延長睡眠週期。以節點 C 作為例子：

$$\Delta E \geq S \cdot w_1 + A \cdot w_2 ; \quad (4)$$

其中 ΔE ：節點剩餘週期的電量；

S ：一次週期睡眠時的能量消耗；

A ：一次工作時的能量消耗；

w_1 ：節點剩餘睡眠次數；

w_2 ：節點剩餘工作次數；

延長睡眠週期方面，我們假設網路剩下的生命週期為 M 次 ($w_2 < M$)，感測節點 C 及 D 分別要在剩下的週期各醒來工作 w_i 次及 w_j 次，在此假設節點睡眠的能量花費趨近於 0，因此我們會忽略不計 $S \cdot w_1$ 的部分。就是當 $M=20$ ，每次感測節點 C 醒來工作所花費的能量是 0.0165J，感測節點 C 目前剩餘能量是 0.29J，低於臨界值。所以，剩餘能量除以每次醒來工作所花費的能量 $0.29/0.0165 \doteq 17.58$ ，就是感測節點 C 剩餘的工作次數 w_2 大概是 17.58 次。因此，感測節點 C 每隔 $20/17.58=1.14$ 個週期醒來工作一次。表二就是說明延長睡眠週期的計算過程。

表 1 事件機率及節點排序表

	E	F	G	H
目前傳送順序	3	1	4	2
感測事件次數	15	20	5	10
事件發生機率	0.3	0.4	0.1	0.2
新的傳送順序	2	1	4	3

表 2 能量及睡眠週期計算表

	C	D
剩餘網路生命週期 M	20	20
目前剩餘能量 (J)	0.29	0.285
每次工作所花費能量 (J)	0.0165	0.0165
延長的週期數 (Active)	1.14	1.16
工作次數 w_2	17.58	17.27

4.2 實驗模擬

延長週期對節點平均能量的影響 以下的實驗模擬中，我們所設計的感測範圍是 1000×1000 平方公尺，感測器的部點數量為 20×20 ，感測節點的初始能量為 0.8J ，一次傳輸的耗能為 0.0165J ，感測資料大小預設為 15.36kBytes 。圖 9 的部分，橫軸為網路生命週期數，縱軸是感測節點的平均能量。比較本論文研究的方式與一般方法（稱為 no extended cycle，即感測節點每週期皆會醒來工作），由圖 9 中顯示藍色的線條在沒有使用以能量門檻值延長生命週期的一般方法，感測節點只能存活 48.48 個週期[20]。相對地，紅色、綠色及紫色線條的部分，使用了以能量門檻值延長生命週期的方法，可以延長到所預期達到的生命週期，因此當感測節點能量低於能量門檻值 0.3J 後，各別平均延長睡眠週期為 1.659、2.231 及 2.803cycles。

