

在電池式無線網狀網路上以最大化總收益為目標的群播繞徑研究

楊文霖, 王培衡

國立台南大學資訊工程學系

摘要 — 本研究針對整體無線網狀網路在有限能源及各網路節點裝置電量不一的情況下, 希望建立無干擾、最大化接受服務用戶數及網路架構維持時間之群播路由網路架構, 以達到最大化總收益目標。本文提出 **POM(Profit-Oriented Multicast)** 演算法, 在有限電量的前提下, 運用跨層設計動態的分配頻道並將電量消耗與提升服務用戶數此兩點間的平衡收益做最大化, 來提升整體群播網路之效能。

關鍵字: 電池式無線網狀網路、群播路由、電量分配、頻道分配。

一、前言

由於近年來台灣大力推行無線網路並建置相關硬體環境, 諸如像 i-Taiwan 等計畫, 使得台灣的無線網狀網路技術蓬勃發展, 無線網狀網路(WMNs, Wireless Mesh Networks)甚至在偏遠地區也開始受到重視與普及。相較於傳統的有線網路, WMNs 除了不受纜線之有限的長度所限制, 像是大範圍的涵蓋區域、建置較容易、擴充性高、具自我組織等等優點也讓 WMNs 在未來的發展上相對趨於主流。

目前 WMNs 的無線技術主要以 IEEE 802.11 為基礎做延伸, 其可提供相當多樣的服務, 舉凡像是視訊會議、多媒體影音、即時影像傳播及目前熱門的雲端技術等等都在 WMNs 的應用範圍之內。WMNs 在通訊時, 需透過無線路由器(MR, Mesh Router)彼此傳遞訊息, 並藉由作為 gateway 之 MR 為端口向其他的無線網路系統架構來通訊, 每個 MR 裝置中皆配置無線基地台(AP, Access Point)來提供用戶無線網路服務, 並形成一個整體的 WMNs 架構[1]。

而在 WMNs 上做資料封包的傳輸時, 容易受到頻道間彼此干擾的問題而影響到網路通訊的品質。一般常見分配頻道的方式, 以 802.11b/g 為例, 通常是針對可用的三個正交頻道進行分配, 但因資源有限, 近年來不少研究主要探討如何可做更有效的頻道配置以讓更多的用戶取得無干擾的頻道資源。而根據[2]所提到之結合跨層調整式頻道分配演算法(CLACA)可動態分配每條節點間的連結無干擾的頻道, 且經過比較, 分配後整體網路的用戶數優於其他演算法, 換言之可提供給更多用戶無干擾的無線傳輸品質。故本文以此演算法做為基礎建立相當於無線網狀網路的群播樹, 樹中的節點代表每個可提供 Ad hoc 無線網路環境的裝置, 並在建立群播樹之初加入負載值(load)的概念, 其表示在整體網路架構的裝置節點中所服務的用戶數, 而每個節點中所服務的客戶不盡相同, 以模擬用戶在實際狀況下使用無線網路的情形。

另一方面, 舊有的文獻在討論網狀網路時視每個節點裝置的電量皆可穩定無限量的供應, 因此不用刻意擔

心節點的電量是否隨時會消耗殆盡, 但在現實生活中戶外偏遠場所或山間等地補充裝置能源的途徑不多及電源線路配置不易等原因, 使得每個節點其供電量不一甚至於只能供應有限量的電源, 故必須考量到是否會因電源供應的不穩定, 或是因其供電的時間有限, 造成網路的傳輸通訊因電量耗盡而中斷進而無法繼續服務用戶。裝置間若其中一點無法運作, 勢必會影響到與其連結的其他裝置, 使得整體網路的運作因此癱瘓, 故整個無線網狀網路的維持時間勢必取決於 WMNs 中個別節點裝置之電源的容量。另一方面, 因其電量有限, 可知整體網路的運作時間也會受限於裝置能源最少的該點, 使得整體無線網狀網路的建立除了可服務用戶數外也需考量到整體的電量消耗。

