

國立交通大學

資訊工程系所

碩士論文

IEEE 802.11 無線網路基地台動態分配頻道的策略

**Dynamic Channel Allocation Policies for IEEE 802.11 Access
Points**

研究生：林炳榕

指導教授：曾煜棋 教授

中華民國九十三年六月

IEEE 802.11 無線網路基地台動態分配頻道的策略
Dynamic Channel Allocation Policies for IEEE 802.11

Access Points

研究生：林炳榕

Student : Bing-Rong Lin

指導教授：曾煜棋 教授

Advisor : Yu-Chee Tseng

國立交通大學

資訊工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Computer Science and Information Engineering
College of Electrical Engineering and Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Computer Science and Information Engineering

June 2004

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年六月

IEEE 802.11 無線網路基地台動態分配頻道的策略

學生：林炳榕

指導教授：曾煜棋 教授

國立交通大學資訊工程系(研究所)碩士班

摘要

現今無線網路的技術日趨成熟，由於開發無線網路產品的花費下降，降低了產品的價格，便廣泛的被消費者所接受，再加上無線網路佈置及使用上的方便性便使得許多學校及公司等會在其內部架設無線網路供學生或員工免費使用，在機場及飯店等也會提供無線網路給顧客收費使用。

在 IEEE 802.11 Infrastructure mode[1]下，無線網路基地台間若使用相同頻道會對彼此造成干擾，然而網管人員在佈置無線網路時，爲了覆蓋面積及訊號強度的考量，往往會將無線網路基地台佈置得較密，因此會造成附近的基地台數過多，而可使用的頻道數不夠的問題，由於使用者有可行動的特性，因此我們提出一個中央控制的方法動態調整無線網路基地台的頻道

最後我們實作在無線網路基地台端上，並透過實驗來驗證所提出的方法。

關鍵字: IEEE 802.11，無線網路，頻道分配，干擾，基礎架構模式

Dynamic Channel Allocation Policies for IEEE 802.11 Access Points

Student : Bing-Rong Lin

Advisors: Prof. Yu-Chee Tseng

Institute of Computer Science and Information Engineering
National Chiao-Tung University

ABSTRACT

Nowadays, the wireless technology becomes more robust and the price for wireless devices continues to drop. The wireless network has been widely accepted by the market. Because the WLANs promise the convenient deployment and use, it makes the college or company to provide the WLANs for students or employees in their building.

In the IEEE 802.11 Infrastructure mode, If the nearby wireless base stations use the same channel, they will mutually interfere with each others. But in order to cover the whole building or to provide better signal strength for end user, the network administrator usually deploys the wireless base station densely. Therefore, it cause that the numbers of nearby wireless base stations is less than the number of available channels. The user with the wireless device may have the mobility characteristic. We propose a centralized algorithm to dynamically assign channels for the wireless base stations and also propose a method to collect the position information of the wireless base stations in order to assist the dynamically channel assignment .

Through detailed simulations we study the performance of the algorithms under various topologies and channel conditions. It shows that our proposed algorithm indeed increase the maximum throughput.

Keyword: IEEE 802.11 , wireless , channel assignment , interference , infrastructure mode

Acknowledgements

My advisor, prof. Yu-Chee Tseng, is the first one I would like to express my gratitude to. With the wonderful research conditions he provided and his attentive instructions, I came to discover the pleasure of research. I am also grateful to Chih-Yu Lin. Without his help and suggestions, I would not be able to have the thesis done. Finally, I would like to thank all HSCC members, especially Yen-Ku Liu, and my friend Wang-Ling Lin for helping me to do the experiments and providing me some generous advices. Discussing with them benefited me in many ways.

Contents

摘要	i
Abstract	ii
Acknowledgements	iii
Contents	iv
List of Figures	vi
List of Tables	vii
一、 簡介	1
1.1 IEEE 802.11	1
1.1.1 使用的頻率範圍及頻道數	1
1.1.2 MAC 層的機制	1
1.1.3 IEEE802.11 的使用模式	3
1.2 Infrastructure mode 下的多個 APs 頻道分配的問題	3
二、 相關研究	4
2.1 平衡負載量	4
2.2 頻道分配	4
2.3 訊號干擾	5
三、 動機與問題定義	6
3.1 動機	6
3.2 問題定義	6
四、 動態頻道分配(Dynamic channel assignment—DCA)	12
4.1 系統硬體架構	12
4.2 換頻道的時機	13
4.3 收集無線網路基地台相互的位置	13
4.3.1 收集 Good_Neighbors	14
4.3.2 收集 Bad_Neighbors	14
4.4 系統運作流程	14
4.4.1 DCA Server	14
4.4.2 無線網路基地台運作流程	16
4.5 收集無線網路基地台相互的位置	16

4.6 更換頻道指標(Switch Channel Index)	17
4.6.1 實體層傳輸成功率	17
4.6.2 負載量比例 — L	18
4.6.3 更換頻道指標 — SCI	19
4.6.4 頻道狀況指標 (Channel Condition Index) — CCI	19
4.7 負載量的考量	22
4.8 如何選擇頻道	22
五、實驗結果	24
5.1 實驗一	24
5.2 實驗二	26
5.3 實驗三	30
六、結論與未來工作	41
參考文獻	42
自傳	44

List of Figure

1.1	“Hidden terminal” & “Exposed terminal”問題。	2
3.1	在這個例子中無線網路基地台 AP 1、AP 2 及 AP 3 分別使用頻道 1、頻道 11 及頻道 1。沒有任何無線網路基地台與其他使用相同頻道的基地台有訊號相互覆蓋的區域。	6
3.2	在這例子中，三個無線網路基地台有共同交集的區域，無論如何分配頻道，必定有兩個以上的無線網路基地台使用相同頻道，且訊號覆蓋的區域有交集。	7
3.3	無線網路基地台彼此之間的關係分類。	8
3.4	AP 1 及 AP 2 使用相同的頻道，Mobile host 1&2 分別傳送 400KB/s 的 TCP 流量。	8
3.5	AP 1 及 AP 2 使用相同的頻道，Mobile host 1&2 分別傳送 400KB/s 的 TCP 流量。	9
3.6	無線網路基地台 AP 1、AP 2 及 AP 3 的負載量分別為 500KB/s、400KB/s 及 400KB/s。	10
3.7	MH B 會受到 APA 及 MH A 的干擾，但是 AP B 如果換成頻道 11，就要與 AP C 競爭使用頻道，換頻道不一定會比較適合。	10
3.8	由圖 3.6 當 Mobile host 1 及 Mobile host 2 移動之後的狀態。	11
4.1	系統的硬體架構，DCA Server 是用來管理控制所有的無線網路基地台。	12
4.2	DCA Server 運作流程圖。	15
4.3	無線網路基地台端運作流程圖。	16
4.4	無線網路基地台之間相互關係圖。	17
4.5	紅色圓圈代表該 AP 使用頻道 c_1 ，藍色圓圈代表該 AP 使用頻道 c_2 。	20
4.6	選擇頻道流程圖。	22
5.1	實驗一。	24
5.1	實驗二。	26
5.1	實驗三。	30

List of Tables

5.1 我們共呈現 10 次的實驗結果以及平均值，第二三列(Before)代表著換頻道前的平均流量，而第三四列代表換頻道後的平均流量，最後一列則代表從 MH A 及 MH B 同時開始灌入流量之後多久 DCA Server 下換頻道的命令給無線網路基地台。實驗中 MH A 及 B 分別灌入 500KB/s TCP 的流量送往有線端。	25
5.2 實驗二，MH A & B 分別灌入 500KB/s TCP 流量。	27
5.3 實驗二，MH A & B 分別灌入 400KB/s TCP 流量。	28
5.4 實驗二，MH A & B 分別灌入 300KB/s TCP 流量。	29
5.5 實驗二，MH A & B 分別灌入 200KB/s TCP 流量。	30
5.6 實驗三(500, 500, 500)。N 代表沒有換頻道，A 代表 AP A 更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道。	31
5.7 實驗三(500, 500, 300)。N 代表沒有換頻道，A 代表 AP A 更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。	33
5.8 實驗三(500, 500, 100)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。	32
5.9 實驗三(400, 400, 500)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。5.5 實驗二，MH A & B 分別灌入 200KB/s TCP 流量。	34
5.10 實驗三(400, 400, 400)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。5.5 實驗二，MH A & B 分別灌入 200KB/s TCP 流量。	35
5.11 實驗三(400, 400, 300)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，” B, B” 代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。	36
5.12 實驗三(400, 400, 100)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，” B, B” 代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。	37
5.13 實驗三(300, 300, 500)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。	38

5.14 實驗三(300, 300, 300)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，” B, B” 代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。	39
5.15 實驗三(300, 300, 100)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。	40

第一章、簡介

現今無線網路的技術日趨成熟，由於開發無線網路產品的花費下降，降低了產品的價格，便廣泛的被消費者所接受，再加上無線網路佈置及使用上的方便性便使得許多學校及公司等會在其內部架設無線網路供學生或員工免費使用，在機場及飯店等也會提供無線網路給顧客收費使用。

在使用的頻率上面，根據 802.11b[3]及 802.11g[4]標準所訂定的為 2.4GHz 的 ISM band 而 802.11a[2]標準則是 5GHz 的 ISM band。802.11b 及 802.11g 所使用的頻率是相同的，各個頻道(channel)所使用的頻率(frequency)也是相同的。由於使用的頻率為 ISM band，是不需要申請就可以使用的，當然也就不需要收費，因此加速了無線網路的發展。而網管人員爲了要能夠提供較好的服務，往往會以密佈無線網路基地台來提高整體效能及覆蓋區域，因此也面臨著如何佈置無線網路基地台及如何分配頻道的問題。

1.1 IEEE 802.11[1][2][3][4]

1.1.1 使用的頻率範圍及頻道數

根據IEEE 802.11b標準的訂定，使用的頻道為2.4GHz但允許不同的管理組織(regulatory body)各自訂定所使用的頻率範圍，例如FCC(美國)、ETSI(歐洲)、MPHPT(日本)及IC(加拿大)運作的頻率範圍是2.4 GHz ~ 2.4835 GHz，日本還額外的使用2.471 GHz ~ 2.497 GHz，法國允許的運作頻道為2.4465 GHz ~ 2.4835 GHz，西班牙為2.445 GHz ~ 2.475 GHz，雖然各個管理組織與國家訂定的頻率範圍(frequency range)不盡相同，但各個頻道的中央頻率(The channel center frequencies)則是相同的，因此美國使用的頻道為1~11，日本為1~14，西班牙為10~11，法國為10~13。以美國爲例，雖然有11個頻道可以使用，每個頻道的中央頻率間隔0.005GHz，而每個頻道約佔0.025GHz，因此頻道間可能有相互重疊的區域而產生干擾，爲了避免這方面的干擾，802.11b標準訂定不重疊的頻道選擇可以有1、6、11三個頻道。802.11g在頻道的使用上面是同於802.11b。

1.1.2 MAC 層的機制

IEEE 802.11 的 MAC 提供 DCF 及 PCF 兩種功能，PCF 是架構在 DCF 之上。IEEE 802.11 使用媒體(media)的基本方法是 DCF，也是大家所知的 CSMA/CA(carrier sense multiple access with collision avoidance)，DCF 必需實作於所有的工作站(station)上。如果想要傳輸，必須先探測媒體是否有其他的工作站正在傳送。如果媒體不是忙碌的，那麼便可以進行傳輸。

探測媒體必須透過實體及虛擬探測(physical & virtual carrier sense)，不論是哪一

種方法，只要其中一個探測結果是忙碌的，媒體就是忙碌的。實體探測必需由實體層提供。虛擬探測則是由 MAC 層提供，虛擬探測則的機制是藉由散佈即將使用媒體的保留訊息。在傳送資料封包之前先交換 RTS 及 CTS 來達到散佈保留訊息，RTS 及 CTS 封包會包含 Duration 欄位，Duration 欄位是用來定義保留給傳送資料及 ACK 封包所需的時間。所有在接收範圍內的工作站聽到 RTS 或 CTS 封包後將會知道媒體已經被保留了。當然 RTS 及 CTS 機制不能被應用於廣播(broadcast)或是多重播送(multicast)。

當一個工作站準備要傳送資料時，必須先行使 carrier-sense 的機制來探測媒體是忙碌或空閒的，如果媒體是忙碌的，工作站必須等到媒體是空閒的，並且連續空閒 DIFS 的時間，在媒體空閒了 DIFS 之後，工作站必須產生一個亂數倒退時間(random backoff time)，在媒體空閒了這些時間之後，工作站便可以開始傳送資料，若有兩個以上的工作站同時倒數到零，則碰撞發生。如果是不成功的傳送(不論是沒收到 CTS 或 ACK)工作站會重新產生一個亂數倒數時間，並試著傳送。在重傳上面有次數的限制，若超過限制則將放棄傳送這個封包。

無線網路上有兩個著名的問題”hidden terminal”及”exposed terminal”，如圖 1.1，”hidden terminal”是當一個工作站 A 正在傳送資料給另一個工作站 B 時，工作站 C 不在工作站 A 的傳輸範圍內，因此探測網路認為可以傳送資料，並不知道工作站 B 正在接收資料，如果此時工作站 C 傳送資料便會造成工作站 B 的碰撞發生，這個問題在 IEEE 802.11 已經透過 RTS/CTS 由虛擬媒體探測機制解決。然而 RTS/CTS 機制雖然解決了”hidden terminal”的問題，但卻沒有解決”exposed terminal”的問題。同樣的上面剛剛那個例子，當工作站 A 正在傳送資料給工作站 B 時，工作站 D 在工作站 A 的傳輸範圍內，因此工作站 D 會錯誤的探測媒體，以為不可傳送資料給工作站 E，事實上若工作站傳送資料給工作站 D 並不會影響到工作站 B 的接收，而工作站 E 也不會被工作站 A 的傳送所影響。

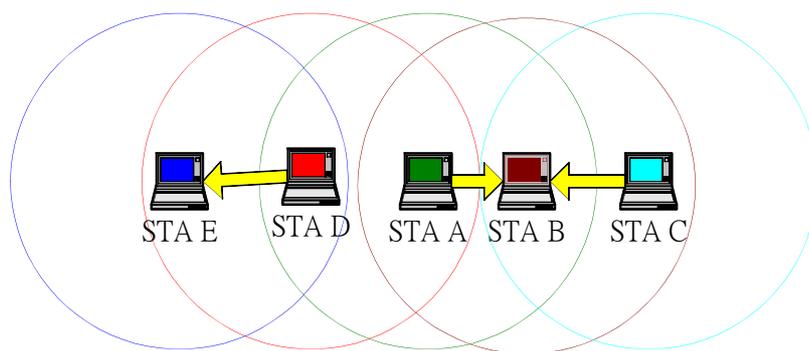


圖 1.1 “Hidden terminal” & “Exposed terminal”問題,有顏色的圓圈代表不同機器的傳輸範圍。

1.1.3 IEEE802.11 的使用模式

IEEE 802.11 有兩種模式:(1) Ad hoc mode , (2) Infrastructure mode 。

- (1) Ad hoc mode:顧名思義不像 Infrastructure mode 需要架設基礎設備，工作站之間提供點對點的傳輸。由於不需要基礎設備的好處，適合應用於某些特殊的應用，例如:緊急救難，會議...等。
- (2) Infrastructure mode:由 distribution system medium(DSM)及 access point(AP) 所組成 DSM 負責 APs 之間的溝通，而 AP 則是藉由無線提供網路的服務。在實際上 DSM 通常由有線網路所鋪設的骨幹所構成，而將所有的 APs 連接在一起，藉此提供網路服務，甚至 Internet 的服務，就好比大哥大系統一般，因此若使用者有移動的現象，便可在 APs 間做漫遊。目前 Infrastructure mode 的無線網路環境非常普遍，通常會佈置在一建築物內，在學校、機場、速食店、飯店等往往會有提供此種無線網路的服務。而本篇論文所要探討的就是在 Infrastructure mode 下 APs 間頻道分配的問題。

