

在多重通道隨意網路上利用控制與資料通道頻寬比例使效能最大化之策略¹

Adjusting the Bandwidth Ratio of Control and Data Channels to Maximizing Performance in Multiple Channels Ad Hoc Networks

陳青文²，朝陽科技大學資訊工程學系

方清宏，朝陽科技大學資訊工程學系

賴俊良，朝陽科技大學資訊工程學系

洪瑞聰，朝陽科技大學資訊工程學系

摘 要

在無線隨意網路 (Wireless Ad Hoc Network) 中媒體存取層 (MAC Layer) 的功用是負責把資料可靠並有效率地傳送出去。故在媒體存取層中建立一個可靠並且有效能的廣播通訊協定是很重要的。但要如何維持高的效能 (Throughput) 卻是媒體存取層重要的考量。多重頻道 (Multiple Channel) 的好處是可以減輕媒體競爭和降低傳輸封包的碰撞機率，故近來有些學者提出用多重頻道來增加資料頻道 (Data Channel) 的頻寬以提高整體的效能。但卻沒考慮到控制信號 (Control Messages) 的超載問題即資料頻道增加到一個程度後效能就不會再提高反而會下降。因此我們針對資料頻道與控制頻道 (Control Channel) 的頻寬比例做深入的探討，提出了調整資料頻道與控制頻道的頻寬最佳比例，讓資料頻道使用率達到最佳進而提高效能。所以只要告知協定的定義就可透過我們的理論算出資料頻道與控制頻道之最佳比例，再以這比例為基礎不管應用在多重頻道或是其他減少碰撞的方法上，相信都能有最大的效能。經過我們的模擬結果，證實我們提出的方法能有最大的效能。

1. 本計畫承蒙國科會計畫 NSC-92-2213-E-324-006- 補助。
2. 作者通訊 Tel: +886-4-23323000 Ext.4534, Email: chingwen@mail.cyut.edu.tw (C.W. Chen)

關鍵字：無線隨意網路，媒體存取層 (Medium Access Control)，效能 (Throughput)，資料頻道 (Data channel)，控制頻道 (Control Channel)

1. 簡介

無線隨意網路是一個不需要任何額外的固定架構設備，只需要無線網路裝置即可組成的無線區域網路。任何網路中相鄰的兩個無線網路裝置皆可互相通訊而不需要透過其他的裝置(例如基地台或是無線網路路由器)幫忙傳遞訊息。而不相鄰的兩個無線裝置則只要透過其他的無線裝置便可傳遞訊息，因此，隨意網路的最大優點就是網路可能隨時建立起來，亦可因為網路上無線裝置的增加或減少及移動改變網路的拓樸。也就因為無線隨意網路的網路拓樸會隨時改變，因此，這對於網路層和資料鏈結層所造成的問題遠比其他的階層還要影響的多；以網路層來說，建立繞路路徑 (Routing Path) 並不能夠保證這條路徑可以一直採用，所以必須要定期的去維護或是重建繞路路徑。而以資料鏈結層來說，要能夠有效率的將資訊傳送出去，使整個網路傳輸更有效能，這都是很大的挑戰。

根據 IEEE 802.11 [4]、[5]所制定的標準，隨意行動無線網路之媒體存取層通常假設為單一頻道。它的缺點是當網路傳輸負載到達飽和時會因為碰撞機率過高而容易引發 Hidden/Exposed Terminal 問題如圖 1、2，因而造成傳輸效能降低。而多重頻道的優點是可以減輕媒體競爭和降低傳輸封包的碰撞機率，恰可解決單一頻道的問題。故目前有不少的論文提出了用多重頻道方法來改善無線隨意網路中媒體存取層的整體效能 [1]-[3]、[6]-[12]，例如增加資料頻道的頻寬來提高效能及切割資料頻道之頻寬來減少碰撞。但是這些方式大都只是一味地增加資料頻道的頻寬卻沒有考慮到控制信號 (Control Messages) 的超載問題，即在資料頻道增加至一定頻寬後即效能就不會再提高，相對地整體之效能反而會降低進而造成頻寬的浪費。因此，在這篇論文中，我們提出了調整資料頻道與控制頻道之比例的方法，首先利用多重頻道方式將固定頻寬分割成控制與資料兩個不同頻率的頻道，再依資料信號與控制信號之大小來調整資料頻道與控制頻道之比例，使資料頻道使用率達到最佳進而提高效能。再以這比例為基礎不管應用在多重頻道或是其他減少碰撞的方法上，相信都能有最大的效能。

