

在隨意型無線網路上實作能量感知之廣播機制

強芝瑋 羅文卿 宋凌飛 黃士殷

元智大學資訊工程系

{chihwei, wenching, floyd, shyhin}@mmlab.cse.yzu.edu.tw

摘要

在隨意型無線網路上(MANET)，廣播是一種常見的訊息傳遞方式，但氾濫式廣播也將帶給網路極大的額外負擔如多餘重複廣播 (Redundant Rebroadcast)、頻寬競爭 (Contention) 以及碰撞 (Collision) 等。因此許多研究紛紛提出區域性廣播方式來解決廣播風暴問題如建立虛擬骨幹網路等，但是區域性廣播方式也容易造成網路上電力消耗不平均的狀況，針對此問題，我們提出兩個以電力消耗為考量的區域性廣播演算法，其先利用散佈演算法使得每個節點得以計算出網路平均電力值，再以本身的剩餘電力值與網路平均電力值的差距來決定是否轉送封包的機率大小。模擬結果顯示在不同的節點密度分佈下，我們所提出方法在廣播到達率及廣播節省率上的變化。

關鍵詞： 隨意型無線網路、氾濫式廣播演算法、廣播風暴、網路平均電力值

一、緒論

隨意型無線網路(Mobile Ad hoc NETWORKS, MANET)是一種無基礎架構的網路，網路中的節點均由移動的主機所構成。在隨意型無線網路中，每個節點的通訊範圍有限，訊息必須藉由多個節點的轉發才能到達目的地，很多通訊協定必須藉由廣播機制來控制訊息，其中氾濫式廣播演算法是最常被用來使用廣播的方式，每個節點收到廣播訊息之後，如果是第一次收到的廣播訊息，就必須再把訊息繼續的廣播出去，如果是已經重複收過的廣播訊息，就不再傳送，而氾濫式廣播演算法會引發極嚴重的後果，如：頻寬的競爭、多餘地重複廣播、以

及碰撞，這就是所謂的廣播風暴問題(Broadcast Storm Problem)[8]。

而氾濫式廣播演算法的另一個嚴重的問題是他將快速地消耗整體網路的電力，在此論文中，我們所提出的兩個能量控制之廣播機制將可動態地計算整體電力消耗狀況來決定是否繼續轉送廣播訊息，我們是以電力作為判斷依據，每個節點會週期地更新系統的電力平均值，當執行廣播時，會以自己目前剩餘的電力值跟網路平均電力值做比較，若是為公平式能量控制之廣播機制則大於系統平均電力值則可以繼續傳送訊息，反之則不可以繼續傳送訊息，若是機率性能量控制之廣播機制則會算出可以繼續傳送訊息的機率，以這樣的方式廣播訊息，除了可以減少氾濫式廣播演算法所帶來的問題，相對的，也可以有效地延長系統的使用時間。

因為在靜態或者是節點低移動率的環境下，愈靠近地理區域中間的節點常需要幫忙廣播訊息，因此他們所消耗的電力會相對地比其他網路區域的節點還要多，這樣的情況將會造成網路上電力分佈不平均，這就是所謂的黑洞效應(Black Hole Effect)，如果我們繼續使用平均式散佈演算法求得網路平均電力值，我們將會發現低電力區域的節點將無法繼續廣播訊息，因此，為了改善電力分佈不平均的情況下，平均式散佈演算法所造成的此問題，因此我們提出了電力感知式散佈演算法能依不同高低的電力區域而產生不同的網路平均電力值。

二、相關研究探討

為了解決氾濫式廣播演算法所帶來廣播風暴問題，很多研究紛紛提出了改善廣播效能構想，我們可以將其做以下分類：

2.1 以機率為基底(Probability-based)之廣播方式

每個節點會依不同條件設定繼續傳送封包的機率為 p ，不會繼續傳送封包的機率為 $1-p$ ，[8]的論文裡，提出了一個計數器來計算收到相同封包的次數，收到相同封包的次數愈多，則不能繼續廣播的機率就愈大。在一段時間內當收到相同封包的次數大於一個門檻值時，這個節點就不繼續傳送此封包，不會受其他因素改變，在[10]的論文裡，提出的門檻值就不再是一個固定值，它會受到鄰居節點個數的影響，接著[4]的論文裡，提出更多影響門檻值的變因，使廣播效果更好。還有其他影響機率的變因也被提出，例如在[3]中，作者提出了一個節點是否可以傳送廣播封包必須考慮上一次拜訪它的節點，因為這兩個節點間的距離可以用來比較鄰居節點的項目。

