

在無線網狀網路產出增進之改良 MAC 協定設計

陳偉業¹ 朱志達² 黃志遠²

¹南台科技大學資訊管理系 副教授 ²南台科技大學資訊管理系 學生

摘要

無線網狀網路能動態地自我組織、自我配置，且網路中的節點能夠自動地在節點之間建立並維護網狀連線，大幅提高網狀網路的服務範圍。無線網狀網路除了部署敏捷，解決有線網路侷限的優點外，還能提高網路的使用率並使產出提升。此外，多重躍點和多通道傳輸的技術，可以使在傳送範圍內的終端設備作為中繼點，並且依照網狀網路的路由機制，來源端經由中繼點可以將資料送達目的端，減少碰撞的情況。IEEE 802.11 的 CSMA/CA 機制原始的設計是針對單躍點無線區域網路，並不適用於無線多重躍點網路。當躍點數目增加時，產出將大幅地降低，因此需修改 802.11 的 MAC 協定來滿足無線網狀網路的需求。本篇提出一新 MAC 協定，稱為 CT-APC，結合功率控制及控制區間(control interval) 機制來增進產出。若網路節點能選擇適當的傳送功率，則多個節點間能同時傳送資料，不但增加網路的產出，也降低整體的功率消耗。另外，在控制訊息交握完成後新增一段控制區間，讓節點之間可以同步資料傳送週期，降低資料碰撞以及暴露終端問題。模擬結果顯示所提出方法的產出優於傳統的 IEEE 802.11 協定。

關鍵字：無線網狀網路、多重躍點、多通道、控制區間

A Modified MAC Protocol for Throughput Improvement in Wireless Mesh Networks

Wei-Yeh Chen, Associate Professor, Chih-TA Chu, and Chih-Yuan Huang
Department of Information Management, Southern Taiwan University of Technology

Abstract

A wireless mesh network (WMN) consists of mesh routers and mesh clients, where mesh routers have minimal mobility and form the backbone of WMN. A WMN is dynamically self-organized and self-configured, which the nodes in the network automatically establish and maintain the mesh connectivity among themselves. Therefore, the service coverage of this type of network is significantly increased.

IEEE 802.11 CSMA/CA mechanism is originally designed for single-hop WLAN environment, not for wireless multi-hop networks. The throughput drops significantly as the number of hops in a WMN increases. Therefore, the existing 802.11 MAC protocol should be modified to meet the requirement of WMNs. That is, the modified MAC protocol should have the capability to guarantee the end-to-end delay and throughput for each connection. In this paper, we proposed a new MAC protocol called CT-APC (Concurrent Transmission with Adaptive Power Control) to improve performance. If the nodes can choose the adequate transmission power, concurrent multiple data transmissions can take place, causing the increased throughput of the network and reduced power consumption of the nodes. Besides, after the negotiation phase of control messages we add an extra control interval. The control interval is used to allow multiple sender-receiver pairs to synchronize data transfers. Therefore data collisions and exposed terminal problem can be avoided. The simulation results showed that our proposed scheme can significantly outperform IEEE 802.11 MAC protocol.

Key words: Wireless Mesh Network, Multi-hop, Multi-channel, Control Interval

1. 前言

無線網狀網路 (Wireless Mesh Network, WMN) 是一新興的技術，也是目前學術界熱門的研究話題 [1]。由於無線網狀網路的傳輸方式是使用無線多重躍點 (wireless multi-hop) 的技術，因此在傳輸範圍內的終端設備都可以作為中繼點，並且依照網狀網路的路由機制，來源端經由中繼點可以將資料送達目的端。

在無線網狀網路發展之前，已有相關網狀網路的技術被提出，即有線網際網路和公眾交換電話網路 (Public Switched Telephone Network, PSTN)。此兩種技術發展至今已經相當普及化。相對此兩種技術，無線網狀網路發展的技術不但承襲兩者之優點並且提供設計者不需浪費過多的電纜與光纖去建造網路，不但可以省下佈線

(cabling) 費用，而且無線網狀網路也有很大的擴充性。只要在無線訊號可以達到的地方再架設無線基地台 (Base Station, BS) 或終端設備即可擴充，不僅在部署上迅速敏捷且節省成本，並且增大整個系統的彈性與可靠性。無線網狀網路的架構如圖 1 所示。由網狀路由器 (mesh router) 組成一具有自我管理 (self-management)、自我組織 (self-organization) 及自我修復 (self-healing) 等特性的基礎建設或骨幹 (Infrastructure/Backbone) [2]。每一節點都能以最佳路徑連結其他節點。倘若連結節點中有一條路徑中斷，其自我修復的特性可以迅速再找出另一條最佳連結路徑。透過網狀路由器的閘通道/橋接功能，無線網狀網路可以與目前各種不同的無線網路，如蜂巢式網路[3]、無線感測網路[4]、WiMedia [5]、Wi-Fi (Wireless-Fidelity)[6]和 WiMAX (Worldwide Inter-Operability for Microwave Access) [7]等網路共存。若能使這些網路與無線網狀網路整合起來，將能提供使用者以往無線網路所無法提供的服務。

傳統無線區域網路的媒介存取控制 (Medium Access Control, MAC) 使用載波感測多重存取/碰撞避免 (CSMA/CA) 機制，基於媒介共享及單躍點 (single hop) 傳送是可行的。但是在無線網狀網路多重躍點的環境下，雖然可以有效傳遞資料，但是由於每次傳送資料只能允許範圍內的一對節點，故產出 (throughput) 無法有效的提升[8]。此外無線網路的隱藏終端 (hidden terminal) 問題與暴露終端 (exposed terminal) 問題[9,10]也會使產出降低。因此本篇提出一新 MAC 協定稱為調適性功率同時傳輸 (Concurrent Transmission with Adaptive Power Control, CT-APC) 來增進無線網狀網路的效能。若網路節點能選擇適當的傳送功率，則多個節點間能同時傳送資料，不但增加網路的產出，也降低整體的功率消耗。另外，考慮使用功率控制法後，若在傳送節點感測範圍內尚有節點欲傳輸，將會發生暴露終端問題，因此本研究設計在控制訊息交換完成後新增一段控制區間 (control interval)，讓節點之間可以同步資料傳送週期，降低資料碰撞以及暴露終端問題。

