

隨機事件引起移動式感測網路拓樸改變之研究

潘世樺
逢甲大學 通訊工程學系

朱嘯秋
助理教授
逢甲大學 通訊工程學系
e-mail : hchu_1@yahoo.com.tw

摘要

無線通訊技術在近年來的進步，使得發展出一種與感測器相結合的感測網路，這些感測節點能及時的將收集到的資訊傳回中控端，並讓後端使用者分析數據，依照感測節點的行動能力，又可形成另一種移動式感測網路，與傳統感測網路相比雖增加更多的應用與彈性，卻也多了電力控制的問題。本研究假設移動式感測網路內佈置的節點都具有相同的感測和通訊範圍，以及移動和計算能力，當部署的環境出現需要偵測的事件後，探討出最佳的方法使得移動節點在聚集至事件附近時能有效節省能源，並可最佳的平均分配能源消耗給所有移動的感測節點，藉此延長整體感測網路的壽命。

關鍵詞：無線通訊、感測網路、電力控制、事件追蹤

Abstract

The evolution of wireless communication techniques in recent years has led to the development of wireless sensor networks that combine sensors with wireless communications. These sensor nodes can collect data and relay the data back to lined networks for further processing. If sensor nodes are mobile, then they form a mobile sensor network. A mobile sensor network has the advantage of flexibility in topology and applications over traditional fixed sensor networks but it also makes the problem of power control more severe. In this research, we will deploy identical mobile nodes inside a target area for events tracking. Once an event occurs, we will try to find an efficient ways to gather near-by mobile nodes to provide a seamless coverage while trying to reduce the power consumptions.

Keywords: wireless communications, sensor networks, power control, events tracking

1. 前言

無線感測網路(wireless sensor network)是由一到數個的無線資料收集器以及一群具有收集及傳輸資料能力的感測器(sensor)所構成，節點間的資料傳輸是採用無線通訊的方法，因為這樣的特性，我們可以將大量節點部署於待觀測環境中，形成一個無線感測網路來收集所需的環境資訊(如溫度、氣體濃度等)，不但可省下布線費用，而且擴展性較自由。

隨著近年來微機電技術的進步以及無線傳輸技術的發展更加進步，感測節點也由傳統的固定式(static sensors)發展出具有移動能力的行動節點(mobile sensors)。由這些可移動的節點組成的移動式感測網路(mobile sensor networks)能應用的範圍更廣更大，例如：環境監控、軍事偵察、居家保全、目標追蹤等。

提高感測網路的行動力可以增強感測，也能改善感測網路的壽命和可靠性，另外大多時候部署前的環境是未知的，在這樣的條件下，欲觀察的物群以及移動的事件位置都是事前無法得知的，但是當目標出現時，感測器便能移動過去並保持著完全覆蓋事件以取得資料。

我們設計一個具有事件偵測的節點移動方法，當一個節點偵測到任何事件發生，其他節點能群聚過去事件附近監控或觀察事件的變化，且其他節點會持續偵測有無其他事件產生。而受限於感測器硬體本身的條件，這個設計方法需耗費較短的時間以及能源，以便讓感測網路的存活時間延長，我們再利用軟體模擬分析其結果。

2. 無線感測網路[1,4]

近年來在無線傳輸技術以及電子設備上的進步，促使發展出一種低功耗並且可以在短距離傳輸資料的多功能感測節點。這些感測節點是由感應組件、資料處理、通信組件及電源供應組合而成。感測網路就是由這些感測節點

所組成，節點大量且密集地分佈在一個區域形成網路架構。節點的位置不必經過設計或是事先決定，但在網路協議以及組織演算法中必須能處理自行部署組織的能力，這樣的特性允許它能隨機分佈在難以到達的地型以及救災的事件中。

2.1 感測網路架構

感測網路的節點通常在一個區域裡是分散的(圖 2-1)。這些分散在區域裡的節點擁有蒐集資料的能力並回傳給使用者。資料回傳是藉由多點跳躍的機制先將資料傳至中控端，中控端其功用類似閘道器(Gateway)，再將感測網路的資料透過網路或是衛星通訊交給後端的任務管理員手中。

