

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

總計畫(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2219-E-009-003-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：國立交通大學資訊科學學系(所)

計畫主持人：簡榮宏

共同主持人：曾煜棋

計畫參與人員：曾建超

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 6 月 1 日

1. 中英文摘要

本整合型計畫為期三年，主要目的是為實現一個多天線多模多通道多速率之無線網狀網路 (Multi-antenna Multi-mode Multi-channel Multi-rate Wireless Mesh Network, 簡稱M⁴無線網狀網路)，此新世代之網路架構可將無線區域網路(WLAN)之涵蓋範圍，以高彈性低建置成本的方式，延伸至企業、校園以至於更大規模之無線都會網路(Wireless Metropolitan Networks)，提供高承載、高速率、高可靠度之無線網路存取，並可達成服務品質(QoS)、無線漫遊(wireless roaming)、VoIP等整合數據、語音、多媒體之即時網路服務。

在第一年的計畫中，我們設計了兩種通道指定(Channel Assignment)的架構，以及其相對應的媒介存取協定(Media Access Control)，使得網路結點可有效避免碰撞、重傳的機會，進而提升整體網路的效能。其中，第一種為格狀架構(Grid-based)，適用於網路初始規劃及佈建階段，而第二種為混合架構(Hybrid)，適用於網路運行階段。經實驗驗證及理論分析，顯示相對於傳統單天線單通道的隨意無線網路、兩種架構皆達到顯著的效能提升。此外我們亦完成了多介面行動主機交遞程序與延遲的分析、快速或流暢換手(handoff)機制減低延遲的效用測量、以及設計M4無線網狀網路具服務品質路由路徑重建及預建機制。我們還以VoIP為應用，對IEEE 802.11e標準提出了跨層次的品質保證控制架構(cross-layer QoS control scheme)，使得VoIP有效地應用於無線網狀網路之上。

This integrated project has a 3-year execution time. The major goal is to design and implement of a Multi-antenna Multi-mode Multi-channel Multi-rate Wireless Mesh Network, called as M4 Wireless Mesh Network. In this innovated framework, the coverage of wireless networks can be extended to enterprise, campus, or even metropolitan area with extremely low cost and high flexibility to provide high capacity, high data-rate and high reliability transmission.

In the first year, we have designed two main channel assignment architectures and their corresponding media access control protocols. By utilizing these mechanisms, the severe interference in air and the consequent retransmissions can be greatly mitigated, which may further lead to a significant improvement on the network throughput. Besides, we developed a fast handoff mechanism for mobile nodes equipped with multiple network interface cards (NICs). A QoS-aware path construction/reconstruction mechanism was also investigated. Finally, we proposed a cross-layer QoS control scheme based on IEEE 802.11e so that applications using VoIP can be efficiently applied on the M4 wireless mesh network.

2. 總計畫目標

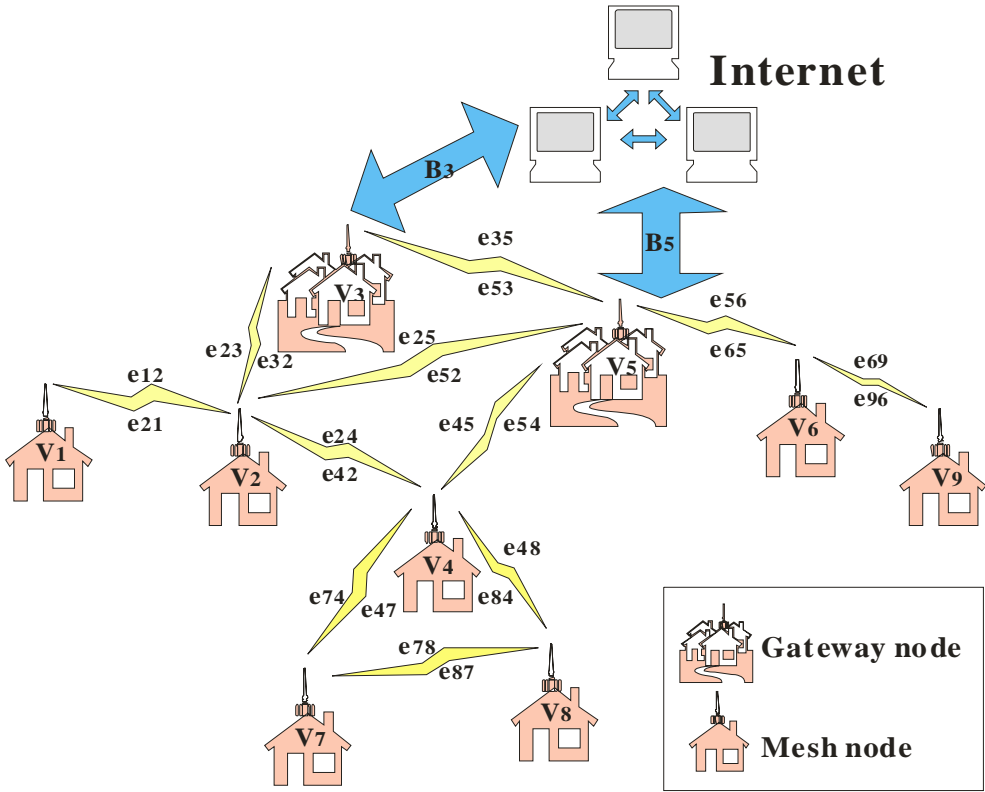
本計畫之主要目的，為實現一個多天線多模多通道多速率之無線網狀網路(Multi-antenna Multi-mode Multi-channel Multi-rate Wireless Mesh Network, 簡稱M⁴無線網狀網路)，此新世代之網路架構可將無線區域網路(WLAN)的涵蓋範圍，以高彈性低建置成本的方式，延伸至企業、校園以至於更大規模之無線都會網路(Wireless Metropolitan Networks)，提供高承載、高速率、高可靠度之無線網路存取，並可達成服務品質(QoS)、無線漫遊(wireless roaming)、VoIP等整合數據、語音、多媒體之即時網路服務。無線網狀網路(Wireless Mesh Network)計畫已於2004年7月正式由IEEE通過，成立802.11s專案研究團隊，在此架構下，每一個擷取點(access point)的涵蓋範圍彼此重疊，並同時扮演資料收送及路由(routing)的角色，封包以多步跳躍 (multi-hop)的方式轉送(relay)至目的端，亦可透過閘道器(gate host)將整個無線網狀網路連接到鄰近的網際網路，而擷取點間快速不斷訊的移轉(fast hand-off)則提供終端設備的可移動性(mobility)。不同於無線隨意網路(Wireless ad hoc network)，無線網狀網路更強調多點同時存取的能力(multipoint-to-multipoint)和相容不同設備的高度適應性(adaptability)，但現有以802.11為基礎的協定僅支援點對點(point-to-point)、點對多點(point-to-multipoint)及單一型式的網路環境，並不足以達成此目標，因此本計畫將提出一個多天線多模多通道多速率無線網狀網路架構之整合方案為整體目標。