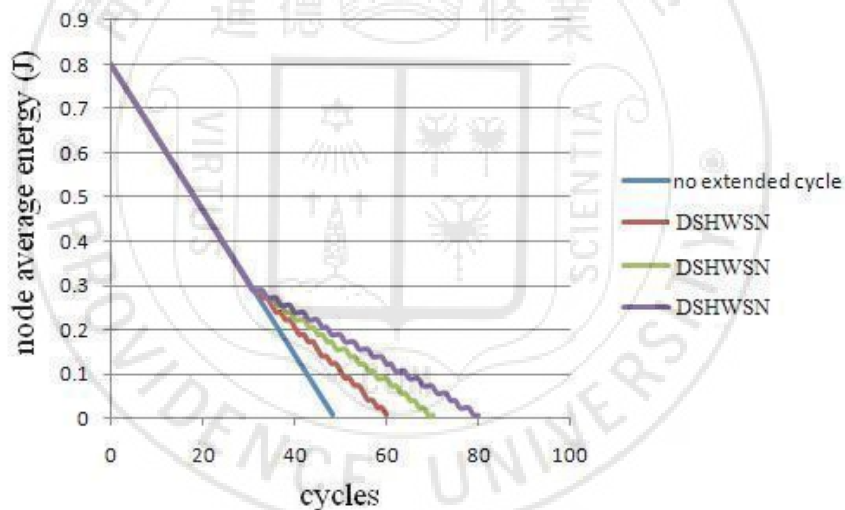


圖 9 節點平均能量

考慮階層能量消耗對節點能量的影響 以下的實驗模擬中，我們所設計的感測範圍是 1000×1000 平方公尺，感測器的部點數量為 20×20 。圖 10 的部分，橫軸為網路生命週期數，縱軸是感測節點的能量。圖 10 中，我們考慮了每個階層所消耗能量的不同，像紅色線條為第一層 cluster 所代表的能量，綠色線條為第二層 member 所代表的能量，因為一個 cluster 會比一個 member 能量消耗來的快兩倍，因此，我們將 cluster 的能量提升兩倍，能量門檻值也是提升兩倍再進行延長睡眠週期。在經過測試之後，節點生命週期可

以到達我們期望的 60 個 cycles。在此第一層 cluster 會在能量 0.6J 時進行延長睡眠週期，第二層 member 是在能量門檻值 0.3J 時進行延長睡眠週期。

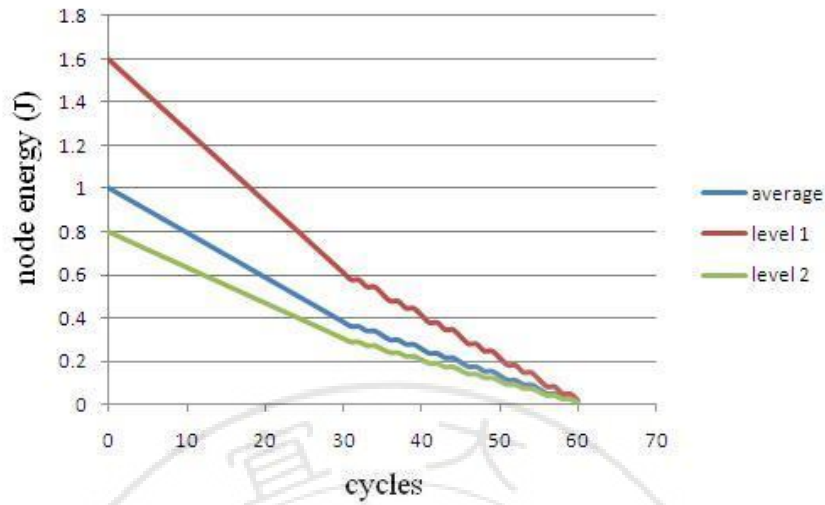


圖 10 階層能量消耗

Cluster 與 Sink 之間的平均延遲時間 以下的實驗模擬中，我們所設計的感測範圍是 1000×1000 平方公尺，感測器的部點數量為 25、36、49、64、81 及 100，其中 cluster 數量是相同的，member 的數量是不固定的。圖 11 中，橫軸為感測節點數量，縱軸為平均延遲時間。根據我們使用動態傳輸排程的方法，在 cluster 與 sink 之間模擬出的平均延遲時間相當短，且在各節點數量之間差距也不大。而我們也發現當節點數量較少時，平均延遲時間會相對較低，當節點數量變多的時候，平均延遲時間就會比較大，資料的傳送必須花比較長的時間才能送達目的地。但在節點數量 49 與節點數量 64 的地方平均延遲時間的降低，是因為不同的拓撲及下游節點數而照成的。圖 12 中，是我們的方法與未規劃的無線感測網路的比較。實驗中未規劃的網路，主要是在於感測節點的傳輸時間是經由 random 產生，並未加以規劃。因此，由圖可知，我們的方法在平均延遲時間中能有很好的表現。