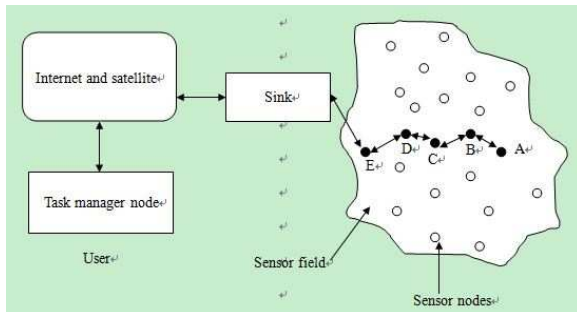


圖 2-1：感測網路架構圖

2.2 電力控制

資料傳送在節點中是電力消耗最大的原因，為了能回傳偵測到的數據，因此必須要能與其他節點互傳資料，這些大多是由短距離無線傳輸的技術來進行。由於電力控制是節點設計的首要考量，因此除了開發較低功率的無線收發器之外，另外有人提出睡眠裝置來進一步減少電力的消耗，但在進入睡眠狀態或結束睡眠狀態時也會消耗不少電力，因此如何安排節點進入睡眠的同時又不影響網路的運作是十分重要的。另外對於具有移動能力的節點來說，節點移動所消耗的能源更是無法避免的，因此如何有效率的選擇合適的節點移動到適當的位置，是電力控制相當重要的一環。

2.3 移動式感測網路

近年來低功耗的嵌入式系統和網路控制系統的進步改變了感測網路，促使傳統感測網路進入更靈活的可控制節點移動的發展，形成一種移動式的感測網路(mobile sensor network)。它是近年來開始受到人們研究的領

域。移動式感測網路是由一群可移動的節點所組成，例如機器人或是無人搭載的遙控車輛等，每個節點都配有處理器、記憶體以及各種的感應器和通訊能力。和傳統固定式的感測網路相比，它有以下的優點：

- (1) 它提供了可變性，可以方便地根據動態的環境變化來重新組織網路。
- (2) 移動式感測網路提供了維修服務機制。
- (3) 節點移動的能力可以更快取得資料，或者是移動到某個區域取得所想要的資料。
- (4) 移動式節點可以提高感測網路的使用彈性。

2.4 目標追蹤

在感測網路的許多應用中，使用者都是希望感測器幫忙他們有效率的收集需要的資訊，對於這些需要的資訊中物體的位置是一個相當重要的資訊，例如在監控環境的應用中，野生動物的遷移位置就是相當重要的，目標物的監控無疑是相當重要的一項應用。節點可透過感測能力去偵測移動物體的存在，例如使用無線電波、紅外線或是超音波等方法。透過無線網路節點彼此合作並交換資料，利用已設計好的物體定位機制來決定移動物體的位置，藉此判斷並提供關於目標物的位置資訊，以便節點能持續偵測移動目標物的資料。

3. 感測節點位置的控制[3,5,6]

我們假設感測節點所感興趣的事件發生地點在某個區域，而且事件地點是任意的分佈。在這個情況下，節點需要移動它們的位置，最後節點分佈的位置會近似於事件分佈的概況。此外我們希望在此分佈演算法執行中，盡量降低需要的計算量和記憶體，執行最後節點能正確的到位。

3.1 HF(history-free)演算法[8, 9]

在此我們所利用的方法為文獻中的 history-free 演算法，在這個演算法下，節點都不記錄任何事件發生的歷史，而是參考事件發生的位置與節點的距離，來決定行動的編隊方式和覆蓋工作，特點是它的計算簡單且需求少。此演算法中每個節點可依下列函式來移動它的位置以回應一個事件的發生：

$$x_i^{k+1} = x_i^k + f(e^{k+1}, x_i^k, x_i^0)$$

其中 e^k 是事件 k 的位置、 x_i 是節點 i 在事件 k 之後的位置，函數 f 在此扮演很重要的內容。我們可以針對函數 f 找出幾個有用的方法：首先，當一個事件發生之後，節點不應該在過去曾經對此事件移動過；節點對太遙遠的事件則將行動傾向於 0，如此當事件有不同集群時可將節點群也分成許多集群。最後，沒有一個節點可以延著對相同事件做回應的其他節點超前移動。