在 Infrastructure mode 下，工作站要能得知 APs 的存在，IEEE 802.11 定義了兩種方法(1)主動掃描(active scan)及(2)被動掃描(passive scan)。我們首先要知道 AP 會定期發送信號(beacon)，工作站只要收到信號，便可以得知 AP 的存在。因此(1)主動掃描的方式為工作站主到要求 APs 發送類似 beacon 的封包，作法是工作站首先在某個頻道上面發送探索要求(probe request)封包並停留一段時間，時間到了之後會再到下一個頻道去發送探索要求封包，而當 AP 收到探索要求封包時會回應探索回應(probe reply)封包，探索回應封包類似於信號封包，因此由工作站一往 AP 一回的方式得知。(2) 被動掃描則是工作站在每個頻道上等候信號封包的出現，並不會主動發送任何訊息。

1.2 Infrastructure mode 下的多個 APs 頻道分配的問題

現今無線網路的訊號會受到環境等因素的影響，而且在頻寬上(802.11b)仍然不及有線網路，因此造成網管人員在佈置無線網路基地台時採取濃密佈置的策略。一來可以克服訊號強度的不穩定，以達到每個角落都能接收到無線網路訊號。二來可以增加網路容量(network capacity)。但是由於密佈的因素，也產生了頻道分配的問題。再加上現行的產品在選擇 AP 時，是根據 RSSI 也就是訊號強度來決定，因此在選擇 AP 上不一定會選擇到最適合的 AP，可能會造成(1)工作站集中使用同一個 AP，(2)工作站使用某個 AP 卻被另一個 AP 干擾，由於網路的流量是隨著時間而改變的，因此本篇論文探討的是已知頻道不夠分配時要如何動態的調整頻道的分配，來適應瞬息萬變的網路需求。接下來第二章會先介紹相關的研究，第三章則會把問題描述的更清楚明確，第四章則是撰寫我們所提出的方法，我們所提出的方法被實作於嵌入式系統，並燒錄於特殊的 AP 中，因此最後由實際測量所設計的實驗作為收尾。

第二章 相關研究

在無線網路 Infrastructure mode 下相關於平衡負載量的研究中，大部分著墨於使用者端如何選擇適當的無線網路基地台，鮮少有著重於無線網路基地台更換頻道的研究，不過在 cellular network 卻有許多頻道分配問題的研究，但是 cellular network 與 IEEE 802.11 無線網路有許多的不同點，最主要是由於 IEEE 802.11 的流量變化大，使得 cellular network 上面的研究無法套用在瞬息萬變的 IEEE 802.11 無線網路環境。

有一篇較為相關的研究[5]，這篇論文是探討在已知的需求下，該如何佈置無線網路基地台，作者們將問題利用線性規劃的方始尋求最佳解，把要佈置的區域格子化，定出一些需求點，需求可能是網路流量或訊號強度，然後在滿足網路的需求下，將最大的頻道使用壓到最低(minimize the maximum of channel utilization)。這是一個中央控制的演算法，但是它並沒有將瞬息萬變的網路流量考慮進去。以下我們將相關的研究分為下列幾個方向。

2.1 平衡負載量

平衡負載量的研究大多著重於使用者端如何選擇無線網路基地台，在早期的研究中大都以訊號強度(RSSI)及負載量來做判斷[6][7][8][9]，[6]已經是一個實作出來的產品，[7]提出了一個新的動態平衡負載量的演算法，藉由負載量及訊號強度來分配使用者該使用哪一個無線網路基地台，在模擬結果中顯示所提的演算法可以公平的分散所有的工作站於無線網路基地台下，甚至也能夠使工作站與其使用的無線網路基地台間的訊號強度的平均值最大化。[8]中將問題分為三個層級(1)無線網路基地自動選擇頻道層級，目標在於使得無線網路基地台能分散使用的頻道，這是為了要將干擾減到最低。(2)工作站加入決定層級，工作站選擇無線網路基地台。(3)連線觀察層級，決定何時漫遊要被執行。[9]利用無線網路基地台被使用的情形來推算積極的工作站(active station)，並配合訊號強度，來決定工作站該使用哪一個無線網路基地台。

2.2 頻道分配

這裡的頻道分配指的是在無線網狀網路(wireless mesh network)下如何利用頻道分配來提昇真體效能。[10]設計在 Ad Hoc 網路上，由於工作站是會移動的，流量也會變化，因此設計一個簡單的發法來分配頻道，由於移動的因素，必須要有重新分配的需求，靜態來看這就是一個著色問題，是一個 NP-hard 的問題，因此它在考量上只局限於小區域內的幾個工作站。[11]提出一個利用多個無線網路介面卡並使用不同的頻道，配合無線網路基地台組成一個網狀的網路架構成一個骨幹，使得獲得網路服務的區域增加，並提出一個中央控制的演算法來分配頻道及頻寬以及繞徑的演算法。

2.3 訊號干擾

我們已經知道 IEEE 802.11b/g 雖然有 11 個頻道可以使用，但是頻率不互相重疊的只能規劃出三個不重疊的頻道，有人就提出或許可以用 4 個頻道，因此[13]就實際測試並且分析 IEEE 802.11b 的頻道間相互干擾的情形，在這篇論文也指出 4 個分開的頻道及 3 個分開的頻道的干擾現象在不同的安置環境下有非常相異的結果。

也有些研究在探討同一個頻道上因為距離的不同造成的干擾分成兩個層級，發展出一個以兩個基地台、兩個區域、TDD(time-division-duplex)的無線網路干擾模型，研究距離對同頻道間相鄰的基地台的影響[12]。

第三章 動機與問題定義

3.1 動機

在現今的環境中，由於無線網路訊號強度不但受牆壁、隔板等障礙物的影響，也受到環境如溼度等的影響，因此爲了能讓建築物內任何地方皆能使用無線網路而將無線網路基地台密佈於建築物內是不可避免的方法，但也造成鄰近無線網路基地台個數多於可使用的頻道個數，造成頻道不夠分配的問題，若無線網路基地台使用相同或鄰近的頻道則會相互干擾。我們提出一策略並實作於無線網路基地台上，並不更動用戶端，希望能夠依據目前無線網路使用的狀況來決定如何分配頻道。

3.2 問題定義

在可同時使用的頻道數目有限的情況下，而無線網路基地台卻又佈置的很稠密，造成可用頻道數目少於鄰近會互相影響的無線基地台數目，所以必須動態的調整分配無線網路基地台使用的頻道。下面我們將舉出簡單的例子來說明爲何需要動態調整頻道。

爲了方便說明我們假設頻率不相互重疊的頻道只有兩個，分別爲頻道 1 及頻道 11，若無線網路基地台擺設如圖 3.1，我們可以安排無線網路基地台 AP 1 及 AP 3 使用頻道 1，而無線網路基地台 AP 2 使用頻道 11，因此不會造成無線網路基地台與其他使用相同頻道的基地台有交集的區域，這種狀況下並沒有動態分配頻道的問題。若無線網路基地台擺設如圖 3.2，因爲每個無線網路基地台都與其他兩個無線網路基地台都有交集的區域，造成無論如何分配頻道，一定有兩台無線網路基地台會使用相同的頻道而產生相互干擾，因此便可利用動態分配頻道來提高整體的效能。

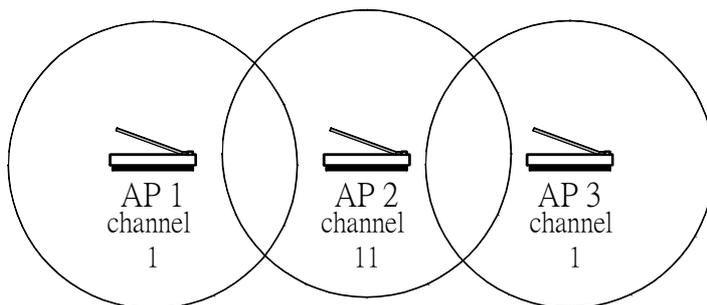


圖 3.1 在這個例子中無線網路基地台 AP 1、AP 2 及 AP 3 分別使用頻道 1、頻道 11 及頻道 1。沒有任何無線網路基地台與其他使用相同頻道的基地台有訊號相互覆蓋的區域。

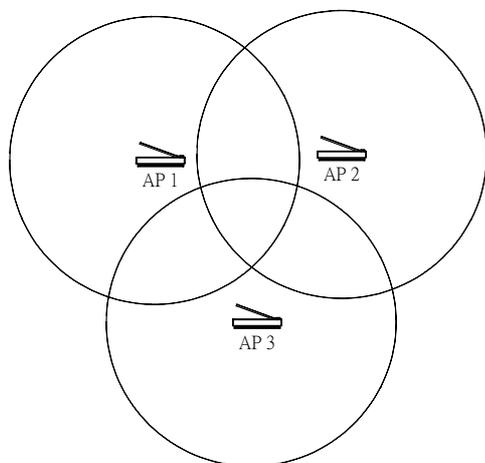


圖 3.2 在這例子中，三個無線網路基地台有共同交集的區域，無論如何分配頻道，必定有兩個以上的無線網路基地台使用相同頻道，且訊號覆蓋的區域有交集。

首先，我們要先來探討兩個無線網路基地台的對彼此之間的影響。由於實作的考量，在訊號強度上並不會有詳細的數學分析，因為實際上無線網路基地台的訊號衰減程度受到環境強烈的影響，精準的理論分析除非把溫度、溼度、障礙物等都考慮進來，否則對實作上的效能並不會有明顯的幫助。因此將無線網路基地台間的相互關係分為三類，如圖 3.3，(1)兩個基地台之間訊號沒有重疊的區域，(2)兩基地台之間訊號有重疊的區域，但互相聽不到對方的訊號(3)兩基地台互相聽的到對方的訊號。為了解說方便我們假設訊號強度為對稱的(symmetrical)，但後面章節所敘述的方法並未做此假設。

(1) 兩個基地台之間訊號沒有重疊的區域: 我們假設這兩個基地台不會相互干擾，事實上可能還是有訊號的干擾存在，但是由於我們假設無線網路基地台佈置較為密集，因此這類的干擾相較於(2)及(3)而言可以忽略不計。

(2) 兩基地台之間訊號有重疊的區域，但互相聽不到對方的訊號: 這類的干擾最為嚴重，因為每次的傳輸無線網路基地台不是傳送者就是接收者，因此若兩個基地台使用相同的頻道，位於交集區域內的工作站就會受到嚴重的干擾。本文之後所提到的干擾若無特別說明則是指此類的干擾。

(3) 兩基地台互相聽的到對方的訊號: 由於兩個基地台都相互聽的到訊號，若使用相同的頻道，會造成兩個基地台的效能相當於一個基地台，因為兩個基地台無法同時使用(傳送或接收)頻道。

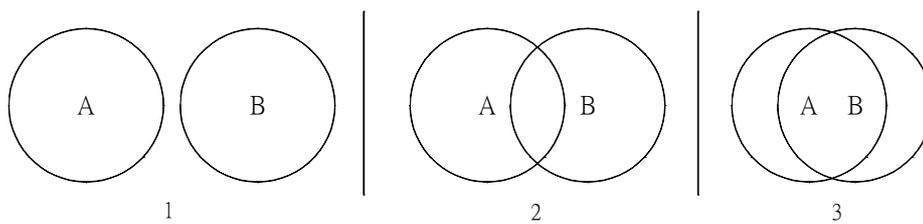


圖 3.3 無線網路基地台彼此之間的關係分類。

我們做了一些簡單的實驗來驗證對於干擾的假設，在介紹方法之前，先把這簡單的實驗列給讀者參考。兩個實驗分別如圖 3.4 及如圖 3.5，實驗一圖 3.4 兩個無線網路基地台 AP 1 及 AP 2 使用相同的頻道，Mobile host 1 及 Mobile host 2 各自傳輸 400KB/s 的 TCP 流量。實驗的結果如同我們所預期的，兩個無線網路基地台整體效能略高於單一無線網路基地台，傳送失敗率無明顯變化，在 infrastructure mode 下，即使 Mobile host 要傳輸的對象在傳輸範圍內，仍然會將封包先傳給無線網路基地台，再由無線網路基地台傳送出去，因此無線網路基地台在每次的封包傳送不是收端就是送端，並且兩個無線網路基地台都聽的到對方的訊號，所以這兩個無線網路基地台工作量相當於一個無線網路基地台，所以封包傳送的失敗率並無明顯的增加。至於整體效能略高原因在於競爭使用網路的機器變多，使得網路空閒時間減少，但也提高碰撞機率，然而競爭的機器並沒有很多，因此整體效能略高。

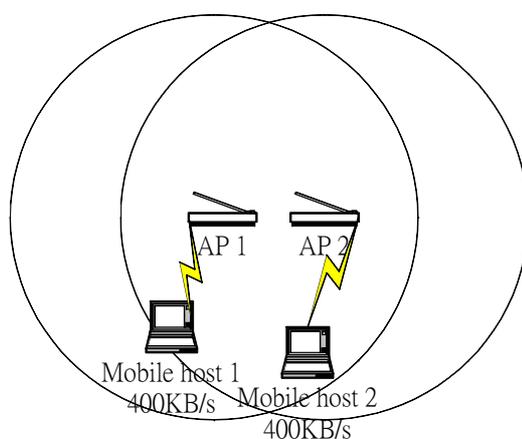


圖 3.4 AP 1 及 AP 2 使用相同的頻道，Mobile host 1&2 分別傳送 400KB/s 的 TCP 流量。

實驗二圖 3.5，兩個無線網路基地台 AP 1 及 AP 2 使用相同的頻道，Mobile host 1 及 Mobile host 2 各自傳輸 400KB/s 的 TCP 流量。這個實驗的擺設就是所謂的”exposed terminal”，實驗的結果如我們所預期的，Mobile Host 1 的流量明顯下降，而 Mobile Host 2 則是稍微下降，原因在於 AP 1 對 Mobile Host 1 的傳輸成功率下降，傳輸成功率下降的原因則是因為當 AP 2 或 Mobile host 2 在傳送封包的時候，Mobile host 1 會收到

CTS 或 RTS 所以他不會在此時傳送封包或回應 AP 1 CTS 或 ACK，而 AP 1 並不知道 AP 2 或 Mobile host 2 正在傳送資料，當 AP 1 傳送 RTS 給 Mobile host 1 時，Mobile host 1 並不會回應 CTS 或 ACK 而造成傳輸成功率的下降，傳輸成功率下降的多寡與 Mobile hosts 的位置有關，而在多次的實驗當中正常的實體層傳輸成功率約為 0.9~1 之間，而在這實驗中 AP 1 的實體層傳輸成功率約為 0.4~0.6 之間。

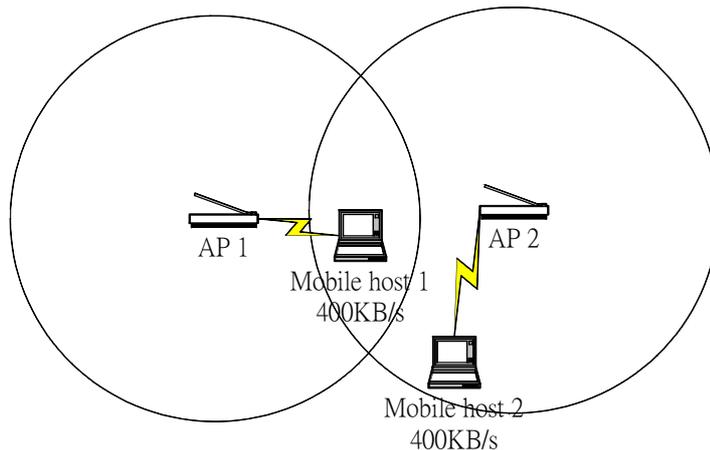


圖 3.5 AP 1 及 AP 2 使用相同的頻道，Mobile host 1&2 分別傳送 400KB/s 的 TCP 流量。

我們現在已經知道如圖 3.2 的狀況，頻道數並不夠分配，因此需要根據當時的網路狀況來決定如何分配頻道，首先要找出換頻道的時機，很直覺的換頻道的時機可以根據鄰近無線網路基地台的所使用的頻道及負載量來決定，選擇的策略是盡量選擇不同的頻道，若頻道數不夠則選擇負載量較輕的頻道，但是這樣的選擇是正確的嗎？讓我們看看下面的例子。