由上述可知需將整個無線網路的能源消耗最小化, 以便盡可能在只能供給網路有限能源的前提之下維持最長的時間。理論上, 我們希望可以服務更多的用戶數的同時也能維持整體網路的持續時間, 但在現實情況下裝置電量有限及每個裝置節點的用戶數不一, 網路中裝置節點若越多, 則表示傳輸時電量的整體消耗便越大, 進而影響到整體網路的維持時間使其無法長時間運作; 若節點數少, 雖可以提升整體的網路維持時間, 但因節點裝置少, 可服務的用戶數勢必會因此而受到影響, 使其無法滿足現實生活中的要求。因此如何在可服務的用戶數量及提升整體網路的維持時間這兩點中取得一個平衡, 使整體網路可以在維持無干擾的高傳輸質量的同時, 又可以盡可能的服務到最多的客戶數及維持最長的網路服務時間也是本文所探討的重點。

本文也同時介紹其他三種不同的建立群播樹之演算法, 這些演算法所追求的目標不盡相同。在實驗中, 會以電量消耗及分配無干擾頻道為基礎的前提下, 將這些演算法與本論文所提出的演算法進行效能之分析比較。

1.1 Directed Prim Multicast Tree

簡稱 DPMT 演算法, 依照天線束的夾角 θ 大小, $\theta_{\min} \leq \theta \leq 360^\circ$ 來判斷定向天線或全向天線, 從節點 v 到 u 所需的傳輸能量 P_{vu} [3]可定義為:

$$P_{vu} = \frac{\theta_v}{360} r_{vu} \quad (1)$$

r_{vu} 為兩點間距離, α 表示距離的次方, 範圍在 $2 \leq \alpha \leq 4$, 顯示電量消耗與 θ_v 角度成正比關係。由[3]中提到 RB-BIP 或 RB-MIP 方法: 全向天線先建立好 BIP 或 MIP 並得到各節點的位置, 之後計算能覆蓋這些節點之定向天線束的最小角度有多少。而本文所使用 DPMT 也是以全向天線為基礎, 並分別檢查所有樹內節點最鄰近的樹外節點之連結來計算權重值, 此權重值=兩點連結之電量消耗/樹外節點電容量, 而後選擇權重值小的節點加入到群播樹中。

1.2 MIP Tree

因 WMNs 的每個節點裝置其電池的容量不一，整體網路的運作持續時間取決於個別節點電量耗盡之時間，而傳輸所需消耗的電量又與距離平方成正比，傳輸距離也不一致，故希望藉由演算法減少整體網路所消耗的電量來維持總傳輸時間。

根據[4]，BIP 演算法相似於 Prim 演算法，若要得到 MIP 樹得先行建立 BIP 樹，而 BIP 樹建立需利用 wireless broadcast advantage(WBA)[4]的特性，在節點群中以 source 為原點建樹，檢查樹中及尚未加入樹的節點並算出加入 link(i, j)時所要增加的消耗 P'_{ij} ，其可表示為：

$$P'_{ij} = P_{ij} - P(i) \quad (2)$$

P_{ij} 表示 link(i, j)本身所需的能量， $P(i)$ 表示目前處於傳輸狀態中的節點 i 所消耗的能量水平， $P(i)=0$ 代表節點 i 為樹的葉節點，若 P'_{ij} 小於等於 0 則代表加入節點 j 不用另外消耗電量，並選擇消耗 P'_{ij} 最小的節點加入樹中直至所有節點都已被加入到廣播樹。而 MIP 樹則由 BIP 樹建立廣播樹後根據需求削減樹中的節點或支幹得到群播樹。

1.3 MCM + Best-First Tree

在建立群播樹的同時，也考慮到如何分配無干擾之頻道，由於考量到整體網路在能量有限的情況下運作，故設定一個總電容量使整體網路的耗電量限制在某個數值之下，並採先建樹後分配頻道的方式完成 MCM(Multi-Channel Multicast) [5]樹。一般來說，因頻道資源有限，傳輸資料可能會因相鄰或相接的連結而產生干擾，若中繼節點的數量越少，則越可以避免干擾情況發生，故 MCM 樹採用最小化中繼節點與最小化來源節點到目標節點所需經過節點數量的方式建立群播樹。