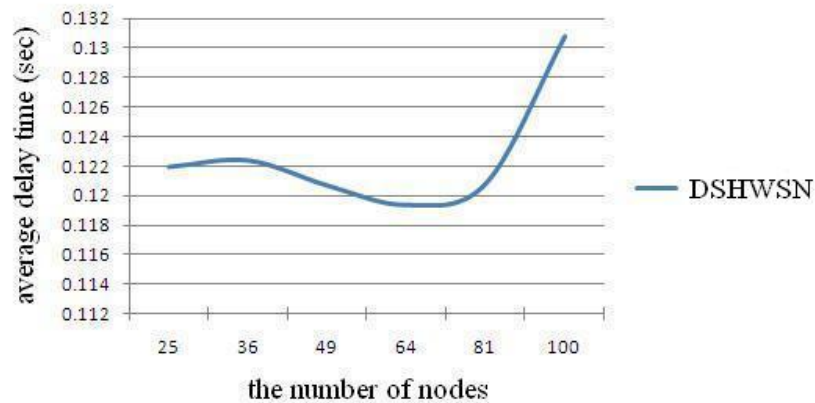


圖 11 cluster 與 sink 之間的平均延遲時間

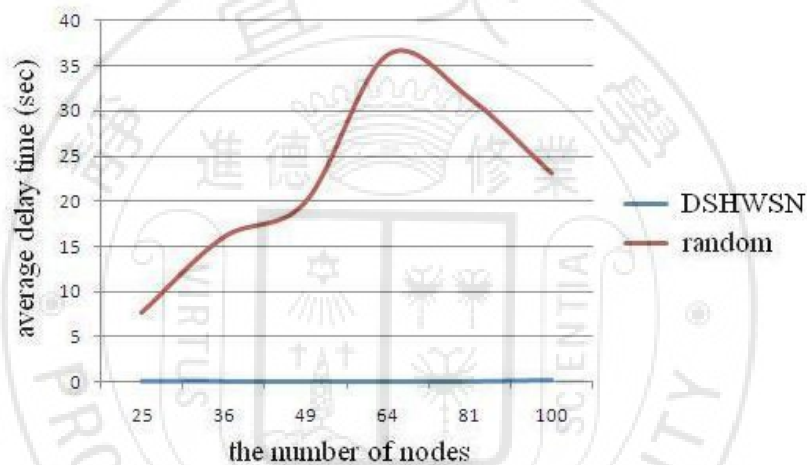


圖 12 與未規劃的無線感測網路之比較

Cluster 的平均封包遺失率 以下的實驗模擬中，我們所設計的感測範圍是 1000×1000 平方公尺，感測器的節點數量為 25、36、49、64、81 及 100。圖 13 中，橫軸為感測節點數，縱軸為平均一個 cluster 的封包遺失率。根據我們排程的方法，決定了各感測節點之間的工作時間，感測節點傳送的碰撞次數大大的減少，因此，封包遺失的機率也相當的低。但在節點數量 49 與節點數量 64 的地方平均封包遺失率較高，是因為不同的拓樸及下游節點數而照成的。圖 14 中，是一個未經規劃的無線感測網路。在這無線感測網路裡，休眠時間及傳送順序都未經規畫，因為碰撞是無法避免的，所以，封包遺失的機率比為我們的大了許多。