本篇論文結構如下：在第二章將探討目前相關的媒介存取控制協定之研究。第三章詳述所提出的方法。第四章為模擬與效能分析的部分。最後，為本篇研究做個結論且提出未來的研究方向。



圖1、無線網狀網路的架構

2. 相關研究

目前文獻中已有應用於無線網狀網路之媒介存取控制協定被提出，本論文依使用收發器的個數整理如下：

I 使用單一收發器的協定有：

n MACA-P[11]：主要概念為使鄰近的節點同步他們的接收週期，以致在單躍點（single hop）範圍內的節點能同時傳送或接收資料。在一對傳送接收節點欲傳送資料前，先傳送 RTS 封包，之後等待一段控制間隔（control gap）讓單躍點範圍內欲傳送資料的另一對節點，同步資料封包開始傳送時間，讓兩對節點可以同時成功傳送資料。

n Multi-Channel MAC Protocol[12]：在多通道（multi-channel）的環境中使用一共同控制通道並加入確認訊息來協調使用的通道，以達到資料封包在不同通道中傳送的目的。

n MMAC[13]：此方法結合 IEEE 802.11 省電機制（Power Saving Mechanism, PSM）。在控制時期內所有節點必須保持清醒狀態（awake state），若在控制時期內節點沒有收到任何控制封包即表示無資料接收，則在資料時期進入休眠模式（doze mode）以達到省電的功能。

n MASH[14]：將通道切割成控制通道以及資料通道，利用控制通道上傳送 RTS/CTS 交握訊息，並使用額外的 CTSp（pseudo CTS）訊號來暫時抑制資料封包的傳送。CTSp 的作用為當接收節點收到 RTS 封包並且偵測到資料通道忙碌時，將此通道忙碌訊息回應給傳送節點。傳送節點收到 CTSp 封包之後，將暫時不能傳送資料封包直至收到接收節點傳來的 CTS 封包。

I 使用多收發器的協定有：

n BTMA[15]：為最早提出利用忙碌音（busy tone）來解決隱藏終端問題的文獻。主要使用兩個通道，即控制通道以及資料通道。控制通道是用來傳送忙碌音訊號，而資料通道則是傳送資料封包。當傳送節點欲傳送資料給接收節點時，先感測控制通道上之忙碌音訊號，若為閒置狀態則馬上打開忙碌音訊號，同時開始傳送資料；反之，則表示感測範圍內有節點正在傳送資料，必須等待一段隨機時間再進行感測。若節點感測到周圍有資料正在傳送，則這些節點必須在控制通道上發送忙碌音。因此當一對節點正在傳送資料時，其雙方感測範圍內將不允許傳送資料以降低碰撞的情況，造成頻寬的利用率降低。

n DBTMA[16]：主要概念為利用一專屬通道來傳送忙碌音以保護資料的傳送，任何欲傳送資料之節點感測到忙碌音將暫緩傳送。

n Novel Multi-Channel MAC Protocol[17]：在控制通道固定使用一收發器，而另一收發器則在多個資料通道中交換使用，並且控制通道亦可用來傳送資料封包來增加通道利用率。此協定主要利用 ATIM window 期間協調所要使用的資料通道後，於 ATIM window 期滿開始傳送資料封包。倘若節點於 ATIM window 外需傳送資料亦可使用控制通道進行交握。

n PCAM[18]：使用三個收發器，其中兩個收發器用來傳送接收資料封包，第三個收發器則用來傳送廣播訊息。初始每個節點之第一收發器皆指向一個主通道，當節點之間需傳送資料時，若兩者主通道相同則使用此通道傳輸。

3. 問題描述

在 MANET (Mobile Ad Hoc Network) 的傳送功率控制 (transmission power control) 分兩類：功率導向法 [19-21] 和產出導向法 [22,23]。功率導向法主要的目標在降低節點的功率消耗。節點以最大功率來傳送 RTS/CTS 封包，資料和 ACK 封包則以能達成可靠傳送的最小功率來傳送。此最小功率的大小與所需的服務品質、在接收端的干擾程度及傳送-接收對間的通道增益有關。產出導向法是針對每個封包做傳送功率控制來增加空間通道再利用 (spatial channel reuse)。此方法藉由在個別的控制通道上廣播碰撞避免訊息來允許同時有多個資料傳送。

由於 IEEE 802.11 媒介存取控制協定過於保守，導致網路的產出不必要的降低 [23]。如圖 2 (a) 所示，當節點 A 要傳送資料給節點 B，由於 RTS/CTS 訊息的交握使得節點 A 和 B 的鄰近節點，如節點 D 和節點 E，知道鄰近將有一資料傳送，而在一特定期間無法傳送資料給其他節點或接收其他節點傳來的資料。若能在資料傳送過程中控制傳送功率大小，則在前述情況下亦能同時進行多筆資料傳送，如圖 2 (b) 所示。如果網路節點能選擇適當的傳送功率，則多個節點之間能同時傳送資料，不但增加網路的產出，也降低整體的功率消耗。在本例中，當節點 A 要傳送資料給節點 B 的同時，節點 D (或節點 E) 可以傳送資料給節點 C (或節點 F)，而不會發生碰撞。即當一傳送節點的單躍點 (one-hop) 鄰近節點只有一個接收者，就可以允許同時多筆資料傳送；同樣地，當一接收節點的單躍點鄰近節點只有一個傳送者，也可以同時進行多筆資料傳送。因此本篇將提出一方法，稱為 CT-APC，採用功率控制法以及調整鄰近節點的資料傳送週期使兩對節點能同時傳送資料來增進無線網狀網路產出。