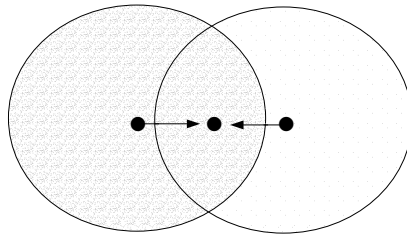


圖 1 Hidden terminals problem.

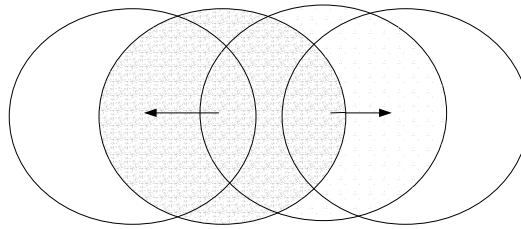


圖 2 exposed terminals problem

在接下來的第二章，我們介紹多重頻道知識背景和相關的研究，第三章會將我們提出的調整控制信號與資料頻道比例大小的方法做一詳細的介紹，第四章會有詳細的模擬結果分析，而第五章是結論。

2. 多重頻道相關研究

多重頻道的好處是能減輕媒體競爭和降低傳輸封包的碰撞機率，正好能解決單一頻道容易產生負載飽和及容易碰撞的缺點。在這章節我們將介紹多重頻道的技術與相關問題，並在第二小節中探討學者提出之相關研究。

2.1. 多重頻道

在無線隨意網路架構中，媒體存取層通常假設為單一通道 (single channel)。它的缺點是當網路傳輸負載到達飽和時就會因為碰撞機率過高而容易引發 Hidden/Exposed Terminal 問題，因而造成傳輸效能降低。而由於多重頻道可架構於 Spread Spectrum 的技術上，如圖 3 是一個標準的頻道模型。整個頻寬被分成數個小頻道，其中一個頻道被指定成控制頻道，其他再分成若干資料頻道。控制頻道是一個共同的頻道，所有的行動主機都必須用它來傳輸控制訊號或是監聽別人的控制訊號。控制訊息主要是來預約資料頻道及執行媒體存取的控制。因而在多重頻道先天上的架構就能減少碰撞的好處，故若能再適當地頻道配置則能使封包的傳輸量達到最大。因此有許多學者提出在多重頻道架構下，增加資料頻道的來提高效能。

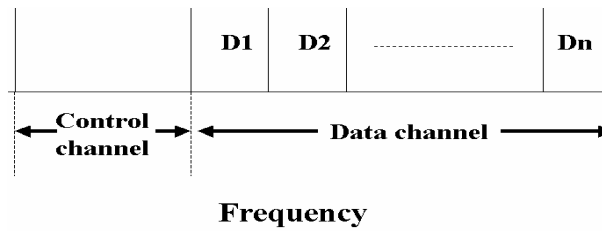


圖 3 多重頻道模型

2.2. 相關文獻研究

FPRP[2] (Five-Phase Reservation Protocol) 它將控制的部份分成了五個步驟，若有主機想要傳送資料，則必須要在控制信號部份時以機率選擇一個保留訊框，開始發出要求封包。而其缺點在傳送前做太多次的訊息交換，每一個保留訊框必須要完成上述的前四個步驟，但是完成後確不表示其保留成功，只是有競爭權。而且對控制信號的碰撞問題並沒有很有效率的解決。

RBRP[8] (Robust Broadcast Reservation Protocol) 它將控制部份分成幾個要求訊框，而這幾個要求訊框又在細分成幾個小的時槽，當有主機要傳送資料時，必需先選擇控制部份其中一個要求階段發出要求。而RBRP 有一個很大的缺點，就是，當一個主機送出要求時，若原本要求10 個資料槽，只有一個資料槽之前已經有主機保留過了，這樣的情況會造成所有10 個資料槽的要求都失敗，這會造成網路上的頻道使用率的不佳。

