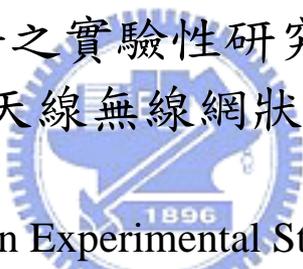


國立交通大學

網路工程研究所

碩士論文

頻道分配方法之實驗性研究於多重頻道多  
重天線無線網狀網路

The logo of National Central University (NCU) is a circular emblem. It features a central figure, possibly a scholar or a historical figure, surrounded by a gear-like border. The year '1896' is inscribed at the bottom of the emblem.

An Experimental Study  
on Channel Assignment Approaches  
on Multi-channel Multi-radio Wireless Mesh Networks

研究生：李依璇

指導教授：簡榮宏 教授

中華民國九十六年六月

頻道分配方法之實驗性研究於多重頻道多重天線無線網狀網路  
An Experimental Study on Channel Assignment Approaches on  
Multi-channel Multi-radio Wireless Mesh Networks

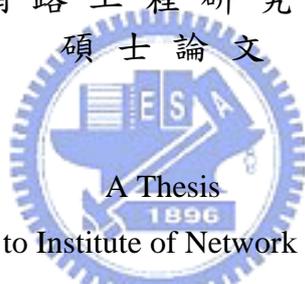
研究生：李依璇

Student：Yi-Hsuan Li

指導教授：簡榮宏

Advisor：Rong-Hong Jan

國立交通大學  
網路工程研究所  
碩士論文



Submitted to Institute of Network Engineering

College of Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Computer Science

June 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年六月

# 頻道分配方法之實驗性研究於多重頻道多 重天線無線網狀網路

研究生：李依璇

指導教授：簡榮宏 博士

國立交通大學網路工程研究所



摘 要

本篇論文主要是在多重頻道、多重天線及多跳躍無線網路環境中，探討靜態、動態、靜動態混合頻道配置方法架構上的差異性。我們由解空間、最短路徑和變動資料流樣式三方面剖析靜態頻道配置與靜動態混合頻道配置的方法的優劣，並藉由實驗模擬的方式驗證。我們也提出一個可依干擾程度調適的繞徑方法。由觀察分析與實驗模擬結果都證實靜動態混合頻道配置方法在效能與延遲時間上皆優於靜態頻道配置方法。

# **An Experimental Study on Channel Assignment Approaches on Multi-channel Multi-radio Wireless Mesh Networks**

Student : Yi-Hsuan Li

Advisor : Dr. Rong-Hong Jan

INSTITUTE OF NETWORK ENGINEERING  
NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY



## **Abstract**

In this thesis, we study the differences in static channel assignment, dynamic channel assignment, and hybrid channel assignment on multi-channel, multi-radio, and multi-hop wireless mesh networks. We analyze the advantages and disadvantages of static and hybrid channel assignment in three aspects: solution space, shortest path, and various traffic patterns, and evaluate the performance by simulation. In addition, we propose an interference aware routing protocol, which can change routes according to the interference degree of the network. The simulation results show that the hybrid channel assignment performs better than static channel assignment in throughput and delay.

# 誌謝

首先誠摯的感謝我的指導教授簡榮宏老師悉心的教導讓我可以更深入的進入無線網路的領域，使我在這些年中獲益匪淺。

這兩年裡的日子，實驗室裡共同的生活點滴，學術上的討論、一天到晚的合購網拍定便當飲料、熬夜念書的好幾個半夜、舉辦多次的實驗室旅行……，感謝學長姊們(鴻棋學長、世昌學長、嘉泰學長、蕙如學姊、安凱學長、奇育學長、瑋倫學長、思敏學姊、牧英學姊、雯甄學姊)、本屆的同窗們(福文、苑瑩、祐慈、奕叡)、以及各位學弟妹(宇翔、允琳、俊傑、佑笙、敬之)，因為有你們在，所以我這兩年的生活多采多姿。特別感謝已經畢業的奇育學長當兵的休假還要幫我解決問題，而且還要在當兵前把 mesh ap 弄好才能走，感謝苑瑩被我巴著問 NS2 很多問題，感謝祐慈和我一起度過好幾個沒洗澡的夜晚趕出論文以及實驗，感謝嘉泰雖然時常陪我嘴砲但是仍然幫我們解決無數無線網路實驗的問題，感謝大家幫忙看我的破爛英文口試投影片，感謝多位夥伴以及校狗陪著我跟苑瑩半夜做 mesh 實驗，以及把我領進實驗室的思敏學姊。

接著要感謝男友逢振，如果不是你常常幫我離清很多學術上模糊的觀念，我可能很多東西都還搞不清楚。最後我還要感謝辛苦把我拉拔養大到現在的父母親。



# 目錄

<b>第一章</b>	<b>簡介</b> .....	<b>5</b>
<b>第二章</b>	<b>相關研究</b> .....	<b>7</b>
2.1	頻道分配方法 .....	7
2.1.1	靜態頻道分配方法 .....	8
2.1.2	動態頻道分配方法 .....	9
2.1.3	靜動態混合頻道分配方法 .....	11
2.2	整合比較 .....	12
<b>第三章</b>	<b>觀察分析</b> .....	<b>14</b>
3.1	解空間的觀察 .....	14
3.2	最短路徑的觀察 .....	15
3.3	變動網路環境的觀察 .....	17
<b>第四章</b>	<b>頻道分配選取與繞徑選取</b> .....	<b>20</b>
4.1	計算干擾的方式 .....	20
4.2	基於干擾程度調變繞徑 .....	23
<b>第五章</b>	<b>實驗分析模擬</b> .....	<b>25</b>
5.1	最短路徑 .....	25
5.2	變動資料流樣式 .....	29



# 圖目錄

圖 1 靜態頻道分配方法.....	8
圖 2 動態頻道分配方法.....	10
圖 3 靜動態混合頻道分配方法.....	11
圖 4 解空間的觀察.....	15
圖 5 原始拓樸之最短路徑.....	16
圖 6 靜態頻道分配之最短路徑.....	16
圖 7 靜動態混合頻道分配之最短路徑.....	16
圖 8 變動網路環境之觀察.....	18
圖 9 原始拓樸連通情形.....	21
圖 10 計算干擾值.....	22
圖 11 干擾調變繞徑方法蒐集封包部分.....	24
圖 12 最短路徑增加百分比.....	28
圖 13 靜態頻道分配與靜動態頻道分配延遲時間比較圖.....	29
圖 14 最小干擾繞徑與最短路徑繞徑之比較.....	30
圖 15 變動網路流樣式最小干擾繞徑與最短路徑繞徑之比較.....	32

# 表目錄

表 1 頻道分配方法整合比較表.....	13
表 2 頻道分配之最小網路干擾值.....	26
表 3 靜態頻道分配對靜動態頻道分配之最短路徑增加百分比.....	27
表 4 調整 T 時間間隔.....	30



# 第一章 簡介

近幾年來，隨著無線區域網路的發展，以及存取控制的進步，使用者的數目急速增加。藉由無線存取控制的技術，使用者可以隨時隨地在無線網路存取點 (Access point, 簡稱 AP) 的涵蓋範圍內移動進行網路存取服務。無線網路存取點再經由有線網路到骨幹網路，取得 Internet 服務。由此得知，骨幹網路是由無線網路存取點之間使用有線連結，網路業者必須花成本去架設及維護骨幹網路的線路，為了降低有線網路架設的困難及成本，所以無線網狀網路 (Wireless Mesh Network, 簡稱 WMN) 架構隨之興起。WMN 是一種能夠自我組織 (self-organized) 與自我安裝設定 (self-configured) 的動態網路 [1]，網路內的節點可以隨意增加刪除，維護網路網狀連通性。WMN 架構是使用無線網路取代有線網路讓多個無線網路存取點連接，形成網狀網路，所以多重跳躍式 (multi-hop) 技術受到重視。

802.11 的相關標準是由 IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 美國電機與電子工程師協會) 所制訂的 [2]，為目前廣泛使用的無線網路傳輸技術。IEEE 802.11 提供多個不重疊的頻道，可以在其中各自進行傳輸增加效能而不互相干擾。IEEE 802.11b 提供三個不重疊的頻道；而 802.11a 提供十二個不重疊的頻道。使用多頻道媒介存取控制協定 (Multi-channel MAC protocol)，可以讓多個無線網路裝置在同一個時間點同時運作在多個不重疊的頻道之上，能有效增加產能 (Throughput) 以及減少延遲 (Delay) 甚至改善整體網路的容量 (Capacity)。

所以在多重跳躍式 WMN 架構之下，讓骨幹網路上無線網路存取點之間使用多個頻道進行傳輸，其頻道的利用率 (Utilization) 會比傳統整個網路只使用一個頻道進行傳輸要來的好。舉例來說，如果當網路內其中一條鏈結 (Link) 正使用頻道 1 進行資料傳輸，根據 IEEE 802.11 媒介存取控制協定規定，在這條鏈結的兩個節點傳輸範圍之內，以及一次跳躍的鄰居節點的傳輸範圍內，同一個時間點不能有兩條以上鏈結使用頻道 1 同時進行傳輸，否則會因為互相干擾而有資料碰撞的情況發生。若節點想要進行傳輸就必須使用載波感測多重存取碰撞避免協定 (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, 簡稱 CSMA/CA, 此為 IEEE 802.11 標準所定義) 競爭取得頻道的使用權，若每個鏈結同時想傳送一個單位的資料量，長時間下來整體網路容量勢必會被分享，而產能也因為互相干擾而被影響。所以在干擾影響範圍內使用相同頻道的鏈結總數要越少越好，那麼若在

多個頻道的網路就可以在同一時間點讓多組傳輸進行於不互相干擾的頻道，每個鏈結的頻道配置減少網路整體干擾就顯的很重要了，而這個又跟頻道分配方法又息息相關。

在多重頻道多重天線無線網狀網路環境底下，相鄰的兩個網路介面卡想要溝通，就必須要配置相同的頻道，但是在分散式的無線網路兩個網路介面卡如何配置相同的頻道這是個主要問題。為了解決這樣的問題主要有幾個方法，分別為**靜態頻道分配方法**(Static channel assignment approach)、**動態頻道分配方法**(Dynamic channel assignment approach)，以及近期所提出來的**靜動態混合分配方法**(Hybrid channel assignment approach)[3][4][5][6]，以下先簡單的敘述三個方法的差異：