3. 系統實作架構

如圖一所示，無線網狀網路類似於無線隨意網路(Wireless Ad Hoc Network)，每個中繼節點同時扮演著無線存取主機(Access Point)和路由器(Router)兩種角色，負責將行動主機(Mobile Host)的資料封包以多步跳躍(Multi-hop)的方式傳送至連接網際網路的閘道節點(Gateway Node)，或是將網際網路上的資料封包從閘道節點傳送至行動主機。

相對於無線隨意網路，無線網狀網路更強調多點對多點(multipoint-to-multipoint)同時傳輸的能力，所以每個節點都必需有能力協調來自四面八方的傳遞，而干擾模式與通道資源的利用也將變的更為複雜。因此可利用多通道(multi-channels)，使得鄰近的節點可透過非重疊的通道同時傳輸以避免彼此的干擾(如IEEE 802.11a, b分別有3和12個可同時使用的通道)，進而提升整體網路的聚合頻寬。無線網路透過半雙工的天線於特定頻道上收送載波，而為了在減低干擾的

同時，維持網路的連通性，節點可裝配數個天線(multi-antenna)上下兩對節點以不同的頻道傳輸彼此干擾，但卻斷為兩個子網路，若每個節點皆裝配兩個天線，則可維持所有節點的暢通，而每個節點的輸出也可因此而倍增。此外在無線網路中，通道的位元錯誤率(bit error rate)會受到各種因素而變動，而且會隨著傳輸距離的增加而加劇，因此對鄰近來源端的節點，通常可以使用較高層級的變調機制來增加傳輸速率，反之則必需以較低層的變調機制來處雜訊率(single noise rate)而降低速率，以802.11b為例，會因傳輸距離的不同有不同的傳輸速率，如10m, 30m和100m的距離內最高速率分別為11Mbps, 5.5Mbps, 和2 Mbps三種。除了802.11b外，尚有a, g等標準，在不同的頻帶上以不同的速率、相容性、延遲、耗電量等提供多重的傳輸模式，而目前的技術以可將多重模式以單一晶片和相同規格的天線，結合於無線設備上。



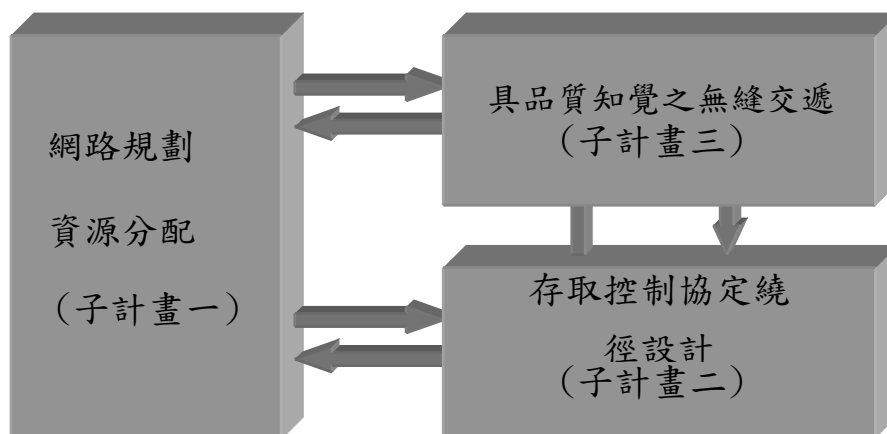
圖一：無線網狀網路架構

結合上述之特性、優點及可行性，本計畫以多天線、多通道、多速率、多模(multi-antenna multi-channel multi-rate multi-mode, M^4)作為無線網狀網路研究之基礎架構。

