

以三階段穩定拓樸機制 改善動態無線感測網路之穩定性

王淑卿
朝陽科技大學資管系
scwang@cyut.edu.tw

蕭正三
朝陽科技大學網通所
s9530611@cyut.edu.tw

嚴國慶
朝陽科技大學企管系
kqyan@cyut.edu.tw

摘要

隨著感測器製造技術的進步與無線傳輸技術之發展，無線感測網路(Wireless Sensor Network)的應用範圍越來越廣。雖然無線感測網路能夠提供許多有價值的應用，但由於硬體的限制，使得電力消耗控制成為各種無線感測網路的研究中，必須納入考量的首要因素。過去有許多學者，使用睡眠機制來增長無線感測網路的生命週期。但由於感測器除電力受到限制外，在無線的通訊中，也常因受到電磁波、訊號的強弱或不斷的傳送廣播封包等因素，造成廣播風暴(Broadcast Storm)與訊號間的互相干擾，導致通訊訊號的不穩定，而不斷的消耗網路的頻寬及感測器的電力。因此，本研究將在一個階層式分群無線感測網路的架構中，藉由三階段穩定拓樸機制的協助，適當的選擇品質較高的通訊路徑，以降低遇到不穩定通訊路徑的機會，並針對無線感測動態拓樸的路徑破碎問題，提供主動更新網路節點的最新狀態，來改善因節點具有動態的特性，而造成當訊號發生錯誤時，不斷的消耗節點電力或散佈無效封包，藉此延長無線感測網路的生命週期及擴大通訊頻寬的資源與降低電力的消耗。

關鍵詞：無線感測網路、廣播風暴、階層式分群網路、中介軟體

Abstract

A Wireless Sensor Network (WSN) is a wireless network consisting of spatially distributed autonomous devices using sensors to cooperatively monitor physical or environmental conditions. Of wireless networks, a stable topology is an important research topic that provides good environment for transmission data in wireless sensor network. Especially, it can provide more convenient and valuable information for us these services with wireless network increasingly. However, the stable

problem has drawn more and more of the researchers' attention as the broadcast problems occurs frequently on wireless sensor network. According to the limited bandwidth and battery on sensor nodes, the communication of wireless sensor network will break and loss information that is more important of the instability environment. This study presents a middleware; the proposed middleware can improve the wireless sensor network to reach a more stable and reliable environment.

Keywords: Wireless Sensor Network, Broadcast Storm, Stable Topology, Hierarchical Clustering Network, Middleware

1. 前言

無線感測網路(Wireless Sensor Networks, WSN)是由一到數個無線資料收集器以及為數眾多的感測器(Sensor)所構成的網路系統，而元件之間的通訊方式則是採用無線通訊方式，因此可以任意擺放感測器或是無線資料收集器，不但省下可觀的佈線費用，而且極為方便。由於無線感測網路的感測器體積小、成本低[7,8,11]，並且擁有通訊及感測收集資訊的功能，感測器本身就如耳朵、眼睛及感溫神經，可以在一個自然的環境之下，感受相關的資訊，適時的收集聚集點所需要的資訊。

無線感測網路在運作的行為上，具有六點特性：一、點與點之間連線範圍同為有限，並與訊號強度有關；二、相對於有線網路，資料傳送的可靠性較差；三、使用一個需要共享的傳輸媒介；四、傳送之訊號多未被保護，易受到外來雜訊的干擾；五、目的地「位址」通訊不同於目的地「地址」；六、具有動態網路拓樸結構[9]。

在目前的相關研究中，無線感測網路大多是以 IEEE 802.15.4 為傳送媒介，由於此傳輸媒介具有低傳輸速率及低電力消耗和便宜的特

性，故較適合用於無線感測網路的環境中[4]。

由於感測器是一個微積體電路的嵌入式系統[7,8,11]，因此在通訊上受到了許多資源上的限制，而無法發揮無線感測網路強大的功能。依據感測器硬體上的限制，可以將無線感測網路可能面對的問題分成四大類型：

- 一、電力資源有限：感測節點易因電力不足而從網路中消失或產生乒乓效應[12]；
- 二、無線通訊頻寬較小：在無線通訊技術中的通訊頻道與使用的通訊時槽過少[9]；
- 三、易受到外力干擾，影響通訊傳送的品質：如訊號過強或過弱、訊號抖動 (Single Jitter)、廣播風暴 (Broadcast Storm) 產生及波頻干擾 (Interference) 等[12,2,1]；
- 四、安全性較低：由於無線感測網路是一個廣播的環境，因此較其他有線網路容易被監聽、惡意破壞、封包複製、及協同攻擊等[10]。