- 靜態頻道分配方法定義為網路節點的網路介面卡所能存取的頻道為固定不切換的，可選擇的頻道集合只有一個項目，例如網路介面卡的頻道只能選擇頻道 1 或者只能選擇頻道 2，一旦分配了就不能再改變頻道，適用於頻道切換延遲時間較長的裝置。這樣的設計能持續保證網路連通性，不需要擔心收端會切換頻道而漏收封包。
- 動態頻道分配方法定義為網路節點的網路介面卡是可以動態切換到多個可用頻道上，可選擇的頻道集合有多個項目。因為網路介面卡有切換的功能，所以有能力去適應動態網路資料負載變化。但是為了讓一條鏈結的兩個端點之網路介面卡在相同的頻道溝通，必須事先作協調，以達到網路連通性，否則收端切換到別的頻道上而送端卻不知道就會有漏收封包情況發生，導致網路點對點延遲上升，因為漏收封包，重傳次數增加，還會增加網路上的頻寬的浪費。
- 靜動態混合頻道分配方法就是把以上靜態以及動態的頻道分配方法做結合，這種架構需有兩張以上的網路介面卡才能達成。這個方法的主要架構是一個網路介面卡必須固定在一个固定頻道上長時間內不會做切換動作，其他的網路介面卡會隨著當時網路情形做頻道的切換，用以充分運作於所有的頻道。因為它結合了靜態頻道分配方法，所以網路拓樸是能保證連通性的，如果原始的網路拓樸就能保證連通性的話，就不會有網路分割情況發生；又因為結合了動態頻道分配方法，能切換到網路所有的頻道上各自同時進行資料傳送，提高整體網路頻道的利用率。

現今已有許多頻道分配方法的相關研究文章，但是由於目前對於這一系列整體分析的研究較為少量，所以以下章節我們先討論這三個頻道分配方法的相關研究，接著針對靜態以及靜動態混合頻道分配方法從解空間、最短路徑、和變動資料流樣式三個觀點比較優缺點，之後介紹我們如何選取頻道配置，接著提出一個可以根據網路狀況變動資料流路徑的繞徑方法，最後我們使用 ns2 模擬印證我們的觀察。

## 第二章 相關研究

到目前為止，在多重天線多重頻道的無線網路環境，已經有許多的媒體存取控制協定被提出，目的多半為能充分利用於多重天線多重頻道的無線網路環境，進而提高網路的產能，或是減少延遲。這些媒體存取控制協定，我們可以依據網路介面卡的可切換頻道能力區分成三種方式：**靜態頻道分配方法**、**動態頻道分配方法**，以及**靜動態混合頻道分配方法**。

在第 2.1 節，我們首先會對三種頻道分配方法做清楚的介紹，並且舉簡單的例子突顯各種方法架構上的差異性，接著以表格檢視個別方法的優缺點。

### 2.1 頻道分配方法

首先我們要清楚，在多重天線多重頻道多跳躍的無線網路環境，兩個互相在傳輸範圍內的節點如果想要溝通，就必須要建立一條相同頻道的鏈結，這條鏈結上的兩個網路介面卡，都要配置相同的頻道才能建立鏈結，但是在分散式的網路環境這兩個網路介面卡要怎麼配置相同的頻道就是一個問題。為了解決這樣的問題，主要有兩大類的方法：靜態頻道分配方法以及動態頻道分配方法。靜態頻道分配方法顧名思義其網路介面卡的頻道都是固定的，而動態頻道分配方法的網路介面卡頻道都是可以變動的。直到近期才有人提出靜動態混合頻道分配方法，這個方法的網路介面卡部份要固定在頻道上不做切換，其他是可以在多個頻道上進行切換。

所以我們對頻道分配方法的區分，是依據網路介面卡可切換頻道的能力。不可以切換頻道的網路介面卡，就必須長時間停留在特定頻道上進行資料的收送；可以切換頻道的網路介面卡，可以隨意的切換到任意可切換的頻道上進行資料傳送。如果一個裝置所使用的網路媒體存取控制協定規定網路介面卡全都是屬於不可以切換頻道的網路介面卡，那麼我們把這類的方法歸類在靜態頻道分配方法內；如果所使用的網路媒體存取控制協定規定網路介面卡都屬於可以隨意的切換到任意頻道，那麼這類的方法歸類在動態頻道分配方法；如果使用的網路媒體存取控制協定其網路介面卡部分有可切換頻道的能力，部分沒有可切換頻道的能力，那這類的方法歸類在靜動態混合頻道分配方法。以下針對這三類方法舉例介

紹可以更清楚的比較其差異性。

### 2.1.1 靜態頻道分配方法

靜態頻道分配方法定義為所有網路節點的每個網路介面卡所能存取的頻道都為固定不能切換的，所以在傳輸的時候，可以選擇的頻道集合只有一個項目，也就是當初最先配置的頻道，例如只能選擇頻道 1 或者只能選擇頻道 2，一旦配置就無法再改變了。當網路上的所有網路介面卡的頻道都決定好之後，使用靜態頻道分配方法的網路想用哪個鏈結哪個頻道進行資料傳輸，在一開始就決定好了，不需要事先進行決定頻道的溝通協調，如圖 1 如果原先給定這樣的配置，想傳送資料就直接傳送，因為每個網路介面卡的配置頻道都不會改變，所以不管任何時間有資料要傳都可以直接傳送。同時這樣的設計能持續保證網路連通性如同剛開始配置頻道的連通情況，不需要擔心收端可能會切換頻道而漏收封包。但是因為網路介面卡沒也切換頻道的能力，所以沒有轉換頻道的彈性。

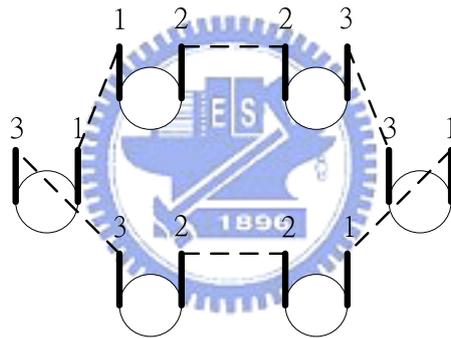


圖 1 靜態頻道分配方法

使用靜態頻道分配方法的相關研究很多。Draves et al. [7] 假設網路節點有兩張網路介面卡，讓每個節點的兩個網路介面卡固定在兩個頻道上(每個節點配置的頻道都相同)，長時間內不會有變動，使得節點可以同時傳送及接收增加整體產能，這類型的方法能保證網路連通性與只使用一個頻道的連通性相同。但實際上可用的頻道通常超過三個，會造成其他頻道的閒置，此類方法較不適用於一般實際網路上。

Hung et al. [8] 網路環境為多個網路介面卡多個頻道網路，每個節點使用一個控制網路介面卡對應一個控制頻道以及多個資料傳輸網路介面卡各自對應多個控制頻道，控制封包在控制頻道上發送，協調找出互相皆為可用的頻道之後，讓資料封包在資料頻道上進行傳輸。

以上兩篇限制條件為可用頻道個數與網路介面卡數量相同，但是針對一個頻道配置一張網路介面卡成本過高，而且會有頻道閒置的情況產生，所以[9]提出的架構是可以適用於網路介面卡數量小於可用頻道個數的網路環境，透過合適的頻道分配方法，考慮網路頻道使用情形及負載狀況，可以有效提高頻道利用度。不過這類方法設計要注意頻道的分配是否能保有網路的連通性，避免因為配置完頻道，卻與相鄰節點沒有共同的頻道導致網路分割(network partition)的情況發生。

以上方法的共通性是網路介面卡不需要切換頻道，網路連通性在決定頻道之後不會再有改變，也就是如果初始是連通的狀態那麼長時間下來也能保證是連通的網路狀態。此方法通常是使用在切換延遲時間較長的情況下。由於網路介面卡不會切換頻道，所以可以保證相鄰兩節點傳輸，收端節點絕對收的到送端節點的封包，不會有封包漏收情形。

但是此種方法也許並不適用於網路資料流動態變化的網路環境，因為沒有切換頻道的能力，所以如果鏈結的負載變大卻沒有因應的措施可用。還有一個情況是如果傳輸資料的目的端節點在送端節點的傳輸範圍內，但是雙方沒有相同的頻道，所以從送端節點到目的端節點必須超過一個跳躍才能到達，長期下來會造成網路的負擔。

## 2.1.2 動態頻道分配方法



動態頻道分配方法定義為所有網路節點的每個網路介面卡都是可以隨時動態切換到多個可用頻道上，可選擇的頻道集合有多個項目，不像靜態頻道分配方法在任一個時間點所能選擇的只有一個。因為網路介面卡有切換頻道的功能，所以可以隨時變動頻道，有很高的轉換頻道的彈性。如圖 2(a)之假設為原本這個拓樸一開始所配置的頻道，隨著網路情況的不同，網路上的所有網路介面卡，可以隨意切換到任意的頻道上與對方進行溝通，如圖 2(b)以及圖 2(c)。但是為了讓一條鏈結的兩端點在相同的頻道溝通，必須事先作協調欲溝通的頻道為何，以達到網路連通性，所以需要額外的溝通負擔(Communication overhead)，否則收端切換到別的頻道而送端不知道收端已經切換就會有漏收封包情況發生，導致網路點對點延遲上升。

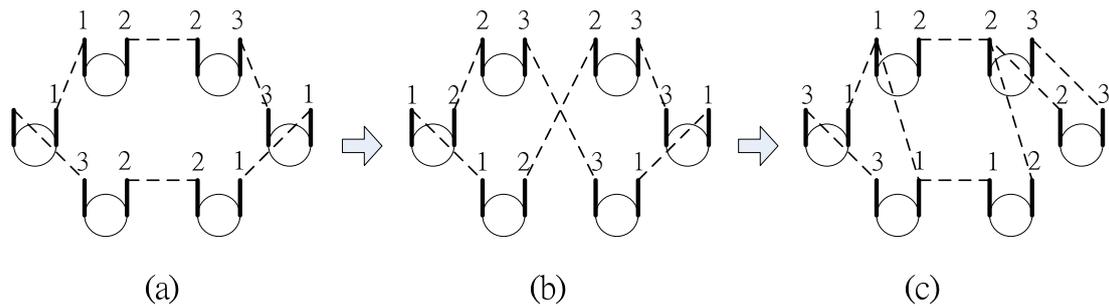


圖 2 動態頻道分配方法

動態頻道分配方法的相關研究如下。Choi et al. [10] 的每個網路節點只有一張網路介面卡，所在的網路環境為多頻道網路，頻道分配方式為一個頻道配置為控制頻道，其他的頻道配置為傳輸資料頻道，每個節點利用控制封包在控制頻道上發送，與周邊節點協調出一個頻道作為資料傳輸使用，利用 RTS、CTS，以及新增的 CONFIRM 封包在控制頻道上決定出資料頻道後，收送端節點從控制頻道切換至協調出的資料傳輸頻道進行資料的傳輸，傳輸完畢再把頻道切回控制頻到傳送最後的 ACK 封包。但是這個方法在節點切換網路介面卡到資料頻道上之後，會漏收控制頻道上的封包，而無法知道目前網路上其他節點的狀況甚至發生碰撞。

So et al. [11] 的方法也是每個網路節點只有一張網路介面卡，也是在多頻道網路，首先做法是把時間軸切割成多個信標間隔，然後再把信標間隔細分成 ATIM 視窗以及資料傳輸部份，所有節點必須在 ATIM 視窗期間切換到預設頻道進行 ATIM 封包交換，協調多組點對點傳輸以及欲傳輸的頻道，同時根據頻道使用情況決定各組傳輸的頻道，用以充分利用可用的頻道，等 ATIM 視窗期間結束，欲進行網路傳輸的節點各自切換到協調好的頻道上進行網路傳輸，直到下一次的信標間隔起始的時間點為止。此方法可以解決因為切換頻道導致漏收封包情況，但是必須花 ATIM 視窗時間在預設頻道進行協調，在此段時間其他的頻道閒置，沒有辦法達到最高的頻道利用率。