ABCP[11] (Channel Access-Based Self-Organized Clustering Protocol) 是採用 TDMA-over-FDMA 模式，在控制頻道裡分割為 Sensing Period (SP)、Packet Period (PP)、Acknowledgment Period (AP) 三個頻道，再配合兩個 Busy Tones 來完成傳輸前的溝通。而缺點在於當網路流量大時其控制信號的碰撞降低有限且並沒有考慮到頻道的使用率。

在 DCA[10] (Dynamic Channel Assignment) Protocol 裡透過共同控制頻道來分配資料頻道避免 Hidden/Exposed Terminal 問題並以多重頻道技術增加效能。但其忽略了隨著主機與資料頻道的增加，控制頻道將負載飽和，並因資料頻道數量增多，隨著主機密度的增加，資料頻道分配而產生碰撞的情形將也會增加。

在 HRMA[12] (Hop-Reservation Multiple Access) Protocol 裡利用 Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS) 方式將頻道切割為 m 個小頻道，每個頻道又分為 Hop-Reservation (HR) Packets、Request-To-Send (RTS) Packets、

Clear-To-Send (CTS) Packets和資料封包。其缺點為每個主機都需要有同步時間，並且在每個主機距離間隔大的網路下，似乎較不可行。以上所提出之方法大都以解決碰撞問題來增加效能為依據，卻很少考慮到控制頻道與資料頻道之頻寬比例大小對於效能的影響。故我們將提出一個以IEEE802.11 (DCF) 為基礎，在配合多重頻道的應用並考量控制頻道的超載問題，來做適當地調整控制頻道與資料頻道之比例，使資料頻道的使用率達到最佳進而提高效能。

3.最佳效能的資料頻寬與控制頻寬比例策略

基於單一頻道的傳輸負載飽和及多重頻道之控制信號超載問題，我們利用多重頻道來解決單一頻道的傳輸負載飽和問題，並且提出了調整資料頻道與控制頻道的頻寬最佳比例策略，解決控制信號超載問題讓資料頻道使用率達到最佳進而提高效能。在3.1節我們會介紹802.11 (DCF) 地運作模式，在3.2節會就我們提出的資料頻道與控制頻道的頻寬最佳比例策略最詳細的說明。

3.1. 通訊協定與資料、控制頻寬的分析介紹

多重頻道的使用可能解決上述作者所提之問題，但卻沒有考慮到控制頻道與資料頻道之頻寬比例，實際上效能可能不佳。而我們以 802.11 (DCF) 為基礎來提出一個調種控制頻道與資料頻道之頻寬比例的方法。首先我們先說明 IEEE802.11 (DCF) 之 RTS、CTS 運作方式如圖 4，假設行動主機 A 要與行動主機 B 溝通，A 傳送端要傳送一個訊框前，必須要先送一個 RTS 訊框，而接收端在收到了這個控制訊框時則在經過一個 SIFS (Short Inter-Frame Space) 後傳送 CTS。只有當傳送端正確的收到了沒有碰撞的 CTS 才能夠傳送 Data，除此之外，所有收到接收端送出的 CTS 的主機除了傳送端之外停止嘗試傳送資料 和控制訊框，如此一來，可以大大的減少發生碰撞的機會。

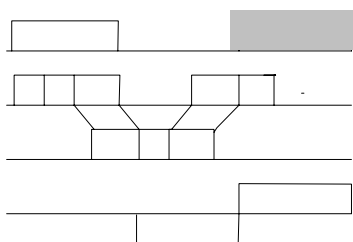


圖 4 IEEE802.11 (DCF) 運作

我們可由 IEEE802.11 (DCF) 觀念得資料頻道頻寬使用率最佳狀況為：

$$\text{Time Data (Ld)} = \text{Time (RTS)} + \text{Time (CTS)}$$

把此觀點應用在多重頻道上如圖 5。

Data Channel	D3															
	D2															
	D1															
Control Channel	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