2.2 以位置為基底 (Location-based) 之廣播方式

在論文[8]裡也提出了以節點位置來做判斷的廣播方式，主要是以節點自己本身的位置，跟上一次廣播訊息給它的節點們位置來做分析，當節點自己本身的位置在廣播訊息給它的節點們所圍成的多邊形裡面時，則此節點不會繼續傳送封包，相反地，就會繼續廣播訊息，這是因為若節點自己本身的位置在廣播訊息給它的節點們所圍成的多邊形裡面，代表此節點的鄰居節點也已經收到相同地廣播訊息，故此節點沒有必要再廣播一次了。

2.3 以電力效能為基底 (Energy-efficient) 之廣播方式

這種機率的方式，是以剩餘的電力值來做機率地判斷，當剩餘的電力值愈大，則此節點可以繼續廣播的機率也愈大，相反地則此節點可以繼續廣播的機率就愈小，在[12]論文裡，建構了一棵樹由來源節點(Source Node)開始，在這棵樹上的節點，都可以以消耗最小的電力值去找到樹上的其他節點，[2]的論文裡提出了一個區域性的廣播方式，每個節點只要知道自己與其他鄰居節點的資訊來節省消耗的電力，另外，在[5]顯示即使總消耗的電力為最小值也不能將網路的使用時間增加到最

大值，[11]論文裡，提出了拓樸控制演算法(Topology Control Algorithm)，藉由選擇網路上的拓樸來減少網路上的傳輸電力並增加網路的使用時間，在[6]論文裡，提出了幾個能量控制之廣播機制方式互相做比較。

三、系統架構

3.1 平均式散佈演算法(Average-based Diffusion Algorithm, AD)

首先我們提出了一個平均式散佈演算法，用來估計網路上的平均電力值 (Average Network Energy, ANE)，其步驟如下：

- Step 1：每個節點的網路平均電力值皆初始為零。
- Step 2：每個節點開始週期性的詢問在傳輸範圍內的相鄰節點，來取得相鄰節點的網路平均電力值。
- Step 3：當相鄰節點收到發問的訊息，若其網路平均電力值等於零時，就回傳自己所剩餘的電力值，反之則回傳其所最新的網路平均電力值。
- Step 4：當發問的節點收到所有相鄰節點所回傳的價值之後，會將這些得到的回傳值與自己所剩餘的電力值加總起來再做平均，得到一個新的網路平均電力值。
- Step 5：發問節點便會更新自己的網路平均電力值，再將這個新的平均電力值傳給所有相鄰節點，要求所有鄰居節點將他們原有的網路平均電力值更新。

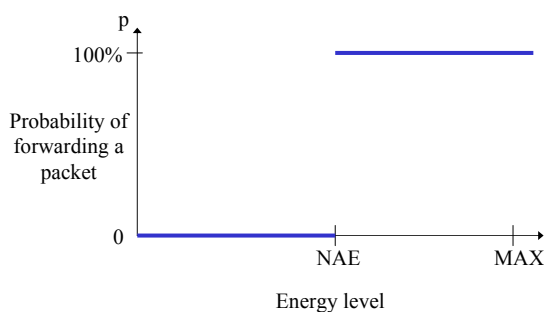
3.2 能量消耗考量之廣播演算法

在本節我們提出一能量消耗考量之廣播演算法，其利用週期性的執行散佈演算法，使每個節點可以有效地計算出網路平均電力值 (ANE)，當收到廣播封包時再根據 ANE 來做為繼續廣播的判斷依據，而我們利用不同的機率設定方式將此能量消耗考量之廣播演算法細分為公平式能量消耗廣播