以上的方法都限定網路裝置要有切換頻道的功能，所以可以使用少量的網路介面卡就可以切換所有可用的頻道，提高網路頻道利用度。[11]還可以依據當時網路上頻道使用情況，決定各組協商的頻道，充分提升頻道利用度，增加網路效能。但是動態頻道分配的收送端都需要經過事先協商出傳送資料的頻道，保證收送端傳輸資料是在相同的頻道上，否則收端切換到別的頻道而送端不知道就會有漏收封包情況發生，導致網路點對點延遲上升。

### 2.1.3 靜動態混合頻道分配方法

靜動態混合頻道分配方法是近起年來新提出的方法，顧名思義就是把以上靜態以及動態的頻道分配方法做結合，這種架構需有兩張以上的網路介面卡達成，主要架構是一個網路介面卡固定在一個固定頻道上長時間內不會做切換頻道的動作，其他的網路介面卡可以在任一時間點做頻道的切換，充分運作於所有的頻道。因為結合了動態頻道分配方法，網路介面卡能切換到網路所有的頻道上各自進行資料傳送，保持動態頻道分配方法的轉換頻道很高的彈性，提高整體網路頻道的利用率。又結合了靜態頻道分配方法，所以兩個網路介面卡要溝通之前，周邊鄰居節點固定的網路介面卡配至哪個頻道都是固定不變的，不需事先進行溝通協調，只要切換頻道至對方固定用做接收的頻道即可進行溝通，完全沒有溝通頻道的負擔。所以是一個集合靜態與動態頻道分配方法兩者優點的方法。如圖 3，假設圖中每個節點左邊的網路介面卡皆固定在特定頻道，網路介面卡上的數值即其所配置的固定的頻道值，每個節點右邊的網路介面卡為動態切換頻道的網路介面卡，動態切換頻道的網路介面卡可隨時切換到欲傳輸對方的固定網路介面卡所在頻道上，如圖 3(a)、圖 3(b)以及圖 3(c)可以看出，只要收端的網路介面卡屬於自己的傳輸範圍內，想要進行溝通只要把頻道切換到對方的固定頻道即可，且不需要事先進行任何的頻道溝通協調，所以沒有需要額外的溝通負擔。

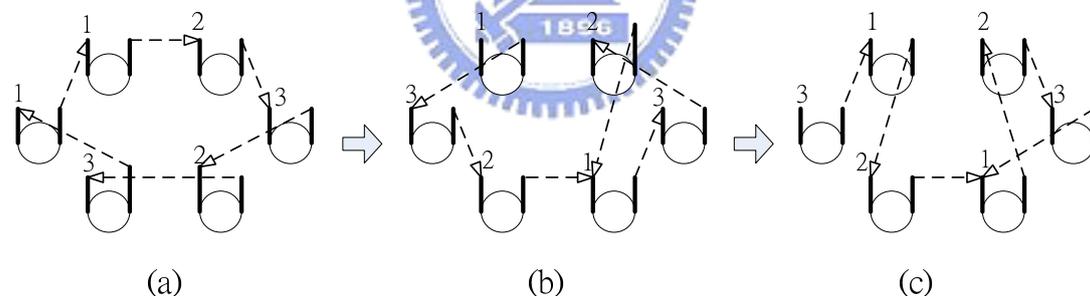


圖 3 靜動態混合頻道分配方法

Wu et al. [12] 屬於此類的架構，每個網路節點配置兩張網路介面卡，網路環境為多頻道網路，且可接受網卡總數小於頻道總數。一張網卡稱為控制網路介面卡，切換到控制頻道上，長時間內不會切換，同時與周邊節點進行控制封包的交換，協調傳輸資料的頻道；另一張網卡稱為資料傳輸介面卡，專門進行資料的傳輸，當一組收送端在控制頻道上協調出欲傳輸的頻道，就由資料傳輸介面卡切換到此頻道上，進行資料傳輸。值得注意的是在資料進行傳輸的期間，收送端還是有一張控制介面卡在控制頻道上監聽，不會像[10]會因為切換到其他頻道而有封

包漏收的情形出現。網路上的節點還能在控制頻道上得知目前網路上頻道的使用情形，所以欲在控制頻道上進行資料傳輸頻道的選擇，是可以根據網路上頻道使用率去決定一個能提升整體效能的頻道。

但是以上方法在資料傳輸前須作一連串的協調頻道，才能進行資料傳輸。另外若在網路頻道數大量的環境，因為只有一個控制頻道，所有的協調要在那個頻道上決定，會造成網路上充斥大量的控制封包，使得控制頻道成為網路的瓶頸。相反的，如果網路上可用的頻道過少，那麼整體網路頻道的利用率沒有辦法達到滿意的成效。網路介面卡的利用率方面，關於控制介面卡，因為沒有做資料傳輸的功能，所以利用度受限。

Kyasanur et al. [4]的方法能改善上述的情況，以下先做簡單介紹。這類的架構也是每個網路節點配置兩張網路介面卡，網路環境為多頻道網路，可接受網卡總數小於頻道總數。一張網卡稱為固定網路介面卡，會固定在固定頻道上監聽封包，長時間內不會切換固定頻道；另一張網路介面卡稱為可切換頻道網路介面卡，其所配置的頻道為可切換頻道，此網卡具有切換頻道的功能，能充分提高整體網路頻道的利用率。固定網路介面卡主要用途為決定傳輸資料的接收頻道，當送端欲傳輸資料給收端，送端即把可切換頻道網路介面卡的頻道切換到收端的固定頻道上即可進行傳輸(在此之前每個節點會先做廣播封包交換得知周邊鄰居節點的固定頻道資訊)，同時能保證網路的連通性(前提是網路上的拓撲為連通情形)。

此架構不需要事先讓收送端進行協調頻道，也不用作時間同步。不管網路上的可用頻道數量多寡，只要有一套良好的固定頻道配置，例如降低網路整體干擾，就能大幅提升網路整體效能。另外，每個網路介面卡同時作資料收送動作以及控制封包交換，不會有網卡利用度低的情況。隨著網路資料負載動態改變，此種方法能適應網路的負荷隨之改變，例如可以切換到負荷量較佳的頻道上。另外也解決了靜態頻道分配方法裡既使在傳輸範圍內卻因為頻道不同，使得增加總跳躍數(Hop count)的情況，因為這個方法只要收端在傳輸範圍內，就能經由查鄰居資訊的表格，得知對方的固定頻道，直接切換傳送資料，保證網路的跳躍數總數為最小。

## 2.2 整合比較

由以上三個方法的架構差異，我們可以整理得到如表 1 的比較。首先我們比較額外的溝通負擔，因為動態頻道分配方法的每個網路介面卡會隨時的切換，無法得知收端網路介面卡所在的頻道為何，必須事先進行溝通的動作才能知道，所以有較高的額外溝通負擔，但是相較於靜態頻道分配方法以及靜動態混合頻道

分配方法，因為這兩個方法有固定頻道不進行切換的網路介面卡，可以確定收端的網路介面卡的頻道，所以是完全沒有額外的溝通負擔。

表 1 頻道分配方法整合比較表

頻道分配方法	靜態頻道 分配方法	動態頻道 分配方法	靜動態混合頻道 分配方法
額外的溝通負擔	無	高	無
單一網卡對所有頻道的使用率	低	高	中
送端介面卡知道收端介面卡的頻道	可	無法得知	可

另外因為靜態頻道分配方法沒有可以切換頻道的網路介面卡，一旦配置完頻道後，就只會在所決定的頻道上溝通，對一個網路介面卡來看，就算所在的是多重頻道的網路環境，沒有能力使用其他的頻道，無法提高所有頻道的使用率；而動態頻道分配方法以及靜動態混合頻道分配方法因為擁有可切換頻道的網路介面卡，所以對此網路介面卡來看，有能力切換到所有的頻道上，大大增加網路頻道的使用率。所以由整理的表格可得知，在一般的網路情況下，靜動態混合頻道分配方法可以補足靜態頻道分配方法以及動態頻道分配方法的缺點，且具備兩者的優點。

針對以上方法，我們會在多重頻道多重天線無線網狀網路的環境底下，會做一系列的觀察探討，同時進行網路實驗模擬，印證我們的觀察。



## 第三章 觀察分析

因為這三個方法最主要的差別是在於網路介面卡是否有切換頻道的能力，在不同的網路情況下會有各自的好處，有這樣差別的產生是因為它們頻道分配方法架構本身的差異性，所以在這個章節，我們探討在不同的網路情況中，針對靜態頻道分配方法以及靜動態混合頻道分配方法，進行一系列不同觀點的分析觀察，推論在特定環境中因為架構本身特性的不同，使得不同的方法之間會有怎樣的差別。

### 3.1 解空間的觀察

在多重頻道多重天線無線網狀網路環境底下，對任一網路拓樸，若要能在這網路進行資料傳輸與溝通，首先最重要的是這個網路是否具有連通性。假設給定的網路拓樸在尚未決定每個介面卡的頻道之前，是保有連通性的，但是在決定網路介面卡的頻道之後，卻可能因為一條鏈結上的兩個網路介面卡配置了不同的頻道，導致此鏈結不能連通，這種情況如果很嚴重，甚至會造成網路分割(Network partition)而失去連通性。我們舉例來說明這類問題的情形。

如圖 4，ABCD 四個點，圖 4(a)為尚未決定每個網路介面卡頻道時的網路拓樸連通情形，有虛線連通即互相在傳輸範圍內可溝通的，網路上每個節點都可互相到達，表示這個網路拓樸本身是具有連通性的。首先我們決定網路介面卡頻道之後，如圖 4(b)，節點 A 與節點 C 都配置頻道 1 與頻道 2，節點 B 與節點 D 都配置頻道 3 與頻道 4，在這樣的配置決定之後，這個網路有分割的情形發生，這是因為頻道配置的不佳造成。這樣的情況會發生在靜態頻道分配方法的網路環境中，因為網路介面卡沒有切換頻道的能力，即使對方在自己的傳輸範圍內，若沒有配置相同的頻道，造成這條鏈結不連通。類似的例子如果套用在靜動態混合頻道配置方法，如圖 4(c)，假設每個節點的固定頻道網路介面卡為左邊的介面卡，右邊的網路介面卡為可切換的網路介面卡，若四個節點之固定頻道網路介面卡都配置完全不同的頻道，因為右邊的介面卡具有切換頻道的能力，所以只要是傳輸範圍內的網路介面卡，都可以隨意切換到其固定頻道上，保有最初未配置頻道時的連通性，絕對不會有網路分割情形發生。