除了上述無線感測網路可能面對的問題外，又由於無線感測網路是處在一個以廣播方式為通訊的環境當中[7,8,15]，因此相較於一般有線網路，無線感測網路更容易受到廣播環境優劣的影響。而在無線通訊的環境之下，常因波頻互相的干擾，使得網路中的通訊節點需要重新傳遞相同的通訊封包，導致大量浪費網路中的頻寬資源，而廣播封包的互相碰撞與擾頻，也容易產生傳送延遲的問題和不必要的電力資源損耗。

因此，本研究將在無線感測網路的環境中，提出三階段穩定拓樸機制。當無線感測網路中的節點因任意移動，包括節點的加入、離去以及死亡，可藉由中介軟體的管理，達到降低廣播封包在無線感測網路環境中的互相干擾與碰撞，進而延長無線感測網路的生命週期與擴大通訊頻寬及網路環境的資源。

本文第二節為文獻探討，說明利用廣播封包建立繞行路徑及廣播風暴容易產生的原因及時機；第三節將說明本研究所提出之三階段穩定拓樸機制的方法與架構；第四節則針對無線感測網路環境中節點的移動性，以本研究所提出的方法穩定其通訊品質；第五節為結論與未來研究。

2. 文獻探討

在本節中將分別說明利用廣播封包建立繞行路徑及廣播風暴容易產生的原因及時機。

2.1 利用廣播封包建立繞行路徑

無線感測網路是處於一個廣播的網路環境當中，由節點與節點之間互相發出廣播的訊息，來達到網路繞徑的動作，協助轉送所要傳遞的通訊封包到目的端，並建立好彼此之間的通訊頻道，完成無線網路的環境[6,7,8,13]。

由於無線感測網路的通訊方式，主要是藉由位於來源端與目的端之間，透過多個感測節點來進行封包轉送的動作[6,7,8,13]。因此，必須事先建立從來源端到目的端之間的繞徑資訊，以提供往後封包轉送的繞行路徑，所以無線感測網路建立網路的繞徑過程就變的非常重要。

過去許多學者所提出的繞徑方法，大多都是在一個靜態的網路環境當中，如 PEGASIS 或 LEACH[6,13]。然而，在一個節點具有移動性的無線感測網路環境當中，為了不造成網路繞徑的中斷，所以網路的繞行路徑也會隨著節點的移動產生了許多的變化，使得網路需不斷的重新重組新的繞徑路線。

由於網路的繞徑方式，是建立在廣播通訊的無線環境當中，因此相同於其他傳統的無線通訊基礎架構，無線感測網路也容易受到其他無線電波的干擾或雜訊問題影響，導致網路通訊效能降低，甚至為了網路換手 (Hand Off) 而產生無線網路常見的乒乓效應，嚴重影響無線網路的通訊品質[12]。

2.2 廣播風暴容易產生的原因及時機

在無線感測網路環境中廣播風暴容易產生的原因及時機，可分成三點說明[7]：

- I. 傳輸訊號不穩定導致不斷重覆傳送連線訊息；
- II. 漫無目地的廣播訊息封包；及
- III. 節點的移動性導致網路不穩定現象。

以下分別說明這三種原因及時機。

I、傳輸訊號不穩定導致不斷重覆傳送連線訊息

無線感測網路通訊主要是透過感測節點

利用廣播的方式[6,7,8,13]，互相傳遞通訊封包與互相接收封包，而建立好的網路連線，當無線通訊的廣播環境中有較多的阻礙物或是其他無線設備、電磁波互相干擾、傳輸介質等影響，即可能造成傳輸訊號不穩定現象。而若環境是在一個雜訊很多的地方，也容易形成訊息延遲、波頻干擾、廣播封包的碰撞、互相合併、訊號抖動、訊號過弱或消失等問題。當網路中，因上述原因的影響，將產生網路中訊號不穩定現象，也易造成了廣播風暴，因而降低了網路流量、頻寬佔用及耗損節點電力[12,15]。

II、漫無目地的廣播訊息封包

以往建立無線感測網路繞徑方法就是利用廣播的方式[7]，不斷的散佈訊息封包，找到最佳繞行路徑，但若未將封包先行整理或分類，將容易產生過多的無效封包，使得建立繞徑時必需花費較多的成本，而一旦路徑建立完成後，也將耗費節點許多的電力，並且在建立繞徑的過程中需不斷的發送封包，也將造成了廣播風暴的問題。