(Fair Energy Consumption Broadcast, FECB)及機率式能量消耗廣播(Probabilistic Energy Consumption Broadcast, PECB)。首先公平式能量消耗廣播的執行步驟如下：

Step 1：當節點收到廣播訊息時，若此廣播訊息已重複收過，節點就會將此廣播訊息丟棄。

Step 2：將剩餘電力值與 ANE 做比較，若電力值大於 ANE，則將此廣播訊息繼續廣播下去，否則將此廣播訊息丟棄(如圖一)。

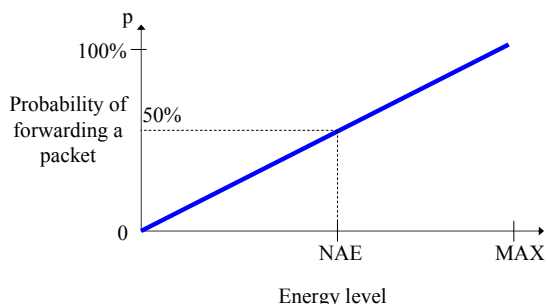


圖一：公平式能量消耗廣播的傳遞機率分佈

另外機率式能量消耗廣播是以本身的電力值與 ANE 的差距來決定繼續傳送廣播訊息的機率大小，其步驟如下：

Step 1：當節點收到廣播訊息時，若此廣播訊息已重複收過，節點就會將此廣播訊息丟棄。

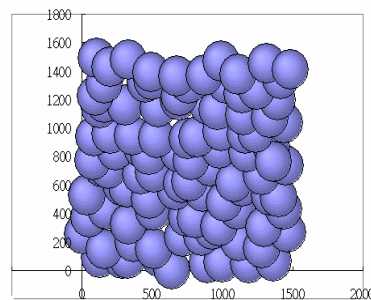
Step 2：若節點的電力值等於 ANE，則節點會將此廣播訊息繼續廣播下去的機率為 50%，若越大於 ANE，則選擇繼續廣播的機率就會越大，若越小於所知的 ANE，則選擇繼續廣播的機率就會越小(如圖二)。



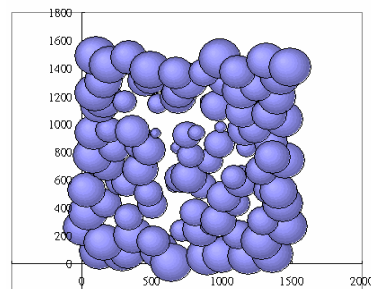
圖二：機率式能量消耗廣播的傳遞機率分佈

3.3 黑洞效應

因為隨意型無線網路的特性，所以當任兩移動節點欲傳輸資料時，都必須靠中間節點幫忙轉送，所以越靠近地理中心位置的節點其需要負責轉送資料的機率也就會比位於邊界的節點來的高。若網路中節點的移動模式為靜止或是低速隨機移動，且每個節點電力初始值皆相同，我們發現在網路使用一段時間之後，一些節點的電力值會開始被消耗，其中愈靠近地理中間位置的節點會因為常常需要使用他們傳遞訊息，所以導致中間節點的電力消耗比其他區域的節點還要快，我們將此問題稱為黑洞效應(如圖三)。如果使用平均式散佈演算法，會使得所得到的 ANE 為全域性的平均值，因此當所有位於中間位置(電力值較小的區域)的節點收到廣播封包時，會因為其剩餘電力值皆小於 ANE 而不做封包轉送的動作，結果將導致位於中間的節點都無法收到由位於邊界的節點所發出的廣播封包，這也將影響整體網路的封包到達率。