4. 整體分工合作架構

本整合型計畫之分工情形如圖二所示。各子計畫間合作情形如下:(1)子計畫一提供網路拓樸模型和繞徑規劃方式給子計畫二作繞徑設計的參考，計算spatial reuse提供子計畫二所需之

MAC協定相關資訊; (2)子計劃一提供建立網路拓樸模型以支援QoS及建立M⁴無線網狀網路資訊模型, 所提出行動管理機制支援子計畫三作有效交遞; (3)子計畫二則提供各種繞徑演算法及最佳繞徑給子計畫一做網路規畫的參考; (4)子計畫二則提供各種繞徑給子計畫三做有效的交遞; (5)子計畫三提供行動主機交遞對網路資源規劃和行動管理機制的影響給子計畫一; (6)子計畫三與子計畫二共同探討交遞機制與存取控制的互動和整合, 除此之外, 子計畫三提供QoS支援機制對繞徑方法的影響, 給子計畫二作繞徑設計的參考。



圖二: 整體分工合作架構

5. 每個子計畫第一年研究主題與研究成果

本計畫為一整合型計畫, 共包含三個子計畫, 分三年執行; 以下分別介紹各子計畫第一年研究主題與研究成果。

A. 子計畫一: M4無線網狀網路之網路規劃及資源分配問題

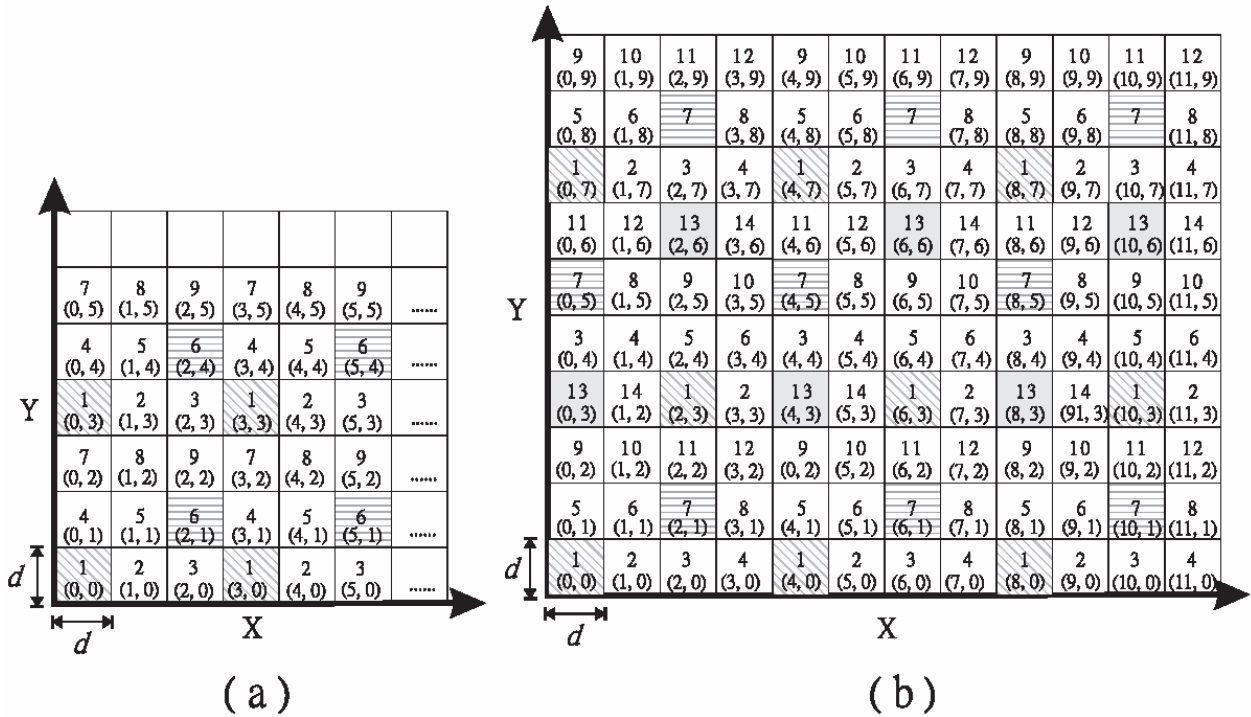
在本子計畫中我們針對多重頻道的使用, 討論兩個相關的議題: (一) 頻道分配(Channel Assignment)問題, (二) IEEE 802.11相容的媒介存取機制。我們並且在今年實作出了鏈結層(Link-layer)的通訊協定。

