

# 在隨意網路上最佳化的資料與控制頻寬分配下利用多資料通道來改善效能之策略

陳青文，方清宏，賴俊良，洪瑞聰

朝陽科技大學資訊工程學系

{chingwen,s9167609,s9267606,s9267602@mail.cyut.edu.tw }

## 摘要

在隨意行動無線網路 (Mobile Ad Hoc Network) 上使用多重頻道的好處是可以減輕媒體控制信號 (Control Messages) 的競爭和降低傳輸封包的碰撞機率，故近來有些人提出用多重頻道 (Multiple Channel) 來減少碰撞並增加資料頻道 (Data Channel) 的頻寬來提高整體的效能，但卻因沒考慮控制信號的超載 (Overload) 及資料傳輸等待時間過長的問題，造成頻道使用率的降低致使整體之效能不增反減的現象。因此在本篇文章中我們首先利用多通道解決了 Hidden Terminal 問題再來分析了多通道資料頻道與控制頻道之頻寬最佳理想比例，使傳輸效能達到最高，並在這最佳的頻寬比例下考慮資料傳輸的等待時間採用了非對稱頻寬分配細切資料頻寬的方法來減少碰撞，並且也解決了部份 Exposed Terminal 問題，再依 802.11 (DCF) 為理論基礎適度地調整資料頻道的數量。使資料頻道的使用率達最高、碰撞率降到最低進而提高整體的效能。經過我們的模擬結果，實驗數據證實我們提出的方法在適當地切割資料頻道下的確能大大地提高了整體的效能。

**關鍵詞：** 隨意行動無線網路 (Ad Hoc Wireless Network)，效能 (Throughput)，資料頻道，控制頻道，超載 (Overload)，碰撞

## 1. 簡介

在隨意行動無線網路是一種能夠在沒有事先建置基礎架構 (infrastructure) 的環境下，由無線主機所臨時組成的網路。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，在隨意行動無線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。也就因為隨意行動無線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資料層還要影響的多；以網路層來說，建立繞路路徑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，而且要解決競爭及減少發生碰撞的機會，避免造成整個網路壅塞而沒效率，這都是很大的問題。

根據 IEEE 802.11 [1]、[2] 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造成碰撞機率過高並且容易引發 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控制信號的競爭和降低傳輸封包的碰撞機率，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隨意行動無線網路中媒體存取層的整體效能 [3]-[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因控制信號的超載效能就不會再提高，相對地造成頻寬的浪費。

因此，在這篇論文中，我們針對資料頻道與控制頻道頻寬之比例、資料頻道的切割與傳輸等待時間的關係作深入的探討。並提出了一個調整資料頻道與控制頻道頻寬之比例的策略。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解決了 Hidden Terminal 問題，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。並在這最佳的頻寬比例下考慮資料傳輸的等待時間採用了非對稱頻寬分配細切資料頻寬的方法來減少碰撞並且也解決了部份 Exposed Terminal 問題，再依 802.11 (DCF) 為理論基礎適度地調整資料頻道的數量。使資料頻道的使用率達最高、碰撞率降到最低進而提高整體的效能。

在接下來的第二章，我們將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利用多資料通道最佳分配資料頻寬及控制頻寬之比例的策略做一詳細的介紹，第四章會做模擬結果分析，而第五章是結論報告。

## 2. 相關研究

網路的媒體存取層最主要的目的就是要增加媒體的使用效率，但主要影響媒體使用效率的就是競爭 (Contention) 與碰撞(Collision)。在單一頻道，當網路傳輸負載到達飽和時會造成碰撞機率過高並且容易引發 Hidden/Exposed Terminal 問題。而多重頻道是將一個頻道以分頻技術分割為好幾個不同頻率的頻道，應用在媒體存取層時它的好處是可以減輕媒體控制信號的競爭和降低傳輸封包的碰撞機率，正好能解決單一頻道因負載飽和而容易造成碰撞的缺點。在這章節我們將介紹單一與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 單一頻道與多重頻道