圖三(a)初始網路電力分佈狀態



圖三(b)使用後網路電力分佈狀態

3.4 黑洞效應解決方式-電力感知式散佈演算法

我們改進了平均式散佈演算法，使得不同電力分佈區域可以得到不同大小的 ANE 值稱作電力感

知式散佈演算法(Power-aware Diffusion Algorithm, PD)，其步驟如下：

Step 1：每個節點的網路平均電力值(ANE)皆初始為零。

Step 2：每個節點週期性的詢問在傳輸範圍內的相鄰節點，來得到相鄰節點的 ANE 值。

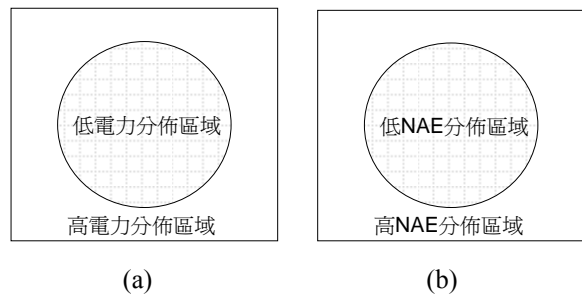
Step 3：當相鄰節點收到發問的訊息，則會去判斷其網路平均電力值是否等於零，若其網路平均電力值等於零時，就回傳自己所剩餘的電力值，反之則回傳其所最新的網路平均電力值。

Step 4：當發問的節點收到所有相鄰節點所回傳的 ANE 值後，會將這些回傳值與自己剩餘的電力值作比較，並設定 EL^+ 為一集合，將回傳值中大於自己剩餘電力的 ANE 加入此集合中，反之若回傳的 ANE 小於剩餘電力值則加入 EL^- 中。

Step 5：若 EL^+ 的數目大於 EL^- 的數目，則將剩餘電力值與 EL^+ 中的所有 ANE 值做平均，得到一個新的 ANE 值。反之若 EL^+ 的數目小於 EL^- 的數目，則將剩餘電力值與 EL^- 中的所有 ANE 值做平均來計算新的 ANE 值

Step 6：發問節點便會更新自己的網路平均電力值，再將這個新 ANE 值傳給所有鄰居節點，要求更新其 ANE 值。

如圖四(a)，若網路的電力分佈為中間區域電力較低且邊界的電力較高時，經過一段時間的執行電力感知式散佈演算法後，我們將可得到不同的 ANE 分佈狀況(如圖四(b))，當中間區域的節點收到由邊界區域節點發出的廣播封包時，會因為其 ANE 會隨著區域性的電力分佈降低，而使得依然會有部分相對高電源的節點會來負責廣播封包的轉送，所以黑洞效應可能有效的得以解決。



圖四、使用後電力分佈區域

四、實驗數據分析

4.1 模擬環境

本章將說明與分析我們的模擬結果，相關的參數設定如下：總節點數為 500 個，每個無線主機的傳輸半徑為 250m，我們將電力劃分為 0-10 級來代表無線主機的剩餘電量，每個節點的初始電力為 5~10 級中亂數選取，網路範圍分別設為 $1r*1r$ 、 $3r*3r$ 、 $5r*5r$ 、 $7r*7r$ 、 $9r*9r$ 、 $11r*11r$ (r 為無線節點的傳輸半徑)等不同大小來觀察公平式能量消耗廣播及機率式能量消耗廣播效能上的變化。

模擬實驗的重點主要是在比較廣播到達率 (Broadcast Delivery Ratio, BDR)、及廣播節省率 (Broadcast Saved Ratio, BSR)，其說明如下：

- 廣播到達率(BDR)：在一次廣播中，收到訊息的節點個數與網路上總節點數的比值。
- 廣播節省率(BSR)： $(D-F) / D$ ， D 為在一次廣播中，所有收到訊息的節點個數， F 為能夠轉遞訊息的節點個數。