以格子狀為基礎(Grid-based)的頻道分配法

在第一個議題方面, 我們觀察到頻道分配的原則是要盡量的提高空間中頻道的再使用率(Spatial Reuse), 因此可知頻道的使用和空間是有相互的關係, 基於上面的觀察, 在我們提出來的將空間切割成格子狀(Grid), 一個Grid都會被分配到一個頻道, 如圖三所示。

藉由事先就將空間上所應該使用頻道分配好, 我們可以盡可能地確保空間中頻道的再使用率(Spatial Reuse), 而這個方法有一個很重要的議題就是Grid的大小問題, 我們認為Grid的大小會跟節點的傳輸範圍(Transmission Range)有關, 我們假設一個Grid的大小為($d \times d$), 節點的傳

輸範圍為 r 。我們針對不同的 r/d ratio測量其效能。在解決完Channel Assignment的問題之後，我們也提出了一個相對應的媒介存取層協定(MAC Protocol)，此協定有點類似於我們之前所提出的Multi-Channel Mac Protocol，然而在頻道的選擇方面，我們採用了直接在空間上分配好頻道使用的方法，以提高空間中頻道的再使用率(Spatial Reuse)。



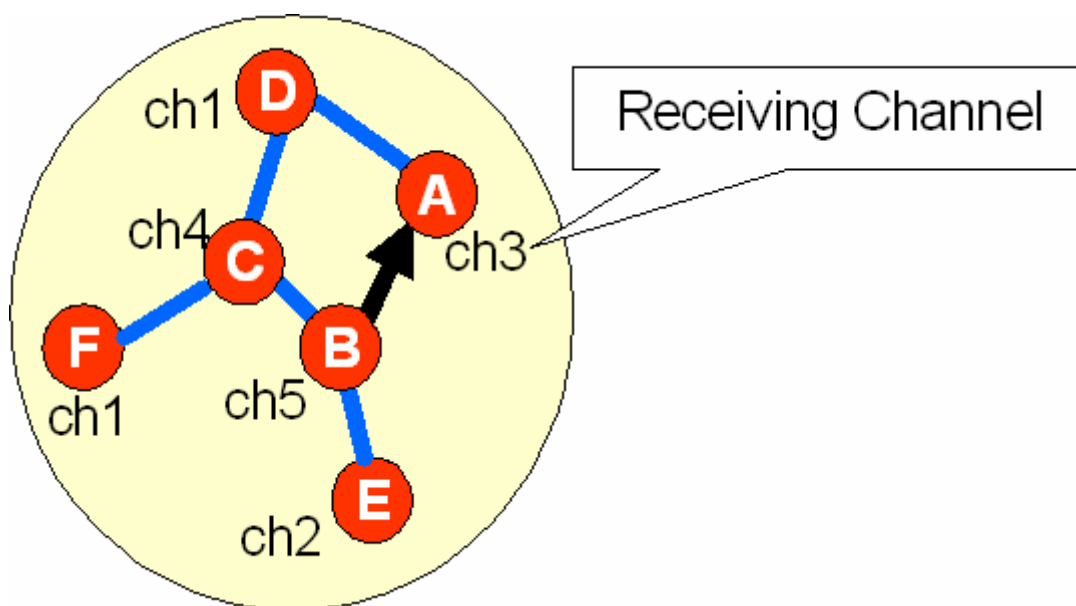
圖三、Grid-based頻道分配法，圖a的總頻道數為9，圖b的總頻道數為14

相容於IEEE 802.11的鏈結層媒介存取機制

由於我們之前所提出適用於多頻道環境的通訊協定（包含前面所提的Grid-based Channel Assignment），大多需要修改到媒介存取層協定，也就是網路介面可能需要重新設計，這和已經相當普及的IEEE 802.11 WLAN是有所抵觸的（因為使用者無法在使用原本的網路卡，而必須再另外購買新的網路介面卡），因此我們也試著提出一個能相容於IEEE 802.11的鏈結層媒介存取機制，並試著將此協定透過只需要更改網路卡驅動程式的方式於Linux平台上實作此機制。下面將先簡單地敘述我們所設計的通訊協定，之後會說明設計此協定時，哪些議題是要考良的，最後我們會敘述一下我們實作的方法。

我們發展了一套適用於無線網狀網路(Wireless Mesh Network)，而可實作在鏈結層(Link layer)上使用複數頻道的頻道管理協定(Channel Management Protocol)，這是一個以接收端的頻道(Receiver-based)做為傳輸頻道的方法，主要想法是假設當有一個存取點(Access Point)A要傳