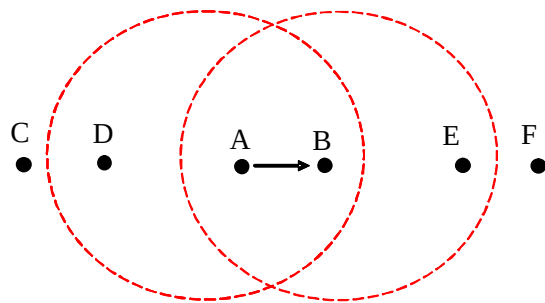
3.1 提出的方法

CT-APC協定的做法是將碰撞避免訊息（collision avoidance information）放入RTS/CTS控制封包，並利用接收節點收到的封包信號強度來動態調整傳送功率以約束接收節點鄰近的潛在干擾節點。另外，資料封包所需的傳送功率是在接收節點計算。如此用意為允許接收節點有某種程度上的干擾容忍，使得鄰近節點能同時有多個有限干擾的資料傳送而不影響接收節點。Two Ray Ground的無線電傳送模型（propagation model）[24]考量到傳送端至接收端的直線耗損以及地面反射（reflection of ground），其產生的結果較接近IEEE 802.11無線環境。因此在本篇研究採用此模型來進行訊號的傳遞。其模型如（1）所示：

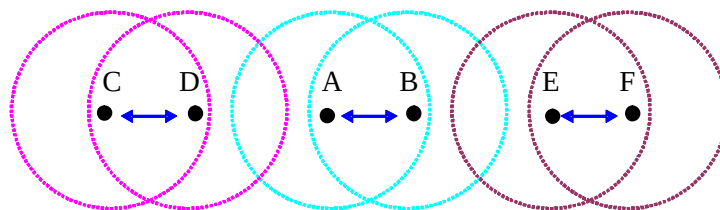
$$I = \frac{P_t * G_t * G_r * (h_t^2 * h_r^2)}{d^4} \quad (1)$$

各參數所代表的意思如下：

- I：接收端之接收訊號強度
- Pt：傳送功率
- Gt：傳送端之天線增益
- Gr：接收端之天線增益
- ht：傳送天線高度
- hr：接收天線高度
- d：傳送端至接收端之直線距離



（a）傳統RTS/CTS之資料傳送



（b）功率控制之同時多筆資料傳送

圖2、無線網狀網路之同時多筆資料傳送

當傳送節點以事先決定好的最大功率傳送RTS封包給接收節點，接收節點將所收到RTS封包的訊號強度大小，依據模型(1)之式子決定出接收節點與傳送節點間適當的傳輸功率，並將此計算所得的功率值放入CTS封包回傳給傳送節點。傳送節點收到CTS封包之後尚需傳送一DTS（Decide To Send）封包。此封包的功能為傳送節點用來通知感測範圍內之節點，其欲使用多大功率傳送資料封包。CTS及DTS封包格式如圖3所示。

此外，使用功率控制法後，若傳送節點的感測範圍內尚有其他節點欲傳送資料，將會發生暴露終端的問題。因此修改原有的IEEE 802.11 RTS/CTS機制。修改及新增的部份說明如下：

- 控制區間：在節點完成控制封包（RTS/CTS）的交握之後，增加一段時間稱為控制區間（control interval）。此control interval的大小必須足以讓感測範圍內欲同時傳送資料之節點利用此時間完成控制封包的交握，並且於control interval之後同時傳送資料封包，達到兩對節點傳送資料封包的時間同步。
- 設定align-bit之RTS：當節點欲傳送資料時，若通道為閒置狀態則傳送未設定align-bit之RTS；否則將傳送已設定align-bit之RTS，表示其欲與目前已完成控制封包交握的節點對同時傳送資料封包。利用控制封包中subtype保留欄位之0001為align-bit。封包格式如圖4。
- RTS_C：若傳送RTS的節點未收到接收節點的CTS封包，則必須傳送RTS_C取消之前設定之NAV，封包格式如圖5。