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)。當網路傳輸負載到達飽和時就會造成碰撞機率過高並且容易引發 Hidden/Exposed Terminal 問題如圖 1、2，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。整個頻道被分成數個小頻道，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，增加資料頻道的頻寬來提高效能並分割資料頻道來減少碰撞。

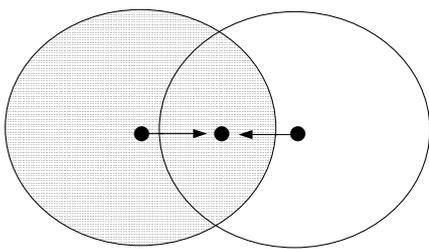


圖 1 Hidden terminals problem

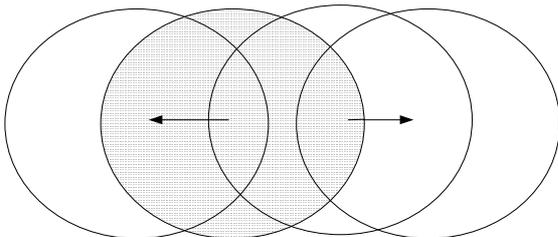


圖 2 Exposed terminals problem

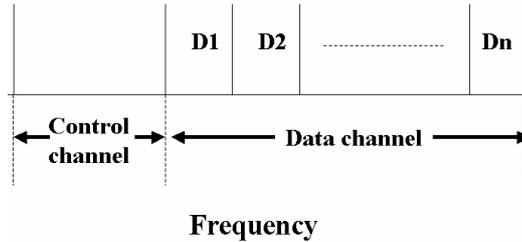


圖 3 多重頻道模型

## 2.2 相關文獻研究

FPRP [4] (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 [5] (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 個資料時槽，只有一個資料時槽之前已經有主機保留過了，這樣的情況會造成所有10 個資料時槽的要求都失敗，這會造成網路上的頻道使用率的不佳。

ABCP [8] (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 [9] (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 Throughput。但其忽略了隨著主機與資料頻道的增加，控制頻道將超載，並因資料頻道數量不多，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 [10] (Hop-Reservation Multiple Access) 協定裡利用 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增加資料頻道之頻寬和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再適當地切割資料頻道來減少碰撞進而提高效能。

### 3. 利用多資料通道之最佳化資料與控制頻道頻寬分配的策略

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，並在這最佳的頻寬比例下考慮資料傳輸的等待時間採用了非對稱頻寬分配細切資料頻寬的方法來減少碰撞，再依802.11 (DCF)為理論基礎適度地調整資料頻道的數量，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) 的運作模式，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。3.3節依資料頻道與控制頻道的頻寬最佳比例策略來探討最佳資料頻寬切割數，使整體之效能達到最高。

#### 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) 為基礎來提出一個適當的控制頻道與資料頻道之頻寬比例。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 Host 除了傳送端之外停止嘗試傳送 Data 和控制訊框，如此一來，可以大大的減少發生碰撞的機會。

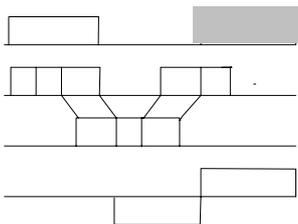


圖 4 IEEE802.11 (DCF) 運作

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

圖 5 單一資料頻道之多重頻道

雖然資料頻道的切割能減少碰撞，但因資料頻道頻寬的減少相對地傳輸時間會變長，故在不考慮碰撞的情況下資料頻道的切割對整體之效能並不會增加。因此在不考慮碰撞的情況下我們先以單一資料頻道來討論控制頻道與資料頻道之頻寬比例。之後再討論如何適當地切割資料頻道來減少碰撞。

#### 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。當資料頻道的頻寬無限的增加時控制信號就會因超載而造成頻道使用率不佳，進而使整體效能降低，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適當地資料頻道與控制頻道之比率，使資料頻道的使用率達到最佳進而使效能達到最大。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 5

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，每個封包大小為  $L_d$ ， $L_c$  表示控制信號的長度，資料頻道頻寬為  $B_d$ ，控制頻道頻寬為  $B_c$ 。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  $L_d = x$ ,  $(L_{RTS} + L_{CTS}) = y$