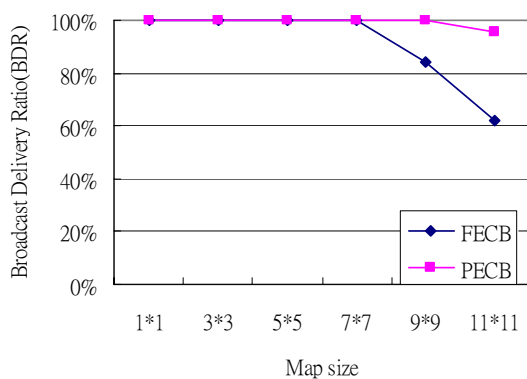
4.2 節點能量消耗平均分佈

本實驗中所有節點的電力為一平均分佈狀態，網路上無任一區域電力較低或較高的狀況，以此電力分佈來觀察效能的變化。

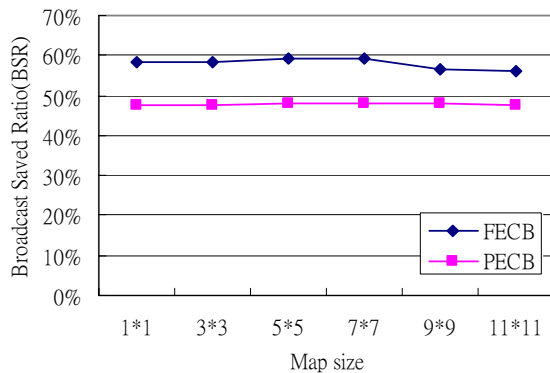
4.2.1 比較廣播到達率

圖五中顯示，公平式能量消耗廣播及機率式能量消耗廣播到達率與實際網路拓撲大小的比較，可以發現在網路拓撲小於 $9*9$ 時，公平式能量消耗廣

播及機率式能量消耗廣播的廣播到達率都接近於100%，這是由於在相同節點數下，網路拓樸愈小，節點密度愈高，而當節點密度愈高時，即表示鄰居節點數也會隨之增加，所以每個節點的廣播到達率也會相對提高。在網路拓樸大於9*9後，公平式能量消耗廣播中由於密度會愈來愈低，所以負責轉遞的節點數也會跟著減少，造成廣播到達率會下降；而由於機率式能量消耗廣播是使用機率為基礎的方式來作為決定轉送的依據，因此即使剩餘電力值小於ANE，亦存在繼續轉遞訊息的機率，將可有效提昇廣播到達率。



圖五、公平式能量消耗廣播及機率式能量消耗廣播之廣播機制到達率的比較



圖六、公平式能量消耗廣播及機率式能量消耗廣播其廣播節省率的比較

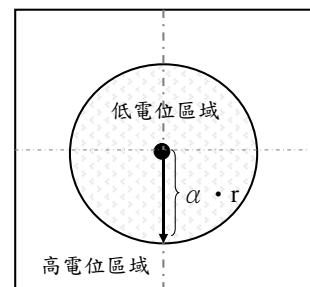
4.2.2 比較廣播節省率

在圖六中顯示公平式能量消耗廣播和機率式能量消耗廣播這兩種廣播方式節省率與實際網路

拓樸大小間的比較。我們可以發現公平式能量消耗廣播的廣播節省率一直是高於機率式能量消耗廣播，這是因為公平式能量消耗廣播是直接以剩餘電力和ANE相比，若比ANE大就繼續轉遞，反之就停止廣播下去，因此可以轉遞訊息節點的數量是固定的。而機率式能量消耗廣播是使用剩餘電力和ANE的差距來判斷可轉遞的機率，因此可繼續轉遞的節點數量會增加，造成廣播節省率會略低於公平式能量消耗廣播的方式。

4.3 節點能量消耗集中分佈

本節中，我們將考慮黑洞效應對網路效能的影響，模擬環境設定如下：固定實際網路大小為 $11r \times 11r$ (r 為無線節點的傳輸半徑)，500個節點數，分別以不同的電力集中 $\alpha \cdot r$ ($\alpha=1, 2, 3$ 及4)範圍(如圖七)來觀察平均式散佈演算法與電力感知式散佈演算法在效能上的變化。