圖 5 資料頻道=3 之多重頻道

雖然資料頻道的切割能減少碰撞，但因碰撞不在本篇論文討論範圍且資料頻道頻寬的減少相對地傳輸時間會變長，對整體之效能並不會增加。故我們以單一資料頻道來討論控制頻道與資料頻道之頻寬比例如圖 6。

Data Channel		LD1		LD2		LD3		LD4		LD5		LD6		LD7		
Control Channel	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS	RTS	CTS
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

圖 6 單一資料頻道

3.2. 最佳化資料頻道與控制頻道的理論分析

一般認為資料頻道越大能夠使資料傳輸量變大，進而使效能越好，事實不然。當總頻寬固定時，資料頻道越大則使控制頻道越小，相對地控制信號變小則傳輸時間會變長，進而會導致資料封包傳輸時間拉長且容易產生碰撞。且控制頻道到達一定頻寬時即控制信號就會超載而造成效能不增反降（控制訊號超載問題），所以整體來講資料頻道大到某種程度時其效能並不會再提高。故我們在此要提出一個調整資料頻道與控制頻道之最佳比例，使資料頻道的使用率達到最佳進而使效能為最大。

所以在 IEEE802.11 (DCF)基礎下配合以上條件，要使資料頻道頻寬使用率達到最佳為：
 $\text{Time Data (Ld)} = \text{Time (RTS)} + \text{Time (CTS)}$ 如圖 6

假設頻道以多重頻道方式切割為控制頻道與資料頻道，兩者訊號不會互相干擾，控制信號即表示 RTS、CTS 訊號，每個 Packet 大小為 Ld，Lc 表示控制信號的長度，資料頻道頻寬為 Bd，控制頻道頻寬為 Bc。不考慮碰撞、backoff 時間問題且 SIFS、DIFS 時間包含在 RTS、CTS 內。

定義效能 (Throughput) = 總成功的傳輸量 / 單位總時間。

假設 $L_d = x$, $(L_{RTS} + L_{CTS}) = y$

$B_d : B_c = x : y$, $X / B_d = y / B_c$

$B_d = x / (x + y)$, $B_c = y / (x + y)$

故使效能增加之最佳 $B_d : B_c$ 值為 $B_d = x / (x + y)$, $B_c = y / (x + y)$

也就是 $B_d = L_d / (L_d + L_{RTS} + L_{CTS})$, $B_c = (L_{RTS} + L_{CTS}) / (L_d + L_{RTS} + L_{CTS})$

舉例若 $L_d : L_c = 4 : 1$, $x : y = 2 : 1$ 則 $B_d = x / (x + y) = 2/3$, $B_c = y / (x + y) = 1/3$ 。

故最佳比值 $B_d : B_c = 2 : 1$ 能使效能達到最高並且資料頻道頻寬使用率最好。如圖 7

Data Channel				LD1				LD2				LD3				
Control Channel	RTS	CTS		RTS	CTS		RTS	CTS		RTS	CTS		RTS	CTS		
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

圖 7 當 $L_d/L_c=4$ 時 B_d/B_c 調整後頻寬 比為 2:1 為最佳

再以數據 $L_d/L_c=4:1$, L_c+L_d 長度為 512bytes , 總共傳輸五秒鐘 , 分別以 $B_d/B_c=1$ 、 $B_d/B_c=2$ 、 $B_d/B_c=4$ 、 $B_d/B_c=8$ 、 $B_d/B_c=16$ 、 $B_d/B_c=32$ 帶入理論計算以效能及負載為主要參數考量。可得實際理想曲線圖示 , 如圖 8 可看見經過實際數據計算出之理想值以 $B_d/B_c=2$ 為最佳 , 由此圖初步地驗證我們的公式之正確性。