假設頻率不相互重疊的頻道有兩個，分別為頻道 1 及頻道 11，當網路狀況如圖 3.6，無線網路基地台 AP 1、AP 2 及 AP 3 的負載量分別為 500KB/s、400KB/s 及 400KB/s，且已知三個無線網路基地台都有訊號互相覆蓋的區域，因此頻道數並不夠分配，若依據負載量來分配頻道的話，會使得 AP 1 使用頻道 1 而 AP 2 與 AP 3 共用頻道 11，這時候 Mobile host 2 會受到 AP 3 的干擾，干擾是因為當 AP 3 正在傳送或接收資料的時候 Mobile host 2 便不能傳送或接收資料，但是 AP 2 並不知道，因此會造成 AP 2 試著要傳送資料給 Mobile host 2，但是 Mobile host 卻無法接收。但是假設我們將無線網路基地台 AP 1 及 AP 3 使用頻道 1，而無線網路基地台 AP 2 使用頻道 11 就沒有上述的干擾，在整體的效能上會比較好，因此在這例子中我們發現，只考慮負載量是不足的。

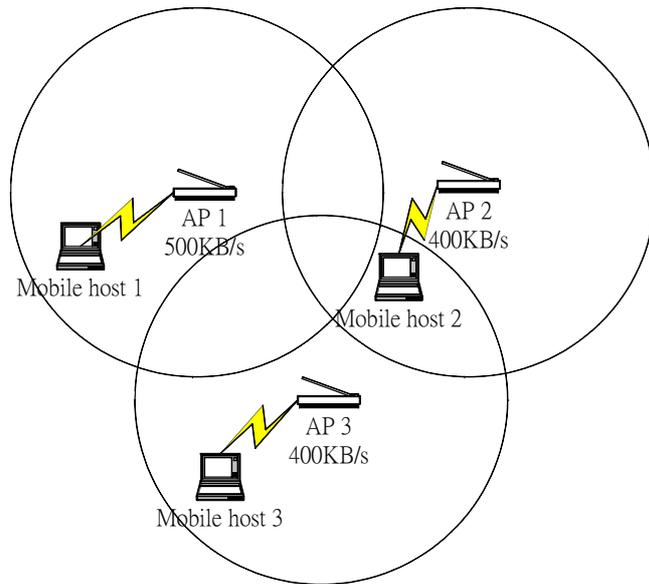


圖 3.6 無線網路基地台 AP 1、AP 2 及 AP 3 的負載量分別為 500KB/s、400KB/s 及 400KB/s。

在上述的例子中，其實我們是忽略了 Mobile host 2 及 AP 3 之間的相互干擾，假如我們只考慮干擾是否就可以達到較佳的效能？在圖 3.7 中，很明顯的 MH B 會受到 AP A 及 MH A 的干擾，AP B 如果換到頻道 11 也不一定比較好，因為如果 AP C 的負載量很高也會壓縮 AP B 使用頻道的時間。這個例子中我們可以很明顯的看出只看干擾是不足的。

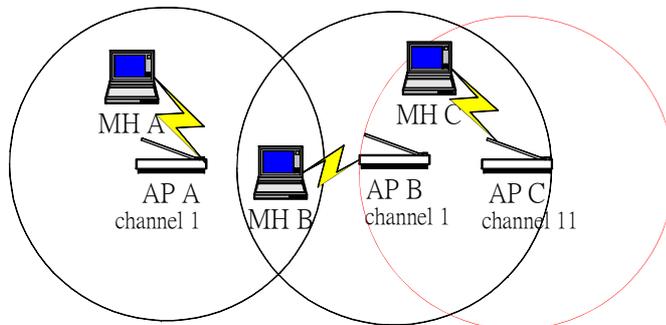


圖 3.7 MH B 會受到 AP A 及 MH A 的干擾，但是 AP B 如果換成頻道 11，就要與 AP C 競爭使用頻道，換頻道不一定會比較適合。

當網路狀況由圖 3.6 改變如圖 3.8 時，Mobile host 1 移動到 AP 1 與 AP 3 訊號重複覆蓋的區域，而 Mobile host 2 移動到只有 AP 2 訊號有覆蓋的區域時，因為 Mobile Host 2 不會受到 AP 3 的干擾，而 Mobile Host 1 則會受到 AP 3 的干擾，因此需要將頻道動態調整為 AP 1 與 AP 2 使用頻道 11 而 AP 3 使用頻道 1 會有較佳的整體效能。

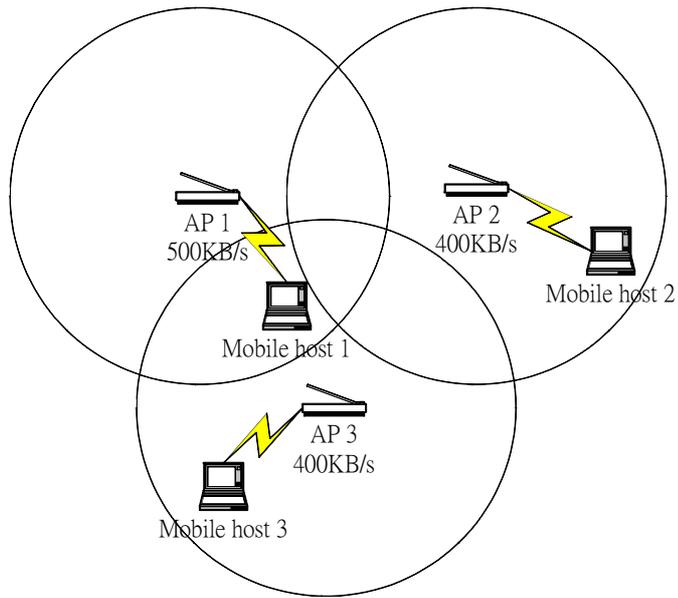


圖 3.8 由圖 3.6 當 Mobile host 1 及 Mobile host 2 移動之後的狀態。

因此我們歸納出在考慮是否需要更換頻道的考量在於干擾以及負載量的變化，這個變化是由於 Mobile hosts 的移動或是傳輸的流量改變所造成的。

第四章 動態頻道分配(Dynamic channel assignment—DCA)

動態分配頻道的問題主要可以分為兩個子問題來探討:(1)換頻道的時機及(2)換到哪一個頻道。我們利用網路的使用狀況如干擾的情形、負載量及鄰近的無線網路基地台來作為判斷的依據，因此提出了一個中央控制的機制，架設了一個 DCA Server，用來收集所有的資訊，並做出判斷。在 4.1 中我們將敘述系統的硬體架構，4.2 則點出為什麼需要更換頻道，也就是換頻道的時機，4.3 介紹要收集哪些位置相關的資訊及如何收集。之後便會詳細的介紹整個系統的運作流程。

4.1 系統硬體架構

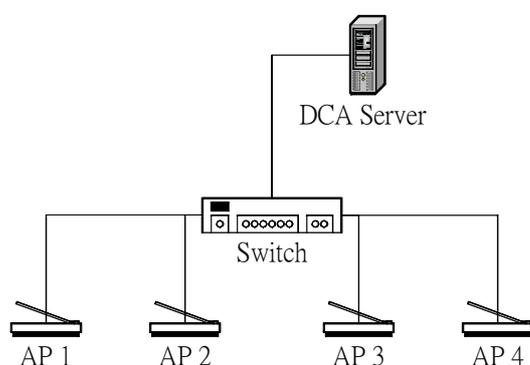


圖 4.1 系統的硬體架構，DCA Server 是用來管理控制所有的無線網路基地台。

如圖 4.1 我們設置一個中央控管的 DCA Server，來收集所有的資訊，這些資訊定期由 DCA Server 下令要 APs 回報，回報的資訊包括使用頻道的時間及傳送成功與失敗的次數。APs 也主動回報 Mobile host 的認證。每經過 CHECK_INTERVAL 的時間 DCA Server 利用這些資訊經過計算之後下達命令給無線網路基地台，無線網路基地台端需要特定的硬體配合，能夠在上面執行所需的程式來接收 DCA Server 的命令。這個硬體架構也是現行大多數無線網路基地台佈置的方法，透過無線網路基地台上網的電腦通常流動性很高，並沒有固定的 IP 位置，因此往往後端會有 DHCP Server 來分配 IP 位置，甚至有個控管使用權限的主機，我們的 DCA Server 是可以與 DHCP Server 合併的，因此本系統的架構並不會增加或更動現行無線網路基地台的硬體設施。

在此系統中，每經過 CHECK_INTERVAL 的時間會檢查無線網路基地台是否需要更換頻道，因此每經過 CHECK_INTERVAL 的時間 DCA Server 會下達命令給無線網路基地台要求回報所需的資訊，收集所有資訊後由 DCA Server 計算出是否更換頻道，決定了要更換到哪個頻道之後，再由 DCA Server 將命令下達給無線網路基地台。因此除了使用者向無線網路基地台註冊的通報由無線網路基地台主動回報，其餘所有的動作皆由 DCA Server 主動下達命令。

4.2 換頻道的時機

在考慮換頻道的時機前，我們要先了解網路的流量是如何變化以及使用者對網路的需求，進而評估什麼時候該換頻道，必須多久考量一次。如果使用者只是瀏覽網頁等小流量的封包，網路狀況稍差(ex:干擾或負載量大)，對使用者而言並不會明顯感受到網路的壅塞，但是當使用者使用即時性的應用(real-time application)時，相對的就會感受到網路的壅塞，簡言之就是如果只是如果使用者使用爆發式流量(burst traffic)的應用程式比較能容忍網路壅塞，而使用即時性的應用程式，將對網路的需求較為要求，往往即時性的應用是長時性的，例如:網路電話及視訊會議等。因此我們可以週期性的檢查，而週期的長度只要遠比即時性應用一次使用的時間短都可以接受。

在上一章的例子中，考據換頻道的決定因素有干擾及負載量的變化，兩個是必須一起考慮的，如果干擾大會造成成功傳輸率下降，這代表著花了時間去傳送卻得不到效果，白白浪費時間，如果負載量過大，則會造成 Mobile host 彼此競爭網路卻都無法滿足需求，因此必須將干擾及負載量兩項因素都考慮，於是我們希望能夠讓負載量高的無線網路基地台擁有較高的成功傳輸率，而負載量較低的則可以接受較低的傳輸成功率，這樣的設計是由於負載量較低的無線網路基地台不需要很高的成功傳輸率就可以滿足 Mobile host 的需求。所以我們在決定是否需要考慮更換頻道是以一個與負載量成反比且與干擾成正比的函數來判斷，若此函數算出的值大於某個門檻(Threshold)則必須考慮更換頻道，然而這樣的設計是不夠的，在上一章的實驗中我們也發現當兩個無線網路基地台都相互聽的到對方的訊號時，傳輸成功率並無明顯下降，因此針對這種情況的無線網路基地台需要特別的考量，所以我們將會設計兩階段的考量，首先針對干擾配合負載量的考量，第二階段則是單純考量是否有多個無線網路基地台相互聽的到訊號且共用同一個頻道造成整體效能的下降。第一階段與第二階段的考量將分別介紹於 4.6 及 4.7。

4.3 收集無線網路基地台相互的位置

我們首先要先定義兩個字”Good_Neighbor”及”Bad_Neighbor，Good_Neighbor 就是指兩個無線網路基地台相互聽的到對方的訊號，在傳送或接收資料之前，可透過 RTS/CTS 機制相互告知。而 Bad_Neighbor 則是兩個無線網路基地台相互聽不到，但是訊號有覆蓋相同區域的，在傳送或接收資料之前，無法通知到對方。

考量是否需要更換頻道我們需要知道附近有哪些無線基地台的存在，要考量的不僅是 Good_Neighbor，還要考慮 Bad_Neighbor，因此我們要在不更動用戶端的方法下收集無線網路基地台相互的位置。我們不採用無線網路定位系統(如: RADAR[14]...等)來定出相互位置，因為會佈置無線網路的環境大多是處於建築物內，無線網路基地台之間往往會受到許多障礙物的阻隔，因而大大影響無線網路基地台相互定位的準確度，其次若要使用定位系統無線網路基地台的佈置必須相當密集。因此我們希望能夠

透無線網路基地台及使用端被動的提供我們所需要的資料。

4.3.1 收集 Good_Neighbors

既然無線網路基地台可以收發訊號，因此我們利用無線網路基地台的掃描來得知該無線網路基地台的 Good_Neighbors。

4.3.2 收集 Bad_Neighbors

在 4.3.1 中僅取得 Good_Neighbors。而我們尚且需要 Bad_Neighbors。我們的策略是觀察使用者在短時間內與哪些無線網路基地台做註冊的動作，來判斷哪些無線網路基地台訊號有相互覆蓋的區域，這樣一來我們不但可以收集到無線網路基地台彼此之間覆蓋的關係，更能夠避免掉一些使用者很少使用無線網路的區域，如：廁所、樓梯間及走廊...等。

4.4 系統運作流程

4.4.1 DCA Server

圖 4.2 為整個 DCA Server 的流程。

- (A) Idle waiting: 在設定好一些初始設定及預備動作之後，DCA Server 即進入 Idle waiting 狀態，在這狀態中會等待兩種事件的發生，(1)timeout event 及(2)socket event。Timeout event 發生後會檢查是哪一個 timeout event 發生，這裡只有三種事件分別為 "CHECK_INTERVAL"，"GATHER_INFO" 及 "KICK_MH"。Socket event 有兩種，一個為新的連線，另一個為既有的連線。既有的連線如果沒有資料可以讀入，代表對方將此連線關閉。
- (B) Add an AP info.: 新的無線網路基地台加入之後，我們要取得一些基本的資訊，首先，先分派(allocate)一塊記憶體位置來存放該無線網路基地台的資訊，接著送三個命令給無線網路基地台，(1)回報基本資訊，(2)掃描其他無線網路基地台並回報，(3)回報目前有認證的 mobile host。
- (C) Process data: 這部分是從 socket 讀進資料，並根據是何種的回報資料進行處理。
- (D) Clean AP info.: 由於無線網路基地台端，將連線結束，因此清除整理有關該無線網路基地台的資料。
- (E) Get mobile hosts info.: 每 CHECK_INTERVAL DCA Server 會下令要無線網路基地台回報有認證的 mobile host 資料。當收到回報資料時，DCA Server 會由 Idle waiting 的狀態轉為 Process data。除了使用者資料外，DCA Server 偶爾會下令要求重新掃描來取得最新的 Good_Neighbors 的資訊。
- (F) Calculate data: 將收集的資訊進行統計及計算，(1)計算是否要為了統計