在建立完 MCM 樹後，利用 Best-First[6][7]方式分配頻道。首先把樹的 root 點設為父節點後，檢查同父節點的相鄰連結中是否可以分享頻道給自身連結，若無則一一檢查剩餘可用的頻道是否會和鄰近或相接的連結的頻道發生干擾，然後將各個子節點當作父節點重複上述步驟，依此逐步將各連結分配頻道後，去除未被分配頻道的連結、節點，形成一棵已分配完頻道之 MCM 樹。

二、問題定義

本文希望藉由自定義效能函數來做為尋找對建構整體無線網狀網路效能最佳的演算法之基準，在此之前需滿足以下假設：(一)若要達到整個 WMNs 群播樹的最大效益，需考量到是否可以在同一時間內盡可能的提升服務用戶數或是減少整體電量消耗的方法。(二)每個裝置需考量到所處位置，尤其是因電池容量有限而無法穩定電源之地區且各節點裝置間彼此之間容量皆不盡相同，使其更符合實際之情況。(三)建置的群播樹網路需至少服務一定比率以上的客戶數，避免因為該網路服務人數過少而不符合實際情況的需求。

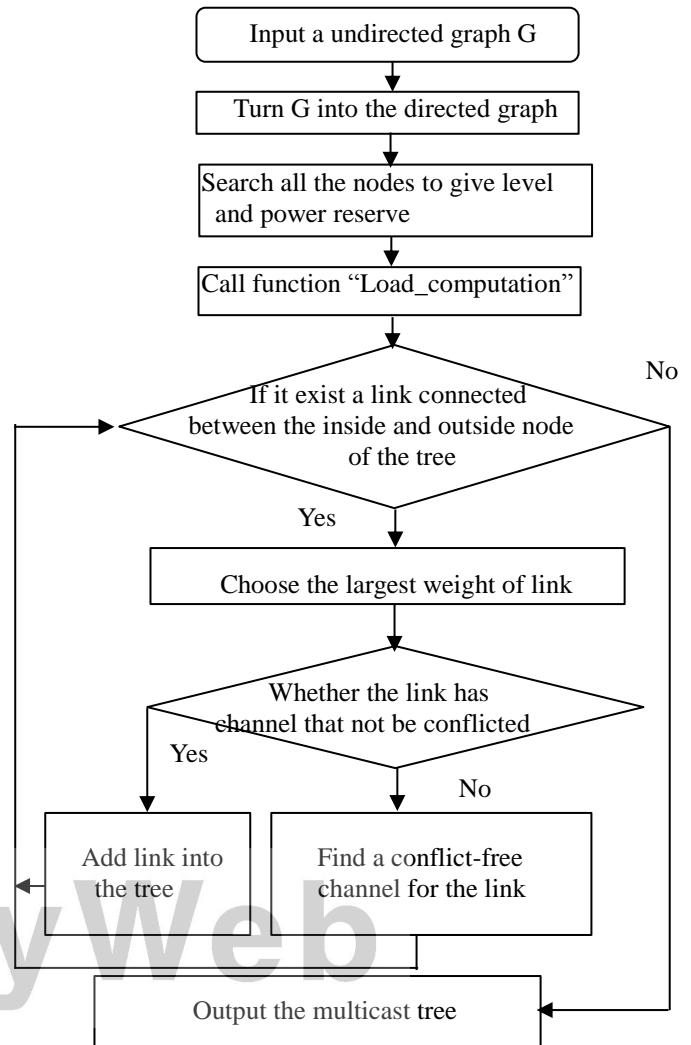
綜合以上條件，本文提出函數 Total profit 來評估整體的 WMNs 效能，其可表示為：