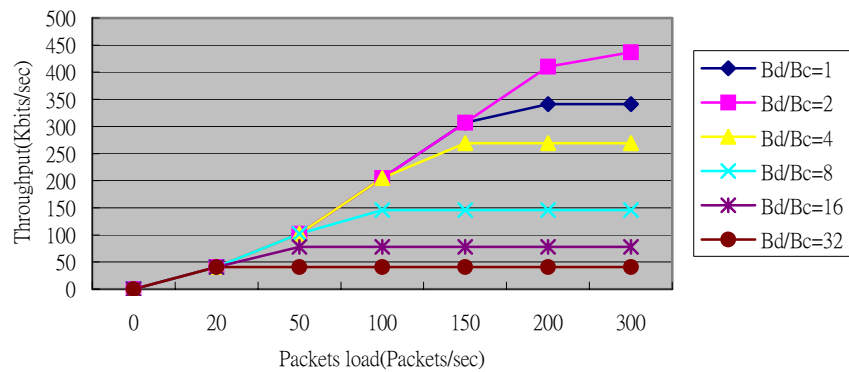


圖 8 理想值之曲線圖

若 $B_d : B_c = 2 : 1$, 其成功傳輸量為 100% 則效能 = 1。若 $B_d : B_c = 3 : 1$, 因控制信號超載問題故其成功傳輸量將降為 7% , 則效能 = 0.67 如圖 9。

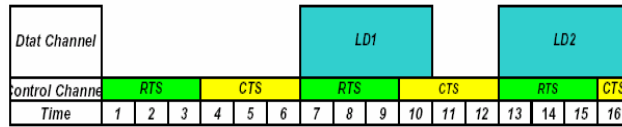


圖 9 Bd:Bc=3:1 之多重頻道

再以數據帶入理論值可得各分割頻道理想的資料頻道使用率，如圖 10

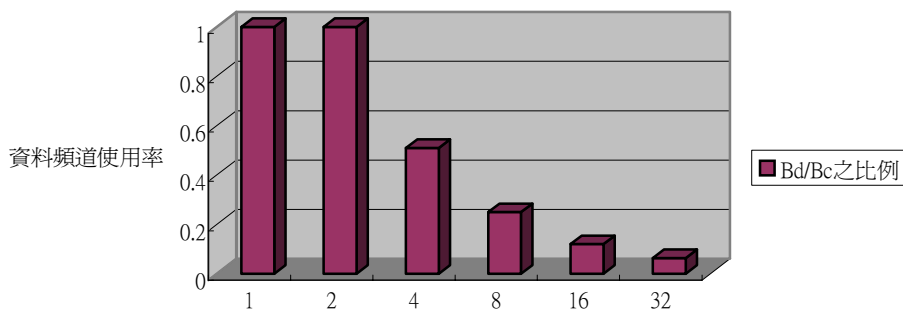


圖 10 理想之資料頻道頻寬使用率

由圖 10 可知資料頻道切割得越細頻寬使用率會越低。

由上可知，當Ld與Lc比值固定時，套用我們的公式：

$$Bd=Ld/(Ld+ L_{RTS}+L_{CTS})$$

$$Bc=(L_{RTS}+L_{CTS})/(Ld+ L_{RTS}+L_{CTS})$$

會得到資料頻道及控制頻道頻寬之最佳比例，再以此比例為基礎不管應用在多重頻道或是任何減少碰撞的方法上，相信都會得到不錯的效能。

4. 模擬結果

假設區域：1000M x 1000M，主機數：200 個，移動速度：20M/s，廣播半徑：100M，Ld：資料訊號長度，Lc：控制訊號長度，Ld+Lc=512bytes，Bd：資料頻道頻寬，Bc：控制頻道頻寬。總頻寬為:1 Mbits/sec，不考慮碰撞及 backoff 時間問題且 SIFS、DIFS 時間包含在 RTS、CTS 內。資料總共傳送 5 秒。首先假設 Ld/Lc=4，在依 Bd/Bc=1、Bd/Bc=2、Bd/Bc=4、Bd/Bc=8、Bd/Bc=16、Bd/Bc=32 輸入比較，求出最佳之 Bd/Bc 之比值如圖 11。

依我們的理論 $Bd=Ld/(Ld+L_{RTS}+L_{CTS})$ ， $Bc=(L_{RTS}+L_{CTS})/(Ld+L_{RTS}+L_{CTS})$ ，可算出 $Bd/Bc=2$ 效能為最佳。再由圖 11 可看出 $Bd/Bc=2$ 時不管在負載多重(封包數/每秒)其效能的表現為較好，和我們的理論結果是一樣的。而如 $Bd/Bc=16$ 或 $Bd/Bc=32$ 其效能無法提昇的原因是因控制信號 (Control Messages) 的超載問題，即資料頻道增加到一個程度後效能就不會再提高。並且可和圖 8 理想值之圖示比較，可以看出 $Bd/Bc=2$ 之曲線蠻相近的，由此可證明我們的理論公式是對的。