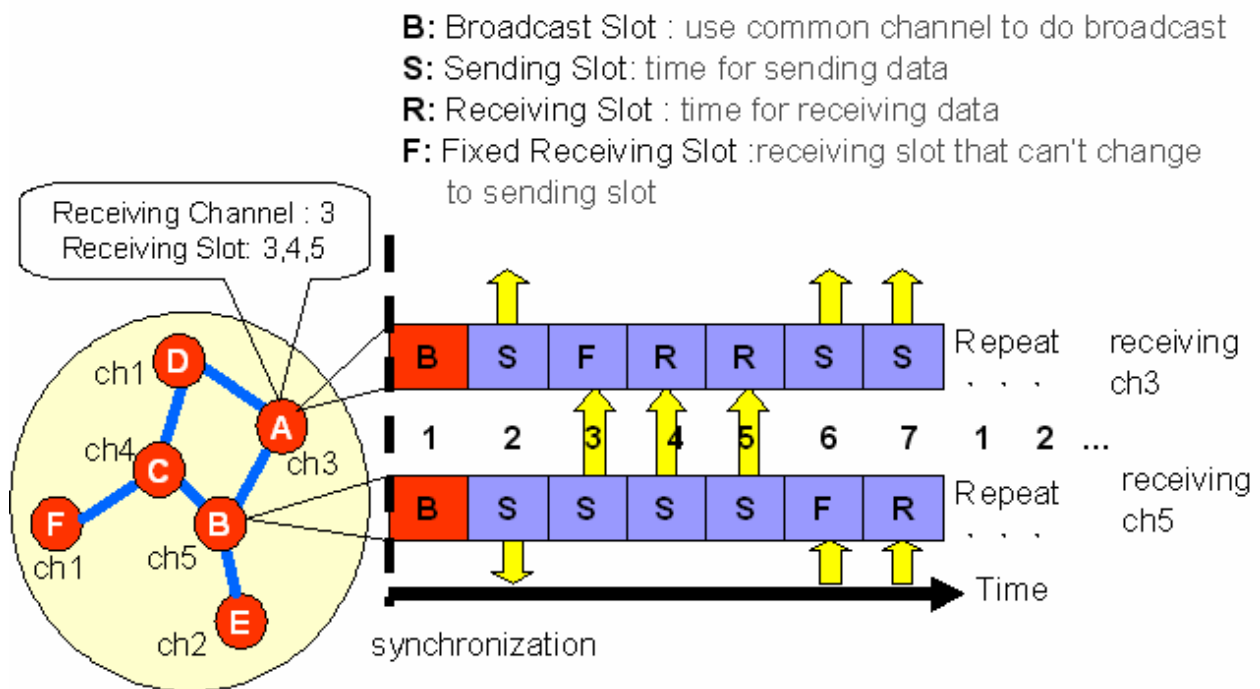
送資料給另一個存取點B時，A就要切換到B所使用的頻道上進行通訊。我們假設每個存取點都會分配到一個接收頻道(receiving channel)，此頻道應該與存取點的鄰居(Neighbors)所使用的接收頻道(receiving channel)要盡量的不同。如圖四，存取點A,B,C,D,E,F都盡量的使用不同的頻道做為接收頻道(receiving channel)，例如A使用Channel 3，B使用 Channel 5，C使用Channel 4等，假如B要傳輸資料給A，會用Channel 3去傳輸資料，同時C要傳資料給D，會用Channel 1去傳輸，所以在同一個鄰居區內，CD和AB的傳輸會用不同的頻道，而降低干擾使網路吞吐量(Throughput)增加。



圖四、接收頻道示意圖

接收端為主(receiver based)的設計會產生一個問題，如果存取點A要傳送資料給存取點B，A會切換到B的接收頻道(receiving channel)上，但假設此時B也正要傳送資料給C，則B會切換到C的接收頻道(receiving channel)上，如此有可能形成死結(deadlock)的情形，為此我們加進“分時”的概念，我們把每個存取點的時間軸切成一個一個的時槽(time slot)，我們假設每個存取點的時槽的開始是同步的，並設定每k個時槽為一個週期(cycle)，然後重覆這k個時槽。在這k個時槽裡，每個存取點（假設為A）需指定好那些時槽是用來傳送資料給其它存取點，那些時槽是用來接收其它存取點所送過來的資料，然後把這個資訊廣播給其鄰居（假設為B），當B收到這個資訊時，B就能知道A的時槽使用情況，如此B有資料要傳送給A時，B能夠知道A何時可接收資料，何時不能接收資料，當然B會選擇A可接收資料的時槽傳送資料給A，除了傳送時槽、接收時候和廣播時槽外，我們還選了一個接收時槽當固定式接收時槽(Fixed Receiving Slot)，因為我們可以動態改變排程，所以接收時槽可能轉變為傳送時槽，為了不讓所有的時槽都變成傳送時槽，固定式的接收時槽是不能變成傳送時槽的，至於固定式接收時槽的選取，也