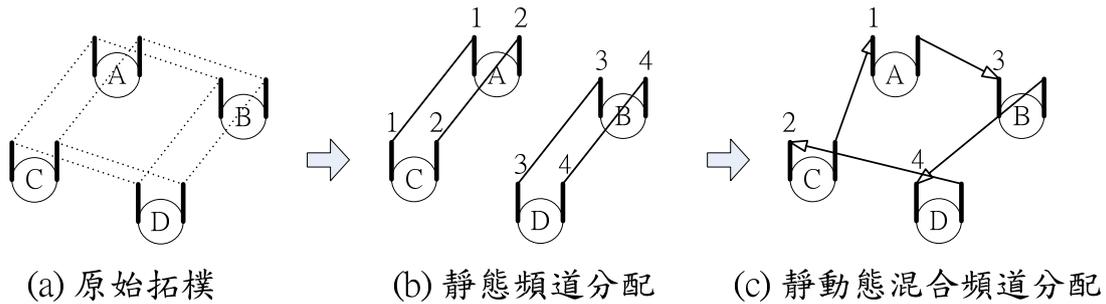


圖 4 解空間的觀察

所以由以上例子我們可以推論，如果我們給定一個本質上是可連通的網路拓樸，分別使用靜態頻道分配方法以及靜動態混合頻道分配方法隨意去找一組頻道配置，靜態頻道分配受限於頻道配置後可能不連通造成網路分割，所以靜態頻道分配方法在找頻道配置時需增加必須保有連通性的條件，反之靜動態混合頻道分配方法本身架構保證必定會連通，所以任一組頻道配置都是可行的。所以我們能保證用靜態頻道分配方法找出來的可連通的頻道配置數，不會比靜動態混合頻道配置找出來的可連通頻道配置數多。我們稱這樣的頻道配置為在不同頻道分配方法底下的可行解(Feasible solution)。所以也可以解釋就從最佳解空間的觀點來看，靜態頻道分配方法找出的每個可行解多了必須保有連通性的條件，而靜動態頻道分配方法的每個解都可保證連通性，所以每個解都是可行解，由此可推論靜態頻道分配方法的解不會比靜動態混合頻道分配方法的解多，而且靜態頻道分配方法的解集合必定是靜動態混合頻道分配方法解集合的子集。

### 3.2 最短路徑的觀察

在多跳躍(Multi-hop)的網路環境中，兩個網路上的非相鄰網路節點欲進行資料的傳送，可以有許多路徑的選擇到達目的端，但是我們儘可能走最短的路徑以減少端點對端點的延遲(End-to-end delay)，增加經濟效應。

在多重頻道多重天線無線網狀網路環境底下，若我們給定一個本質上必定保證連通性的網路拓樸，在給定所有網路介面卡一組頻道分配之後，如果對任意兩端點欲找出最短路徑，很有可能因為受頻道分配的限制，最短路徑上的某一鏈結兩個網路介面卡配置不同的頻道變成無法連通，那麼找出來最短路徑可能會比原始尚未配置頻道前的最短路徑還要長，如果我們目前先不考慮介面卡有無切換能力。以下舉例子來解釋：

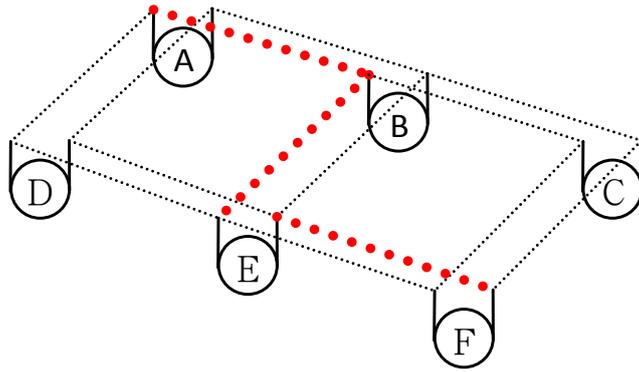


圖 5 原始拓樸之最短路徑

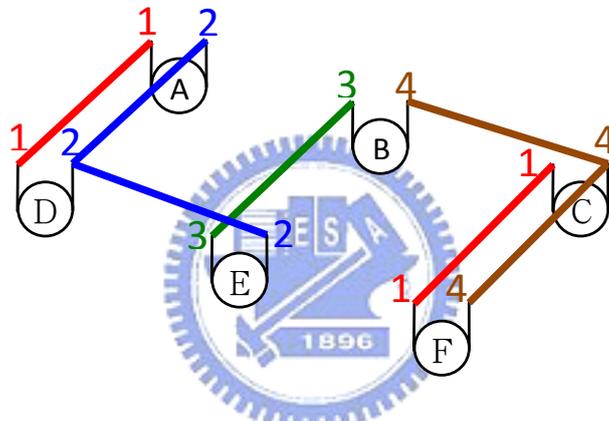


圖 6 靜態頻道分配之最短路徑

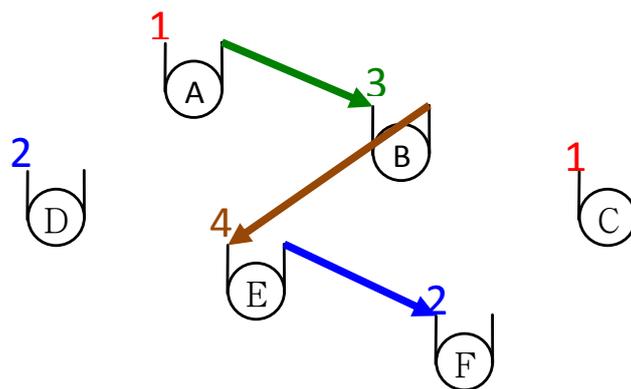


圖 7 靜動態混合頻道分配之最短路徑

假設圖 5 為原始的網路的拓樸，有虛線連通表示在傳輸範圍內是可溝通

的，在這組網路拓樸中針對節點 A 到節點 F 兩點找最短路徑，假設經由最短路徑演算法找出來 shortest 路徑為圖 5 粗虛線所示，路徑為 A-B-E-F，由節點 A 送到節點 F 只需要兩個節點幫忙轉送。

另外針對靜態頻道分配以及靜動態混合頻道分配，我們分別找出一組能降低干擾的頻道分配，至於如何找尋這樣能降低干擾的頻道分配會在下一章節詳細說明，圖 6 為靜態頻道分配方法，每個節點上的網路介面卡配置的頻道如圖上所示，舉例來說節點 A 配置的頻道為頻道 1 與頻道 2，節點 B 配置的頻道為頻道 3 與頻道 4，以此類推下去。在這組頻道分配決定之後，由節點 A 到節點 F 走的最短路徑為 A-D-E-B-C-F，所以必須需要四個節點幫忙轉送，比原本的多了兩個，原本節點 A 到節點 B 這條鏈結是屬於最短路徑上的鏈結，但是由於雙方分配的頻道沒有交集，導致這兩個節點雖然在傳輸範圍內，卻不能溝通而必須繞路，圖 7 為靜動態混合頻道分配方法，每個節點左邊的網路介面卡為固定頻道的網路介面卡，介面卡上的數字表示其所配置的頻道，右邊為動態切換頻道的網路介面卡，若在這組頻道分配下找出的節點 A 到節點 F 的最短路徑為 A-B-E-F，與原始拓樸所找的最短路徑相同，這是因為靜動態混合的連通性可保證與原始拓樸相同，只要是傳輸範圍內的網路介面卡必可連通，只要是原始拓樸存在的鏈結，在配置頻道後仍然存在。

由此例子發現靜態頻道分配方法所找出來 shortest 路徑，會受限於所分配的頻道，可能原始拓樸 shortest 路徑上的鏈結，因為頻道配置之後鏈結兩端的網路介面卡沒有交集的共同頻道而不連通，既然不連通就必須要另外找路徑，導致找出來 shortest 路徑不是原頻道時網路拓樸找出來 shortest 路徑，但是因為靜動態頻道分配方法，不會因為頻道配置之後有與鄰居不連通的情形發生，只要是傳輸範圍內的網路介面卡，就能與之傳輸，只需切換與其相同的頻道即可，所以找出來 shortest 路徑必定跟原始未決定頻道時的網路拓樸所找出來 shortest 路徑相同。

由以上的觀察可以推論靜態頻道分配方法之 shortest 路徑長度不會比靜動態混合頻道分配方法之 shortest 路徑長度短，所以靜態頻道分配方法之點對點延遲不會比靜動態混合頻道分配方法的點對點延遲短。

### 3.3 變動網路環境的觀察

在真實網路中的資料流樣式(Traffic pattern)大多為隨時間任意變動的，如果網路中的資料量很大，且網路拓樸中的每個鏈結的負載量(Link loading)不均，有的鏈結可能負荷很重，大量的資料流同時競爭網路頻寬，或者造成大量封包掉落；有的鏈結卻可能負載量低，甚至沒有完全的利用網路頻寬造成浪費。在這樣的網路情況中，如果我們能夠適時的根據網路上每個頻道的負載情形，調整資料

流所走的路徑，避開負載量很嚴重的頻道，那麼就可以大大提升網路的生產率。舉以下例子詳細說明情形。

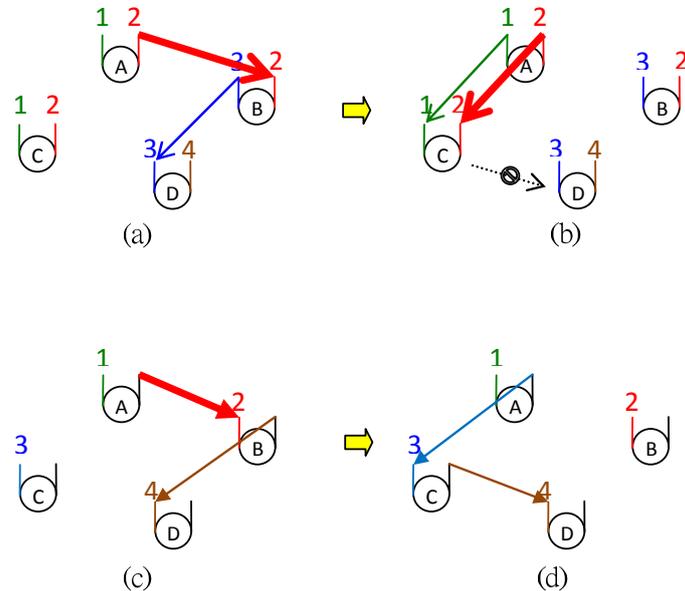


圖 8 變動網路環境之觀察

以圖 8 解釋靜態頻道分配方法以及靜動態頻道分配方法，在不均的鏈結的負載量網路情況中之應變情況。圖 8(a)與圖 8(b)為靜態頻道分配方法，圖 8(c)與圖 8(d)為靜動態混合頻道分配方法。對以上的拓樸假設目前資料流是由節點 A 到節點 D。首先觀察靜態頻道分配方法，從節點 A 要傳送資料給節點 D，圖 8(a)為原始使用最短路徑所決定出來的路徑，也就是 A-B-D 這條路徑，假設由於網路周邊環境影響，節點 A 與節點 B 使用的頻道 2 的網路非常的壅塞，在圖中我們用較粗的線條表示，由節點 A 送到節點 D 的資料若能繞徑到達目的端避開碰撞或干擾很嚴重的頻道，那麼將能大大提升產能。但是 A 點若避開頻道 2 改從節點 C 用頻道三想送資料到目的端，卻因為節點 C 與節點 D 之間沒有交集的頻道，且靜態頻道分配方法的網路介面卡皆為固定頻道沒有切換頻道功能，所以節點 A 無法藉由節點 C 到達節點 D，如圖 8(b)，無法避免鏈結負載量很高的頻道。