III、節點的移動性導致網路不穩定現象

由於無線感測網路節點具備有移動性，在一個網路拓模之中，將有節點的加入與離開，除此之外，因感測節點有電力上的限制，所以有可能在感測節點使用期間，電力耗盡或外來因素[14]，使得感測節點故障而從網路中消失，因此必需重新重組網路拓模，此時若沒有適當的管理機制將會造成網路拓模的破碎，也會造成訊號封包的遺失及廣播風暴等問題。

3. 研究方法及架構

針對上述所探討的議題中，可以得知降低廣播風暴及封包傳送錯誤的機率，是解決無線感測網路拓模不穩定的重要方法之一。在本節中將說明如何降低廣播封包在無線感測網路中的互相干擾與碰撞，進而達到降低廣播風暴與封包傳送錯誤的機率，讓網路拓模維持在一個動態穩定的環境之中。

本研究提出【三階段穩定拓模機制】：

【階段一】 首先透過階層式分群網路拓模概念，減少過多相同廣播封包的傳送，藉以避免廣播風暴的產生。

根據過去許多研究無線通訊學者提出的繞徑協定[6,13]，可以發現透過階層式的概念，是

能避免發生廣播風暴較佳的繞徑協定[7]，例如著名的 LEACH[6]就是階層導向的繞徑架構。

本研究以分群的方式架構階層式的網路拓模，主要是希望將廣播範圍縮小，一則可降低廣播封包的數量，再則令廣播的目的地具有方向性，避免因產生過多的無效封包在網路中四處流竄，而造成網路壅塞與大量廣播封包產生碰撞，導致網路流量縮小與訊號間彼此發生干擾等現象。

在階層式的無線感測網路拓模中，節點被分成若干個群組(Cluster)，每個群組是由許多的感測節點及一個叢集頭(Cluster Head, CH)所組合而成。在這樣的架構下，每個感測節點(Sensor Node, SN)不需要透過基地台之類的設備便能彼此動態的組合成一個網路[6,13]。每個感測節點除可任意地移動外，並藉由多躍程無線聯結(Multi-hop Wireless Links)與彼此溝通，而且每個感測節點可扮演如同路由器般的角色協助網路內的其他節點轉送資料封包。圖 1 所示為本研究所採用之階層式分群無線感測網路拓模架構。

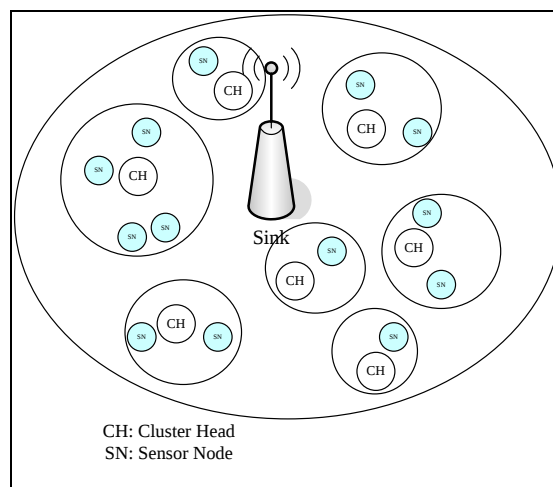


圖 1、階層式分群無線感測網路拓模

針對階層式分群無線感測網路拓模，本研究有下列的假設：

1. 每個節點有識別的索引 ID；
2. 每個叢集頭都有一張表單，記錄同一群組內所有節點的資料；表單資料包括：節點的索引 ID、電力剩餘程度、歷史通訊可靠程度、延遲程度、及 CPU 使用率；
3. 聚集點(Sink)為運算能力強且電力可以隨時補充的電腦或工作站，其將依

表單內容隨時監控各個叢集頭的節點狀態。

【階段二】 利用中介軟體，透過歷史資訊，判斷節點過去訊號的穩定程度，以解決節點與節點之間通訊的可靠程度。

本研究以具高可靠度的聚集點(Sink)做為整個網路拓樸的控制中心，因為聚集點具有固定性的，並且擁有強大的運算能力與記憶體空間，也不受電力的限制，因此將中介軟體放置於聚集點中。而中介軟體主要的功能，是將無線感測網路中各節點在進行通訊的歷史資料透過模糊理論的轉置矩陣，計算網路繞徑選擇的優先等級，透過選擇的優先等級建立出最穩定的網路拓樸，提供未來各節點進行通訊時之繞行路徑[1]。