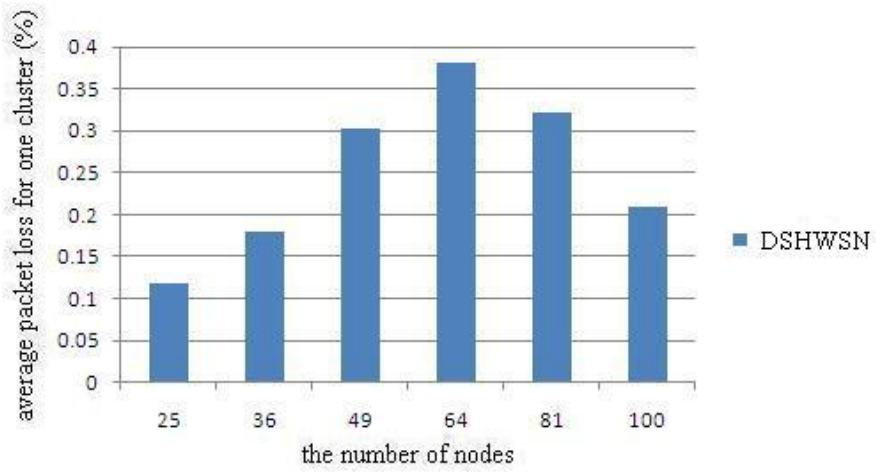


圖 13 cluster 的平均封包遺失率

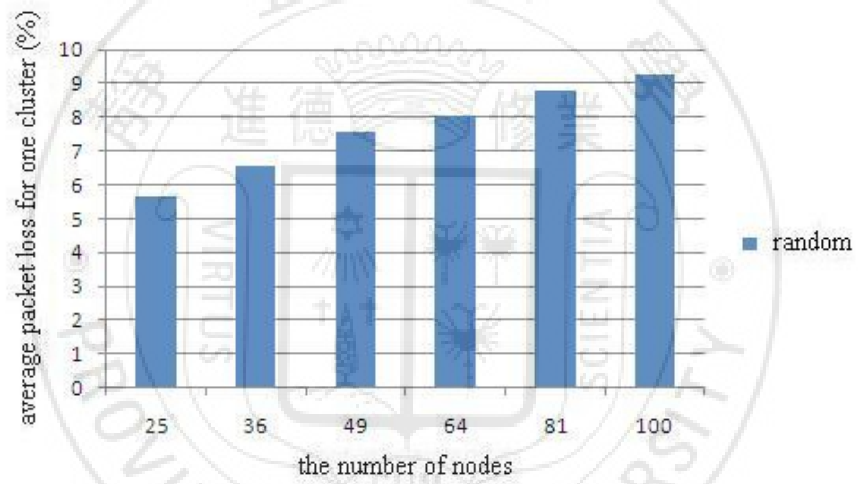


圖 14 未經規畫的無線感測網路之 cluster 的平均封包遺失率

第五章、結論與未來方向

本論文提出了一套動態休眠與傳輸排程方法，針對叢集內的傳輸排程以傳輸距離方法去決定區域性節點的感測資料回傳順序，因此縮短了延遲的時間，增加資料傳送的效率。也提出了一個網路週期性運行的模型，決定出感測節點的工作和睡眠的週期時間，在此封包遺失和延遲時間也大大的降低。同時考慮個別感測節點的能量消耗情況或事件發生機率，去做動態的休眠與傳輸排程，如延長睡眠時間和傳輸順序的改變，以達到感測節點省電的效果，及延長網路生命週期。

最後，本論文透過模擬環境來分析整個感測環境，包括了能量消耗、週期性傳輸、活動與睡眠的安排等問題。分析與模擬經驗上的數據顯示出此研究提出的方法是合適且有效率的應用在感測網路上。未來方向將進行研究動態的拓樸建立及更節能的方法，如果動態的拓樸也可以依照這樣的方法去建立，那麼我們所做的方法是個很好的架構。此外由於我們的方法還是初步的構想，所以在實驗的結果還是可以有改善的空間，在未來也會再針對我們的方法做更進一步的改善及調整。