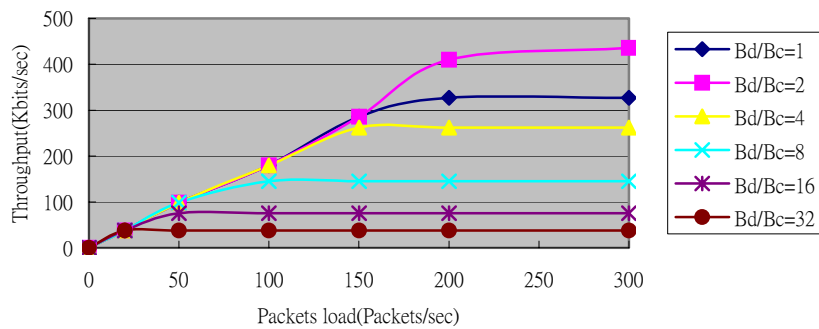


圖 11 $Ld/Lc=4$ 時各 Bd/Bc 之比例

再以 $Bd/Bc=2$ 為基礎實際模擬來反驗證是否依我們的理論 $Bd=Ld/(Ld+L_{RTS}+L_{CTS})$ ， $Bc=(L_{RTS}+L_{CTS})/(Ld+L_{RTS}+L_{CTS})$ 算出 $Ld/Lc=4$ 效能最好，分別對 $Ld/Lc=1$ 、 $Ld/Lc=2$ 、 $Ld/Lc=4$ 、 $Ld/Lc=8$ 、 $Ld/Lc=16$ 、 $Ld/Lc=32$ 之比例針對封包數、效能來分析比較。如圖 12

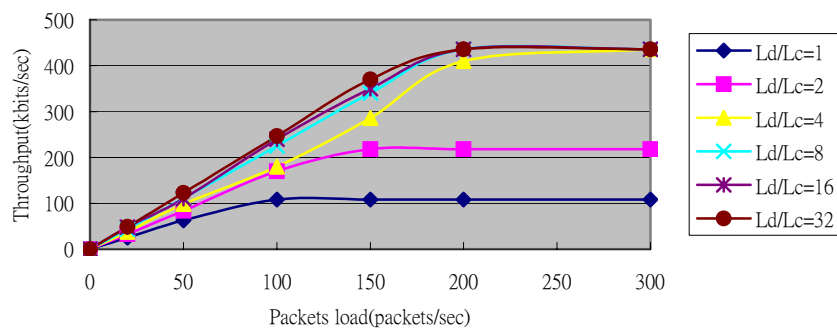


圖 12 $Bd/Bc=2$ 時各 Ld/Lc 之比例

由圖可發現 $Ld/Lc=4$ 效能還是最好，與我們的理論相穩合。在此除了 $Ld/Lc=4$ 外 $Ld/Lc=8$ 、 $Ld/Lc=16$ 、 $Ld/Lc=32$ 其效能都不錯，由此現象可知當提高資料訊號

的長度時可提升整體的效能，但所要注意的是當資料訊號越大時固定長度的控制信號會變小則會造成控制頻道的頻寬使用率降低。因此若適當的調整資料訊號的大小將會使效能往上提昇。再來依模擬出之數據算出資料頻道之使用率，如圖 13