【階段三】 以 Publish-Subscription[3] 訂閱機制，隨時回報與更新節點最新狀態資訊，以達掌握任何節點的最新動向，完成網路繞徑的問題，進而解決網路拓樸破碎等問題。

Publish-Subscription 機制最大的優點是可以減少封包的傳送量，避免重覆的資訊互相傳遞[3]。此機制將用戶端查詢動作被伺服器視為訂閱動作，當用戶端對伺服器提出查詢需求時，將被伺服器視為訂閱資訊的需求，伺服器會將用戶端所需要的內容發佈在用戶端的裝置上，一旦資訊更新後就會將更新內容傳達給用戶端，直到用戶端取消訂閱的動作[3]。圖 2 為 Publish-Subscription 的訊息交換示意圖。

Publish-Subscription 主動回應訊息給用戶端的時間為有三種情形：

1. 當查詢範圍內，物件資訊的狀態有改變時；
2. 當有物件資訊移入查詢範圍時；或
3. 當有物件資訊移出查詢範圍時。

在無線感測網路的環境中，由於節點的移動性與電力的限制，使得網路拓樸隨時處於一個不穩定的狀態下。而由於 Publish-Subscription 的機制可以減少資訊的傳送量，避免重覆的資訊互相傳遞。因此，本研究將藉由 Publish-Subscription 的機制，協助完成在動態的網路拓樸下，建立穩定的網路拓樸。

因此，透過此方法將可以減少訊號間互相

發生碰撞、干擾或合併，而影響通訊品質，產生訊號的延遲或消耗訊號強度。在聚集點(Sink)的訊號通訊範圍內，每個節點會先送出 Subscription Message 訊號，對聚集點註冊訂閱資訊內容，而聚集點會發出 Response Message 訊號給節點，叢集頭中將建立叢集頭與叢集頭之間的狀態表單，當節點加入、離開或故障而發生網路破碎的情況時，在聚集點(Sink)通訊範圍內的叢集頭，可以透過聚集點發出主動更新 Update Information Message 訊號，得到最新的節點狀態，並重新建立穩定的網路拓樸路徑，隨時掌握每個叢集頭與網路中節點的狀態，進而更新各節點的最新狀態。

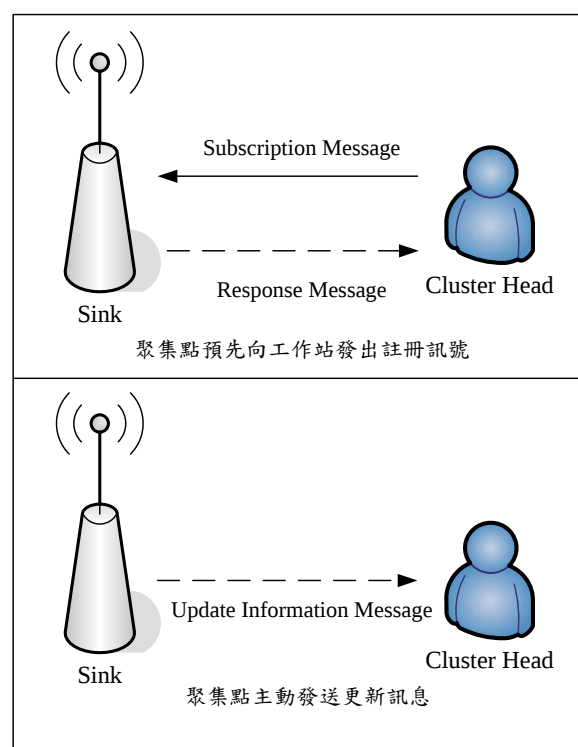


圖 2、Publish-Subscription 機制

藉上述的三個階段，首先利用階層式分群無線感測網路拓樸，降低大量產生廣播封包的機會，減少發生廣播風暴的次數，避免網路發生壅塞，進而降低網路流量及封包的碰撞與訊號間的互相干擾；而透過選擇穩定繞行路徑的方法，避免訊號中斷，不斷送出連線訊息或產生封包遺失，提高網路的穩定性與可靠度；最後再以 Publish-Subscription 機制，針對感測節點的移動特性，進行感測節點的最新狀態的掌控與節點位置的追蹤，透過以上三個階段，必能控制節點與節點之間傳輸的資訊，方能提高