$$\text{Total profit} = \text{Serviced clients} * \text{Life time} \quad (3)$$

其定義為整體網路的效益評比，依照服務的用戶數 (Serviced clients)及整體服務時間(Life time)相乘決定其數值高低，越高則代表此網路所帶來的整體效益越高。而其中被服務的客戶數需大於等於全體客戶數的一定比例，否則即便是 Total profit 數值很高，但有可能其組合為對極少數的用戶服務極長時間，並不符合現實效益。本文設定服務中的用戶數需達到整體用戶的 10%以上，以利維持整體網路的服務品質，而網路的維持時間則是盡量讓其最大化為佳，其表示同一時段可以服務整體用戶的時間，故本文著重在如何取得 Serviced clients 與 Life time 之平衡使其在無干擾環境下透過 Total profit 標準與用戶數限制檢視各演算法來獲得最大效益。

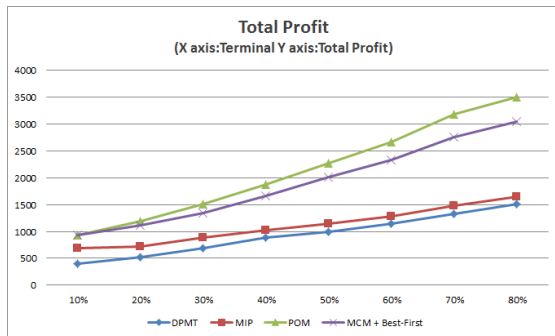
三、Profit-Oriented Multicast algorithm

本文所提出之收益導向群播樹演算法 POM (Profit-Oriented Multicast)，會根據依電池容量、負載值 load 與節點連接時所消耗的能量而得的權重值，配合跨層式的頻道分配法建立新群播樹，並將目標放在負載值與網路整體維持時間之間的平衡，以達最大化總收益之效。圖一為此演算法之流程圖，圖二為詳細演算法，根據以上所示流程圖及演算法，可將其細分成以下步驟：



圖一：POM 演算法流程圖

Java 實驗模擬部分，首先設定整個群播樹的節點有 1~5 不同的需求用戶數，透過 Java 程式執行結果，記錄每種樹在不同 terminal 數所得之負載值，並利用樹中各節點中的電量除以各個與節點相連之連結的最大耗電量，取得各連結消耗完電量的時間後將最短的時間挑選出來當作該網路的最短運行時間。而後將兩者相乘以得到整體效能，可知在相同的實驗條件之下，本文所使用之 POM 演算法在同時間內可以在無干擾的傳輸環境下得到最大的總效益，如圖五。



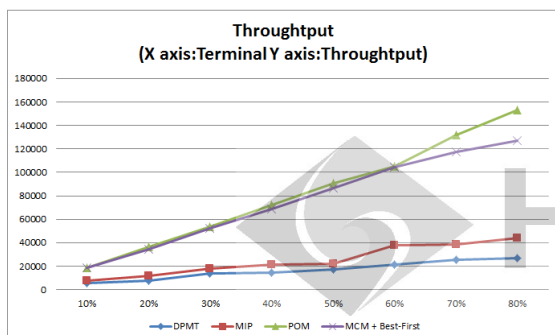
圖五：Java 模擬實驗所得整體效益 Total Profit 之結果，本文所提出之 POM 演算法(綠色線條)在各個 Terminal 情況下所得之總 Total Profit 優於其他演算法

Qualnet 實驗模擬部分，先將各個演算法訂定初始模擬條件後(如表 I)利用 Java 程式輸出所得之五種類型的檔案(App、Member、Node、Display、Config)後將其作為 input 交由 Qualnet 進行模擬，之後再把所得之 Static 檔案的訊息分析並透過實際數值驗證本文演算法，所得之數據皆為各演算法之二十棵群播樹資訊做平均。