無線網路基地台之間相關位置而剔除 mobile host，如果有多台符合則選擇距離上一次執行時間最久的基地台。(2)計算每個無線網路基地台是否有需要更換頻道。

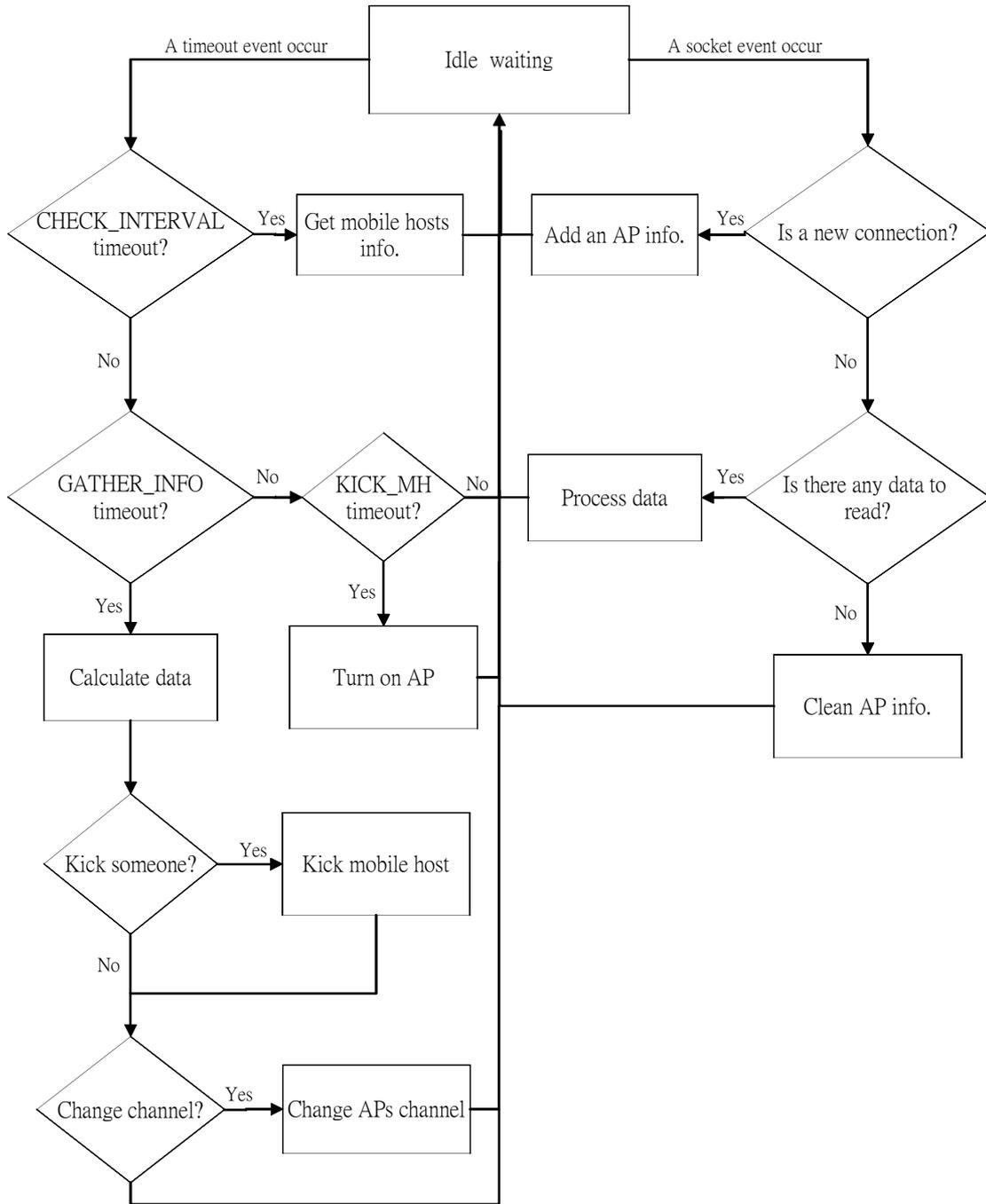


圖 4.2 DCA Server 運作流程圖。

- (G) Turn on AP: 我們已將無線網路基地台訊號強度設為 0 來強迫 mobile host 更換無線網路基地台，因此關掉的時間夠了，便把訊號強度調回來。
- (H) Kick mobile host: 這裡包含我們將命令無線網路基地台對 mobile host 做解除認證的動作之後，馬上將無線網路基地台的訊號強度設為 0。
- (I) Change AP channel: 在(F)中已經算出無線網路基地台是否該更換頻道，如果有的話，則下令給無線網路基地台。

4.4.2 無線網路基地台運作流程

在無線網路基地台這端的運作流程就非常簡單，無線網路基地台會定時檢查是否有新的 mobile host 認證，有的話就回報給 DCA Server，否則就是等待 DCA Server 所下的命令，執行之後將結果回報。

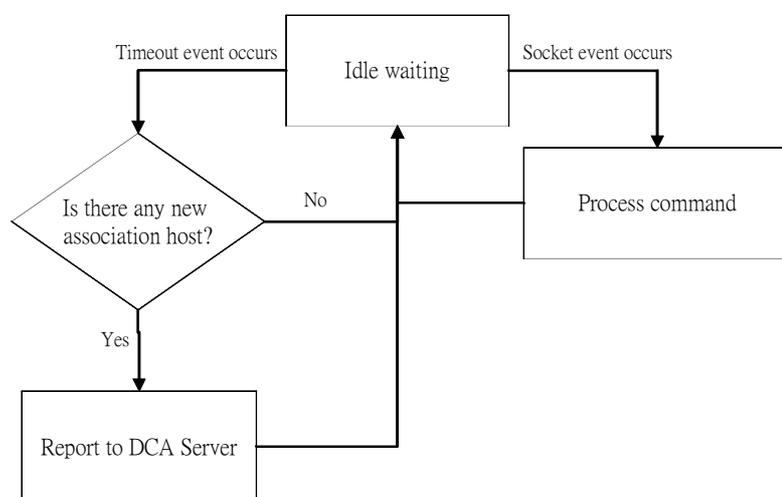


圖 4.3 無線網路基地台端運作流程圖。

4.5 收集無線網路基地台相互的位置

如同 4.3.1 所述，我們可以利用無線網路基地台來做掃描，而當無線網路基地台在掃描時扮演為一個 Mobile host，並無法同時扮演無線網路基地台及 Mobile host 兩個角色，由於掃描的時間很短，因次對使用者造成的影響不大。在實作方面的考量，則是讓無線網路基地台定期掃描，因為(1)無線網路訊號受到溫度、溼度及障礙物...等環境的影響，因此訊號所及的範圍變化非常大，在測試此系統的過程中，不到三小時的時間訊號範圍可以從 100 公尺左右縮減到約 20 公尺。(2)由於佈置無線網路基地台不一定是一次佈置完成，因此需要定期掃描取得最新的資訊。

要取得 Bad_Neighbors，我們的策略是每經過一段時間(CHECK_INTERVAL)將閒置的使用者從認證的無線網路基地台剔除，希望它能夠跟別的無線網路基地台做認證，以取得無線網路基地台相互關係，這相互關係將是一個 $N*N$ 的矩陣 M ， N 代表無線網路基地台的個數， $M[a][b]$ 代表由無線網路基地台 a 被剔除後跟無線網路基地台

b 做註冊的次數。在實作方面的考量的話，由於使用者端的驅動程式是根據訊號強度來選擇無線網路基地台，因此我們必須稍微更改這邊的方法，我們做法是將整個無線網路基地台訊號關掉一段時間，強迫使得使用者必須跟別的無線網路基地台做認證。在選擇關掉訊號的無線網路基地台方面，我們選擇無線網路基地台下所有使用者皆閒置者。閒置的判斷為(1)在 CHECK_INTERVAL 內傳送及接收量少於 500Bytes，且(2)已閒置 10 秒以上未傳送或接收資料。

在收集無線網路基地台相互位置後，我們可以針對每個無線網路基地台畫出如圖 4.4，無線網路基地台 A 經由掃描聽到無線網路基地台的訊號，經由無線網路基地台 A 剔除使用者的紀錄中得知，有 7 次隨後與無線網路基地台 B 認證，而 10 次與 C，3 次與 D，3 次則是與 A 認證。假設共有 n 個無線網路基地台，我們可將網路(Network)定義為 $N = \{w, u, v\}$ ，v 為無線網路基地台的集合， $v = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ，

$u = \{u_{1,1}, u_{1,2}, \dots, u_{n,n}\}$ 其中 $u_{i,j}$ 代表由無線網路基地台 i 剔除之後向無線網路基地台 j 做

認證的次數， $w = \{w_{1,1}, w_{1,2}, \dots, w_{n,n}\}$ 其中 $w_{i,j}$ 為布林函數(boolean function)，代表 v_j 是否為 v_i 的 Good_Neighbor。

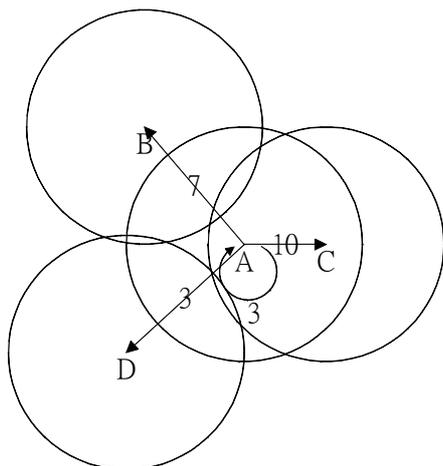


圖 4.4 無線網路基地台之間相互關係圖。

4.6 更換頻道指標(Switch Channel Index)

在決定是否更換頻道，我們的考量是這個頻道的傳輸成功率及目前的負載量，負載量越高傳輸成功率的要求就越高，負載量越低傳輸成功率的要求就越低。所以首先 4.6.1 先介紹如何計算傳輸成功率，4.6.2 介紹負載量如何計算，4.6.3 將會介紹決定函數—D，到 4.6.3 為止都是計算目前的頻道，4.6.4 將會介紹如何預測其他頻道的狀況。

4.6.1 實體層傳輸成功率

如同第一章簡介所提到的，802.11 重傳(retransmission)的機制，在重傳的次數上

有限制，稱之為重傳限制(Retry limit，其後簡稱 RL)。一個 MPDU 如果傳送 RL 次皆失敗，將會拋棄這個 MPDU，繼續下一個 MPDU 的傳送。因此我們可以由這邊簡單的推出實體層(physical layer)傳輸成功率，假設

- (1) 實體層傳輸成功率為 Pps (the probability of successful physical layer transmission)
- (2) 媒介層(MAC layer)傳輸成功率為 Pms (the probability of successful MAC layer transmission)

那麼我們可以推得無線網路基地台 v_i 的 Pps 與 Pms 的關係式為:

$$(1 - Pms_i) = (1 - Pps_i)^{RL}$$

左式為媒介層傳輸失敗的機率，右式為連續 RL 次實體層傳輸都失敗的機率也就是媒介層傳輸失敗的機率。這樣我們可以由 Pms 推得 Pps，當然 Pps 是介於 0~1 的數。這樣的做法是因為實作的考量上，我們無法得知實體層傳送的次數，當然也無法取得實體層傳送成功或失敗的次數，但我們可以取得傳送多少個 MPDU 以及因為傳送 RL 次皆失敗的次數，這些資料可以由驅動程式統計出來，我們透過 proc 檔案系統，可以隨時取得最新得資訊。

4.6.2 負載量比例 — L

負載量是要計針對每個無線網路基地台所感受到的頻道負載量，由於訊號會衰減，所以計算無線網路基地台 i 的頻道負載量，必須要考慮 i 所聽到訊號的無線網路基地台。

在 802.11B 中允許的傳輸速率為 1、2、5.5 及 11Mbps，在每次傳輸並不一定會使用相同的傳輸速率，因此負載量不能以傳輸量來計算，我們這邊採用時間的概念，傳輸花了多少時間，因此負載量比例的定義為花了多少比例的時間在傳送或接收。在時間的計算上我們忽略 RTS/CTS 及 ACK 所花的時間，也忽略傳輸失敗所花的時間。因此在計算方面，在每次成功的傳輸(包跨傳送與接收)之後我們將傳送的長度除以傳輸的速率來取得傳輸時間，傳輸長度則包跨 MAC header，這部分的計算也是由驅動程式來統計，同樣的也是透過 proc 檔案系統來取得最新資訊。

每經過 CHECK_INTERVAL 的時間，DCA Server 會下達指令要無線網路基地台回報它底下所有的使用者的歷史負載量，DCA Server 再根據上次的回報算出 CHECK_INTERVAL 的時間內該無線網路基地台的負載量。因此我們定義無線網路基地台 v_i 負載量 Load_i 為

$$Load_i = RX_times_i + TX_times_i.$$

無線網路基地台的負載量(Load)為它傳送與接收所花的時間，而無線網路基地台 v_i 使用頻道 c 所感受到的頻道負載量(Channel_Load_i)為

$$Channel_Load_{i,c} = \sum_k w_{i,k} \times Load_k, \text{ for all AP } v_k \text{ where } v_k \text{ uses the channel c}$$

在這邊我們將負載量比例限定為 0~1 之間的數，代表有多少比例該無線網路基地台所

使用的頻道是忙碌的，因此定義無線網路基地台 v_i 在頻道 c 的負載量比例 $L_{i,c}$ 為

$$L_{i,c} = \frac{\text{Channel_Load}_{i,c}}{\text{CHECK_INTERVAL}}$$

4.6.3 更換頻道指標 — SCI

SCI 是一個無線網路基地台是否需要更換頻道的指標，是否要更換頻道取決於該頻道被干擾的程度，當負載量低的時候我們允許較高的干擾，反之負載量較高時希望干擾越低，因此將無線網路基地台 v_i 使用頻道 c 的 SCI 定義為

$$SCI_i = \frac{1 - Pps_i}{1 - L_{i,c}}$$

同時我們也定義 $SCI_Threshold$ ，當 $SCI > SCI_Threshold$ 時，需要挑選適合的頻道， $SCI_Threshold$ 值得選擇則是由實驗取得。

4.6.4 頻道狀況指標 (Channel Condition Index) — CCI

在 4.6.3 中我們提到了更換頻道指標，更換頻道指標的計算是根據目前使用的狀況，由無線網路基地台統計出來所計算出來的，但是當我們要選擇不同頻道時，要預測其他頻道是否適合，因此我們稍微修改了更換頻道指標 SCI 將他稱之為頻道狀況指標 CCI，我們定義 $CCI_i(c)$ 為預測無線網路基地台 v_i 預測頻道 c 的狀況可以下列的式子表示。

$$CCI_i(c) = \frac{1 - PPps_i(c)}{1 - L_{i,c}}$$

更換頻道指標 SCI 的 Pps 值是根據使用的狀況所算出來的，而頻道狀況指標 CCI 的 PPps(predict Pps)值則必須用推測的方式求出，因此我們接下來會介紹如何預測不同頻道的 PPps 值。

現在我們先回憶 3.2 所提到的實驗結果，當兩個無線網路基地台都互相聽的到對方訊號的時候，由於每次的傳輸，無線網路基地台一定是扮演傳送或接收的角色，所以可以透過 CSMA 的機制(virtual carrier sense)，知道目前頻道使否正在使用，因此可以減少碰撞的機率，而當兩個無線基地台相互聽不到卻又有訊號互相重疊的區域 (Bad_Neighbors)，這時就會導致對位於訊號相互重疊區域的 Mobile host 是頻道忙碌的狀態，但無線網路基地台卻不知道的情況，在圖 3.5 中，當 Mobile host 2 位於 AP 2 的訊號內，但不在 AP 1 的訊號內時，AP 1 就可能(因為訊號強度不一定一樣所以是”可能”)不會聽到 Mobile host 2 的 RTS，當然也不會聽到 AP 2 的 CTS，因此並不知道 AP 2 可能正在使用頻道，而反觀 Mobile host 1 因為位於 AP 2 的訊號範圍內，故會收到 AP 2 的 CTS，因此得知 AP 2 正在使用頻道，如此一來便會造成 AP1 想要送 RTS 或 MPDU 給 Mobile host 1 但 Mobile host 1 不會回應 CTS 或 ACK。然而 AP1 的使用頻道並不會對 AP2 與 Mobile host 2 造成干擾，因此我們可以推得 AP 1 的干擾與 3 個因素有關，(1) AP 2 的負載量，AP 2 負載量越大，頻道被佔用的時間就越多，AP 1 傳送給 Mobile host 1 的成功率就越低。(2)位於 AP 1 與 AP 2 的交集內，向 AP 1 認證

的 Mobile host 個數，因為在這區域才會被 AP 2 干擾，如果個數越多，AP 1 要傳送到這區域的機率就越大。(3)在 AP 2 範圍內卻不在 AP 1 範圍內 Mobile host 個數，因為如果在 AP 1 與 AP 2 交集內的 Mobile host 使用頻道的話，AP 1 與 AP 2 都會收到 RTS，故僅會佔用頻道，並不會造成 AP 1 的傳送失敗。假設 v_i 與 v_j 使用相同頻道，我們把 v_j 對 v_i 的干擾(Interference)歸納為

$$Interference_{j \rightarrow i} = Load_j \times \frac{u_{i,j}}{\sum_{k=1}^n u_{i,k}} \times \left(1 - \frac{u_{j,i}}{\sum_{k=1}^n u_{j,k}}\right)$$

而 v_i 在頻道 c 所受到的總干擾為

$$Interference_{i,c} = \sum Interference_{k \rightarrow i}, \text{ for all AP } v_k \text{ where } v_k \text{ uses the channel } c,$$

$$u_{i,k} \neq 0 \text{ and } w_{i,k} = 0.$$

我們假設傳送失敗率(1- P_{ps})與干擾(Interference)成正比，因此可借由目前所使用的頻道 c_1 的傳送失敗率推得其他頻道(c_2)的傳送失敗率

$$1 - PPps(c_2) = \frac{Interference_{i,c_2}}{Interference_{i,c_1}} \times (1 - Pps_i)$$