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

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

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  $Ld:Lc=4:1$  ,  $x:y=2:1$  則  
 $Bd=x/(x+y)=2/3$  ,  $Bc=y/(x+y)=1/3$  。

故最佳比值  $Bd:Bc=2:1$  能使效能達到最高並且資料頻道頻寬使用率最好。如圖 6

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

圖 6 當  $Ld/Lc=4$  時  $Bd/Bc$  調整後頻寬比為 2:1 為最佳

再以數據  $Ld/Lc=4:1$  ,  $Lc+Ld$  長度為 512bytes , 總共傳輸 5 秒鐘 , 分別以  $Bd/Bc=1$  、  $Bd/Bc=2$  、  $Bd/Bc=4$  、  $Bd/Bc=8$  、  $Bd/Bc=16$  、  $Bd/Bc=32$  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 7 可看見經過實際數據計算出之理想值以  $Bd/Bc=2$  為最佳, 由此圖初步地驗證我們的公式之正確性。

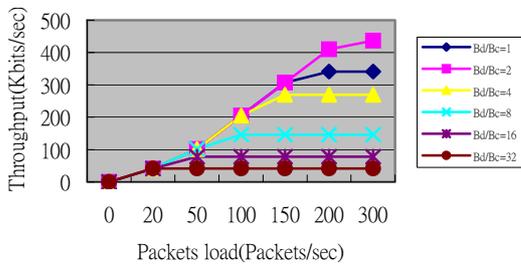


圖 7 理想值之曲線圖

若  $Bd:Bc=2:1$  , 其成功傳輸量為 100% , 則效能=1 。  
 若  $Bd:Bc=3:1$  , 因控制信號超載問題故其成功傳輸量將降為 67% , 則效能=0.67 如圖 8 。

Dtat Channel					LD1				LD2							
ontrol Channe	RTS	CTS														
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

圖 8  $Bd:Bc=3:1$  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 9

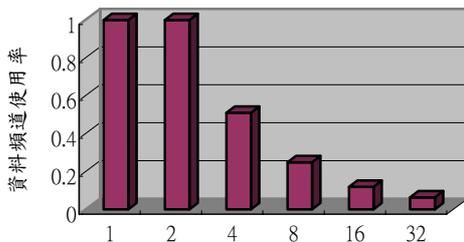


圖 9 理想之資料頻道頻寬使用率

由圖 9 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。

### 3.3 多重資料頻道的分析

再沒有考慮碰撞的情況下, 依上述結果得  $Bd=Ld/(Ld+L_{RTS}+L_{CTS})$  ,  $Bc=(L_{RTS}+L_{CTS})/(Ld+L_{RTS}+L_{CTS})$  時會得到最佳的效能。而我們以 Exposed Terminal 問題來討論如圖 2, 在單一頻道時當主機 B 與主機 A 傳資料時, 此時主機 D 也要與主機 C 做溝通則主機 C 是不會回應地如圖 10。但若頻道切割為兩個以上則主機 D 就可利用別的頻道與主機 C 作溝通如圖 11。所以一般來講將資料頻道適當地切割為幾個小頻道可減少碰撞機率的發生進而提高整體的效能, 但若切得過少則不能使碰撞率降至最低, 若切得過多則會使資料傳輸時間變長 如圖 12、13。故如何適當地切割資料頻道是值得探討的。

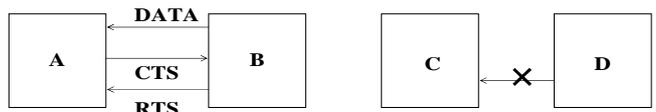


圖 10 單一頻道時 RTS/CTS 路徑建立狀況

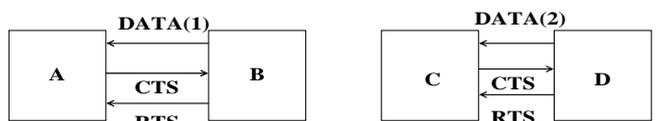


圖 11 頻道為多通道時 RTS/CTS 路徑之建立

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

圖 12 資料頻寬切得過少

Dtat Channel	D3				LD3				LD6							
D2					LD2				LD5							
D1					LD1				LD4							
ontrol Channe	RTS	CTS														
Time	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32