表 I
實驗初始條件

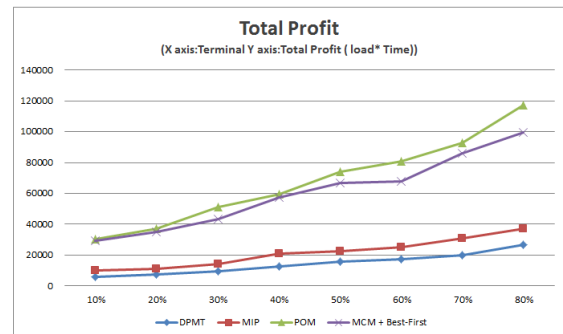
模擬參數	數值
總節點數	100 nodes
群播樹節點比例	10%~80%
裝置初始電量	10~20mAh
模擬時間	3600 秒(1 小時)
傳輸封包數	200 個
封包大小	512 bytes

比較各種演算法所建立群播樹之吞吐量 Throughput，其代表整個群播樹所接受到的封包總資料量大小，在傳送封包總數固定的情況之下，若此數值越高則代表連接到群播樹的目標節點越多，而本文所使用 POM 演算法所得結果優於其他對照組，如圖六。



圖六：Qualnet 實驗所得 Throughput，本文所提出之 POM 演算法(綠色線條)在各個 Terminal 情況下所得之 Throughput 優於其他演算法

Qualnet 內建的電池模式可以對個別裝置先行設定初始電池容量，並可模擬裝置電量消耗或是電池的剩餘量。本次實驗使用 JAVA 程式隨機的分配各個裝置節點的電池容量輸出各演算法之群播樹，在 Qualnet 模擬無線網路傳輸運行一小時後，得到各個裝置在電量消耗變為零時所經過時間數據。之後再乘上負載值得到 (3)，經實際實驗，如圖七。進一步驗證 Java 之模擬的實驗結果，可知在兩種平台下所得之實驗數據顯示本文所使用 POM 演算法之效能比較其他較常見的對照組演算法要來得高



圖七：Qualnet 實驗所得 Total Profit 圖，本文所提出之 POM 演算法(綠色線條)在各個 Terminal 情況下所得之總 Total Profit 優於其他演算法

五、結論

本文基於跨層調整式頻道分配為基礎，由此衍伸出關於電量消耗之研究。透過 Java 與 Qualnet 兩個模擬平台之實際實驗數據及本文提出之基準：由負載值與網路維持時間所相乘之 Total Profit 證明，顯示本文所提出方法之效能比起其他的演算法要好，故本文所提出 POM 演算法適合用於以電量消耗為基礎建立可服務多數用戶數與可長時間維持之無干擾的群播樹實作。

六、致謝

本研究感謝國科會計畫 NSC 101-2221-E-024-021 的支持。

七、參考文獻

- [1] I.F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," Computer Networks, vol.47, pp. 445-487, 2005.
- [2] Wen-Lin Yang, Wan-Ting Hong, "A Cross-Layer Optimization for Total-Revenue based Multicast in Multi-Channel Multi-Radio Wireless Mesh Network," Int. J. Commun. Syst., pp. 1-19, 2013.
- [3] Jeffrey E. Wieselthier, Gam D. Nguyen, and Anthony Ephremides, "Energy-Aware Wireless Networking with Directional Antennas: The Case of Session-Based Broadcasting and Multicasting," IEEE Transactions On Mobile Computing, VOL.1, NO.3, pp. 176-191, Jul.-Sep. 2002.
- [4] Jefferet E. Wieselthier, Gam D. Nguyen, "Energy-Efficient Broadcast and Multicast Trees in Wireless Network," Mobile Network and Applications 7, pp. 481-492, 2002.
- [5] G. Zeng, B. Wang, Y. Ding, L. Xiao and M. Mutka, "Multicast Algorithms for Multi-Channel Wireless Mesh Networks," IEEE ICNP, pp. 1-10, 2007.
- [6] W.L. Yang and W.T. Hong, "a Study on Channel Allocation Strategies for Interference-Free Multicast in Multi-Channel Multi-Radio Wireless Mesh Networks," IEEE ICMT, July, 2011.
- [7] M. Peng, Y. Wang, W. Wang, "Cross-layer design for tree-type routing and level-based centralised scheduling in IEEE 802.16 based wireless mesh networks," IET Communications, pp. 999-1006, 2007.