圖七、高低電位集中分佈圖

4.3.1 比較廣播到達率

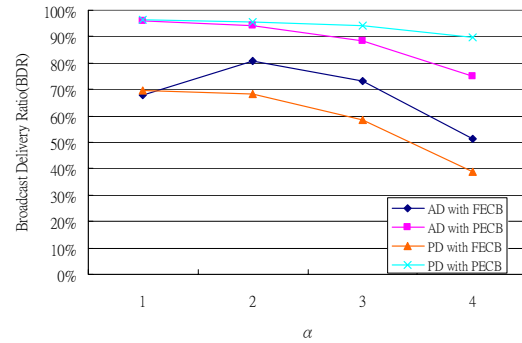
圖八中顯示，平均式散佈演算法(AD)與電力感知式散佈演算法(PD)搭配公平式能量消耗廣播(FECB)及機率式能量消耗廣播(PECB)其廣播到達率與不同 α 值的比較，可以發現這兩種散佈演算法的機率式能量消耗廣播的到達率都比任一個公平式能量消耗廣播來的高，這是由於公平式能量消耗廣播可否轉遞訊息的機率值不是0就是1，造成剩餘電力小於ANE的節點就一定不會轉遞；而機率式能量消耗廣播是否能繼續轉遞訊息是依賴節點的剩餘電力和ANE的差距來得到可傳遞機率值的

大小，因此即使節點的剩餘電力值小於 ANE，亦繼續轉遞訊息的可能性，到達率自然就會比公平式能量消耗廣播來的高。

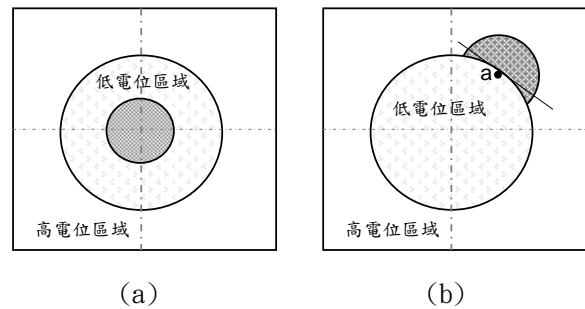
而電力感知式散佈演算法搭配機率式能量消耗廣播的到達率會比平均式散佈演算法搭配機率式能量消耗廣播來的高是因為電力感知式散佈演算法的 ANE 是有區域性的，根據不同的區域會有不同的 ANE，所以節點在判斷可否轉遞訊息時的機率便會因區域性的 ANE，而有較高的轉遞機率，因此其平均廣播到達率會比只有單一 ANE 的平均式散佈演算法來的高。

另外，我們注意到在 $\alpha=1$ 時，低電位的範圍只有 r 的大小，所以無論哪種散佈式演算法搭配 FECB 其 ANE 的大小主要是取決於高電位的平均電力值，所以兩者的廣播到達率相當接近。當 $\alpha=2$ 時，低電位的範圍為 $2r$ ，以平均式散佈演算法的 FECB 來看因為低電位的範圍變大造成整體的 ANE 下降，可轉遞的節點數變多，因此廣播到達率上升；而以電力感知式散佈演算法的 FECB 來看，由於 ANE 具區域性，因此高電位區域的 ANE 和 $\alpha=1$ 時的 ANE 兩者是相同的，可轉遞的比率是相同的，但由於高電位的節點數變少，所以廣播到達率是下降的。接著隨著 α 的遞增，低電位的範圍增大，在平均式散佈演算法的 BECB 中，雖然 ANE 隨著低電位的範圍增大而減小，使得高電位區的轉遞率接近 100%，但是位於高電位區的數量相對減少，低電位的節點數量遞增，而由於電位差距的關係，其平均出來的 ANE 還是具有較高的電位，圖九(a)中可看到，中間轉遞不到的區域亦會增加，使得廣播到達率漸漸下降；而電力感知式散佈演算法的 FECB，雖然 ANE 具區域性，但從圖九(b)可看到，當節點 a 位於電位低與電位高的邊界左右時，由於靠近電位高的覆蓋範圍較大，使得相鄰節點中 ANE 比節點 a 的 ANE 高的節點數會較多，使得節點 a 所計算出的 ANE 會偏向高的一邊，所以在高低電位區間的邊界的節點其轉遞訊息的機率將相對的降低，所以當邊界的範圍愈大，相對在邊界處的節點數量就會增加，影響轉遞的程度變的更大，