接下來我們將用一個簡單的例子來說明如何預測其他頻道的好壞，

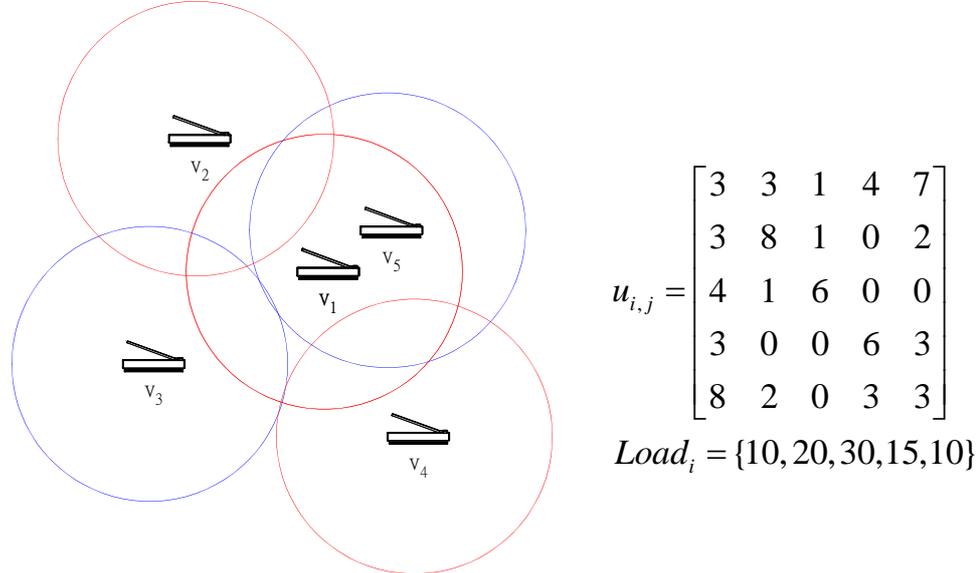


圖 4.5 紅色圓圈代表該 AP 使用頻道 c_1 ，藍色圓圈代表該 AP 使用頻道 c_2 。

如圖 4.5 我們假設

- (1) v_1 、 v_2 與 v_4 使用頻道 c_1 ， v_3 與 v_5 使用頻道 c_2 。

(2) $Pps_1=0.8$ 。

(3) $CHECK_INTERVAL=50$ 。

由圖 4.5 知在 $w_{i,j}$ 中，僅 $w_{1,5}$ 與 $w_{5,1}$ 為 1，其他皆為 0。加上陣列 $Load_i$ 我們可以推得

$$Channel_Load_{i,c_1} = [10 \ 20 \ 30 \ 15 \ 10]$$

$$Channel_Load_{i,c_2} = [Load_1 + Load_5 \ Load_2 \ Load_3 \ Load_4 \ Load_1 + Load_5]$$

$$Channel_Load_{i,c_2} = [20 \ 20 \ 30 \ 15 \ 20]$$

$$Interference_{2 \rightarrow 1} = Load_2 \times \frac{u_{1,2}}{\sum_{k=1}^5 u_{1,k}} \times \left(1 - \frac{u_{2,1}}{\sum_{k=1}^5 u_{2,k}}\right) = 20 \times \frac{3}{(3+3+1+4+7)} \times \left(1 - \frac{3}{(3+8+1+0+2)}\right) = \frac{55}{21}$$

$$Interference_{4 \rightarrow 1} = 15 \times \frac{4}{18} \times \left(1 - \frac{3}{12}\right) = \frac{5}{2}$$

$$Interference_{i,c_1} = \frac{55}{21} + \frac{5}{2} = \frac{215}{42}$$

$$Interference_{3 \rightarrow 1} = 30 \times \frac{1}{18} \times \left(1 - \frac{4}{11}\right) = \frac{35}{33}$$

$$Interference_{i,c_2} = \frac{35}{33}$$

$$1 - PPps(c_2) = \frac{Interference_{i,c_2}}{Interference_{i,c_1}} \times (1 - Pps_i)$$

$$\Rightarrow PPps(c_2) = 1 - \frac{Interference_{i,c_2}}{Interference_{i,c_1}} \times (1 - Pps_i) = 1 - \frac{\frac{35}{33}}{\frac{215}{42}} \times (1 - 0.8) = 0.96$$

$$L_{1,c_1} = \frac{Channel_Load_{1,c_1}}{CHECK_INTERVAL} = \frac{10}{50}$$

$$L_{1,c_2} = \frac{Channel_Load_{1,c_2}}{CHECK_INTERVAL} = \frac{20}{50}$$

$$SCI_1 = \frac{1 - Pps_1}{1 - L_{1,c_1}} = \frac{1 - 0.8}{1 - \frac{10}{50}} = \frac{1}{4}$$

$$CCI_1(c_2) = \frac{1 - PPps_1(c_2)}{1 - L_{1,c_1}} = \frac{1 - 0.96}{1 - \frac{20}{50}} = \frac{1}{15}$$

在上述例子中，我們算出 v_1 在使用頻道 c_1 的 SCI_1 值為 0.25 而預測 v_1 在頻道 c_2 的 $CCI_1(c_2)$ 值為 0.067，所以我們預測 v_1 改變為使用頻道 c_2 會較佳。

4.7 負載量的考量

在 4.3 的實驗中，我們得知如果兩個無線網路基地台聽的到互相的訊號，即使使用相同的頻道，因為 CSMA 中 carrier sense 的機制，所以碰撞的機率並沒有明顯的提高，但其中一個無線網路基地台使用頻道後，另一個無線網路基地台在該時間內就不能使用，因此兩個無線網路基地台工作量相當於一個無線網路基地台，因此在更換頻道的考量中，必須再額外考量這一類的狀況。我們設定一個 Threshold 稱之為 $CL_Threshold$ (Channel Load Threshold)，當 $Channel_Load_{i,c_i} > Load_i$ 且 $Channel_Load_{i,c_k} > CL_Threshold$ ，我們檢查 v_i 若使用其他頻道 (c_k) 是否可降低 $Channel_Load_{i,c_k}$ ，若能夠降低，我們選擇 $Channel_Load_{i,c_k}$ 最低的頻道，同樣的在 4.6 的判斷中，我們最後也加上負載量的考量，如果改變頻道為 c_k 會使的 $Channel_Load_{i,c_k} > CL_Threshold$ ，那我們將不會改變為頻道 c_k 。

4.8 如何選擇頻道

當 DCA Server 收集無線網路基地台資訊後，將開始計算是否需要更換頻道及該更換到哪一個頻道。

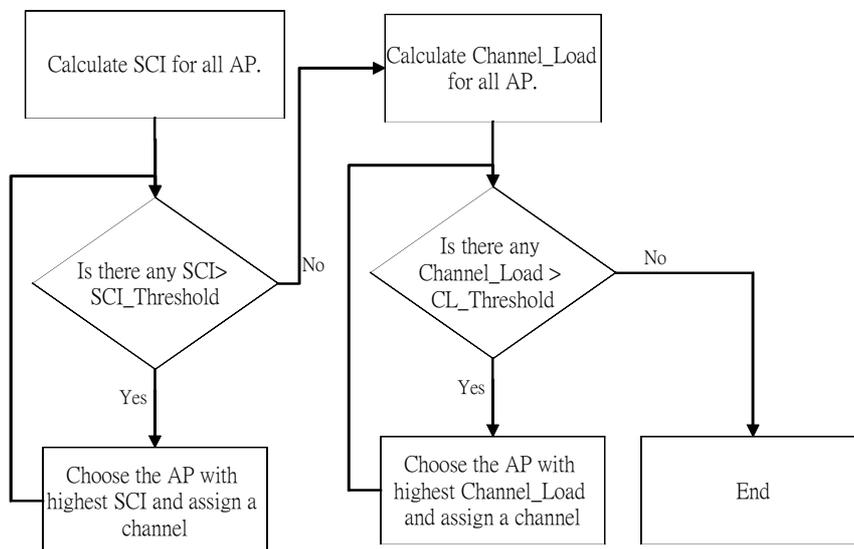


圖 4.6 選擇頻道流程圖

(A) Calculate SCI for all AP.: 計算每個無線網路基地台的 SCI 值。

(B) Choose the AP with highest SCI and assign a channel: 因為有無線網路基地台的 SCI 值超過 $SCI_Threshold$ ，我們選擇 SCI 最大的無線網路基地台來調整，

計算它在不同頻道的 CCI 值並檢查不同頻道的 Channel_Load 是否超過 P_CL_Threshold，選擇 CCI 值最小且 Channel_Load 並沒有超過 P_CL_Threshold 的頻道，接著將結果下令給無線基地台使無線網路基地台改變頻道，此後在這一輪的檢查中將不再檢查該無線網路基地台的 SCI 是否超過 SCI_Threshold 及 Channel_Load 是否高於 CL_Threshold。

在檢查 Channel_Load 的方面非常類似於檢查 SCI 值，要注意的是 CL_Threshold 與 P_CL_Threshold 的不同。因為 SCI 值高於 SCI_Threshold 要換頻道所檢查的 Channel_Load 的門檻是 P_CL_Threshold，而我們將設定 P_CL_Threshold 高於 CL_Threshold。

第五章 實驗結果

在這章節中，我們設計了三個簡單的實驗，僅設計這三個實驗的原因在於(1)無線網路環境架設不易，由於學校內很多地方都架設了無線網路的環境，尤其交大工程三館某些地方同時間可偵測到數十台以上的無線網路基地台，因此干擾嚴重。(2)訊號距離長，訊號狀況好時訊號的距離長約 100 公尺仍可接收到，若要架設多個無線網路基地台，需要寬廣空曠，且有提供電力網路的環境。(3)訊號距離變化快速，在測試的經驗中，有時 100 公尺仍可接收到訊號，有時 20 公尺就收不到訊號，差異性大，因此當佈置好理想環境之後若訊號變異大，會使的實驗結果無法預測與評估。

在實驗的過程中，我們遇到了許多困難，最主要來自於訊號的不穩定以及其他無線網路基地台的干擾，訊號的不穩定造成佈置無線網路基地台的困難，當佈置好開始實驗之後，往往會因為訊號的不穩定，造成實驗數據的不可靠信，遇到這些狀況，我們只好重新再來一次，而往往就是過一天在重新佈置環境，而已測試的資料只能不與採記，舉一個最簡單的例子，我們希望兩個無線網路基地台是 *Good_Neighbors*，因此將兩個基地台佈置在同一個房間內，兩個無線網路基地台約距離 30 公尺內，但卻偶爾會發生其中一台無線網路基地台無法掃描到另一個無線網路基地台。而當我們希望兩個無線網路基地台是 *Bad_Neighbors* 時，將無線網路基地台分別佈置在兩個房間內，利用牆壁及距離使得兩個無線網路基地台無法掃描到對方，但有時卻會掃描到對方。

由於無線網路基地台佈置不易，在我們接下來的實驗中，假設可以使用的頻道為 1 與 11，*CHECK_INTERVAL* 為 50 秒。

5.1 實驗一

在實驗一中，我們測試的是兩個無線網路基地台為 *Good_Neighbors* 的情況。MH A 使用 AP A 而 MH B 使用 AP B，無線網路基地台 A 與 B 都使用頻道 1，因此 A 的頻道負載量為 A 的負載量加上 B 的負載量，我們期望如果頻道負載量過大會導致 A 或 B 其中一台無線網路基地台更換頻道。

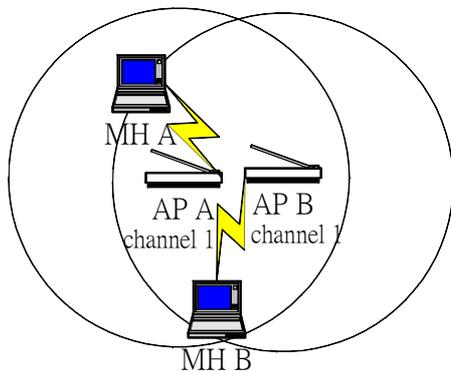


圖 5.1 實驗一，AP A 及 B 為 *Good_Neighbors*，且使用相同的頻道。MH A 使用 AP A，

而 MH B 使用 AP B。

Times	Before (KB/s)		After (KB/s)		Changing Time(s)
	MH A	MH B	MH A	MH B	
1	356.11	290.98	499	498.73	63
2	351.17	290.89	499.12	498.26	65
3	350.04	297.04	499.24	498.96	87
4	355.95	285.16	499.12	498.88	81
5	359.11	284.62	499.15	499.01	89.77
6	199.2	367.34	499.14	499.02	13.34
7	350.24	284.32	499.12	498.73	62
8	362.05	279.06	499.19	499.07	52.86
9	358.94	279.14	499.17	498.61	74.16
10	360.27	277.07	499.13	499.04	54.5
avg	340.308	293.562	499.138	498.831	64.263

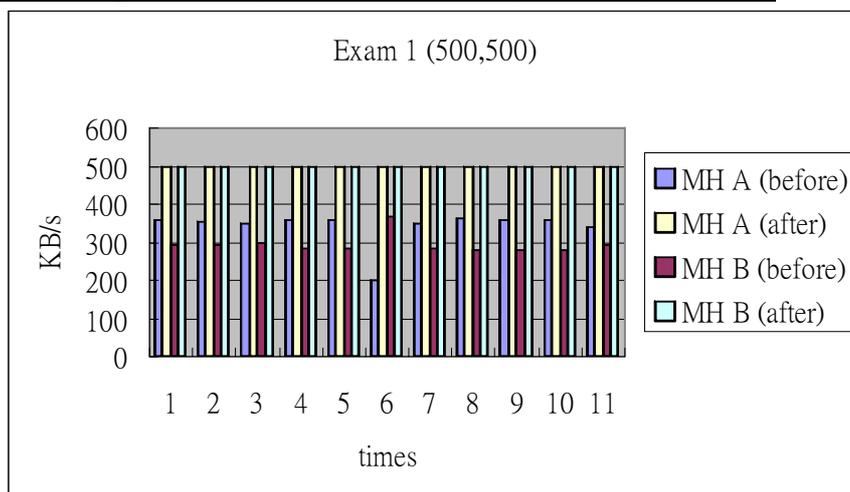


Table 5.1 我們共呈現 10 次的實驗結果以及平均值，第二三列(Before)代表著換頻道前的平均流量，而第三四列代表換頻道後的平均流量，最後一列則代表從 MH A 及 MH B 同時開始灌入流量之後多久 DCA Server 下換頻道的命令給無線網路基地台。實驗中 MH A 及 B 分別灌入 500KB/s TCP 的流量送往有線端。

在 table 5.1 中，MH A 與 MH B 分別灌入 500KB/s TCP 的流量，我們紀錄換頻道之前的流量，以及換頻道之後的流量，很明顯的換頻道之前與換頻道之後有明顯的改善，在這 10 次的實驗中，因為換頻道的因素在於頻道負載量過大，而檢查的週期又是 50 秒，因此必須要在這 50 秒內統計的頻道負載量過大才會更換頻道，所以換頻道的時間都約為 50 秒以後，讓第二次檢查可以感受到這 50 秒內過大的頻道負載量，當我們已經知道頻道負載量過大時，就會檢查是否有 Good_Neighbors 使用相同頻道而造成頻道負載量過大，如果有這種情況，則會想要更換頻道。在 10 次實驗當中，僅

第 6 在約 13 秒時就更換頻道,但是我們發現 MH A 與 MH B 的流量相加約為 567KB/s 與其他實驗相比,明顯的少了約 80KB/s,我們檢查實驗紀錄檔(log file)發現,之所以會換頻道的原因在於 MH A 傳送成功率過低,算出來的 SCI 值高於 SCI_Threshold 造成的,這也符合為什麼少了 80KB/s,是因為重送出去了,但是並沒有成功傳送,但是在這期間,其他機器並無法在此時傳送. 我們同時也測試其他不同流量的結果,在這裡我們並未列出來,從上面這個數據可以知道只要頻道流量約為 600KB/s 以上就會換頻道,而在這例子中我們已經將知道當頻道負載量達到極限時,就會更換頻道。我們可以利用多次的實驗來訂定適當的 CL_Threshold。

當我們觀察 MH A(before)及 MH B(before)時可以發現,幾乎都是 MH A 較高,理論上如果 MH A 及 MH B 若同時開始傳送資料,應該相互競爭,平均上應該會旗鼓相當,但是在這裡卻出現 MH A 明顯高於 MH B 的情況,這是跟機器的訊號強度有關也就是跟機器及擺設有關係,在做實驗一時,因為目前無線網路卡選擇無線網路基地台是由訊號強度而決定,雖然 AP A、AP B、MH A 及 MH B 四台機器都是 Good_Nieghors,但是為了實驗方便要讓 MH A 使用 AP A,讓 MH B 使用 AP B,因此將 MH A 與 AP A 擺設在 1 公尺內,而 MH B 與 AP B 在一公尺內,而 AP A 與 AP B 相距 5 公尺以上。