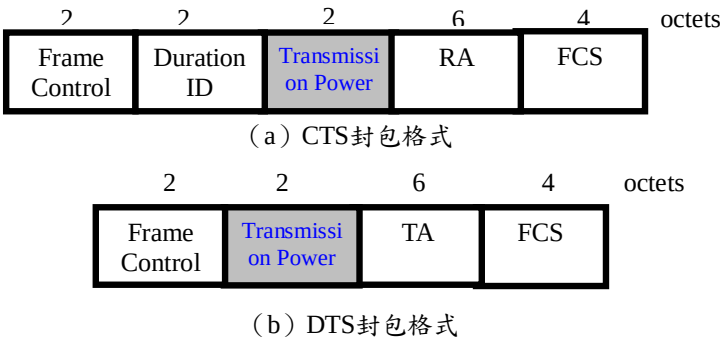


圖3、CTS以及DTS之封包格式

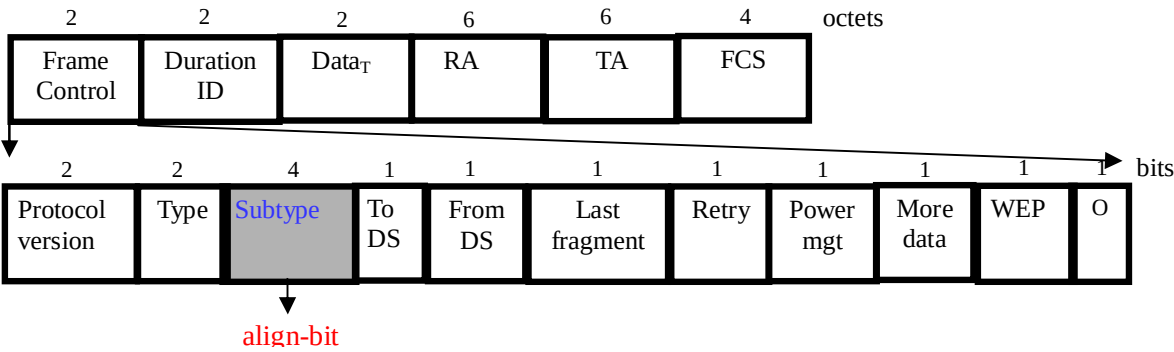


圖4、RTS之封包格式

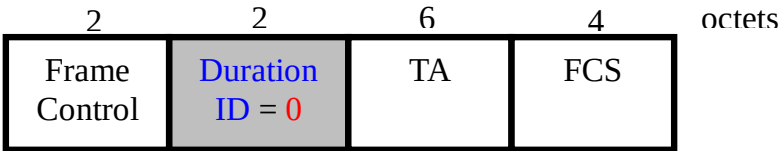
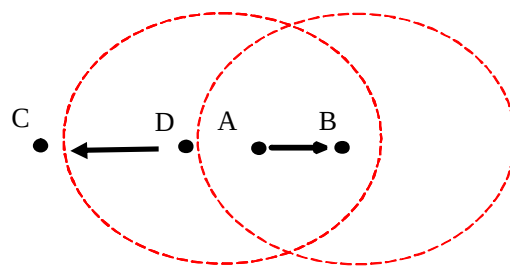


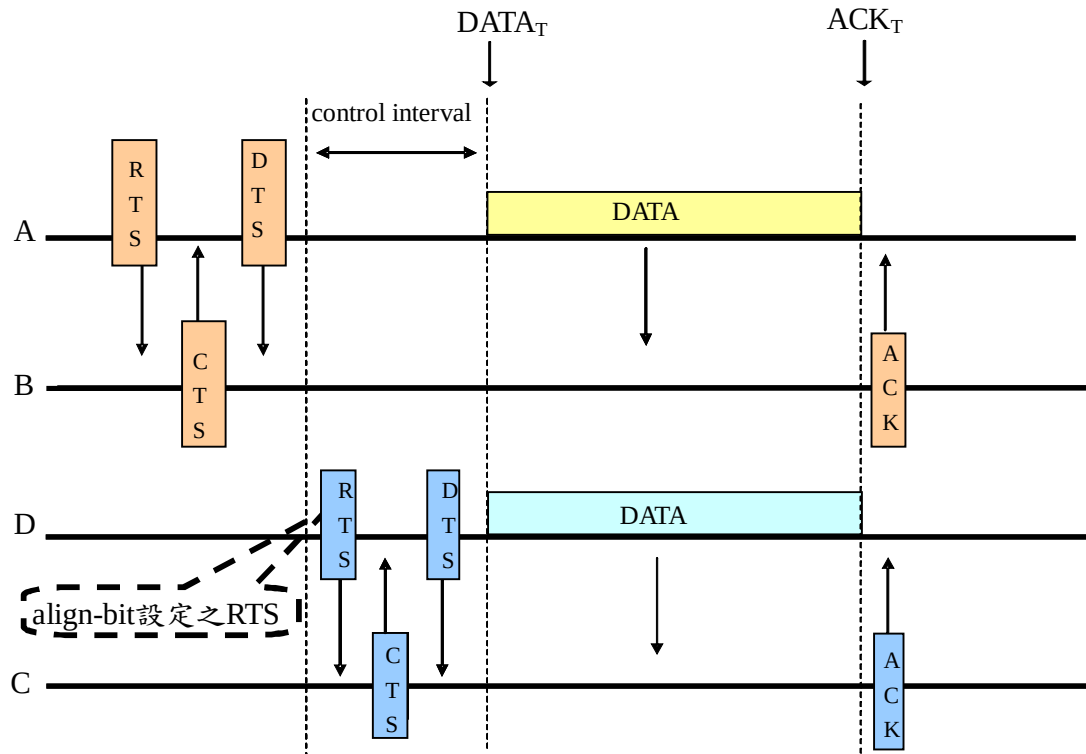
圖 5、RTS_C 之封包格式

當感測範圍內有兩對節點欲傳送資料時，先完成控制封包交握的第一對節點等待一段control interval時間，此control interval可讓感測範圍內之第二個傳送節點傳送已設定align-bit之RTS封包給第二個接收節點，同時通知已經完成控制封包交握的第一對節點執行同時傳送之動作。若第二個接收節點回應CTS封包給傳送已設定align-bit之RTS節點，則在control interval之後，配合第一對節點在資料開始傳送的時間（ $DATA_T$ ）傳送資料封包以及ACK開始傳送的時間（ ACK_T ）傳送ACK訊息，達到兩對節點可以同步傳送資料。否則，傳送已設定align-bit之RTS節點必須傳送 RTS_c 訊息來取消原先因align-bit之RTS封包而設定之NAV。

以圖6說明所提CT-APC方法的運作流程。節點A以事先決定好的最大功率傳送RTS封包給節點B。節點B以CTS封包回應。此CTS封包是以能到達所有可能潛在干擾節點的功率傳回。RTS/CTS訊息的交握使節點A和B能夠決定接下來的資料封包的傳送功率。接著節點A以最大功率送出DTS封包。DTS封包是用來通知節點A的鄰近節點，節點A將使用多大的功率來傳送資料封包。節點A的鄰近節點（例如，節點D）可以根據DTS封包的訊息決定當節點A傳送資料給B時，是否可以同時傳送資料封包給節點C。若節點A的傳送功率不會影響節點D，則節點D將傳送已設定align-bit之RTS封包給節點C以及A。節點C收到RTS封包後回傳CTS封包給節點D，節點D再送出DTS封包以告知鄰近節點所使用之功率，如此兩對節點在control interval期滿後便可以同時傳送資料封包。