另外若是靜動態混合頻道分配方法也是從節點 A 傳送資料到節點 D，圖 8(c)為原始用最短路徑演算法所決定出的路徑為 A-B-D，若節點 A 與節點 B 使用的頻道 2 的網路非常的壅塞，在圖中亦以粗體線表示此鏈結的頻寬負載很重，那麼靜動態混合頻道分配方法，可以轉換可切換頻道網路介面卡的頻道，至其他負載量較低的頻道與其他人進行資料傳輸，也就是把動態網路介面卡切換到頻道 3

把資料傳送給節點 C，節點 C 再把動態網路介面卡切換到與節點 D 固定頻道相同的頻道 4 把這筆資料送到目的端，如圖 8(d)，這一條傳輸也可以順利的避開了干擾很嚴重的頻道 2，減少碰撞的發生。

在此類的網路環境中，如果我們同時讓靜態頻道分配方法以及靜動態頻道分配方法能進行干擾繞境的功能，也就是我們以目前的每個頻道的負載量當作我們決定路徑的考量，避免在負載量很高的頻道上傳送資料。因為靜動態混合頻道分配方法的網路介面卡有轉換頻道的能力，當它偵測出某個頻道的負載量很大，而且目前轉送資料的節點的網路介面卡也是這個頻道，那麼接著要送資料時，它可以切換到其他負載量較小的頻道透過其他節點轉送到達目的端，避免在負載量很大的頻道上傳送資料。而靜態頻道分配方法，也是可以做這樣改變繞徑的行為，但是因為只會固定在與網路介面卡個數那麼多的頻道上，而且又沒有切換頻道的能力，所以可以選擇傳送的頻道很少，數量與網路介面卡個數相同，當某個節點偵測出某個頻道的負載量很大，而且他剛好也是配置這個頻道，但是因為架構本身的特性，必須長時間固定於特定頻道上而不能切換，若從另一張網卡傳送資料出去也不能保證絕對能連通，因為受限於頻道的分配。所以我們可以推論靜動態混合頻道分配在變動資料流樣式環境的網路下因為有切換頻道的能力，所以能夠適應鏈結負載量的變化，調整資料流所走的路徑，同時能提升網路的生產率，降低端點對端點的延遲。



## 第四章 頻道分配選取與繞徑選取

在這個章節，我們討論對於以上的三個頻道配置方法的觀察，若要對其達到真正公平的比較，就必須都要使用相同的頻道分配來進行模擬。在此使用的目標函數是對頻道分配計算所有鏈結的干擾，用這種計算方式去找出在最差情況下干擾值最小的頻道分配。

在此所使用的網路環境為每個節點都有兩個網路介面卡，且每個網路介面卡的傳輸範圍都是固定長度，所在的網路為多重頻道的無線網路。

### 4.1 計算干擾的方式

由前面所提到的，根據媒介存取控制協定，我們要找的頻道分配方法，必須要達到一個觀念，就是當一條鏈結使用某個頻道進行傳輸，在這條鏈結的干擾範圍內，同一個時間點使用相同頻道進行傳輸的鏈結要越少越好，否則這些無法同時進行資料傳輸，長時間下來，生產率以及網路容量勢必會被分享。所以這個部分主要重點就是我們怎麼找一個有公正的方法去計算一個網路拓樸的干擾值，並且要讓我們所決定出來的頻道分配方法的整體干擾值越低越好。所以我們使用一個[13]所提出來計算干擾的方法，分別對靜態頻道分配方法與靜動態混合頻道分配方法計算單一鏈結的平均干擾值。

我們舉以下例子說明如何計算一個網路拓樸的干擾值。圖 9 為原始的網路拓樸連通情形，在圖中有虛線相連表示網路介面卡互相在傳輸範圍之內，所以是可以溝通傳送資料的。

接著把此網路拓樸擴大到網路介面卡的角度來看，如圖 10 所示，每個節點都有兩張網路介面卡，分別為網路介面卡 0 以及網路介面卡 1。我們給定此拓樸一組頻道分配，每個節點所配置的頻道如圖 10 所示。

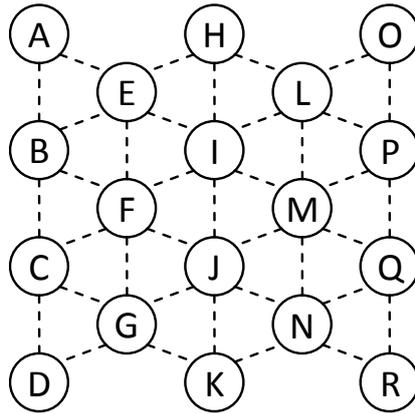


圖 9 原始拓樸連通情形

當網路中一條鏈結在一頻道上進行資料傳送，在干擾範圍內，我們想得知的是有多少鏈節無法與此鏈結同時運作，會影響這條鏈結傳輸的有兩種可能性。第一個是在干擾範圍內使用與此鏈節相同頻道的鏈結(Interfered links)，第二種鏈結(Blocked links)是此鏈結的兩端網路介面卡若忙於在此鏈結上進行溝通那麼這兩端網路介面卡無法進行與其他鄰居節點的溝通。以圖 10 例子來看，我們來計算節點 I 介面卡 1 與節點 J 介面卡 1 使用頻道 1 連結成的鏈結之干擾值。因為節點 I 介面卡 1 與節點 J 介面卡 1 若處於忙碌狀態，那麼這些網路介面卡與周邊網路介面卡的鏈結就被佔用了，即使使用不同的頻道也無法進行溝通，如圖 10 之虛線即被佔用的鏈結，總共有 22 條。另外一類無法與此鏈結同時運作的即干擾範圍內與此鏈結使用相同頻道的鏈結，如圖中之實線的鏈結，都為此鏈結干擾範圍內使用頻道 1 的鏈結，因為在干擾範圍內所以無法與節點 I 介面卡 1 與節點 J 介面卡同時運作，總共有 8 條。所以節點 I 介面卡 1 與節點 J 介面卡這條鏈結的干擾值我們記為  $22+8=30$ 。用這樣的方法去計算整個網路的所有鏈結的干擾值，最後總合起來在除以總鏈結數，即為我們真正想得到的網路拓樸的干擾值。

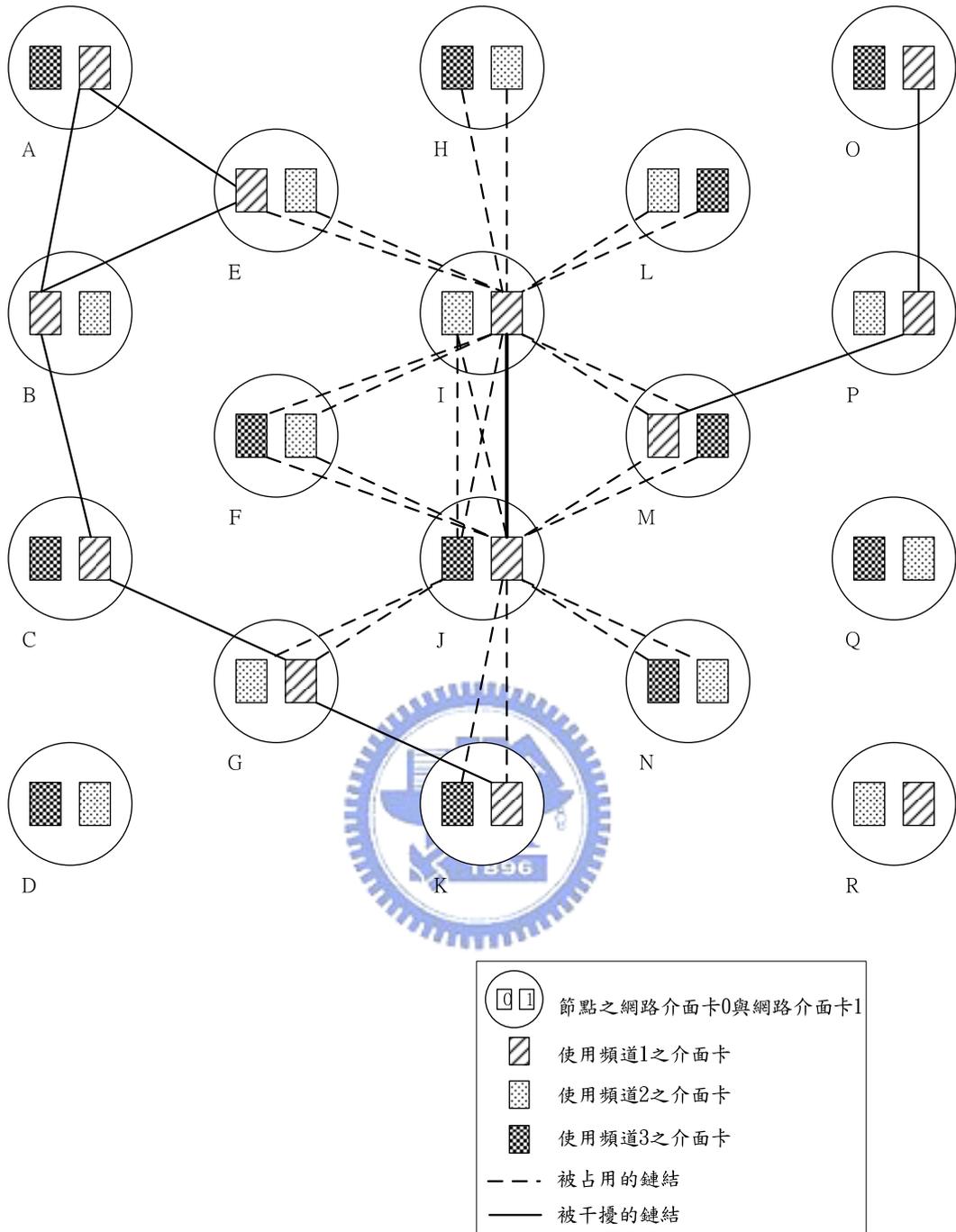


圖 10 計算干擾值

在我們實驗所取得的頻道配置，就是使用這種計算方式，對於小型網路，也就是節點個數較少的網路，我們是使用暴力法頻道配置去求得最佳頻道配置；針對較多節點的網路環境，我們選擇的是隨機決定網路拓樸每個節點的頻道，亂數取兩萬次以干擾值最低的頻道配置做為我們模擬時所使用的拓樸，為一個近似最