利用節點和事件之間的距離 d ，且節點總是朝向事件移動的特性，依照下列三項標準，我們可以制定函數 f 保證所預期的節點行為：

$$\forall d, 0 \leq f(d) \leq d$$

$$f(\infty) = 0$$

$$\forall d_1 > d_2, f(d_1 - d_2) < (d_1 - d_2)$$

其中一個簡單的函數 $f(d) = d e^{-d}$ 即符合以上這些標準，其中 e 表示常數 2.718。我們也可以利用其他類似的函式 $f(d) = \alpha d^\beta e^{-\gamma d}$ 來使用，參數值 α 、 β 、 γ 須符合

$\alpha e^{-\gamma d} (\beta d^{\beta-1} - \gamma d^\beta) > 1 \forall d$ 。文獻中利用此函數模擬，參數設定 $\alpha=0.06$ 、 $\beta=3$ 、 $\gamma=1$ ，此函式由於 α 、 β 、 γ 設定的差異，可以造成不同的變化且仍能維持相當合理的結果，不同之處在於收斂的速度(依據 α)和區域中事件集群的影響(依據 β 、 γ)。圖 3-1 為模擬結果。

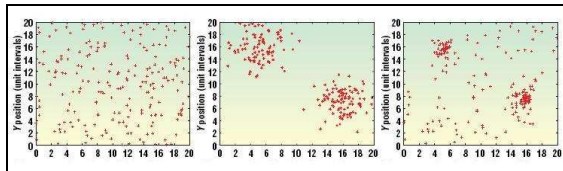


圖 3-1：History-free 演算法模擬結果

左：節點初始位置、中：事件群發生位置、右：模擬後節點位置

3.2 MHF 演算法 [2, 7, 10]

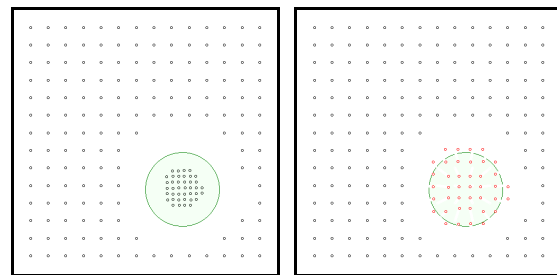
根據 HF 演算法，節點最後會因為太過於聚集事件，導致了過多不必要的移動，使得整體感測網路的能源消耗量增加，存活時間減少，同時也使得附近節點所能偵測到事件的範圍降低不少。

為了避免上述的缺點，我們對 HF 演算法進行改良，首先原 HF 演算法為區域範圍內的所有點的移動距離 $f(d)$ 都採用固定的多項式，因此使得最後節點移動後的結果會形成類似收斂於事件的分佈；我們改良的方法為使用相同的原理，但是在需移動的節點條件下做出區

分，分為事件範圍內以及事件範圍外，兩個條件下分別對應不同係數的 $f(d)$ 多項式(表 3-1)，使得原本在事件內的節點只稍向事件中心趨前，而事件範圍外的節點則向事件範圍靠攏，藉以減低多餘不必要的移動和能源消耗，同時避免原演算法所帶來太過於收斂所帶來的缺點。圖 3-2 為節點部署中，比較兩演算法在聚集事件後的結果分佈。

表 3-1 演算法參數比較

演算法	α	β	γ
HF	0.06	3	1
MHF(事件內)	0.06	3	0.4
MHF(事件外)	0.06	3	0.3



(a) HF

(b) MHF

圖 3-2：兩種演算法節點分佈圖比較

4. 模擬分析與比較

4.1 環境設定

為了更進一步降低整體節點移動的能源損耗，我們提出另一種促使節點行動的條件，在這裡我們不再是以事件區域範圍內來做節點移動，而是挑選離事件最近的 10 個點來做移動演算法，藉此觀察與原條件下兩者的差異度為何。最後，不論時 HF 或是 MHF 演算法，我們都加入一個可以檢查節點範圍的功能，藉由移動過程中一邊檢查節點範圍內有無其他節點一邊移動，已達到更多的能源節省及避免節點太過於收斂於事件。總合以上的方法和條件，本研究將分析不同情況下的效能評估以及是否合乎我們所預期的結果，條件設定如表 4-1。

表 4-1 節點移動四種條件設定

條件名稱	節點設定的移動條件
Original	事件範圍+10m 內
M1	選取離事件最近 10 個節點
M2	Original+檢查節點範圍
M3	M1+檢查節點範圍