圖 13 資料頻寬切得過多

因此我們要考慮如何切割資料頻寬的數量, 才能使碰撞、整體地效能與資料的傳輸時間得到最佳

狀況。因為在資料頻道切割方面雖然資料頻道切得越細碰撞會越小，但相對傳輸等待時間會變長且要考量的是當資料頻寬切至一定數量後其所降低的碰撞率將會減少。

舉例來講當總頻寬固定、資料頻寬與控制頻寬比為 2:1、每個 Packet 大小  $L_d=1\text{Kbyte}$ 、每個控制信號傳送時間為一個單位時間，資料頻道為 1 個時，若有一資料為 10kbyte 要傳送則需要傳送 40T (單位時間) 如圖 14。若資料頻道切為 3 個時碰撞率降了 80%，而資料傳輸等待時間增至 120T (單位時間) 如圖 15，資料頻道切為 4 個時碰撞率卻只降了 2% 為 82%，但傳輸等待時間增至 160T (單位時間) 如圖 16。此時若對一個要求執行時間速度的應用程式來講，其使碰撞率降低 2% 但卻要付出 1.3 倍的執行時間，這樣的做法是值得考量的。

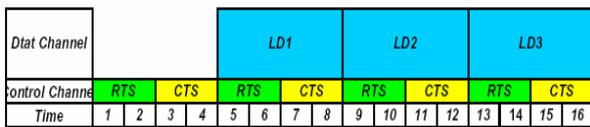


圖 14 單一資料頻寬，10kbyte 需 40T 單位時間

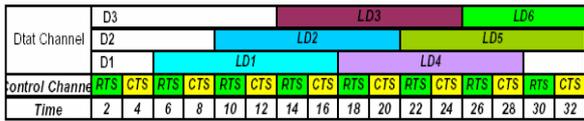


圖 15 資料頻寬=3 時，10kbyte 需 120T 單位時間

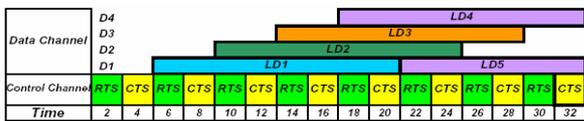


圖 16 資料頻寬=4 時，10kbyte 需 160T 單位時間

#### 4. 模擬結果

首先在不考慮碰撞下，比較我們提出的多通道資料頻道與控制頻道之頻寬最佳理想比例策略是否與理想值接近。再以這比值為基礎考慮碰撞問題適當地切割資料頻道與沒有考慮資料頻道與控制頻道之頻寬的多重頻道比較。

假設區域：1000M x 1000M，主機數：200 個，移動速度：20M/s，廣播半徑：100M， $L_d$ ：資料訊號長度， $L_c$ ：控制訊號長度， $L_d+L_c=512\text{bytes}$ ， $B_d$ ：資料頻道頻寬， $B_c$ ：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  $L_d/L_c=4$ ，在依  $B_d/B_c=1$ 、 $B_d/B_c=2$ 、 $B_d/B_c=4$ 、 $B_d/B_c=8$ 、 $B_d/B_c=16$ 、 $B_d/B_c=32$  輸入比

較求出最佳之  $B_d/B_c$  之比值如圖 11。依我們的  $B_d=L_d/(L_d+L_{RTS}+L_{CTS})$ ， $B_c=(L_{RTS}+L_{CTS})/(L_d+L_{RTS}+L_{CTS})$ ，可算出  $B_d/B_c=2$  效能為最佳。再由圖 17 可看出  $B_d/B_c=2$  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  $B_d/B_c=16$  或  $B_d/B_c=32$  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  $B_d/B_c=2$  之曲線蠻相近的，由此可證明我們的理論公式是對的。