佳解的頻道配置。

## 4.2 基於干擾程度調變繞徑

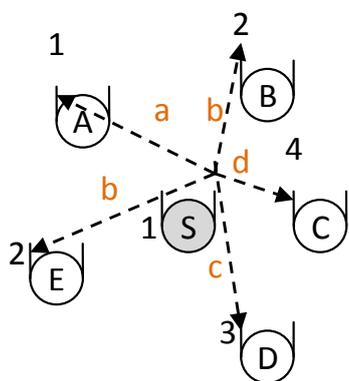
在第三章提到，我們變動資料流樣對靜態頻道分配方法以及靜動態混合頻道分配方法做觀察，為了要能驗證上述的觀察，我們在這邊增加了一個繞境方法，是一個可以根據周邊網路干擾程度去決定網路封包傳送出去的下一個節點為何而避開負載量很高的頻道進行傳送。以下舉例子介紹我們的動態繞境方法。

如圖 11，首先我們以 S 節點的角度來看靜動態混合頻道分配方法。所有節點在一段 T 間隔的時間內計算自己在每個頻道上發送的封包數，在 T 時間結束後把這樣的資訊包起來廣播出去給網路上的鄰居節點更新。以 S 節點為觀點，當他收到他鄰居節點 A~E 的傳送封包資訊後，廣播給網路上所有節點，將所有鄰居節點以及自己在每個頻道上發送的封包數總合後，S 節點到鄰居節點鏈結的花費(cost)，我們就設定成這條鏈結的頻道的封包數總和。以圖 11 來說，節點 S 到節點 A 的鏈結所使用的頻道為頻道 1，根據 S 在 T 時間計算得到的封包資訊如表格所列，那 S 查表得知頻道 1 的花費為 a，那麼 S 就設定這條鏈結的花費為 a，以此類推，S 節點到 B 節點 E 節點的鏈結花費為 b，到節點 C 為 d，節點 D 為 c。配置完再以這樣的個別鏈結的花費套用在最短路徑演算法，只是現在我們考慮的不是最短路徑而是最短干擾值的路徑，用這種方式找出來路徑必為干擾值較小的路徑。

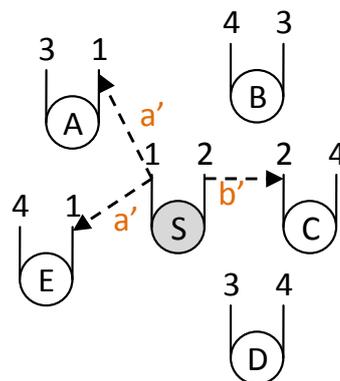
另外若是靜態頻道分配方法，我們也是讓所有節點在 T 間隔時間內計算自己傳送出去的封包量，T 時間結束也是把這樣的資訊廣播給自己的鄰居節點，加總完在廣播給所有網路節點，以圖 11 之 S 節點來說，S 節點在 T 時間之後當他收到他鄰居節點的傳送封包資訊，將所有鄰居節點以及自己在每個頻道上發送的封包數總合後，S 節點到鄰居節點的鏈結花費也是配置這個鏈節用的頻道的 T 時間內總封包數，只是因為靜態頻道分配方法的網路介面卡沒有切換的能力，所以他所能配置的鏈結花費只有與鄰居相同頻道的鏈結，以圖 11 來說 S 節點配置頻道 1 與頻道 2，與周邊的鄰居節點受限於頻道的配置，不能完全的跟鄰居相連，所以只能配置節點 S 到節點 A 及節點 E 的鏈結為頻道 1 的鏈結花費 a'，節點 S 到節點 C 的鏈結為頻道 2 的鏈結花費為 b'，其他節點就算是在他的傳輸範圍內但是沒有交集的頻道而不連通所以選擇變少了，決定玩這些花費後也是使用最短路徑演算法決定出一條最短干擾花費的路徑。

在下一個章節變動資料流樣式的部分，我們所採用的就是這樣的繞徑方法，比較未使用干擾程度調變的繞境方法以及使用干擾程度調變繞徑方法的差異，並且比較靜態頻道分配方法與靜動態混合頻道分配方法，同時都使用干擾程度調變

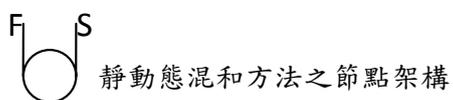
的繞徑方法各自能增加多少效能。



(a) 靜動態混和頻道分配方法



(b) 靜態頻道分配方法



1	a
2	b
3	c
4	d

在 T 時間內 S 節點  
收到的總干擾資訊

1	a'
2	b'
3	c'
4	d'

在 T 時間內 S 節點  
收到的總干擾資訊

圖 11 干擾調變繞徑方法蒐集封包部分



## 第五章 實驗分析模擬

在這個章節我們主要是進行實驗模擬用來印證我們之前對靜態頻道分配方法以及靜動態混合頻道分配方法所做的一系列實驗分析。

我們使用的網路模擬軟體為 NS2 (The Network Simulator version 2)[14]，版本為 ns-allinone-2.29。靜態頻道分配方法以及靜動態混合頻道分配方法所使用的網路媒體控制協定為 IEEE 802.11 所制定的網路媒體控制協定。網路上的每個節點裝置兩張網路介面卡，每張網路介面卡的傳輸範圍為 250 公尺，每個節點不具有移動性的性質，固定在特定地點即不再改變，網路介面卡可使用的頻道最少為 3 個最多為 5 個。資料傳輸設定的部分，我們所使用的資料流型態為應用層 (Application layer) 的固定位元率 (Constant Bit Rate，簡稱 CBR)，每條資料串流的起終點隨機產生，產生的封包大小皆為 1024Bytes。網路拓樸為隨機產生，且產生拓樸圖為必須原始即具有連通性的網路拓樸。對此網路拓樸使用第四章所提到的計算干擾的方式，分別替靜態頻道分配方法以及靜動態混合頻道分配方法決定一組頻道分配。對於小型網路(網路節點個數較少)使用暴力法找到最佳的頻道分配，對於大型網路(網路節點個數較多)使用隨機配置頻道，進行兩萬次頻道分配取得這兩萬次干擾值最低的頻道分配。再把這兩個頻道分配拿去對網路拓樸進行實驗模擬。

首先我們會針對靜態及靜動態混合頻道分配方法進行上述最短路徑的觀察，調整網路節點觀察路徑長度及點對點延遲差異。接著隨著時間變動網路上的資料量，使用上一章所提到的干擾程度調變繞徑方法，觀察網路上效能的變化情形。

### 5.1 最短路徑

在第三章觀察的部分我們就已經探討過，對任意的網路拓樸，使用靜態頻道分配方法以及靜動態混合頻道分配方法找出一組干擾低的頻道分配，靜態頻道分配方法在此受限頻道分配，找出的網路內任意點對點的最短傳輸路徑，絕對不會比靜動態混合頻道分配來的短。原因是可能靜態頻道分配方法配置頻道之後使得原本屬於最短路徑上的鏈結不連通，導致必須繞路才能到達目的端，而增加了路

徑長度。

表 2 頻道分配之最小網路干擾值

(a) 靜動態混合頻道分配之最小網路干擾值

	20個節點	30個節點	40個節點	50個節點	60個節點	70個節點
3個頻道	14.5476	46.3709	95.677	176.096	196.385	217.364
4個頻道	11.9048	37.8378	72.1706	124.811	138.081	166.444
5個頻道	10.2857	34.6585	62.0233	103.974	112.99	143.819

(b) 靜態頻道分配之最小網路干擾值

	20個節點	30個節點	40個節點	50個節點	60個節點	70個節點
3個頻道	18.92	45.0578	107.582	209.349	238.015	249.89
4個頻道	17.1053	35.4959	83.5154	162.839	183.375	203.028
5個頻道	16.4286	30.4215	70.2511	134.453	150.935	174.859

首先我們探討靜態頻道分配方法以及靜動態混合頻道分配方法對固定資料流的總路徑長度以及路徑增加比例。網路實驗環境為 800 公尺\*800 公尺網路環境，節點個數隨機決定位置，從 20 個每次遞增 10 個節點直到 70 個節點，拓樸的決定條件為原始必連通的網路拓樸，頻道個數為三個、四個以及五個，對每個不同的網路拓樸給定最佳的頻道分配，所有的網路拓樸都給定隨機選取十次 50 條固定位元率為 1024000b 的資料串流，但是對靜態頻道分配方法以及靜動態混合頻道分配方法所使用的拓樸以及資料串流設定都是相同的。頻道分配產生方式是由第四章所提到的使用最小干擾值的頻道分配，本實驗所使用的頻道分配網路干擾平均值如表 2。表 2(a)為靜動態混合頻道分配取得的最低網路干擾值，表 2(b)為靜態頻道分配取得的最小網路干擾值，分別對不同拓樸的頻道分配計算。就單一拓樸而言，隨著可用頻道數量漸增，網路干擾值亦漸減。在固定範圍的網路拓樸節點增加，即密度增加，鏈結數也隨著增加，相對來說干擾值也比較高。

表 3 靜態頻道分配對靜動態頻道分配之最短路徑增加百分比

跳躍數		20個節點		30個節點		40個節點	
5個頻道	static	184.1	35.9675 %	138.7	18.547 %	124.1	13.9578 %
	hybrid	135.4		117		108.9	
4個頻道	static	153.3	13.2201 %	127.9	9.31624 %	115.7	6.24426 %
	hybrid	135.4		117		108.9	
3個頻道	static	135.4	0 %	117	0 %	108.9	0 %
	hybrid	135.4		117		108.9	
跳躍數		20個節點		30個節點		40個節點	
5個頻道	static	125.8	13.5379 %	121.4	10.4641 %	120.4	10.4587 %
	hybrid	110.8		109.9		109	
4個頻道	static	117	5.59567 %	115.2	4.82257 %	126.1	4.21488 %
	hybrid	110.8		109.9		121	
3個頻道	static	110.8	0 %	109.9	0 %	121	0 %
	hybrid	110.8		109.9		121	

而最短路徑長度的結果如表 3，當網路頻道個數高達 5 個，20 個節點的網路拓樸對靜態頻道分配方法的平均路徑長度為 184.1，隨著頻道個數減為 4 個，同樣的資料串流卻使的平均路徑長度降為 153.3，直到三個頻道的時候才與靜動態混合頻道分配方法的平均路徑長度相同(135.4)。所以 5 個頻道時靜態頻道分配方法的路徑長度增加比例為 35.9675%，4 個頻道時為 13.2201%，3 個頻道增加比例為 0%。3 個頻道時靜態頻道分配方法的頻道配置必定保持連通性與尚未配置時相同，也就是與靜動態混合頻道配置的連通性相同，因為任兩個鄰居節點，總共會有 4 個網路介面卡要配置 3 個頻道，我們限定同一節點的兩張網路卡配置不同的頻道，所以至少會有一條的鏈結產生。

如果網路拓樸的範圍固定，隨著網路節點個數增加，所以網路密度也增加，靜態頻道分配方法的最短路徑長度的增加百分比也隨著節點數增加慢慢下降，四個以上頻道的網路環境還是比原始拓樸的最短路徑多出 5%~10%左右的總路徑長度(圖 12)。