傳輸的穩定度。

在第四節中將針對階層式分群無線感測網路環境中節點的移動性，以本研究所提出的方法穩定其通訊品質。

4. 以三階段穩定拓樸機制改善動態無線感測網路之穩定性

由於無線感測網路是無基礎建設的網路，並且可適用於各種不同的應用中，因此每個感測節點可能設置在不同的移動物體上，故隨著物體的移動，感測節點也隨之改變原來的位址。然而因節點本身具有通訊的能力，所以一旦節點的原始位址改變時，必須透過本身的通訊能力，與鄰近的節點再次的連接成網路的傳輸路徑，方可進行後續的通訊。

在本節中將針對無線感測網路環境中節點的移動性，以本研究所提出的方法穩定其通訊品質，說明中將包括新節點的加入及節點的移動分別說明之。

為提供動態無線感測網路之穩定性，在無線感測網路環境的通訊過程中以本研究所提出之三階段穩定拓樸機制分階段進行。首先透過階層式分群無線感測網路拓樸概念，減少過多相同廣播封包的傳送，藉以避免廣播風暴的產生。接著利用中介軟體，透過歷史資訊，判斷節點過去訊號的穩定程度，以解決節點與節點之間通訊的可靠程度。最後再以 Publish-Subscription[3]訂閱機制，隨時回報與更新節點最新狀態資訊，以達掌握任何節點的最新動向，完成網路繞徑的問題，進而解決網路拓樸破碎等問題。

假設圖 1 是已建置完成的階層式分群無線感測網路拓樸，其建置方式可採用 LEACH 或 PEGASIS[6,13]所提出的方法。接著是將無線感測網路中各節點在進行通訊的歷史資料透過模糊理論的轉置矩陣，計算網路繞徑選擇的優先等級，透過選擇的優先等級建立出最穩定的網路拓樸[1]，如圖 3 所示。

在完成穩定的階層式分群無線感測網路拓樸建置後，接著將以 Publish-Subscription[3]訂閱機制，隨時回報與更新節點最新狀態資訊，以達掌握任何節點的最新動向，完成網路繞徑的問題，進而解決網路拓樸破碎等問題。