是在鄰居區內盡量不同。



圖五、Channel Model

如圖五：在這個例子中k值為7，當存取點B要傳送資料給A，因為B有收到A的廣播說A的時槽3,4,5是用來接收資料的時槽，因此B要送資料給A時，B會利用時槽3,4,5將頻道切換到A的接收頻道(receiving channel)，在此例中為 Channel 3，來進行資料的傳輸。

另外要解決的問題是廣播(Broadcast)的問題，在複數頻道(Multi-channel)的網路環境下，因為每個存取點可能正使用不同的頻道，如何做有效率的廣播就是一個問題，相關研究中廣播的方法大多是複製多個廣播封包(Broadcast Packet)在每個頻道都廣播出去，以便確保鄰居都能接收到此廣播封包，我們所採取的做法是選擇第一個時槽當成廣播時槽(broadcast slot)，在這個廣播時槽裡，頻道會切換到一個大家共同的頻道，其目的就是要將所有的存取點在這個時候同時切換至此共同頻道上，如此一來，所有的存取點便能同時接收或傳送廣播封包，因為我們並沒有改變IEEE 802.11的MAC協定，所以這時的接收和傳送是經由IEEE 802.11的競爭機制在傳送。這樣做的好處在於每一次的廣播只需廣播一次便所有的存取點都接收的到，並不需要在每個頻道上做廣播的動作，也不需要複製多個廣播封包。有人會問：「這樣不是會造成頻道擁塞(channel congestion)? 因為這個時候所有的存取點都切換到這個頻道上，造成封包過多超過這個頻道所能負荷的量。」我們想這是可以避免的，因為我們定義的一個週期的時槽數可經由廣播封包和一般封包的比例來設定，廣播時槽可以在一個週期不一定只有一個，可以有兩個或三個，可視這個網路的特性去調整這個參數。廣播時槽帶來的好處還不只這些，在複數頻道上同

步是有困難的，因為所有的人不在相同的頻道上，有了這個廣播時槽，順使可以在這個時槽發送信號彈(beacon)來達成時間同步的效果。

我們所提出的頻道管理協定，會衍生出一些待解決的議題如下：第一，如何決定每個存取點的接收頻道(receiving channel)？第二，如何分配每個存取點傳送時槽(sending slot)和接收時槽(receiving slot)的比例？第三，如何分配傳送時槽和接收時槽的順序？第四，進入某個傳送時槽時，要選擇傳送給那一個鄰居才不會造成不公平？針對這些議題我們分別設計了一些簡單的演算法去解決，詳細的演算法可在附錄二中查閱。而我們將演算法設計得較為簡單的目的是為了可實作的考量，我們去修改網路卡的驅動程式以便將我們所設計的通訊協定實作出來，下面將針對我們實作的部份做一個簡單的描述。

為了在真的環境上面實作，我們去找尋有公開原始碼的驅動程式(Open Source Driver)，Atheros有公開晶片Linux驅動程式的原始碼，使用Atheros晶片的網卡都可以使用這個驅動程式來驅動。所以我們選擇了幾台筆記型電腦，每台上均裝有D-link DWL-AG650的網路卡，它是使用Atheros的晶片，這讓我們可以修改公開的原始碼來把我們的管理協定實作在上面。



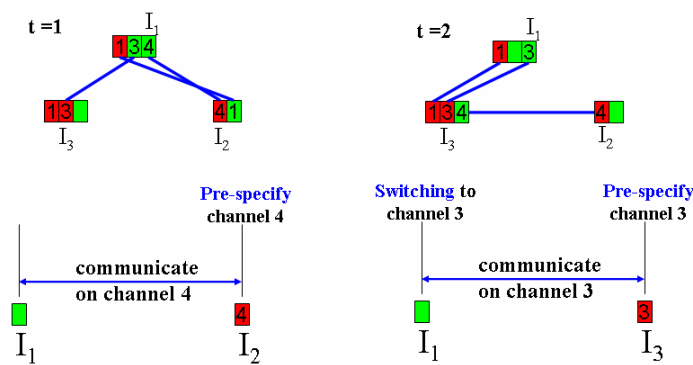
圖六、實測環境

圖六為我們實作的環境，我們利用這些筆記型電腦當成是一個個的存取點，讓它們形成隨建即連網路(Ad-Hoc Network)，並固定其位置模擬無線網狀網路(Mesh Network)，無線網狀網路和隨建即連網路有很大的共通性，差別在於無線網狀網路有閘道可以連上網際網路(Internet)，且無線網狀網路沒有行動性(Mobility)，我們讓這些筆記型電腦模擬一個無線網狀網路的雛形(Prototype)來當成我們要的環境。