(a) 說明之拓樸



(b) CT-APC 之運作流程

圖6、改良式MAC協定之運作程序

4. 模擬與分析

本篇研究以NS2 (Network Simulator—Version 2) [25]來建構模擬平台。模擬參數設定為：RTS為22 bytes、CTS為16 bytes、DTS、RTS_c以及ACK為14 bytes，資料封包為1536 bytes，control interval為640 bytes，以固定位元率CBR (best-effort service) 的資料流形式，並且使用UDP (User Datagram Protocol) 的傳送方式，資料傳輸速率為1Mbps，CW_{min}為31及CW_{max}為1023，模擬時間為200秒，其餘未列參數皆與 IEEE 802.11b相同。

4.1 同心圓拓樸之節點數與產出的變化

同心圓 (concentric circles) 拓樸如圖 7 所示，在半徑 R 的小圓上分布 1 至 8 個節點皆為傳送節點，以及半徑 2R 的大圓上亦分佈 1 至 8 個接收節點來模擬。

由圖 8 可以看出，在 IEEE 802.11 部份節點在互相干擾以及競爭的因素之下，每對節點的產出將隨著節點數的增多而下降，並且總產出亦無法因節點數增多而提升，這是由於暴露終端所造成的問題。

而所提出的CT-APC方法，當節點數只有一對時，節點在傳送資料封包之前須等待DTS以及control interval此兩段基本作業程序，因此總產出會略低於IEEE 802.11。但隨著節點數的增加，由於功率控制以及control interval的機制產生作用，每對節點以適當的功率傳送資料封包而不會互相干擾，因此所得到的產出是倍數的增加，使得總產出超過傳統的IEEE 802.11協定。當節點數增加到五對時（此第五對的位置是在任兩對節點之間），雖然control interval機制可以使兩對節點同時傳送資料封包，但是第五對節點的傳輸會影響到鄰近節點的運作，因此總產出將只略為提升。在超過五對節點後，由於節點高度密集的因素，傳輸受到限制（競爭因素）而導致產出開始下降。此時若單獨使用control interval機制，則產出將會急劇的下降，但若配合功率控制機制，將使得產出得以和緩的下降。因此功率控制機制在節點高度密集時將發揮很大的功用，且總產出都維持在傳統IEEE 802.11方法之上。對於暴露終端所導致的產出下降問題可以有效的獲得改善。

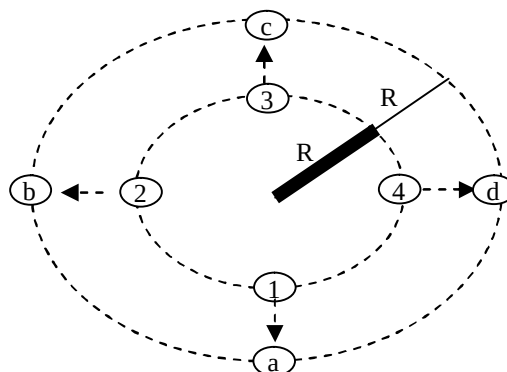


圖7、同心圓之拓樸

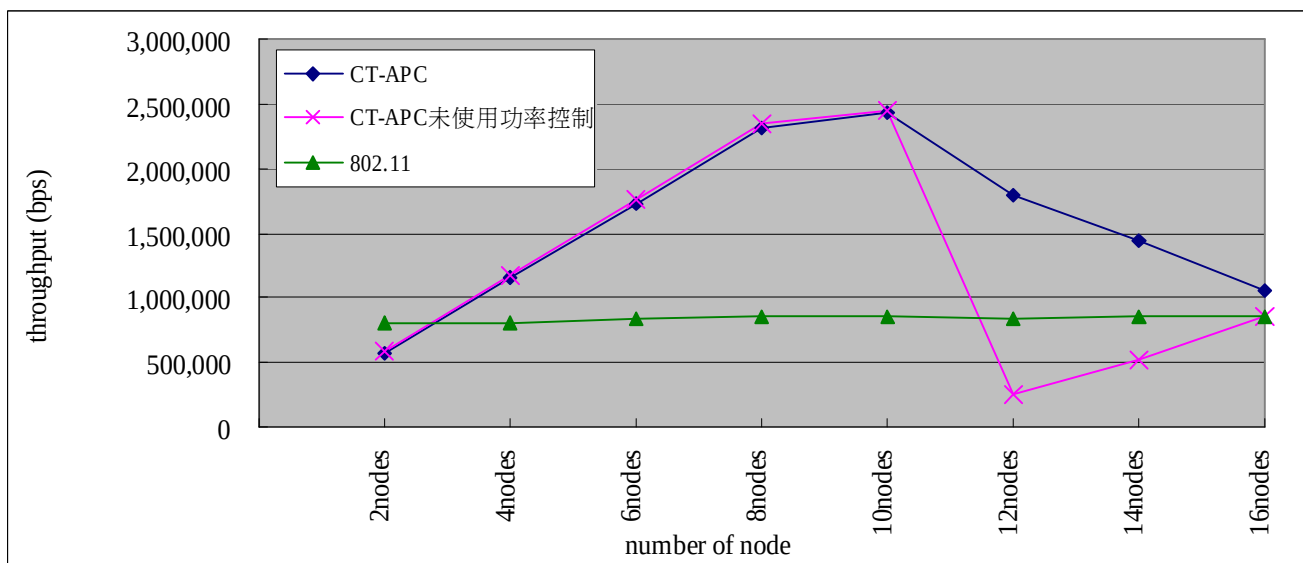


圖8、同心圓拓樸之節點數與產出的變化

4.2 格狀拓樸之節點數與產出的變化

在本小節探討格狀（grid）拓樸之節點數與產出的變化，如圖9所示。S1~Sn+1皆為傳送節點，D1~Dn+1皆為接收節點，每對S與D距離為R，上列接收節點D與下列傳送節點S距離為R以及2R。