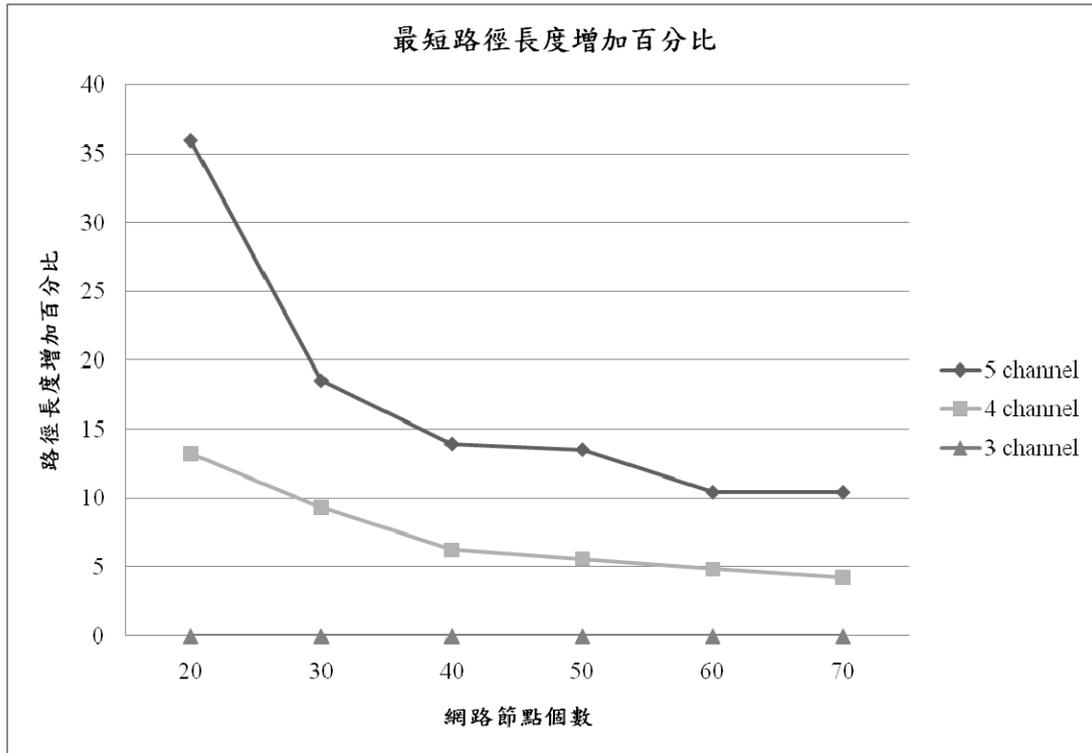


圖 12 最短路徑增加百分比

不過即使靜態頻道分配方法隨著頻道增加或者節點個數增加，使得路徑長度慢慢減少，但是造成的延遲相對於靜動態混合頻道分配方法還是來的高，如圖 13。另外靜動態混合頻道分配方法雖然隨著頻道個數增加，跳躍數保持相同，但是延遲時間仍然有明顯差異，這主要是因為不同頻道個數會造成有不同數值的整體干擾值。隨著頻道個數減少，干擾值越高，所以延遲時間相對也比較高。網路節點個數增加，代表密度增加，干擾值也增加，所以延遲時間也相對提高。

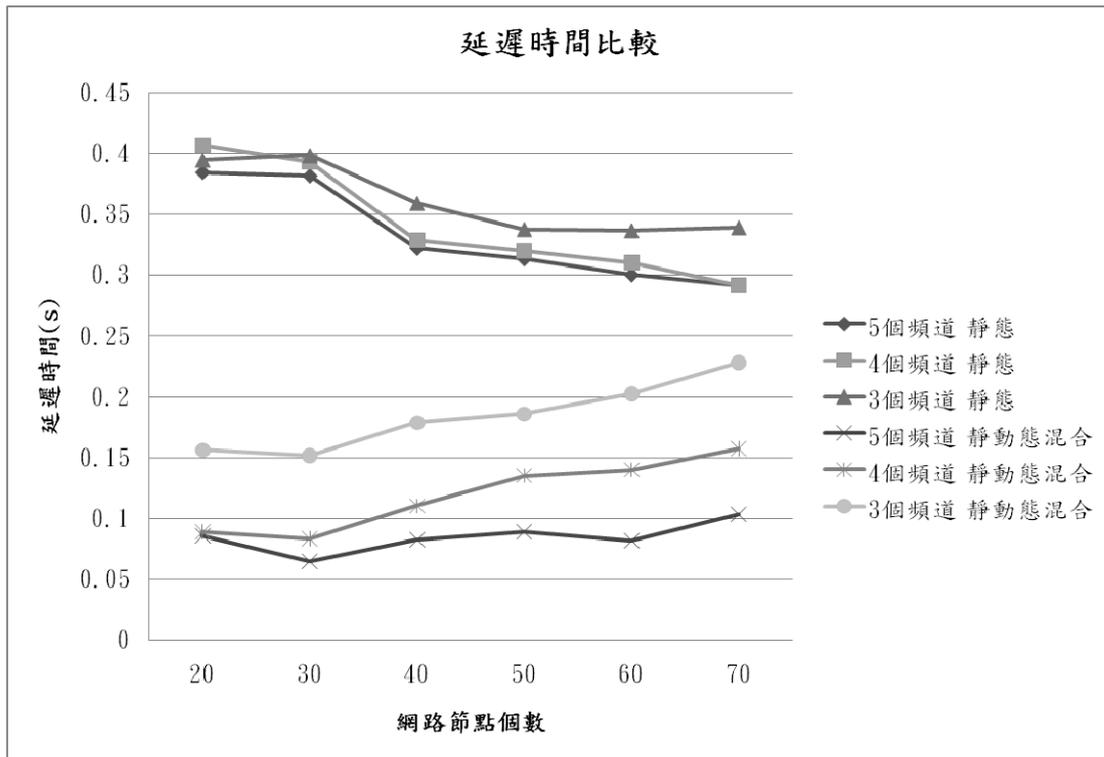


圖 13 靜態頻道分配與靜動態頻道分配延遲時間比較圖

## 5.2 變動資料流樣式



我們在前面第三章的觀察已經提到過，如果網路的資料量很大，傳送資料過程中，可能會造成網路拓樸中每個鏈結的負載量不均，如果我們能搭配第四章所提到的依據干擾程度調變繞徑對此網路進行調整資料流的路徑，避開負載量很嚴重的頻道，選擇負載量較低的頻道的路徑傳送資料，除了可能可以使得網路的負載量趨近於均勻以外，還可能提高整體網路的效能。

所以這個小節的模擬我們就來驗證這樣的推論。在網路設定方面，這部分的實驗模擬為 20 個網路節點，總模擬時間為 100 秒，為了有變動資料量的情況，所以我們設定每 20 秒就產生 40 條固定位元率的資料流，所以總共有 200 條的資料流隨著時間慢慢啟動，這些資料流的位元率設定為 512000 b，對靜態頻道分配方法以及靜動態頻道分配方法使用第四章所提到的依據干擾程度調變繞徑方法。

表 4 調整 T 時間間隔

間隔(s)	0	1	2	3	4	5	6
產能(Mbps)	10.023	10.388	10.604	11	11.09	11.65	11.58

首先我們先來看這樣的方法是否可行的。在這個實驗模擬我們先暫時不變動網路的資料流樣式，也就是這個模擬我們是以時間軸為橫軸，觀察此方法的運作情形。變動繞境的頻率我們選擇 5 秒，主要是依據表 4，此表格表示不同的時間間格變動繞徑，平均的產能，可以發現在 5 秒的時候具有最佳的產能，所以之後的實驗我們都以 5 秒做為變動繞境的時間間隔。

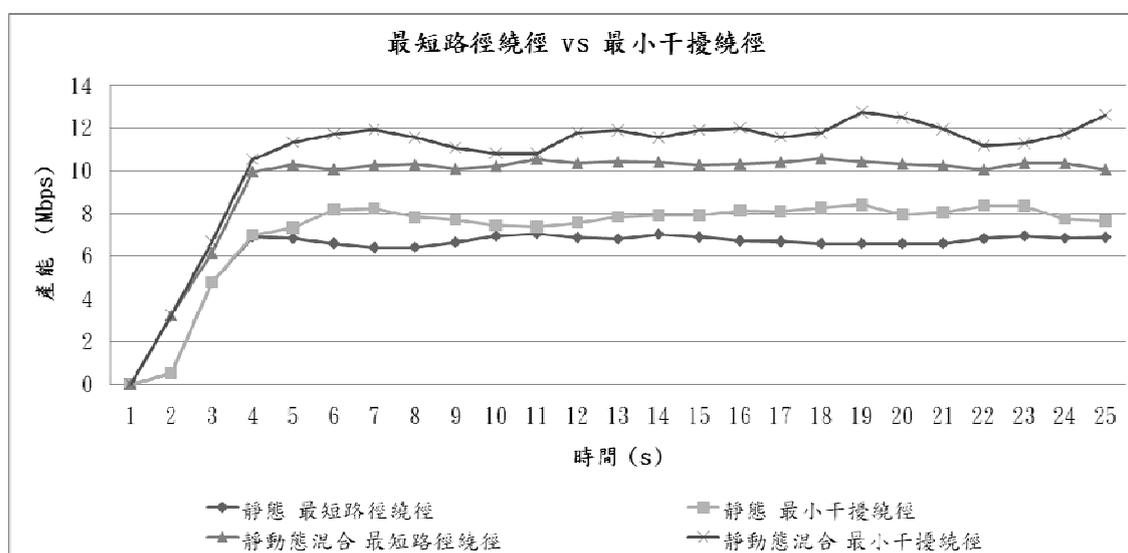


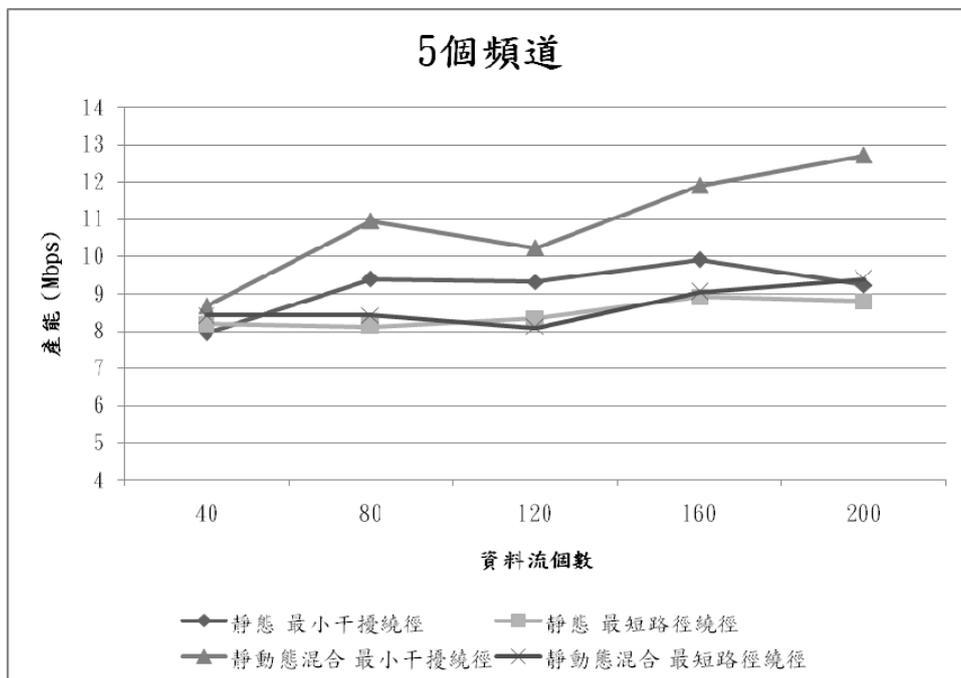
圖 14 最小干擾繞徑與最短路徑繞徑之比較

資料流的設定為一開始就全部啟動，如圖 14 為對靜態頻道分配方法以及靜動態混合頻道分配方法最小干擾繞徑與最短路徑繞徑之比較。首先我們討論圖中的四條曲線，可以發現使用最小干擾繞徑的效能整體來說比使用最短路徑繞徑的效能要來的高，所以證明這個繞徑的方法是可行的。但是不管使用何種繞徑方法，靜動態混合頻道分配方法的效能整體都比靜態頻道分配方法來的好。而且可以發現靜動態混合頻道分配方法使用最小干擾繞徑提升的幅度比較高。這主要是因為靜態頻道分配方法受限於頻道的配置影響連通性，可選擇的路徑比靜動態混合頻道分配方法少。