B. 子計畫二：M4無線網狀網路之通道控制及繞設計

在子計畫二於第一年度先探討通道控制部分，而不同於子計畫一，以接收端為主的通道指定架構，我們採用的是一種稱為「混合式」的通道指定架構。在此架構中，每個節點的介面

可分為兩類，一類是靜態介面(Fixed Interface)，另一類是可轉換介面(Switchable interface)，當需要傳輸時，送端節點利用其可轉換介面進行傳送，而收端節點則利用其靜態介面進行接收，而所使用的通道則是靜態介面所決定。利用這個方法，節點並不需要在每一次的傳輸都先進行共同通道的協調，因為靜態介面所指定的通道是固定的，並不會隨時間而改變，因此只要在網路初始時廣播一次到其鄰近節點即可。由此可知此方法可免除大量的頻寬浪費，另一方面每個節點仍保有切換通道的彈性，只要利用其可轉換介面就可切換到所以鄰近靜態介面所指定的通道。如圖七，深色方塊為靜態介面，並固定於其所標示的通道上，而淺色方塊為可轉換介面，在時間 $t=1$ 和 $t=2$ 時，所有的可轉介面都可直接切換到不同的通道，不需仍何協調機制。



圖七：混合式通道指定法

更重要的是，由於所有接收端的通道都是固定的，因此絕不會發生前述的死結現象(deadlock)，使得我們不需額外考量時槽(time slot)的問題。然而所需付出的代價是網路拓撲分割的問題(partition)，原因是因為當一個介面被分類為固定介面後，它將無法主動啟始任何傳送，只能做被動的收送，因此若無謹慎規劃介面種類，將使得某此傳送不具有連通的路徑。儘管如此，子計畫一和子計畫二仍提供無線網狀網無兩個不同的選擇，而各有其適用的情境。

針對此混合架構，我們提出了適用的存取控制協定，使網路節點可於鏈結層(link layer)中順利的傳遞訊息而不會造成過多的碰撞(collision)。為了進一步提升網路輸出(throughput)，我們為通道使用方式進行最佳化的配置，設計可於效能和品質之間達到平衡的混合式通道指定演算法(hybrid channel assignment)。此外我們以VoIP為應用，對IEEE 802.11e標準提出了跨層次的品質保證控制架構(cross-layer QoS control scheme)，使得VoIP有效地應用於此網路。

混合式通道指定架構之存取控制協定

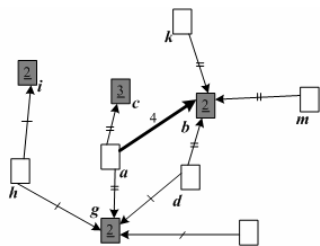
在過去文獻中，為了解決多頻道隱藏終端的問題，當可轉換介面切換通導後會原一段時間來更新NAV。他們所利用的方法是等待一段最大封包的傳輸時間，然而此時間可能會過長而影響到整個網路的表現，所以我們利用碰撞的機率來計算出每台主機在每個頻道上需等待多少

時間，而會產生碰撞主要是因為沒有接收到之前的控制封包，不知道鄰居的固定界面是否正在接收封包，所以我們以在頻道上鄰近的固定介面的個數，來計算出可能產生碰撞的機率，進而決定等待的時間。

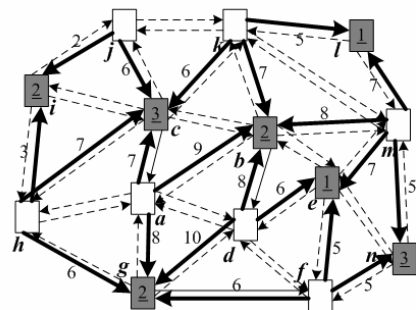
因為每次轉換頻道時需要耗費時間，所以我們給予每個頻道設立一個行列，用行列來決定轉換頻道的時間，而不是利用每個封包來決定轉換頻道的時機，如果每次相鄰的封包都必須在不同的頻道上傳送，那傳送封包的資源花費是非常高的，且沒有效率，而在我們的協定上，利用轉換至新的頻道時停留一段時間，傳送屬於此頻道的行列裡的封包，來減少轉換頻道所帶來的資源花費。

混合式通道指定之最佳化演算法

混合式通道指定包含兩大決策因素: A. 介面種類選擇; B. 靜態介面通道指定。介面的種類選擇決定了網路的連通性(connectivity)，在實際的網路中每個介面可能有不同的傳輸半徑，因此若較大傳輸半徑的介面被選為靜態介面來進接收，則勢必會造成許多原本可以直接傳送的連通性，而一個節點的介面需有多少為靜態多少為可轉換，較多的可轉換介面可增加其傳送量，但相對的接收能力則會下降，反之亦然，因此因此介面種類的選擇同時需考量整體網路的拓撲和傳輸狀況。此外，介面種類的選擇也決定了主干擾(Primary Interference)的程度，由於一個介面同時只能進行一個收或送，當一對介面進行收送時，所以與其任一端直接連結的介面皆無法對其在進行收送，如圖八，當 $a \rightarrow b$ 傳輸時， $a \rightarrow c$ 、 $a \rightarrow g$ 、 $d \rightarrow b$ 、 $m \rightarrow b$ 、 $k \rightarrow b$ 皆無法對 a 或 b 進行收送。另一方面，靜態介面通道的指定主要決定了次干擾(Second Interference)的程度，次干擾的產生是由於一塊區域面積內同時有多個傳輸使用相同的通道，這將造成彼此間的碰撞而降低網路的產出，如圖八， $a \rightarrow b$ 、 $h \rightarrow i$ 、 $h \rightarrow g$ 、 $n \rightarrow g$ 、 $d \rightarrow g$ 皆使用通道2，因此同一時間內最只會有一對介面能成功傳輸。