本研究是採用 Visual Studio 2008 所自行撰寫的模擬平台，為了觀察 HF 演算法和 MHF 演算法之間的差異性，我們選擇比較兩者之間的節點總移動距離和移動的標準差，藉此推測整體網路耗能的情形。模擬環境參數如表 4-2。

表 4-2 模擬環境參數設定

參數	數值
部署範圍	100m X 100m
節點個數	196
感測半徑	5m
通訊半徑	10m
事件數	1~3
事件範圍半徑	14m
事件偵測範圍	事件半徑+10m
節點移動檢查範圍	5m

為方便觀察以及比較，本研究選用棋盤式部署方式(圖 4-1)來做分析及比對，節點間距為 6.5 公尺，節點感測範圍為 5 公尺。

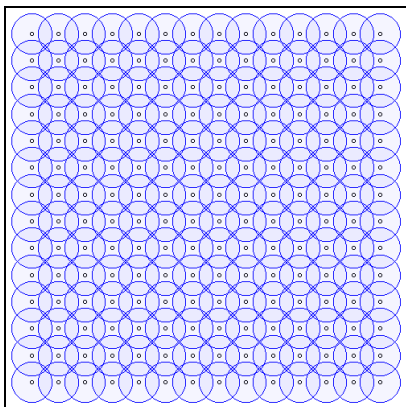
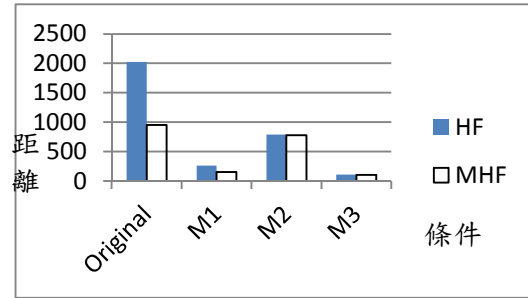


圖 4-1：棋盤式部署方式及其感測範圍

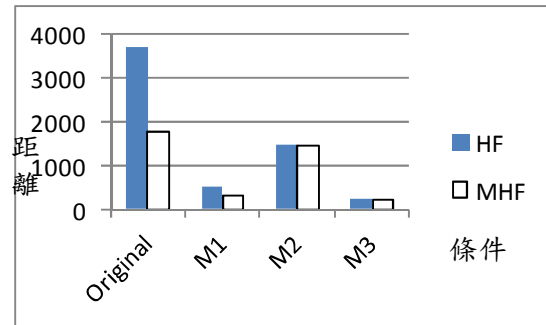
4.2 模擬結果

為了能持續偵測事件的發生，因此感測網路的存活時間勢必與節點能源的耗損息息相關。本模擬系統雖沒模擬實際節點能源耗損的情形，但是我們可以藉由觀察節點移動的距離，來推斷節點耗損能源的狀況為何，進而比較其優劣程度。

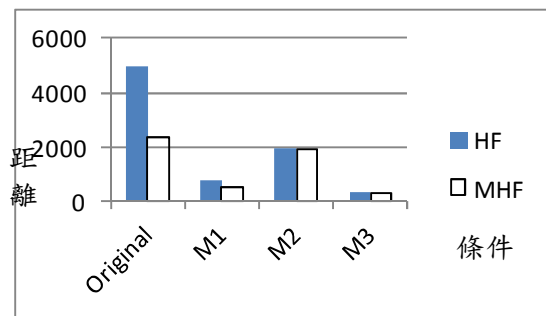
首先我們分析一到三個事件下，HF 和 MHF 兩種方法在不同條件中(表 4-1)的總移動距離的比較(圖 4-2)。



(a)單一事件下 MH 和 MHF 移動比較



(b)二個事件下 MH 和 MHF 距離比較



(c)三個事件下 MH 和 MHF 距離比較

圖 4-2：多個事件下兩演算法總移動距離比較

為了進一步比較各項條件下誰的能源耗損較為平均，因此我們針對各行動節點移動的距離與整體平均移動距離計算出誤差，求出整體標準差，標準差公式定義如下，其中 N 代表有移動節點的數目， X_i 為第 i 個節點的移動距