圖10(a) 及 (b) 分別是在不同節點間距離設定下的產出比較。模擬結果顯示，在IEEE 802.11部份，當節點數從二對增加到八對時，節點間傳輸會因傳送距離及感測距離相互影響而發生競爭的情況，導致每對節點的個別產出下降，因此總產出變化不大。在本篇所提出的CT-APC協定，當節點兩兩相距為R，且存在上下列二對節點時，此兩對節點傳送資料必須競爭。當節點增加至三對時，上列第一及第三對節點將因control interval機制而可以同時傳送資料，並且上列第三對與下列第二對節點之間因使用之功率控制機制而不會相互影響，因此總產出將增加。當存在四對節點時，上下列之兩對節點就必須競爭，若上列節點競爭成功，則第一及第三對節點(或者第二及第四對節點)可以利用control interval同時傳送資料，使得總產出將隨著節點數的增加而增加。

另外，本研究討論格狀拓樸的另一種情況，即傳送接收對相距R但上列接收節點與下列傳送節點相距2R的情況。當存在兩對節點時，使用功率控制機制即可以讓兩對節點同時傳送資料而不會產生干擾。當增加到三對節點時，第一及第三對節點則是因為control interval機制產生作用，因此此兩對節點亦可同時傳送資料，並且不會影響到第二對節點。隨著節點數的增加，CT-APC協定的功率控制及control interval機制產生作用，傳送接收對節點皆可以同時傳送與接收，使得總產出增加。若CT-APC協定沒有使用功率控制機制，則上下列兩對節點就必須競爭通道而無法同時傳送資料，使得產出無法大幅地增加。

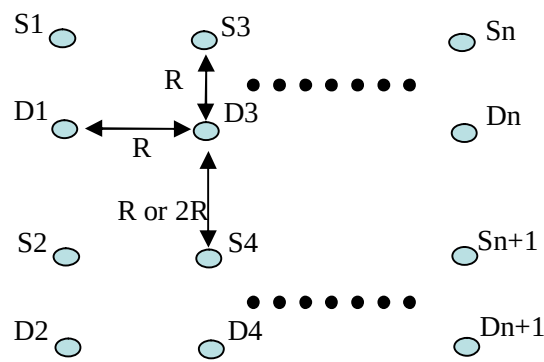
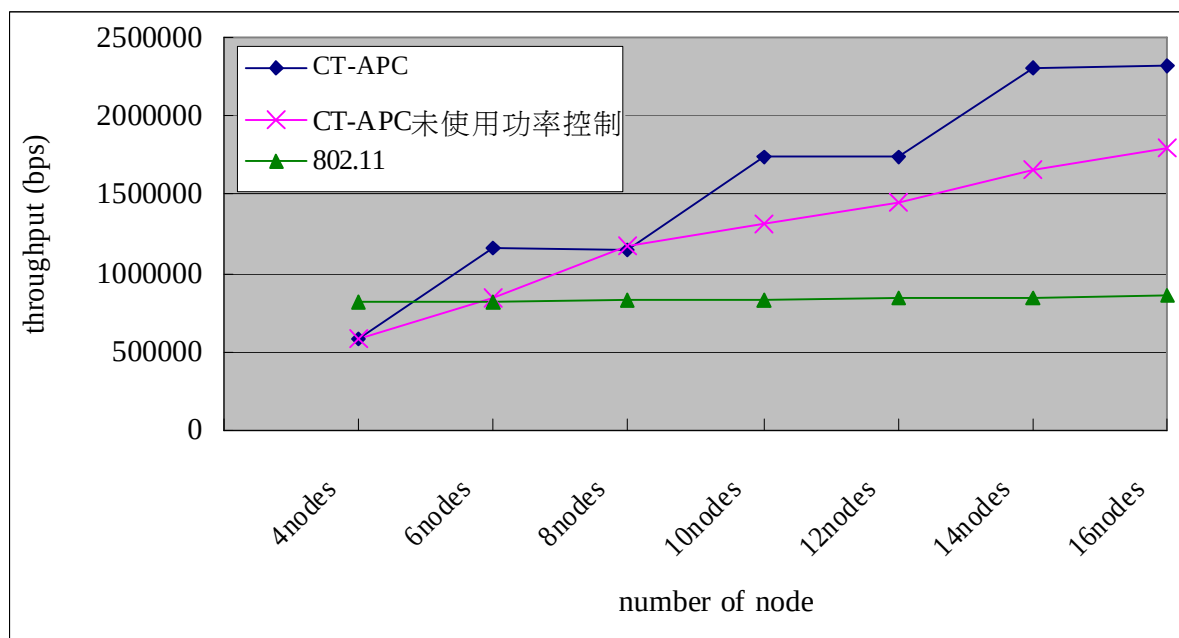
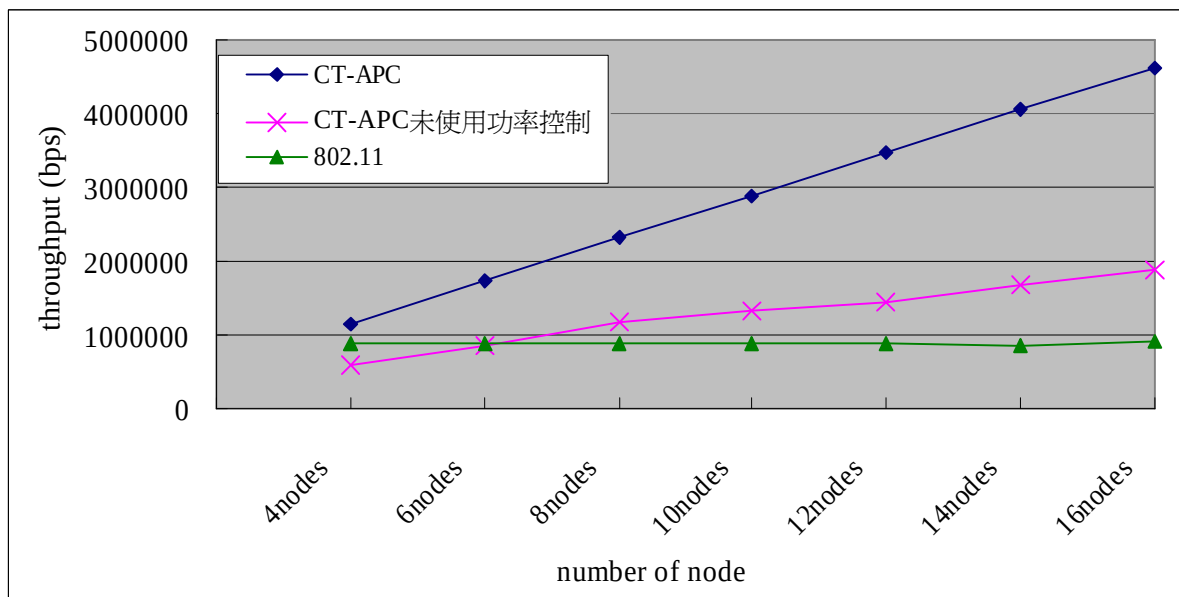