在實驗的過程中,假設 AP A 更換頻道,而我們希望 MH A 仍然使用 AP A 並且隨著 AP A 更換頻道,但是有時 MH A 在 AP A 更換頻道後會轉向與 AP B 做認證註冊而使用 AP B,當然有時候 MH A 也會隨著 AP A 使用新的頻道,在實驗的過程中,若前者發生我們將會手動要求 MH A 做重新掃描的動作,使 MH A 重新選擇 AP,讓 MH A 使用 AP A.在所有的實驗中,我們往往會需要手動要求 Mobile host 做重新掃描的動作。

5.2 實驗二

在實驗二中,我們測試的是兩個無線網路基地台為 Bad_Neighbors 的情況。MH A 使用 AP A 而 MH B 使用 AP B,無線網路基地台 A 與 B 都使用頻道 1, MH A 位於 AP A 的覆蓋區域內且不為 AP B 的覆蓋區域,而 MH B 位於 AP A 與 AP B 的交集內,因此當 AP A 正在使用頻道時, MH B 知道,但 AP B 不知道,會造成 AP B 在此時企圖傳送資料給 MH B,當然此時的傳送是失敗的。在這實驗中我們預期 MH B 受到 AP A 及 MH A 的干擾,導致 AP B 傳送給 MH B 的封包失敗,由失敗率的高低及頻道負載量來決定是否需要更換頻道,因此我們分別灌入不同的流量來測試。

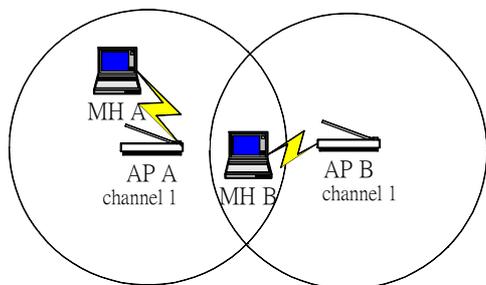


圖 5.2 實驗二，AP A 及 AP B 使用相同頻道，而 MH B 位於兩個 AP 的交集。

我們分別灌入(MH A，MH B)為(500KB/s，500KB/s)、(400KB/s，400KB/s)及(300KB/s，300KB/s)，並列出 10 筆數據. 除此之外也列出 3 筆(200KB/s，200KB/s)的數據。

Times	Before (KB/s)		After (KB/s)		Changing times(s)
	MH A	MH B	MH A	MH B	
1	417.44	270.95	499.18	497.53	39.41
2	448.94	247.7	499.18	496.3	25.73
3	432.94	240.24	499.18	495.37	34.07
4	418.73	279.13	499.28	491.2	45.38
5	412.5	266.9	499.28	496.68	45.45
6	432.22	221.12	491.24	455.3	51.59
7	385.15	299.16	486	449.62	45.83
8	393.15	289.93	499.28	497.99	46.17
9	367.82	252.71	498.86	498.51	55.53
10	391.28	271.69	498.17	486.69	34.12
avg	410.017	263.953	496.965	486.519	42.328

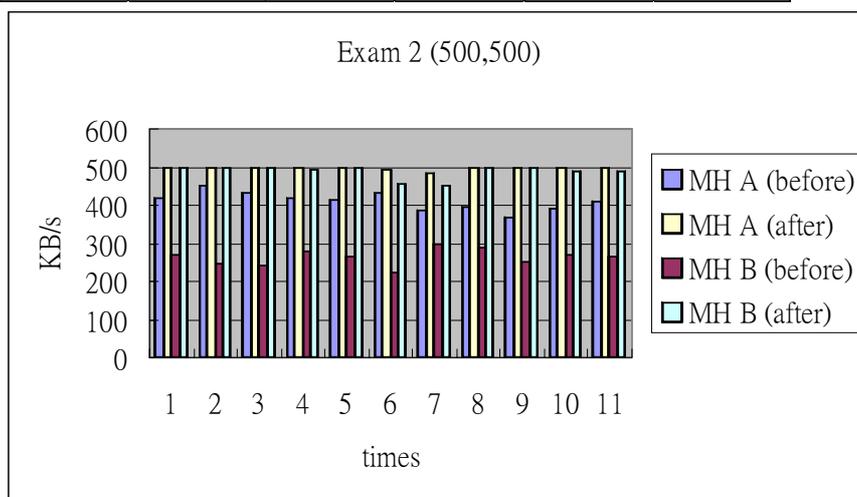


Table 5.2 實驗二，MH A & B 分別灌入 500KB/s TCP 流量。

從 Table 5.2 中我們可以知道，MH B 的確受到 AP A 及 MH A 很大的影響，MH A 的平均流量尚有 410KB/s 而 MH B 的頻軍流量則掉到約 260KB/s，兩者之間有很大的差距，然而兩者的流量都有明顯的上升到約為 490KB/s，在實驗二中 AP B 會因為傳送成功率過低導致 AP B 更換頻道為 11，避免受到 AP A 的干擾，但是當我們觀察換頻道之後 MH B 的流量仍然較 MH A 低，這是因為擺設的關係，首先我們爲了要讓 AP A 及 AP B 爲 Bad_Neighbors 所以兩個 APs 不能擺設太靠近，MH B 又必須位於

AP A 與 AP B 的交集內，因此 MH B 收到 AP B 的訊號強度較 MH A 收到 AP A 的訊號強度弱，因此造成換頻道之後 MH A 流量均較 MH B 略高。其中第 6 及 7 次實驗，MH A 的流量略為下降，MH B 更為明顯，這是由於訊號的不穩定造成的現象，即使兩個無線網路基地台使用不同的頻道，仍然會受到環境的影響，顯然的這次的影響是全面性的，不論哪個頻道都會受到影響，至於 MH B 較為明顯的原因，前面已經解釋過了，是因為 MH B 收到 AP B 的訊號強度較弱。

在換頻道的時間上，幾乎都是一輪內就會決定要換頻道了，除了第六次及第九次分別為 51 及 56 秒，這兩次的在第一輪的檢查中由於才剛開始傳送資料，因此還累積不夠多資訊提供給 DCA Server 來決定頻道的好壞。而第二次僅僅才 25 秒即可決定要更換頻道，由此可知當頻道遭遇到很多干擾時並不需要很高的負載量便會使 SCI 值超過 SCI_Threshold。

Times	Before (KB/s)		After (KB/s)		Changing times(s)
	MH A	MH B	MH A	MH B	
1	369.23	251.15	399.42	399	46.91
2	392.9	292.76	399.31	398.95	46.02
3	383.7	303.09	399.42	399.26	46.81
4	389.61	317.23	399.38	398.26	50.92
5	387.94	307.29	399.33	396.71	73.52
6	387.96	323.46	399.41	399.26	62.07
7	380.55	272.95	399.42	389.99	54.66
8	387.36	371.33	396.71	399.38	46.17
9	394.31	364.15	399.42	399.33	55.53
10	398.42	321.31	398.95	399.26	46.12
avg	387.198	312.472	399.077	397.94	52.873

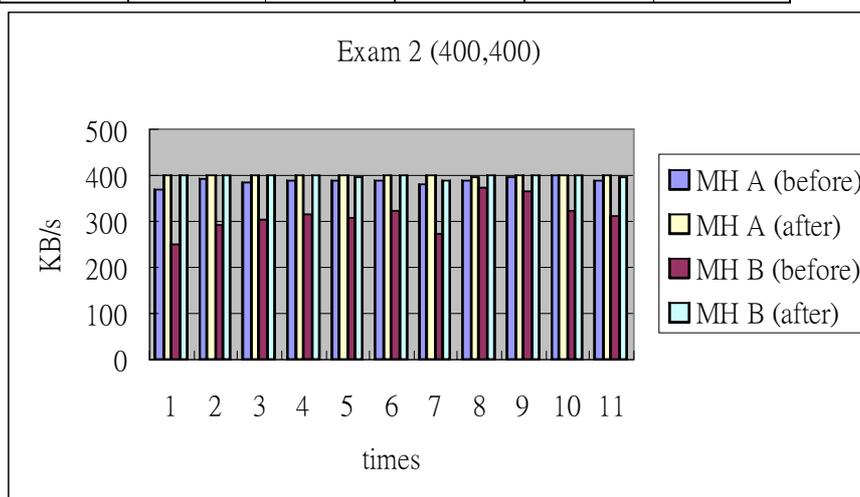


Table 5.3 實驗二，MH A & B 分別灌入 400KB/s TCP 流量。

接下來我們呈現的是 MH A 及 MH B 分別灌入 400KB/s 的流量的實驗結果，由 Table 5.3 可以看出來 MH A 及 AP A 幾乎沒有受到 MH B 的影響，平均流量約有 390KB/s，反觀 MH B 的流量則約只有 310KB/s，當我們與灌入 500KB/s 的結果做比較，我們發現 MH B 的流量在 400KB/s 時較高，這也再度證明了 MH B 的確受到 MH A 及 AP A 的影響，當 MH A 灌入流量較小時 MH B 受到的干擾將減少，這個現象我們也可以從改變頻道的時間看得出來，在第五次的實驗，足足等了 73 秒，也就是在第一次決定時統計了半輪的流量，確決定不更換頻道。這也符合我們設計的原則，當負載量高時與許較低的干擾，而負載量較低時允許較高的高擾。此外在換頻道前 MH A 及 MH B 的綜合流量，當灌入 400KB/s 也比灌入 500KB/s 來的高，我們推測是由於灌入的是 TCP 的流量，傳送失敗造成 TCP 的壅塞控制(congestion control)反而使得整體流量的下降。

Times	Before (KB/s)		After (KB/s)		Changing times(s)
	MH A	MH B	MH A	MH B	
1	299.36	263.89	299.54	297.03	86.89
2	298.88	266.44	299.5	299.47	64.84
3	299.03	256.92	299.57	299.24	66.82
4	299.39	272.7	299.57	299.26	64.93
5	299.49	240.15	299.25	299.53	71.72
6	299.43	299.49			268.33
7	299.51	299.18			303.18
8	299.36	275.35	299.56	299.54	60.36
9	298.49	282.33	299.57	299.25	96.83
10	299.39	258.81	299.51	284.81	39.13
avg	299.233	271.526	299.5088	297.2663	68.94

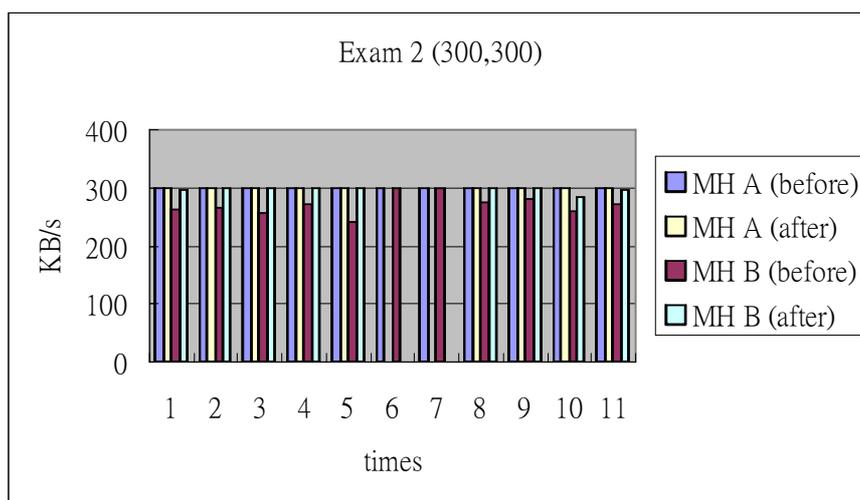


Table 5.4 實驗二，MH A & B 分別灌入 300KB/s TCP 流量。

Table 5.4 為實驗二灌入 300KB/s 的結果，其中第六，七兩次執行了約莫 300 秒，仍然沒有更換頻道，因此在統計 MH A&B(after)及 Changing time 的平均值時並未計入(後面的實驗亦同)。不換頻道的原因在於 MH B 受到 AP A 及 MH A 的干擾並不嚴重，這是由於訊號的不穩定造成的現象。而改變頻道的時間又比灌入 400KB/s 來的久，其中我們可以觀察第九次的實驗，在第一輪中並未更換頻道是由於 MH B 受到的干擾還不夠嚴重，它在換頻道前的流量是 10 次實驗中是最高的。

我們也做了灌入 200KB/s 的實驗，並列出了三次提供參考。很明顯的都經過好幾輪之後，才有一次決定要更換頻道。

Times	Before (KB/s)		After (KB/s)		Changing times(s)
	MH A	MH B	MH A	MH B	
1	199.64	193.99	199.71	199.57	212.09
2	199.71	192.73	199.69	199.58	172.35
3	199.58	191.69	199.71	199.58	192.53

Table 5.5 實驗二，MH A & B 分別灌入 200KB/s TCP 流量。

5.2 實驗三

實驗三其實就是實驗一及實驗二的整合，我們依然灌入不同的流量來測試我們的方法，在這實驗中有三個無線網路基地台及三個 Mobile host 如圖 5.2。

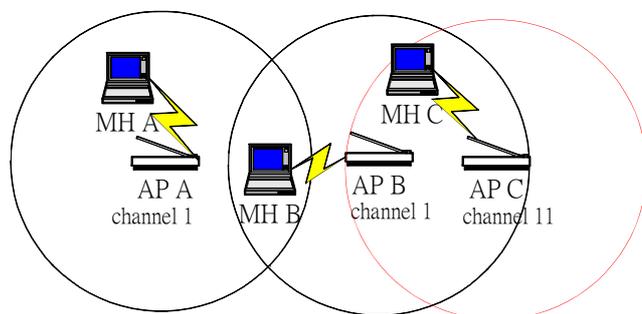


圖 5.3 AP A 及 AP B 使用頻道 1，而 AP C 使用頻道 11，AP A 與 AP B 為 Bad_Neighbors，AP B 與 AP C 為 Good_Neighbors。

在實驗三中我們做較多的測試，為了方便表示我們以(X, Y, Z)表示一種流量的實驗，其中 X、Y 及 Z 分別為 MH A、B 及 C 灌入的流量，而(X, Y, Z, N)則是(X, Y, Z)中的第 N 個測試。我們在實驗三中總共做了(500, 500, 500)、(500, 500, 300)、(500, 500, 100)、(400, 400, 500)、(400, 400, 400)、(400, 400, 300)、(400, 400, 100)、(300, 300, 500)、(300, 300, 300)及(300, 300, 100)十種不同流量的實驗。實驗結果如下。

Times	Before (KB/s)			After (KB/s)			Changing times(s)
	MH A	MH B	MH C	MH A	MH B	MH C	
1	451.32	276.46	499.07				629.11N
2	400.22	283.24	498.95				593.48N
3	376.41	338.82	498.88	499.22	499.26	498.96	90A
4	419.89	288.86	499.01				766.83N
5	453.37	248.99	499.01				480.55N
6	459.83	231.46	393.96	455.31	499.26	493.27	44.28BC
7	451.51	261.4	407.26	478.08	499.24	491.99	47.63BC
8	459.99	331.15	364.09	499.07	499.28	498.97	50.88BC
9	393.82	272.53	498.01				766.83N
10	410.33	270.11	499.07	499.07	499.28	498.97	43.91BC
avg	427.669	280.302	465.731	486.15	499.264	496.432	55.34

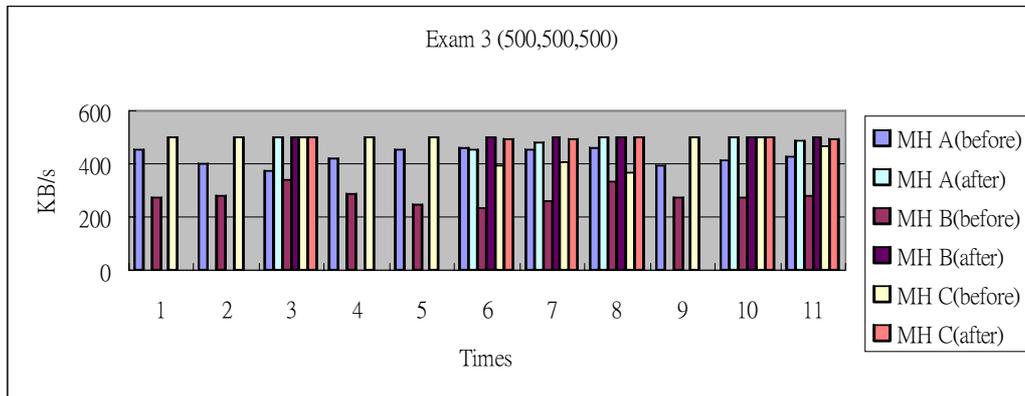


Table 5.6 實驗三(500, 500, 500)。N 代表沒有換頻道，A 代表 AP A 更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道。