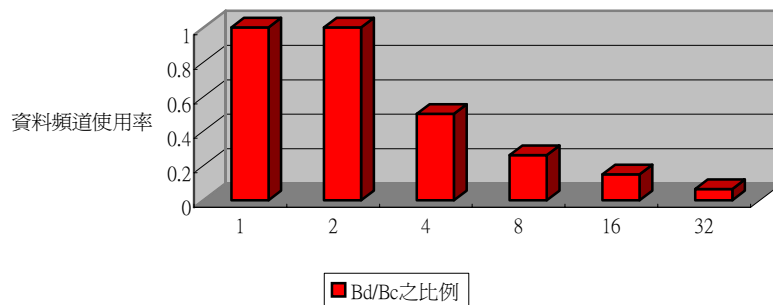


圖 13 實際資料頻道頻寬使用率

與圖 10 做比較看起來蠻相似，由此可知當頻寬切得越細其頻道的使用率會越低。由上面幾項模擬與分析可證明我們提出之頻寬調整公式是正確地，因此當有方法應用在多重頻道頻寬的調整上時只要套上我們的公式就可算出最佳的頻寬比例，再依此比例配合其他減少碰撞地方法，相信都能使效能達到最大。

5. 結論

在媒體存取層裡如何提高效能是很重要的考量點，而單一頻道它的缺點是當網路傳輸負載到達飽和時會因為碰撞機率過高而容易引發 Hidden/Exposed Terminal 問題，因而造成傳輸效能降低。多重頻道的優點是可以減輕媒體競爭和降低傳輸封包的碰撞機率，恰可解決單一頻道的問題，所以有些學者提出用多重頻道來增加資料頻道的頻寬以提高整體的效能。但卻沒考慮到控制信號的超載問題即資料頻道增加到一個程度後效能就不會再提高反而會下降。故我們以 IEEE802.11 (DCF) 為基礎，應用在多重頻道上並考量控制頻道的超載問題，提出了考量控制頻道與資料頻道頻寬比例的方法，進而使資料頻道之使用率達到最大。若再依此理論為基礎考量，不管應用在多重頻道或是其他減少碰撞地方法上，相信都能使效能達到最大。我們經過了模擬結果，確實可以看出我們調整控制頻道與資料頻道之頻寬的策略能使效能達到最大化。

參考文獻

1. C. L. Fullmer and J. J. Garcia-Luna-Aceves. Floor Acquisition Multiple Access (FAMA) for Packet-Radio Networks. In Proceedings of SIGCOMM '95, Nov.1995.
2. C. Zhu and M.S. Corson, "A five-phase reservation protocol (FPRP) for mobile ad hoc networks," in Proceedings of IEEE INFOCOM 1998,pp.322-331,Apr 1998.
3. Ephremides and T. V. Truong, "Scheduling broadcasts in multihop radio networks," IEEE Transactions on Computer, vol. 38, pp.456-460,no. 4,April 1990.
4. IEEE standards Department, "Wireless LAN medium access control (MAC) and Physical layer (PHY) specification , IEEE standard 802.11-1997" 1997.
5. Institution of Electrical and Electronic Engineers. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Higher speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band, 1999.
6. J. Deng and Z. J. Hass. Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA): A New Medium Access Control for Packet Radio Networks. In Int'l Conference on Universal Personal Communication, Oct. 1998.
7. Ki-Ho Lee, Dong-Ho Cho, "A Multiple Access Collision Avoidance Protocol for Multicast Services in Mobile Ad Hoc Networks" IEEE Communications Letters, Vol. 7, No.10, Oct 2003.
8. Mathesh K. Martin and George D. Kondylis and Ulas C. Kozat, "RBRP:A Robust Broadcast Reservation Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE ICC 2001,vol.3pp.878-885.
9. Ting-Chao Hou and Tzu-jane Tsai, "An Access-Based Clustering Protocol for

Multihop Wireless Ad Hoc Networks” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 19, No.7, July 2001.

10. Yu-Chee Tseng, Shih-Lin Wu, Chih-Yu Lin, and Jang-Ping Sheu , “A New Multi-Channel MAC Protocol with ON-Demand Channel Assignment for Mobile Ad Hoc Networks” in Int’l Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks, Dec. 2000.
11. Zhijun Cai, Member, IEEE, Mi Lu, “Channel Access-Based Self-Organized Clustering in Ad Hoc Networks” IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 2, no. 2, April-June 2003.
12. Z. Tang and J. J. Garcia-Luna-Aceves. Hop-Reservation Multiple Access (HRMA) for Ad-Hoc Networks. In Proceedings of IEEE INFOCOM ’99, Oct. 1999.