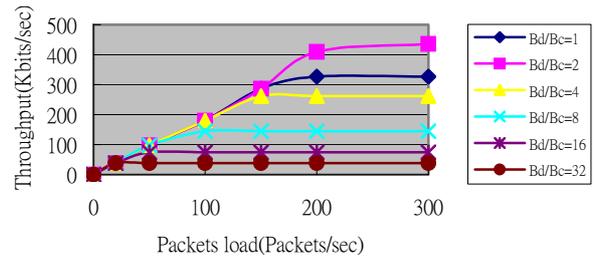


圖 17  $L_d/L_c=4$  時各  $B_d/B_c$  之比例

再來依模擬出之數據算出資料頻道之使用率，如圖 18

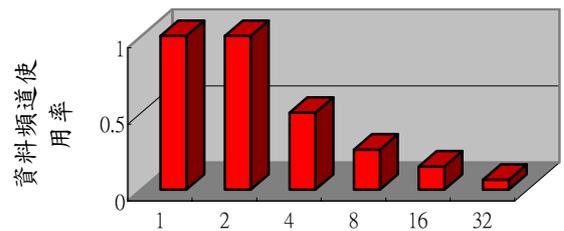


圖 18 實際資料頻道頻寬使用率

與圖 9 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。

再則依此資料頻道與控制頻道之頻寬最佳理想比例為基礎，考慮碰撞因素並且以每個主機的鄰居數來模擬環境的密集度，假設每秒產生 512K/sec 之資料量，分別將資料頻道細切為 1、4、6、8、12 個頻道並在鄰居數為 2、4、6、8 個 Host 下，來模擬其效能並分析其狀況。如圖 19

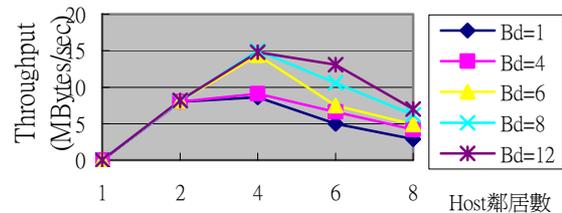


圖 19 各分割資料頻道之效能

由圖可知  $B_d=1$  為我們最佳化後的 IEEE802.11(DCF) 模式，而其效能無法再提昇上去是因為當網路環境擁塞時碰撞的機率就增高。相對的頻道切割越細碰撞越小效能也就能提高如圖中

Bd=12，但我們也可發現當發送主機切割之頻道數大於鄰居數時其效能就無法繼續提昇是因為資料頻道頻寬使用率沒有有效的利用，且單一資料頻道頻寬變小傳輸時間會變長而造成傳輸中斷進而使效能降低，故由此可得到一個結論是適當地切割資料頻道頻寬可有效地減少碰撞並能增加效能。

## 5. 結論

網路的媒體存取層最主要的目的就是要增加媒體的使用效率，而單一頻道在網路傳輸負載到達飽和時會造成碰撞機率過高並且容易造成傳輸效能降低。我們首先利用多通道解決了 Hidden Terminal 問題，再來分析了多通道資料頻道與控制頻道之頻寬最佳理想比例，使傳輸效能達到最高，並在這最佳的頻寬比例下考慮資料傳輸的等待時間採用了非對稱頻寬分配細切資料頻寬的方法來減少碰撞，並且也解決了部份 Exposed Terminal 問題，再依 802.11 (DCF) 為理論基礎適度地調整資料頻道的數量。使資料頻道的使用率達最高、碰撞率降到最低進而提高整體的效能。經過我們的模擬結果，實驗數據證實我們提出的方法能大大地提高了整體的效能及降低碰撞率。

## 參考文獻

- [1] IEEE standards Department, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, IEEE standard 802.11-1997" 1997.
- [2] 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.
- [3] J. Deng and Z. J. Hass. Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA): A New Medium Access MM '95, Nov. 1995
- [4] 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.
- [5] 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. 3, pp. 878-885.
- [6] A. Ephremides and T. V. Truong, "Scheduling broadcasts in multihop radio networks," IEEE Transactions on Computer, vol. 38, pp. 456-460, no. 4, April 1990
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] C. L. Fullmer and J. J. Garcia-Luna-Aceves. Floor Acquisition Multiple Access (FAMA) for Packet-Radio Networks. In Proceedings of SIGCO