(500, 500, 500, (1, 2, 4, 5, 9))這五個實驗中，都沒有無線網路基地台換頻道，但是很明顯的 MH B 受到很大的干擾，AP B 應該要換頻道會較佳，但是在這裡並沒有更換頻道原因是只有兩個頻道可用，若 AP B 更換頻道是必得與 AP C 共用一個頻道，但是 AP C 本身負載量就不小，因此雖然 AP B 的 SCI 值高於 SCI_Threshold，但是若換到頻道 11 則會使的 Channel_Load 超過 P_CL_Threshold，因此沒有更換頻道，這裡明顯的是設計上的缺失，在這個例子中應該 AP B 及 C 都更換頻道或是 AP A 更換頻道，事實上我們可以透過調整 P_CL_Threshold 及 CL_Threshold 來達成 AP B 及 C 都更換頻道，例如(500, 500, 500, (6, 7, 8, 10))這四次的實驗是 B 的 SCI 值高於 SCI_Threshold 決定要換頻道，換到頻道 11 時預測的 Channel_Load 小於 P_CL_Threshold，因此會換到頻道 11，在稍後檢查 Channel_Load 的時，由於 AP B 更換頻道為 11 導致 AP C 的 Channel_Load 大於 CL_Threshold，因此 AP C 也決定要

更換頻道為 1。這是由於我們將 P_CL_Threshold 設定較 CL_Threshold 高的原因，這樣設定也是很合理的設計。

我們已經知道若調整適當的 P_CL_Threshold 及 CL_Threshold 可以使得(500, 500, 500, (1, 2, 4, 5, 9))這些例子由不更換頻道轉為 AP B 及 C 都更換頻道，但是事實上我們不一定要這麼做，在(500, 500, 500, (6, 7, 8, 10))中 AP B 及 C 都是會更換頻道的，一但更換頻道後，由於干擾降的非常低，所以幾乎不會再更換回來，也就是說(500, 500, 500, (1, 2, 4, 5, 9))並不是不會更換頻道，只是需要時間而已，換句話說就是如果灌入的流量不變，在實驗三中最後將能夠使得各個 AP 的干擾降到最低。當然如果我們調整 P_CL_Threshold 及 CL_Threshold 的話，可以加速達成 AP 間干擾降到最低。

(500, 500, 500, 3)APA 更換頻道，這不是我們原本所預期的結果，但是這是由於訊號不穩定，造成 AP A 及 MH A 受到環境及 AP B 或 MH B 的干擾導致傳送成功率的下降，因此 APA 更換頻道，當然 APA 更換頻道後不在干擾 AP B，導致整體效能的提昇。這顯現出我們的方法能夠容忍環境的不穩定，並隨著環境的變化導致做的決策不同，並且往往是會提昇整體效能。

Times	Before (KB/s)			After (KB/s)			Changing times(s)
	MH A	MH B	MH C	MH A	MH B	MH C	
1	451.58	288.54	299.57	478.81	303.24	296.67	45.29B, B
2	350.02	284.4	295.43	498.87	499.26	299.94	44.3BC
3	377.73	302.69	299.92	499.26	499.24	299.94	50.8BC
4	381.91	267.37	293.36	499.07	499.28	299.94	45.51BC
5	427.47	370.56	292.18	499.19	499.28	299.55	61.53BC
6	436.1	350.5	298.88	499.24	498.94	299.54	55.25BC
7	421.55	362.49	299.53	499.28	499.07	299.42	48.14BC
8	417.1	318.21	299.55	472.87	328.13	298.71	35.23B, B
9	416.64	364.25	299.53	498.78	499.1	299.53	47.15BC
10	423.35	351.51	299.57	499.17	499.25	299.07	50.92BC
avg	410.345	326.052	297.752	494.454	462.479	299.231	48.412

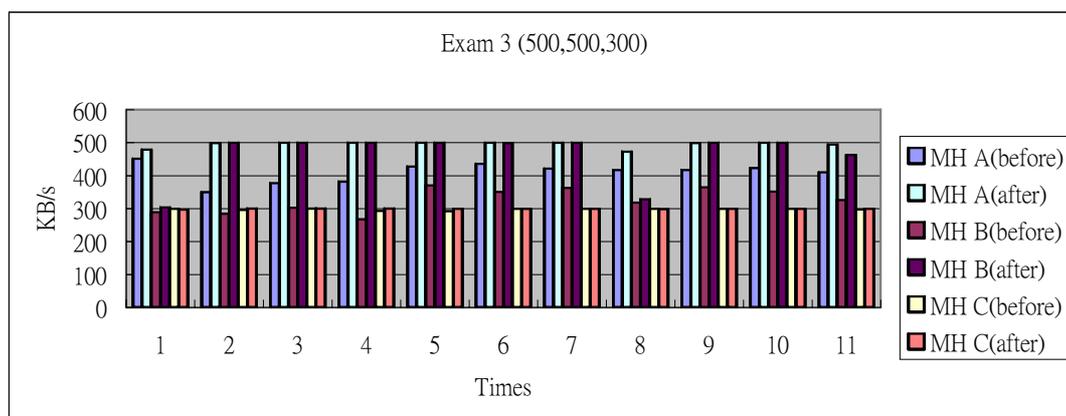


Table 5.7 實驗三(500, 500, 300)。N 代表沒有換頻道，A 代表 AP A 更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。

(500, 500, 300, (1, 9))這兩個例子中 AP B 更換為頻道 11 後又會再更換為頻道 1，這雖然不是好現象，但是在(500, 500, 300)的其他測試中，都是 AP B 及 C 同時更換頻道，因此雖然(500, 500, 300, (1, 9))先將 AP B 更換為頻道 11 再更換為 1 時會回到初始狀態，之後有很大的機率會 AP B 及 C 同時更換頻道，也顯現出我們提出的方法經過一些時間後，的確是會將頻道調整向干擾較低的狀態。

Times	Before (KB/s)			After (KB/s)			Changing times(s)	
	MH A	MH B	MH C	MH A	MH B	MH C		
1	410.6	239.8	99.7	498.71	465.93	99.85	85.07	B, B
2	496	5.74	99.86	498.86	488.9	99.86	43.56	B
3	473.66	19.69	91.53	483.99	453.67	99.86	38.09	B
4	489.47	66.72	99.86	495.68	474.93	99.86	20.24	B
5	498.71	2.69	99.86	498.94	490.77	99.86	45.41	B
6	487.56	445.42	99.83				418.92	N
7	489.9	425.72	99.84				923.66	N
8	431.88	393.91	99.33	499.28	490.03	99.85	385.88	B
9	390.12	308.15	99.84	499.13	466.44	99.85	41.7	B
10	382.46	311.57	99.86	499.28	460.91	99.84	65.13	B
avg	455.036	221.941	98.951	496.7338	473.9475	99.85375	90.635	

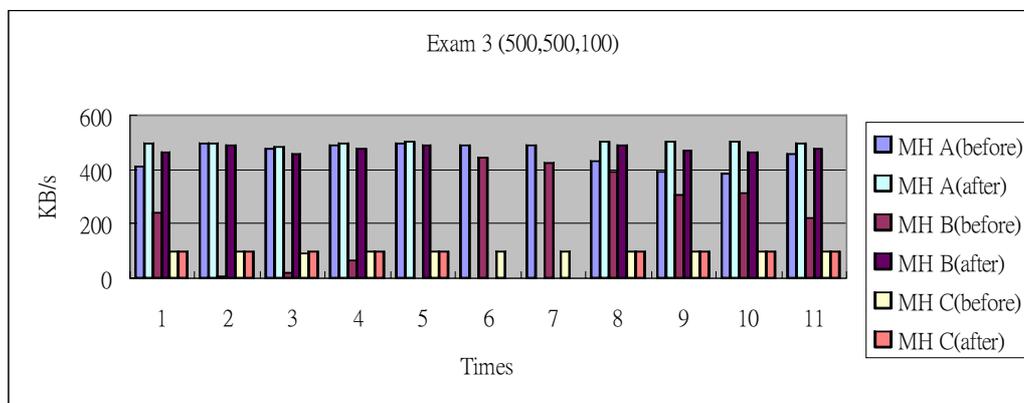


Table 5.8 實驗三(500, 500, 100)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。

(500, 500, 100)的實驗中，由於 AP C 的負載量低，因此我們希望 AP B 與 AP C 共用頻道，從實驗結果中明顯顯示 AP B 及 C 共用頻道果然可以提高整體效能。

另外我們從(500, 500, 100, 2~5)可以發現在換頻道之前 MH B 的流量很低，當換了頻道之後依然是比平均值低，我們還是老話一句，這是受到環境的影響，MH B

收到 AP B 的訊號強度太低所導致的結果。(500, 500, 100, 6~7)這兩個例子則剛好相反 MH B 收到 AP B 的訊號強度強, 且收到 AP A 的訊號強度弱, 訊號強度分別為 99 與 88, (500, 500, 100, 8)這個例子, 再換頻道時我們觀察 MH B 對 AP B 及 APA 的訊號強度分別為 94 與 88。我們實驗擺設的地點位置是一樣的, 分不同天來進行實驗, 6~8 這三次剛好是接連著做, 這顯現了環境對無線網路的影響(也可能是機器本身的不穩定性)。

Times	Before (KB/s)			After (KB/s)			Changing times(s)
	MH A	MH B	MH C	MH A	MH B	MH C	
1	349.31	311.84	499.25				502.82N
2	323.37	289.15	499.19	390.15	392.17	499.25	50.18B
3	356.18	244.62	490.11	398.93	399.42	499.18	44.31BC
4	365	289.89	451.69	399.43	388.52	466.52	40.05B
5	389.36	374.42	498.13	399.43	399.28	498.13	26.07BC
6	394.8	365.83	499.64				57.4N
7	399.42	303.35	446.88	398.96	294.09	498.14	50.5BC
8	391.21	353.94	499.24				61.03N
9	373.32	370.44	498.28	399.2	399.43	498.56	35.2BC
10	389.44	383.28	499.15	399.37	399.43	499.28	41.12BC
avg	373.141	328.676	488.156	397.9243	381.7629	494.1514	41.06143

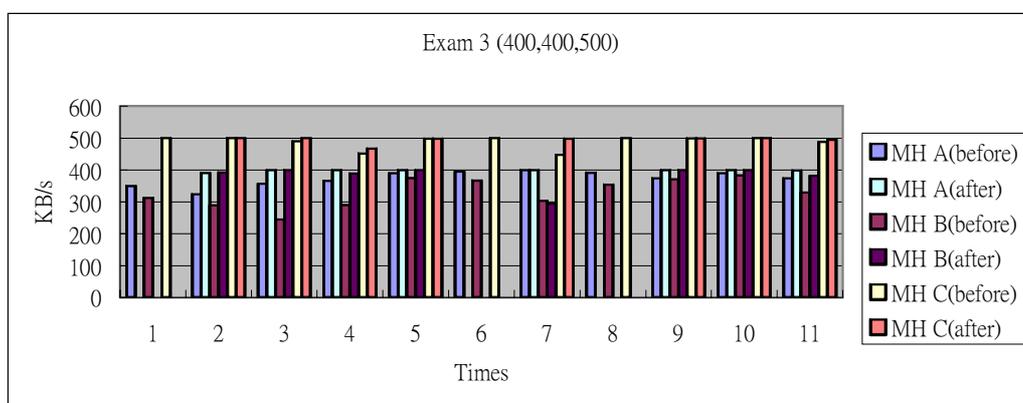


Table 5.9 實驗三(400, 400, 500)。N 代表沒有換頻道, A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道, BC 代表 AP B 及 C 都換頻道, "B, B"代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。

(400, 400, 500)的實驗結果與(500, 500, 500)相像, 其中我們可以看到 MH B(before)的變異非常大, 這些實驗雖然不是同一天做的, 但是擺設的地點位置是相同的, 因此我們發現即使無線網路基地台及使用者位置不變, 但是由於環境的影響, 會使的網路拓樸的改變, 因此建議有關網路拓樸的相關資訊必須不斷的更新。

Times	Before (KB/s)			After (KB/s)			Changing times(s)
	MH A	MH B	MH C	MH A	MH B	MH C	
1	356.71	229.58	399.38	348.26	274.94	384.8	35.89
2	366	233	399	399	270	367	25.18
3	344.95	352.02	389.57	399.18	399.03	399.31	38.52
4	387.18	362.32	399.42	399.27	399.02	399.37	50.67
5	384.29	349.97	392.85	399.33	399.24	399.4	34.86
Avg	367.826	305.378	396.044	389.008	348.446	389.976	37.024

B, B
B, B
BC
BC
BC

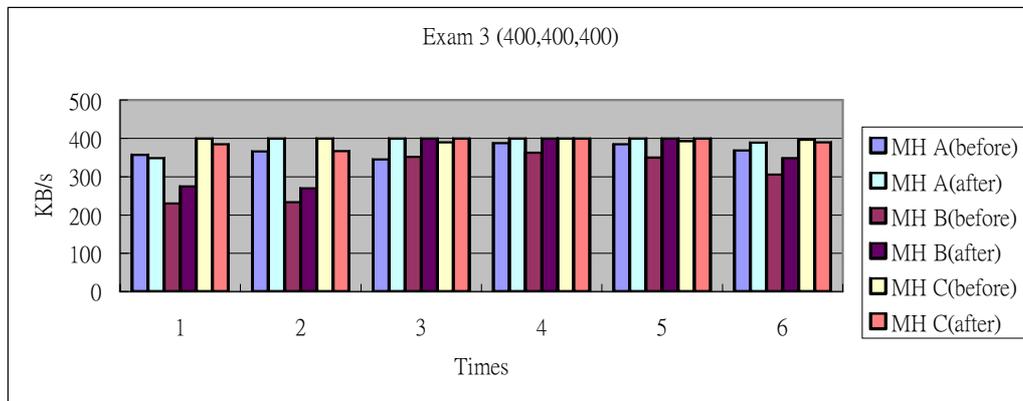


Table 5.10 實驗三(400, 400, 400)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。

Times	Before (KB/s)			After (KB/s)			Changing times(s)	
	MH A	MH B	MH C	MH A	MH B	MH C		
1	386.42	282.42	286.96	399.35	292.4	298.11	104.95	B, B
2	362.71	356.72	294.52	399.41	399.4	299.52	408.28	BC
3	362.94	373.61	287.86	399.3	397.24	290.27	94.89	BC
4	338.22	355.93	299.51	399.24	399.13	299.48	56.75	BC
5	366.16	336.29	299.53	399.22	399.02	299.53	48.53	BC
avg	363.29	340.994	293.676	399.304	377.438	297.382	142.68	

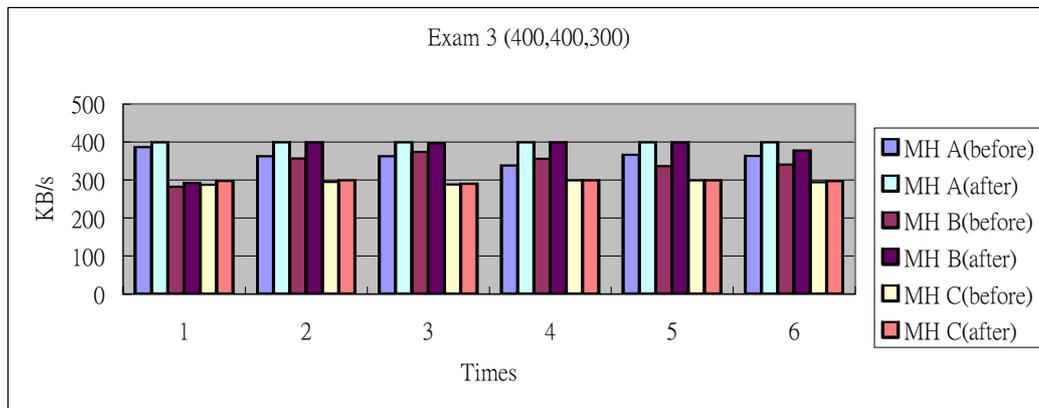


Table 5.11 實驗三(400, 400, 300)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。