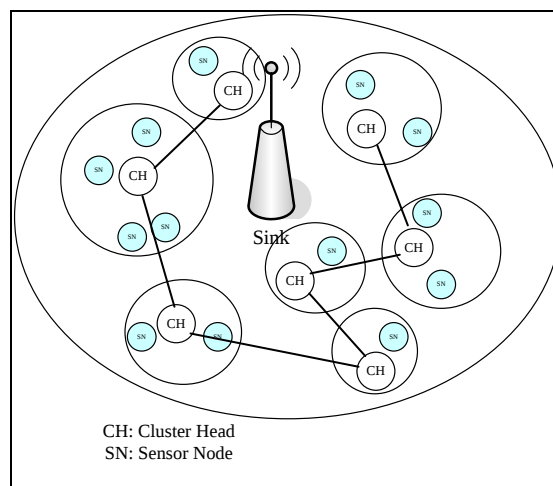


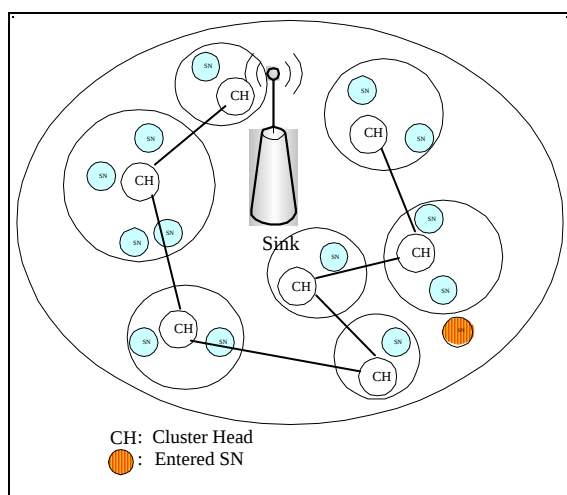
圖 3、透過選擇的優先等級建立出最穩定的網路拓樸

由於節點的最新狀態可包括新節點的加入及節點的移動，而這兩種狀態的處理各不相同，4.1 節將說明新節點加入的處理，4.2 節將說明節點移動時的處理。

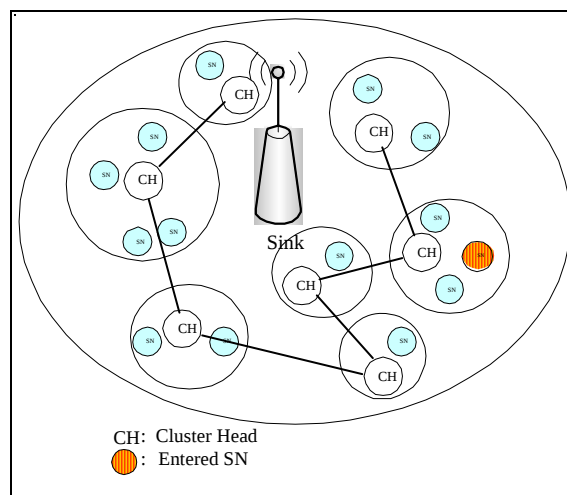
4.1 新節點的加入

當聚集點(Sink)透過 Publish-Subscription[3]訂閱機制發現一個新節點加入網路環境時，依 LEACH 或 PEGASIS[6,13]所提出的方法，若對原階層式分群無線感測網路拓樸的群組不造成影響，將直接歸屬到特定的群組[6,13]，圖 4 所示，為一個感測節點加入無線感測網路後，直接歸屬至特定的群組中。

圖 5(a)所示為一個節點新加入無線感測網路的狀態，且所加入的節點為一叢集頭節點，則需修正繞行路徑。當叢集頭節點加入時，在聚集點知道新叢集頭節點加入後，透過中介軟體計算出最穩定的拓樸路線，便會主動發出 Update Information Message 給通訊範圍內的各節點，各節點再透過自己表單中的資料，判斷是否與新加入的叢集頭節點連結成新路徑，形成新的網路拓樸，圖 5(b)為新形成的網路拓樸的例子。