参考文献

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “Wireless Sensor Networks: A Survey”, *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393–422, March 2002.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A Survey on Sensor Networks”, *IEEE Communications Magazine*, pp. 102–114, August 2002.
- [3] M. Vemula, M. F. Bugallo, and P. M. Djuric, “Target Tracking in a Two-Tiered Hierarchical Sensor Network”, in *Proceeding of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2006, vol. 4, pp. IV–969 – IV–972.
- [4] T. C. Collier and C. E. Taylor, “Self-organization in sensor networks”, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 64, no. 7, pp. 866–873, 2004.
- [5] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, “Routing techniques in wireless sensor networks: a survey”, *IEEE Wireless Communications*, vol. 11, no. 6, pp. 6–28, Dec. 2004.
- [6] S. Olariu, Q. Xu, and A. Y. Zomaya, “An Energy-Efficient Self-Organization Protocol for Wireless Sensor Networks”, in *Proceedings of the Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference*, December 2004, pp. 55 – 60.
- [7] W. L. Lee, A. Datta, and R. Cardell-Oliver, “FlexiTP: A Flexible-Schedule-Based TDMA Protocol for Fault-Tolerant and Energy-Efficient Wireless Sensor Networks”, *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 19, no. 6, pp. 851–864, 2008.
- [8] I. Demirkol, C. Ersoy, and F. Alagöz, “MAC protocols for wireless sensor networks: a survey”, *IEEE Communications Magazine* - April 2006, Vol. 44, No. 4.
- [9] Yusuke Inoue, Keiichi Endo, and Yutaka Takahashi: "A Distance-Aware Forwarding Protocol for Beaconless Communication in Mobile Ad Hoc Networks and Its Performance," *Proceedings of the 5th Annual International Wireless Internet Conference (WICON 2010)*, Singapore, March 1-3, 2010.

- [10] S.S. Kulkarni, "TDMA service for sensor networks", *Distributed Computing Systems Work-shops, 2004. Proceedings. 24th International Conference on*, pp. 604–609, March 2004.
- [11] Indrajit Banerjee, Sukanta Das, Hafijur Rahaman, and Biplab K Sikdar, "An Energy Efficient Monitoring of Ad-Hoc Sensor Network with Cellular Automata", *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, October 8-11, 2006.
- [12] Indrajit Banerjee, Sukanta Das, Hafijur Rahaman, and Biplab K Sikdar, "C A Based Sensor Node Management Scheme: An Energy Efficient Approach", *IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking, and Mobile Computing*, Sept 21-25 2007.
- [13] Ameer Ahmed Abbasi, Mohamed Younis, "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks", *Computer Communications*, vol. 30, no. 14-15, pp.2826-2841, October 2007.
- [14] W. Heinerman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *proceedings of 33rd Hawaii International Conference on System Science*, vol. 8, pp. 3005-3014, Jan. 4-7, 2000.
- [15] M. J. Handy, M. Haase, D. Timmermann, "Low Energy Adaptive Clustering Hierachy with Deterministic Cluster-Head Sekection", *Mobile and Wireless Communications Networks*, pp. 368-372, December 2002.
- [16] Junpei Kamimura, Naoki Wakamiya, Masayuki Murata, "Energy-Efficient Clustering Method for Data Gathering in Sensor Networks", in the *Annual International Conference on Broadband Networks*, 2004.
- [17] M. Esnaashari, M. R. Meybodi, "A Novel Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks Using Irregular Cellular Learning Automata", *Telecommunications, 2008. IST 2008. International Symposium on*, pp. 330-336, 2008.

- [18]Fan Xiangning, Song Yulin, "Improvement on LEACH Protocol of Wireless Sensor Network", Sensor Technologies and Applications, 2007. SensorComm 2007. International Conference on, pp. 260-264, December 2007.
- [19]James Kay, Jeff Frolik, "Derandomization of Wireless Channel Access using Automata in Sensor Networks," icas, pp.19, International Conference on Autonomic and Autonomous Systems (ICAS'06), 2006.
- [20]Blerim Qela, Gabriel A. Wainer, Houssein Mouftah, "Simulaion of Large Wireless Sensor Network using Cell-DEVS", proceedings of the Winter Simulation Conference on Networking and Communications, 2009.