(400, 400, 400)及(400, 400, 300)與(500, 500, 300)相像，由這兩個實驗對比，我們可以發現(400, 400, 300)有較高的機率會同時更換 AP B 及 C 的頻道，這就是 CL_Threshold 及 P_CL_Threshold 造成的效果。

Times	Before (KB/s)			After (KB/s)			Changing times(s)
	MH A	MH B	MH C	MH A	MH B	MH C	
1	327.38	386.58	99.84				362.37N
2	363.06	385.38	98.09				270.07N
3	314.91	370.86	94.83	399.4	399.27	99.84	48.75A
4	348.89	339.21	99.84	399.38	399.39	99.85	24.17B
5	384.79	390.07	99.83	399.34	398.12	99.85	43.17B
6	393.12	363.47	99.84	399.28	399.01	99.85	71.31B
7	390.29	353.12	99.81	399.27	398.77	99.86	34.21B
8	358.11	331.88	99.83	399.34	399.4	99.86	26.33B
9	382.88	387.26	99.85	399.27	398.12	99.84	41.2B
10	393.12	367.28	99.84	399.38	399.15	99.85	35.31B
avg	365.655	367.511	99.16	399.3325	398.9038	99.85	40.55625

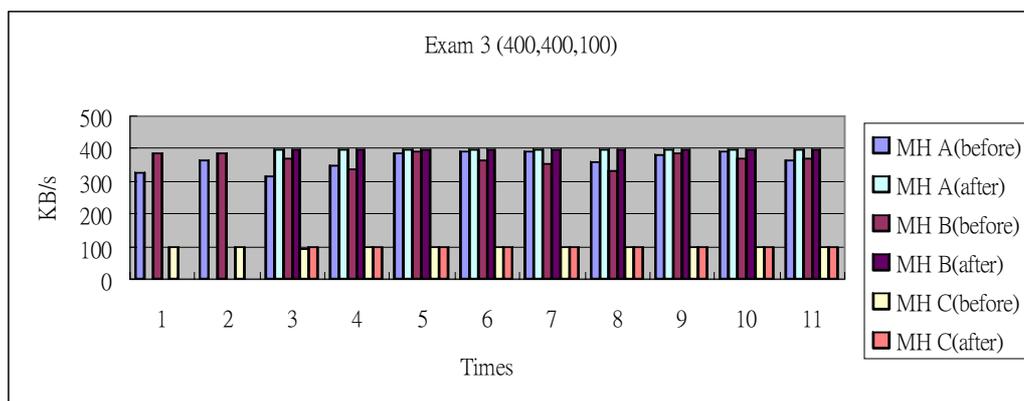


Table 5.12 實驗三(400, 400, 100)。N代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC代表 AP B及C都換頻道，”B，B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。

(400, 400, 100, (1, 2))這兩次實驗 MH A(before)都表現不好，但是並沒有更換頻道，原因在於 MH B 的流量很高，由於 AP A 無法與 MH B 同時傳送或接收，因此 MH B 不但沒有受到 AP A 及 MH A 的嚴重干擾，反而壓縮了 AP A 使用頻道的時間。但是並未因此降低 AP A 的傳送成功率，所以 AP A 並沒有更換頻道。從流量及傳送成功率上來觀察似乎是 AP A 與 AP B 為 Good_Neighbors，但是卻又沒有掃描到對方，這種狀況在測試時偶爾會出現。

Times	Before (KB/s)			After (KB/s)			Changing times(s)	
	MH A	MH B	MH C	MH A	MH B	MH C		
1	297.41	186.24	499.17	299.38	285.88	471.73	29.15	B
2	298.49	277.35	488.85	299.56	299.54	499.28	60.36	BC
3	299.36	282.42	464.09	299.56	299.54	499.27	96.83	BC
4	299.73	257.63	499.28	299.51	234.81	396.51	39.13	B
5	299.51	299.45	499.09				534.39	N
6	299.53	243.35	420.1	299.53	252.26	452.03	50.05	B , B
7	299.53	299.1	499.16				262.68	N
8	299.51	299.18	499.28				303.18	N
9	299.36	275.35	499.1	299.56	299.54	499.07	61.88	BC
10	298.49	282.33	490.11	299.57	299.25	498.11	94.28	BC
avg	299.092	270.24	485.823	299.5243	281.5457	473.7143	61.66857	

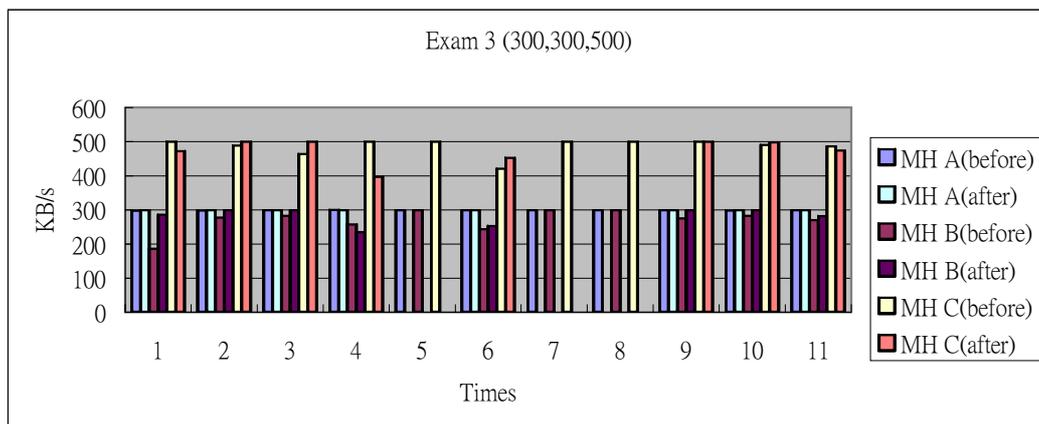


Table 5.13 實驗三(300, 300, 500)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。

Times	Before (KB/s)			After (KB/s)			Changing times(s)	
	MH A	MH B	MH C	MH A	MH B	MH C		
1	298.69	247.36	299.54	299.48	280.01	299.43	33.85	B
2	299.19	272.99	299.57	297.49	275.07	298.53	50.11	BC
3	299.15	275.99	299.21	299.52	298.8	299.54	85.44	BC
4	299.16	259.71	299.57	299.53	286.69	299.52	29.8	B
5	299.11	278.68	298.7	299.56	299.52	299.56	67.5	BC
6	298.53	240.85	299.52	298.37	261.86	298.92	16.85	B
7	299.44	299.1	299.55	299.47	297.7	299.29	38.82	B
8	299.53	298.94	299.53	299.52	298.18	299.2	72.45	BC
9	299.53	299.48	299.23				583.22	N
10	299.03	275.88	299.55	299.56	299.54	299.28	65.32	BC
avg	299.136	274.898	299.397	299.1667	283.6617	299.2033	123.5129	

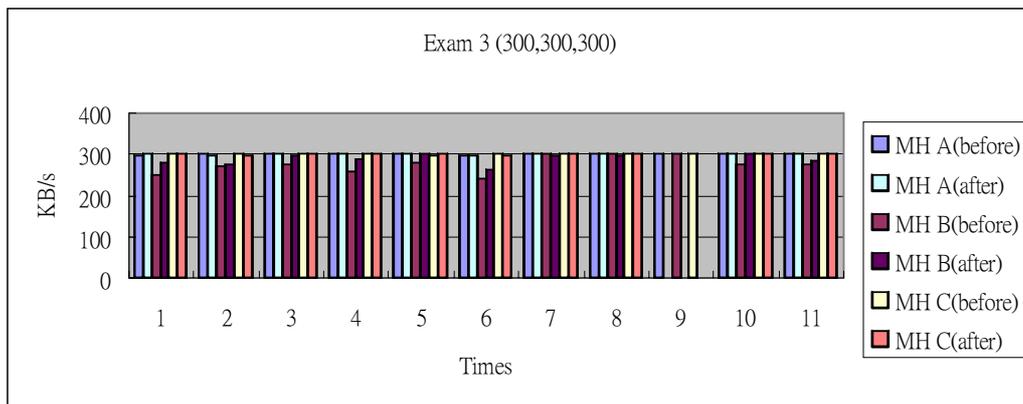


Table 5.14 實驗三(300, 300, 300)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B，B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。

Times	Before (KB/s)			After (KB/s)			Changing times(s)
	MH A	MH B	MH C	MH A	MH B	MH C	
1	297.1	249.91	99.84	299.57	299.53	99.84	54.62B
2	298.15	252	97.06	299.42	298.81	99.85	21.65B
3	298.64	298.16	99.85	299.53	299.17	99.33	25.46B
4	299.52	299.01	99.84	299.57	299.41	99.84	54.08B
5	299.51	299.44	98.19	299.55	299.55	99.85	47.39B
6	299.44	297.87	99.82	299.57	299.43	99.85	42.3B
7	299.51	298.04	99.8	299.57	299.55	99.8	45.09B
8	299.57	298.97	99.84	299.48	299.15	99.84	39.94B
9	299.52	298.89	99.86	299.49	299.11	99.83	61.83B
10	299.43	299.28	99.8	299.42	299.2	99.85	123B
avg	299.039	289.157	99.39	299.517	299.291	99.788	51.536

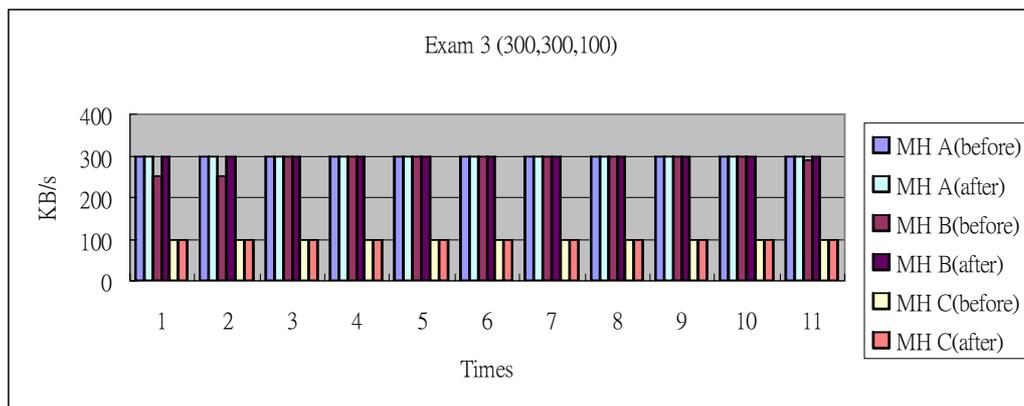


Table 5.15 實驗三(300, 300, 100)。N 代表沒有換頻道，A(or B)代表 AP A(or B)更換頻道，BC 代表 AP B 及 C 都換頻道，”B, B”代表 AP B 更換頻道之後將再度更換為原頻道。

從(300, 300, (500, 300, 100))這三種流量上來看，很明顯的當 AP C 的負載量大時，AP B 較不容易換到頻道 11，且如果換到頻道 11 後，有較高的機率會使得 AP C 換到頻道 1，而當 AP C 的負載量小的時候，AP B 換到頻道 11 之後便可以滿足所有的需求，不太需要再做其他的變動。

第六章 結論與未來工作

在我們設計的方法中，會更換頻道只有兩種原因(1)干擾過大(2)頻道負載量過大。如果只是負載量過大，換頻道不一定可以解決的，並且只考慮負載量往往會做出錯誤的判斷。由第五章所設計的實驗可以看出，(1)實驗三中 AP B 受到 APA 的干擾，不一定每次都要換頻道，還要根據為 Good_Neighbor 的 AP C 的負載量來做決定，而在三個實驗中，很明顯的換頻道之後幾乎都會獲得改善。(2)無線網路受到環境的影響甚多，如果預先有許多假設，並用數學詳細分析，並不一定能得到最適當的結果，就如同(400, 400, 100, 3)的例子，我們提出的方法能夠適應環境的變化，做出較佳的判斷。(3)在換頻道的因素中，不是只有 AP 間相互的影響，環境也會帶來不小的衝擊，從第五章的實驗中，我們可以看出來，我們所提出的方法會在環境或 AP 間的影響中取得一個平衡。

我們所提出的方法仍然是有改進的空間，在未來我們規劃要朝著幾個方向前進(1)資訊的更新及取得，由於環境的變化及使用者的移動會影響網路的拓樸，如何設計一套更新的方法，可以讓判斷做的更準確，甚至配合一些訊號強度做簡單的定未來輔助位置的判斷。(2)由於我們所提出的方法在換頻道時僅考慮自己本身，因此容易遇到區域最佳解，而阻礙達到總體的最佳解，因此在演算法上我們進一步要研究可以整體評估的演算法，並且將影響現行使用者壓到最小的方法。短程的話可以利用隨機化重新分配頻道來突破區域最佳解的問題。(3)最後我們希望能整合 AP 及使用者端，結合之後使用者可以提供更多的訊息來幫助判斷，AP 也可以明確的分配使用者使用哪個 AP 較佳，以便達到最好的整體效能。

參考文獻

- [1] IEEE Std 802.11 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, June (1997).
- [2] IEEE Std 802.11a Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, September (1999).
- [3] IEEE Std 802.11b Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, November (2001).
- [4] IEEE Std 802.11g Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, June (2003).
- [5] Youngseok Lee, Kyoungae Kim, and Yanghee Choi, "Optimization of ap placement and channel assignment in wireless lans," in *Proceedings of 27th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)*, 2002.
- [6] Gerard G. Cervello, Sunghyun Choi, Stefan Mangold, and Amjad Soomro, "Dynamic Channel Selection (DCS) Scheme for 802.11," IEEE 802.11-00/195r2, September 2000.
- [7] Shiann-Tsong Sheu and Chih-Chiang Wu, "Dynamic Load Balance Algorithm (DLBA) for IEEE 802.11 Wireless Lan", *Tamkang Journal of Science and Engineering*, vol 2, No 1, pp.45-52(1999).
- [8] I. Papanikos and M. Logothetis, "A Study on Dynamic Load Balance for IEEE 802.11b Wireless LAN", *Proc. 8th International Conference on Advances in Communication & Control, COMCON 8*, Rethymna, Crete, June, 2001.
- [9] Chih-Liang Chou, and Shie-Yuan Wang, "Dynamic Load Balancing for IEEE 802.11 Wireless Networks", Master thesis, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan, 2002.
- [10] C. Y. Chang, P. C. Huang, C. T. Chang, and Yuh-Shyan Chen, "Dynamic Channel Assignment and Reassignment for Exploiting Channel Reuse

Opportunities in Ad Hoc Wireless Networks”, IEICE Transactions on Communications, Vol.E86-B, No.4, pp. 1234-1246, April 2003. (SCI, EI)

- [11] Ashish Raniwala, Kartik Gopalan, Tzi-cker Chiueh, “Centralized Channel Assignment and Routing Algorithms for Multi-Channel Wireless Mesh Networks”, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications, Volume 8 , Issue 2 ,April, 2004

- [12] C. W. R. Cooper, J. R. Zeidler, and R. R. Bitmead, “Modeling Dynamic Channel-Allocation Algorithms in Multi-BS TDD Wireless Networks with Internet-Based Traffic,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 53, no. 3, 2004.

- [13] Jin-A Park, Koung-Rok, Cho, Chungbuk National University, Korea; Seung-Keun Park, Pyung-Dong, Cho, ETRI, Korea, “Analysis of Spectrum Channel Assignment for IEEE 802.11b Wireless LAN”, WPMC, 2002.

- [14] P. Bahl and V. Padmanabhan, “RADAR: An In-Building RF-Based UserLocation and Tracking System,” IEEE INFOCOM, Israel, Mar. 2000.

Curriculum Vita

Bing-Rong Lin (linnbiro@csie.nctu.edu.tw) received his B.S. degree in Computer Science from the National Chiao-Tung University, Taiwan, in 2002. His research interests include wireless network, sensor network and Bluetooth.