因此當 α 愈大，FECB 的廣播到達率就會愈低。



圖八、平均式散佈演算法(AD)與電力感知式散佈演算法(PD)搭配公平式能量消耗廣播(FECB)及機率式能量消耗廣播(PECB)之廣播到達率的比較



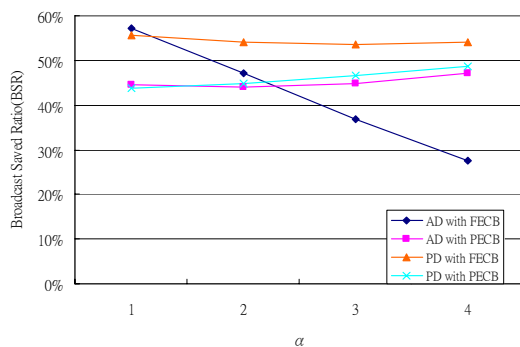
圖九、影響到達率程度的高低電位集中分布圖

4.3.2 比較廣播節省率

在圖十中顯示，平均式散佈演算法與電力感知式散佈演算法搭配公平式能量消耗廣播及機率式能量消耗廣播其廣播節省率與不同 α 值的比較，可以發現電力感知式散佈演算法搭配公平式能量消耗廣播是裡頭廣播節省率最高的，其次是電力感知式散佈演算法搭配機率式能量消耗廣播及平均式散佈演算法搭配機率式能量消耗廣播，最差的是平均式散佈演算法搭配公平式能量消耗廣播，這是由於電力感知式散佈演算法已將 ANE 做區域化，所以即使在節點能量消耗集中分佈的狀態中，其 ANE 亦會隨著在不同的區域有不同的大小變化，而平均式散佈演算法因為取得的 ANE 是整體網路的一平均估計電力值，在節點能量消耗集中分佈的狀態中，會使得因剩餘電力小於 ANE 的區域中訊息都無法傳入。

而電力感知式散佈演算法搭配公平式能量消耗廣播的廣播節省率會比其搭配機率式能量消耗廣播來的好是因為在電力感知式散佈演算法已是區域性的 ANE 來做可否轉遞訊息的依據，所以在公平式能量消耗廣播中任一區域都有可幫忙轉遞訊息的節點，而機率式能量消耗廣播因為轉遞的機率是依照節點剩餘電力與 ANE 的差距來決定的，所以會轉遞的節點數會更多，但廣播到達率又與公平式能量消耗廣播差不多，使得能節省網路電力的廣播節省率會較低。

當 α 值愈大且平均式散佈演算法搭配公平式能量消耗廣播的廣播節省率會逐漸降低是因為單一 ANE 隨著低電位區域增大而降低，使得可轉遞的節點數增加，由圖八的實驗結果可知廣播到達率下降，因此廣播節省率就會逐漸下降；而電力感知式散佈演算法搭配公平式能量消耗廣播會因其 ANE 具區域性，所以無論高電位區域或是低電位區域可轉遞訊息的個數的比例都是一樣的，因此廣播節省率會維持在一定的品質。而兩種散佈演算法的機率式能量消耗廣播，不論 ANE 是全域性或是區域性的，其可轉遞的機率都是隨著節點的剩餘電力和 ANE 的差距來決定的，因此轉遞的數目也是有一定的比例，因此廣播節省率亦維持在一定的數值上。