圖9、格狀拓樸



(a)、當節點間相距R時



(b)、當每對傳送接收對相距 R 以及上列接收節點與下列傳送節點相距 $2R$ 時

圖10、格狀拓樸之節點數與產出的變化

4.3 control interval 的大小與產出的變化

control interval 在本篇研究中為影響系統效能的重要參數之一，因此在本小節將探討 control interval 的大小影響與產出的變化。control interval 的設定必須適當，若 control interval 設定太小則無法啟動節點執行同時傳送機制，使得產出的表現與傳統的 IEEE 802.11 無明顯差異；反之，若 control interval 設定太大，節點在 control interval 中大部份的時間都是閒置，將會造成非常大的耗費。因此，選擇適當的 control interval 才能使系統發揮出最佳的產出。

以圖7之同心圓拓樸來討論 control interval 大小與產出的變化，結果如圖11所示。當節點數在一至四對時，節點可以同時傳輸不會相互干擾，因此所得到的產出將隨著節點數增加而增加。當節點數增加至五對時，節點間的傳輸開始受到影響，因此必須由功率控制機制及 control interval 來執行同時傳輸。在此情況下，只有兩對節點傳送資料會受到干擾。當 control interval 設定在 256 bytes 時，由於功率控制機制以及 control interval 啟動執行同時傳輸故總產出隨之增加。當 control interval 增加至 384 bytes 時產出為最高，這是由於只有兩對節點會相互影響之因素，且 control interval 超過此段後產出開始下降。當節點數超過六對且 control interval 設定在超過 640 bytes 之後，總產出將隨著 control interval 增加而開始下降，這是因為 control interval 設定太大造成耗費。表示 control interval 只要超過一個臨界值，即使再增大也只是讓節點閒置時間加長而無法使總產出增加。