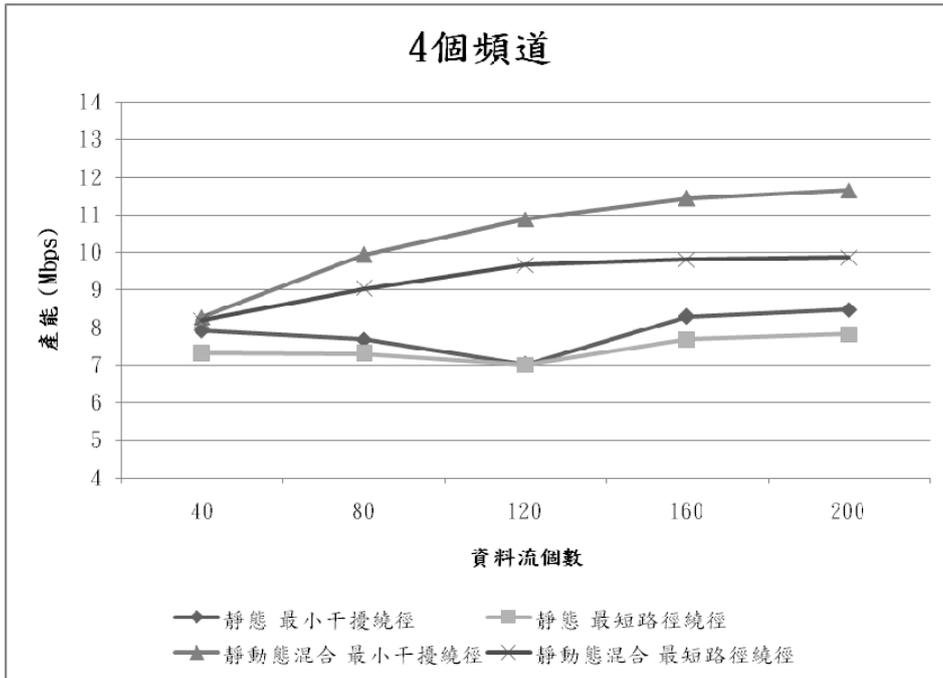
接著我們對網路拓樸進行變動資料流樣式於不同的頻道個數時，這使得網路上的鏈結負載量非常的不均，且隨著時間增加而增加資料流，使得整體網路負載

量漸漸提高。如圖 15 三張圖所示，因為每間隔 20 秒就增加 40 條資料流，所以我們的橫軸設定為資料流個數，觀察在不同資料流個數下產能的差異，而不同的圖表示不同的頻道數。

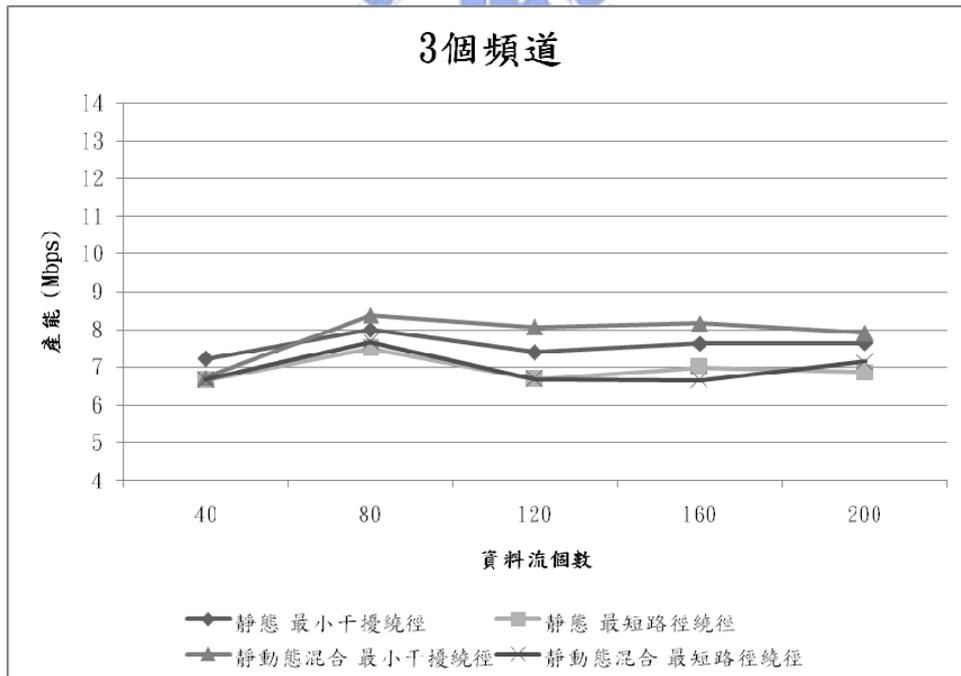
由三張圖表可得知在變動資料流樣式的網路情況下，靜動態混合頻道分配方法有使用干擾程度調變繞徑方法可以比原本使用最短路徑繞徑大幅增加產能。而靜態頻道分配方法受限於頻道的分配所以增加的幅度沒有靜動態混合頻道分配高。且整體來說靜動態混合頻道分配方法比靜態頻道分配方法的產能高。隨著網路可用頻道的個數漸漸減少，這樣的情形則變得越不明顯，如(c)於三個頻道時，產能增加的幅度沒有(a)使用五個頻道時來的明顯。



(a) 5 個頻道時最小干擾繞徑與最短路徑繞徑之比較



(b) 4 個頻道時最小干擾繞徑與最短路徑繞徑之比較



(c) 3 個頻道時最小干擾繞徑與最短路徑繞徑之比較

圖 15 變動網路流樣式最小干擾繞徑與最短路徑繞徑之比較

## 第六章 結論

我們所提出的這篇文章，主要是在多重頻道多重天線多跳躍的無線網狀網路環境中，探討靜態頻道分配方法、動態頻道分配方法、靜動態混合頻道分配方法架構上的差異性，各有各的特色。因為有這樣的差異性，所以我們針對幾個不同的觀察，探討靜態頻道分配方法、靜動態混合頻道分配方法的優劣。

主要的觀察有解空間的觀察、最短路徑的觀察、變動資料流樣式的觀察。在這一系列的觀察推論出靜動態混合頻道分配方法為較有優勢的方法。同時在進行模擬之前我們介紹如何選取頻道的分配，以及提出了一個根據網路干擾情況改變資料路徑的繞徑方法。

實驗模擬的部分驗證靜動態混合頻道分配方法為具有最短路徑的方法，相對於靜態頻道分配方法。另外也證實我們所提出的分散式干擾程度調變繞徑是實際情況下可運作於變動網路資料流樣式的網路情況下。



## 參考文獻

- [1] I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: A survey," *Computer Networks and ISDN Systems*, vol. 47(4), pp. 445-487, 2005.
- [2] IEEE Standard for Wireless LAN-Medium Access Control and Physical Layer Specification, P802.11, 1999.
- [3] C. Y. Li, A. K. Jeng, and R. H. Jan, "A Medium Access Control Protocol for Multi-Channel Multi-Interface Wireless Mesh Network," *The 2nd Workshop on Wireless, Ad Hoc, and Sensor Networks, Session D2*, Aug. 2006, NCU Taiwan.
- [4] P. Kyasanur and N. H. Vaidya, "Routing and Link-layer Protocols for Multi-Channel Multi-Interface Ad Hoc Wireless Networks," *ACM SIG-MOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 10, pp. 31-43, 2006
- [5] P. Kyasanur and N.H. Vaidya, "Routing and interface assignment in multi-channel multi-interface wireless networks," *In Proceeding of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC'05)*, Vol. 4, pp. 2051 – 2056, Mar. 2005, New Orleans, LA, USA.
- [6] P. Kyasanur and N.H. Vaidya, "Routing in Multi-Channel Multi-Interface Ad Hoc Wireless Networks," *technical report of University of Illinois at Urbana-Champaign*, Dec. 2004.
- [7] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks," *Proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 114-128, 2004, Philadelphia, PA, USA.
- [8] W. C. Hung, K. L. E. Law, and A. Leon-Garcia, "A Dynamic Multi-Channel MAC for Ad Hoc LAN," in *21st Biennial Symposium on Communications*, pp. 31–35, June 2002, Kingston, Canada.
- [9] A. Raniwala, K. Gopalan, and Tzi-cker Chiueh, "Centralized Channel Assignment and Routing Algorithms for Multi-Channel Wireless Mesh Networks," *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 8, no. 2, pp. 50–65, April 2004.

- [10] N. Choi, Y. Seok and Y. Choi, "Multi-Channel MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks,"  *Vehicular Technology Conference IEEE*, vol. 2, pp. 1379- 1382, Oct. 2003.
- [11] J. So and N. H. Vaidya, "Multi-Channel MAC for Ad Hoc Networks: Handling Multi-Channel Hidden Terminals Using A Single Transceiver,"  *in Proc. of ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)*, pp. 222-233, May 2004, Roppongi Hills, Tokyo
- [12] Shih-Lin Wu, Chih-Yu Lin, Yu-Chee Tseng, and Jang-Ping Sheu, "A New Multi-Channel MAC Protocol with On-Demand Channel Assignment for Multi-Hop Mobile Ad Hoc Networks,"  *in Proc. of the International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks (I-SPAN)*, pp. 232-237, Dec. 2000, Dallas, TX, USA.
- [13] A.A.K. Jeng and R.H. Jan, "Optimization on hybrid channel assignment for multi-channel multi-radio wireless mesh networks",  *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*, Nov. 2006, San Francisco, CA, America. (EI)

- [14] ns-2.[Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