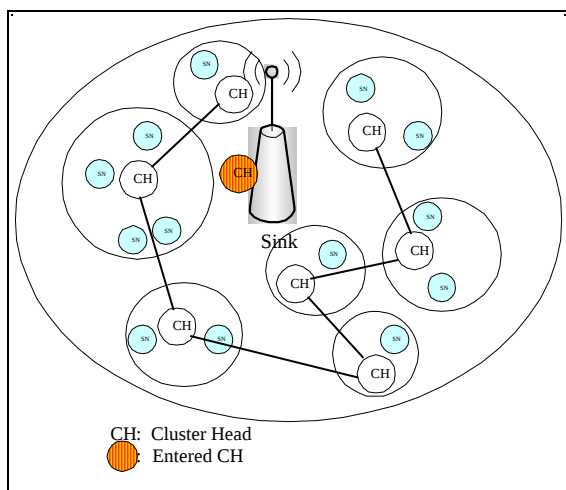


4(a)、新感測節點加入

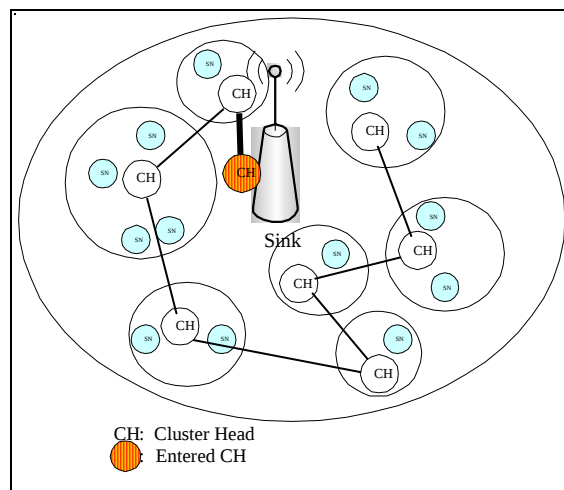


4(b)、新形成的網路拓模

圖 4、階層式分群網路拓模下新感測節點加入



5(a)、新叢集頭節點加入



5(b)、新形成的網路拓模

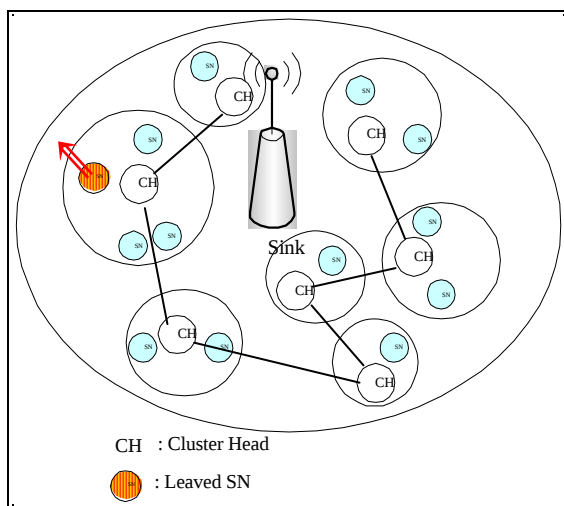
圖 5、階層式分群網路拓模下新叢集頭節點加入

4.2 節點的移動

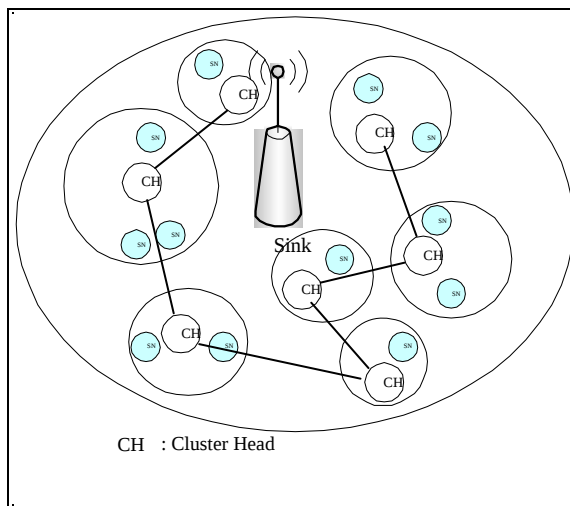
節點的移動包括節點主動離開原本的位置，到達新的位置或節點不明原因突然故障，而消失在網路的拓模之中。故當有任一節點離開聚集點的通訊範圍，或移動至非原來位置，聚集點透過 Publish-Subscription[3]訂閱機制知道有節點離開，此時將主動更新節點間的最新狀態並傳遞訊息給通訊範圍內其他節點。若離開的節點為一般的感測節點，且此節點的離開不影響原階層式分群無線感測網路拓模的群組，此時網路拓模不做任何修正，仍保持通訊

狀態，如圖 6 所示。

然若離開的節點將影響原階層式分群無線感測網路拓模的群組，如叢集頭節點，此時需重組新的網路拓模，來達到網路拓模的穩定性。當有一叢集頭節點突然在原本的網路拓模中消失，使得網路拓模產生破碎，此時聚集點便馬上重新運算穩定拓模路徑，並主動將更新資訊傳送給原始通訊範圍節點，使得感測節點再重新組成新的網路拓模，圖 7 所示為新形成的網路拓模。

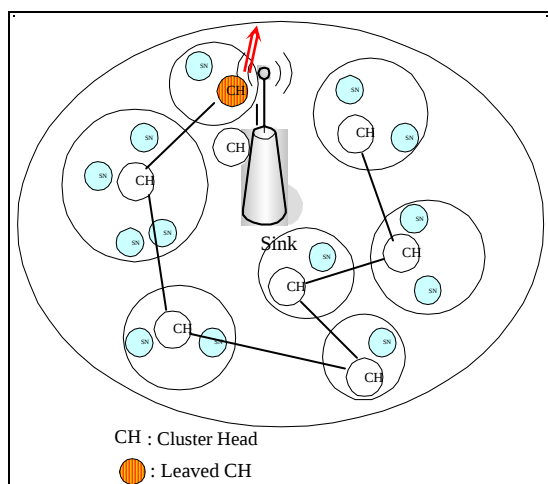


6(a)、感測節點離開網路拓模

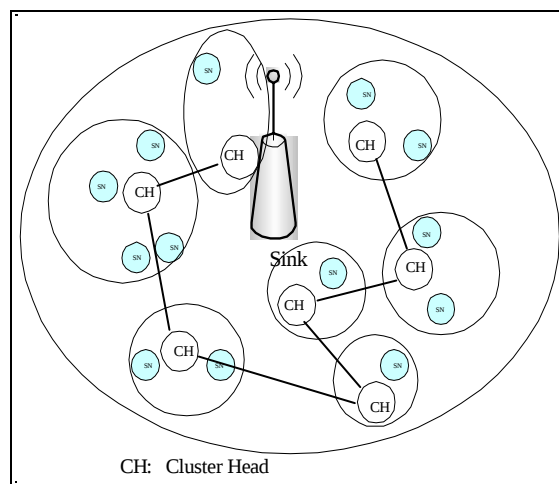


6(b)、新形成的網路拓模

圖 6、階層式分群網路拓模下感測節點離開網路拓模



7(a)、叢集頭節點離開網路拓模



7(b)、新形成的網路拓模

圖 7、階層式分群網路拓模下叢集頭節點離開網路拓模

4. 結論與未來工作

由過去許多學者所提出建立無線感測網路拓模的研究議題當中[6,7,8,10,13]，可以發現在無線感測網路上，需要許多的廣播封包才能完成網路拓模的建置，因此網路很容易發生廣播風暴的問題，再加上節點電力的限制及節點移動的特性，常造成訊號發生錯誤，而重覆傳送過多相同封包，一方面使得節點的電力消耗快速，一方面使得網路訊號產生不穩定現象。因