圖十、平均式散佈演算法(AD)與電力感知式散佈演算法(PD)搭配公平式能量消耗廣播(FECB)及機率式能量消耗廣播(PECB)之廣播節省率的比較

五、結論

在這篇論文中，我們提出了兩種散佈演算法：平均式散佈演算法與電力感知式散佈演算法。平均式散佈演算法利用分散式的方法計算出整體網路的平均電量估計值，而電力感知式散佈演算法可進一步針對不同電力分佈區域而計算出屬於不同區域的電力估計值，有效的解決黑洞效應對整體網路的影響。另外我們也提出了兩種廣播演算法(公平式能量消耗廣播及機率式能量消耗廣播)來改善氾濫式廣播造成的廣播風暴問題，在我們的模擬結果也可以發現，若考慮到廣播到達率的效能，在網路節點密度低時，使用機率式能量消耗廣播是較佳的選擇；但若要考慮到廣播節省率最大，在網路節點密度高時，使用公平式能量消耗廣播其廣播節省率會較高。因此公平式能量消耗廣播和機率式能量消耗廣播都能適用於電力分布不均的網路上，明顯減少廣播在無線網路上的負擔，並有效地延長網路的使用時間，未來我們亦可將公平式能量消耗廣播及機率式能量消耗廣播的廣播方法應用在現有的路由演算法中，如取代 AODV、LAR Scheme 中原本使用氾濫式廣播的機制，更加提升路由演算法的效能。

參考文獻

- [1] M. Cagali, J.-P. Hubaux, and C. Enz, *Energy-efficient broadcasting in all-wireless networks*, ACM/Baltzer Mobile Networks and Applications, p. to appear, 2004.
- [2] J. Cartigny, D. Simplot, and I. Stojmenovic, *Localized minimum-energy broadcasting in ad-hoc networks*, in Proceedings of the 22nd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies(INFOCOM '03), San Francisco, CA, USA, Mar. 2003, pp. 2210-2217.
- [3] J. Cartigny and D. Simplot, *Border node retransmission based probabilistic broadcast protocols in ad-hoc networks*, Telecommunication Systems, vol. 22, pp. 189-204, Apr. 2003.
- [4] Z. J. Haas, J. Y. Halpern, and L. Li, *Gossip-based*

- ad hoc routing*, in Proceedings of the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM '02), New York, USA, June 2002, pp.1707-1716.
- [5] I. Kang and R. Poovendran, *Maximizing static network lifetime of wireless broadcast adhoc networks*, in Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC) 2003, Anchorage, Alaska, USA, May 2003.
- [6] I. Kang and R. Poovendran, *A comparison of power-efficient broadcast routing algorithms*, in Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference(Globecom 2003), San Francisco, CA, USA, Dec. 2003, pp. 210-215.
- [7] Q. Li and D. Rus, *Global Clock Synchronization in Sensor Networks*, in Proceedings of IEEE INFOCOM, 2004.
- [8] S.-Y. Ni, Y.-C. Tseng, Y.-S. Chen and J.-P. Sheu, *The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network*, in Proceedings of IEEE/ACM MOBICOM, 1999.
- [9] Y. Sasson, D. Cavin, and A. Schiper, *Probabilistic broadcast for flooding in wireless mobile ad hoc networks*, in Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '02), New Orleans, Louisiana, USA, Mar. 2003, pp. 1124-1130.
- [10] Y.-C. Tseng, S.-Y Ni, and E.-Y. Shih, *Adaptive approaches to relieving broadcast storms in a wireless multihop mobile ad hoc network*, IEEE Transactions on Computers, vol. 52, no. 5, pp. 545-557, May 2003.
- [11] R. Wattenhofer, L. Li, P. Bahl, and Y. Wang, *Distributed topology control for power efficient operation in multihop wireless ad hoc networks*, in Proceedings of the 20th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies(INFOCOM '01), Anchorage, USA, Apr. 2001, pp. 1388-1397.
- [12] J. E. Wieselthier, G. D. Nguyen, and A. Ephremides, *On the construction energy-efficient broadcast and multicast trees in wireless networks*, in Proceedings of the 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFO-COM '00), Tel Aviv, Israel, Mar. 2000, pp. 585-594.
- [13] B. Williams and T. Camp, *Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks*, in Proceedings of the 3rd ACM International Symposium on Mobile and Ad Hoc Networking and Computing (MobilHoc '02), Lausanne, Switzerland, June 2002, pp.194-2002.
- [14] Y. Yi, M. Gerla and T. J. Kwon, *Efficient Flooding in Ad hoc Networks: a Comparative Performance Study*, in Proceedings of ICC, 2003.