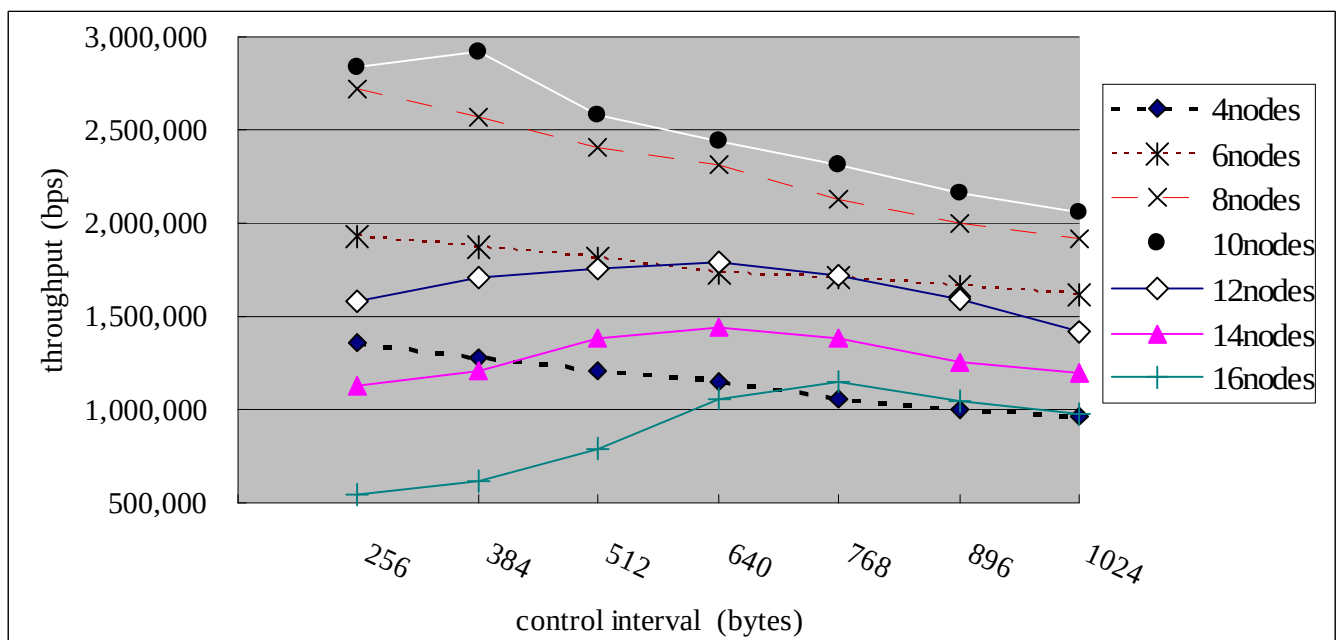


圖 11、control interval 大小與產出的變化

5. 結論與未來研究

傳統 IEEE 802.11 MAC 協定在無線網狀網路環境下將因隱藏終端以及暴露終端問題而導致產出的下降。本篇提出一改良式協定，稱為 CT-APC 協定，結合功率控制法以及控制區間(control interval)概念使多對節點能同時傳送。若節點能選擇適當的傳送功率，則多個節點間能同時傳送資料，不但增加網路的產出，也降低整體的功率消耗。另外，在控制訊息完成交握後新增一段 control interval，讓節點之間可以同步資料傳送週期，達到兩對節點同時傳送資料封包。模擬結果顯示所提出的 CT-APC 方法在產出效能皆優於傳統的 IEEE 802.11 協定，顯示 CT-APC 協定能有效降低隱藏終端以及暴露終端問題的發生。因此當網路節點密集度高時，可以使用功率控制機制來執行同時傳送資料。若採用功率控制法之後，節點感測範圍內尚有鄰近節點欲傳送資料時，則可以使用 CT-APC 協定來執行同時傳輸。

在本篇研究中為了設計上的簡單，假設節點為靜止，因此未來的研究將考慮節點的移動性及不同拓樸的場景對系統效能的影響。另外，也將研究具有多重通道的節點對系統產出的影響。

參考文獻

- [1] Akyildiz, I. F., Wang, X., & Wang, W. (2005). Wireless mesh networks: a survey. *computer networks and ISDN systems*, 47, 445-487.
- [2] Bruno, R., Conti, M., & Gregori, E. (2005). Mesh networks: commodity multihop Ad Hoc networks. *IEEE communications magazine*, 123-131.
- [3] Padgett, J. E., Gunther, C. G., & Hattori, T. (1995). Overview of wireless personal communication. *IEEE communications magazine*, 33(1), 28-41.
- [4] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *computer networks*, 38, 393-422.
- [5] The WiMedia Alliance, web document, <http://www.wimedia.org/>
- [6] The Wi-Fi Alliance, web document, <http://www.wi-fi.org/>
- [7] The WiMAX Forum, web document, <http://www.wimaxforum.org/home>
- [8] Tsai, T. J., & Chen, J. W. (2005). IEEE 802.11 MAC protocol over wireless mesh networks: problems and perspectives. *Proc. IEEE AINA2005*, 60-63.
- [9] Xu S., & Saadawi, T. (2001). Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multihop wireless Ad Hoc networks. *IEEE communications magazine*, 130-137.
- [10] Hsieh H. Y., & Sivakumar, R. (2002). IEEE 802.11 over multi-hop wireless networks: problems and new perspectives. *Proc. IEEE VTC 2002-Fall*, 748-752.
- [11] Acharya, A., Misra, A., & Bansal, S. (2003). MACA-P: A MAC for concurrent transmissions in multi-hop wireless networks. *Proc. IEEE Percom'03*, 505-508.
- [12] Choi, N., Seok, Y., & Choi, Y. (2003). Multi-channel MAC protocol for mobile ad hoc networks. *Proceedings of IEEE VTC 2003*, 2, 1379-1382.
- [13] So, J., & Vaidya, N. (2004). Multi-Channel MAC for Ad Hoc Networks: Handling Multi-Channel Hidden Terminals Using A Single Transceiver. *ACM Mobihoc*, 222-233.
- [14] Tsai, T. J., Tseng, H. W., & Pang, A. C. (2006). A new MAC protocol for Wi-Fi mesh network. *Proc. IEEE AINA 2006*, 1, 6-10.
- [15] Tobagi, F. A., & Kleinrock, L. (1975). Packet Switching in Radio Channels: Part II – The Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple-Access and the Busy-Tone Solution. *IEEE Trans. Commun.*, 23(12), 1417-1433.
- [16] Haas, Z. J., & Deng, J. (2002). Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA) - A multiple access control scheme for Ad Hoc network. *IEEE Transactions on Communications*, 50(6), 975-985.
- [17] Lo, S. C., & Tseng, C. W. (2007). A Novel Multi-Channel MAC Protocol for Wireless Ad Hoc Networks. *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Spring)*, 46-50.
- [18] Pathmasuntharam, J. S., Das, A., & Gupta, A. K. (2004). Primary channel assignment based MAC (PCAM) - a multi-channel MAC protocol for multi-hop wireless networks. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 21-25.
- [19] Gomez, J., Campell, A. T., Naghshineh, M., & Bisdikian, C. (2003). PARO: supporting dynamic power controlled routing in wireless ad hoc networks. *ACM/Kluwer Journal on Wireless Networks*, 9(5), 443-460.
- [20] Jung, E. S., & Vaidya, N. H. (2002). A power control MAC protocol for ad hoc networks. *Proc. IEEE/ACM Mobicom*, 36-47.
- [21] Pursley, M. B., Russel, H. B., & Wysocarski, J. S. (2000). Energy-efficient transmission and routing protocol for wireless multi-hop networks and spread spectrum radios. *Proc. EUROCOMM Conference*, 1-5.
- [22] Monks, J., Bharghavan, V., & Hwu, W. M. (2001). A power controlled multiple access protocol for wireless packet networks. *Proc. IEEE INFOCOM 2001*, 219-228.
- [23] Muqattash, A., & Krunz, M. (2003). Power controlled dual channel (PCDC) medium access protocol for wireless packet networks. *Proc. IEEE INFOCOM 2003*, 470-480.
- [24] Xu, K., Gerla, M., & Bae, S. (2003). Effectiveness of RTS/CTS handshake in IEEE 802.11 based ad hoc networks. *Ad Hoc Networks Journal*, 1(1), 107-123.
- [25] UCB/LBNL/VINT. Network Simulation-NS (Version 2.0).