此，在本研究中，將無線感測網路的環境建置在階層式的分群網路拓模之下，透過中介軟體與 Publish-Subscription 機制[3]，便能強化無線感測網路拓模具有動態拓模的特性。相較於傳統的繞徑演算法，如 LEACH、PEGASIS、DD 等演算法[6,10]，使用本研究提出的方法所建置的網路拓模更具有降低廣播風暴與更強韌性，且能提高網路的穩定性及延長網路的生命週期。

整體而言，本研究的網路拓模建構在階層式分群的架構之下，已經能夠避免許多無效封包所造成碰撞的問題，此外再藉由中介軟體的運算挑選最佳繞行路徑與 Publish-Subscription 機制，必能降低更多產生無效封包的機會，故能減少通訊時所需花費的成本。

在未來的研究中，將以數學模式建立本研究中所提到的歷史通訊記錄，以及針對在動態的網路拓模中，如何因應節點因受到電力的限制而無法持續提供通訊，並能適時的找到備援節點協助繞徑的進行，以提供網路拓模的穩定性的演算法。

參考文獻

- [1] 王淑卿，蕭正三，嚴國慶，“以動態調整機率模型提供穩定之無線感測網路拓模，” **2007 國際學術研討會**，銘傳大學，March 23, 2006.
- [2] 王淑卿，嚴國慶，黃禹翔，“支援隨意式網路穩定性的網拓協定，” **第十屆資訊管理暨實務研討會**，台中技術學院，2004.
- [3] 金柏佐，用於位置相依資訊服務之訂閱機制的研究，**朝陽科技大學資訊工程系碩士論文**，2005.
- [4] 常若愚，IEEE802.15.4 低速率無線個人區域網路之 CSMA/CA 碰撞效能分析與研究，**逢甲大學資訊工程學系碩士論文**，2004.
- [5] 陳建群、伍台國，「無線感應器網路上資料聚集技術之研究—目前方法與未來方向」，**2006 數位科技與創新管理國際研討會**，pp. 1015-1026，2006.
- [6] Akkaya, K. and Younis, M., “A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks,” *Elsevier Ad Hoc Network Journal*, vol. 3, pp. 325-349, May. 2005.
- [7] Chang, C.Y. and Shih, K.P., “ZBP: A Zone-Based Broadcasting Protocol for Wireless Sensor Networks,” *Advanced Information Networking and Applications*, Vol. 1, pp. 84-89, 2004.
- [8] Choi, J.Y., Kim, H.S., Baek, I. and Kwon, W.H., “Cell Based Energy Density Aware Routing: A New Protocol for Improving the Lifetime of Wireless Sensor Networks,” *Computer Communications*, Vol. 28, Issue. 11, pp. 1293-1302, July 2005.
- [9] Graeme, K., “Flight Testing of the D8PSK/TDMA Datalink Technology for the Ground-based Regional Augmentation System,” *Airservices Australia GNSS Program Conference*, 2005.
- [10] Karlof, C. and Wagner, D., “Secure routing in wireless sensor networks: Attacks and countermeasures,” *in the Proceedings of the First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications*, pp. 113-127, May 2003.
- [11] Lye, R. and Kleinrock, L., “QoS Control for Sensor Networks,” *Communications 2003 ICC'03 IEEE International Conference*, Vol. 1, pp. 517-521, May 2003.
- [12] Mainwaring, A. and Polastre, J., “Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring,” *ACM 1581135890/02/0009*, 2002.
- [13] Qiangfeng, J. and Manivannan, D., “Routing Protocols for Sensor Networks,” *Consumer Communications and Networking Conference*, pp. 93-98, 2004.
- [14] Rezaie, M.G., Mansouri, V.S. and Mani, M., “Critical Area Attention in Traffic Aware Dynamic Node Scheduling for Low Power Sensor Networks,” *Wireless Communications and Networking Conference*, Vol. 4, pp. 1933-1938, March 2005.
- [15] Sharifi, M., Taleghan, M.A. and Taherkordi, A., “A Middleware Layer Mechanism for QoS Support in Wireless Sensor Networks,” *Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies*, pp. 118-118, April 2006.