離， \bar{x} 表示N個節點的平均移動距離。比較結果如圖4-3。

$$\text{標準差} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

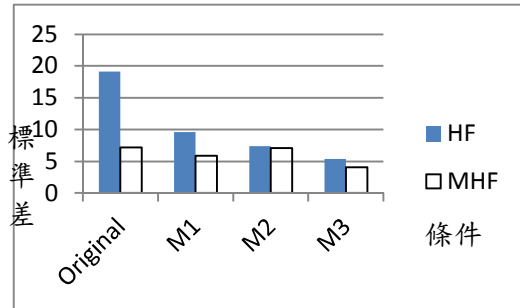


圖 4-3：多個事件下兩演算法標準差比較

經由比較兩演算法在移動距離和標準差的差異後，我們可以得知條件一由區域內節點朝向事件移動時，所耗費的能源是最多，相對於條件二選擇最近10個節點來做移動，減少的總移動距離可達將近85~90%左右，藉此可避免移動太多數量的節點朝向事件聚集，以延長整體感測網路的存活時間，而在加入檢查節點範圍功能後，更可使移動距離減少近40%，同時亦可避免節點群過於密集的缺點產生。

而在各節點消耗能源較為均衡的前提下，M3在兩個演算法中都是標準差值最低的，顯示出各節點移動時的距離較為平均，消耗能源也較為均衡，更可延長整體感測網路存活時間，避免少數節點過於耗能而導致失效，而條件Original不但耗能最多且使得移動節點彼此間耗能差異更大。

5. 結論

由模擬結果可看出，改良後的演算法在不同事件數目下的移動距離及標準差都優於原演算法，而在加入另外三種限制當作移動時的條件後，其表現也都優於原本為區域性的節點移動條件。降低了總移動距離，藉由移動距離與消耗能源的相關性，代表整體感測網路在偵測事件並移動時可減少能源的耗損，而標準差的下降也意味著移動的節點彼此間的耗能情形較為平均，減少可能有節點太快失效的狀態發生，這些優點目的都在於讓感測網路的存活時間能夠更長，以便持續偵測事件的任務。

藉由棋盤式布點來模擬分析兩演算法及各限制條件下的差異，可得到較為準確的結果

判斷孰優孰劣。當實際在環境部署感測節點時，由於可能的偵測範圍相當龐大，此時為了節省成本可採取隨機的布點方式，當節點能均勻的隨機散佈於環境中時，偵測事件後並指派感測節點移動，可得到與棋盤式模擬時相類似的結果，因此選用合式的條件及方法更可有效的延長整體感測網路的壽命。

6. 參考文獻

- [1] Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y., and Cayirci E., "A survey on sensor networks", **IEEE Communications Magazine**, August 2002.
- [2] Butler Z., and Rus D., "Event-based motion control for mobile sensor networks", **IEEE Pervasive Computing**, vol. 2, no. 4, pp. 34-42, 2003.
- [3] Chang R., and Wang S., "Self-deployment by density control in sensor networks", **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, vol. 57, no. 3, 2008.
- [4] Heo N. and Varshney P. K., "Energy-efficient deployment of intelligent mobile sensor networks", **IEEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics**, vol.35, pp. 78-92, 2006.
- [5] Howard A., Mataric M. J. and Sukhatme G. S., "An incremental self-deployment algorithm for mobile sensor networks", **Autonomous Robots**, vol. 13 no. 2, pp. 113-126, 2002.
- [6] Li W., and Cassandras C. G., "Distributed cooperative coverage control of sensor networks", **IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference 2005 Seville**, pp.2542-2547, 2005.
- [7] Shan X., and Tan J., "Mobile sensor deployment for a dynamic cluster-based target tracking sensor network", **IEEE Intelligent Robots and Systems**, pp.1452-1457, 2005.
- [8] Tan J., Xi N., "Integration of sensing, computation, communication and cooperation for distributed mobile sensor networks", **IEEE Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing**, vol.1, pp.54-59, 2003.
- [9] Wang H., and Guo Y., "A decentralized control for mobile sensor network effective coverage", **IEEE Intelligent Control and Automation**, pp.473-478, 2008.
- [10] Yuan L., Chen W., and Xi Y., "A review of

control and localization for mobile sensor networks”, **Proceedings of 6th World Congress on Intelligent Control and Automation**, vol.2, pp.9164-9168, 2006.