圖八: 混合式通道指定之主干擾及次干擾



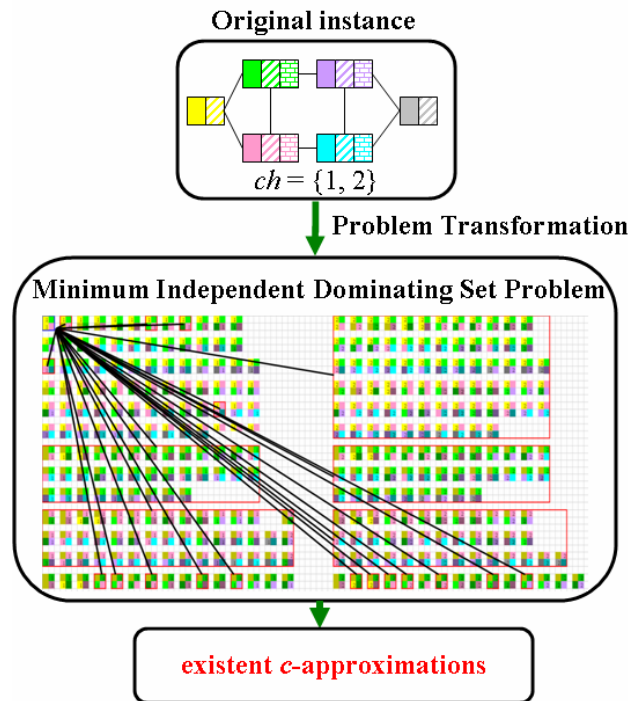
圖九: 平均干擾

為了降低主干擾及次干擾所造成的影響而又能保有網路的連通性，我們必需對兩次決策因

素進行最佳化的分析與設計。我們的目標是要使得每一個傳輸所可能造成平均的干擾最小化，如圖九，在此介面及通道配置下，平均每個傳輸會造成6.36個可能的干擾

$$(2+3+6+7+6+7+8+6+9+10+6+8 +7+5+5+6+8+5+7+7+5)/24。$$

首先，我們利用整數線性規畫(Integer Linear Programming)將此問題公式化，使得此問題可被廣泛使用的簡化法(Simplex Method)所解決。為了更有效率地解決此問題，我們提出了具有常數上界的近似解演算法(c-Approximation)，主要的概念是用問題轉換的法式(Problem Transformation)，我們將此問題在多項式時間內轉換到最小獨立佔有集合(Minimum Independent Dominating Set Problem)問題上，使我們可以將現存的近似解演算法經過轉換後就可用來解決我們的問題，以目前最佳的解過，當網路拓撲的支度(degree)為B時，我們的問題可近似到 B^2 內。下圖為一示意圖，一個原本有五個節點的無線網狀網路可經由我們所提出的公式轉換成最小獨立佔有集合問題的輸入，因此我們可利用已存在的演算法經由反轉來近似原本問題的輸入。



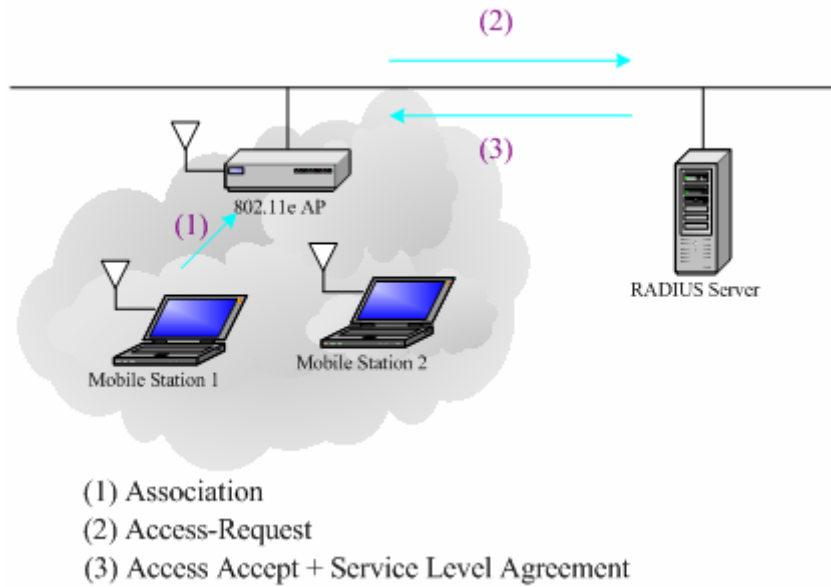
圖十：問題轉換與近似解演算法

VoIP於IEEE 802.11e之跨層次品質保證控制

此研究分為兩個部份，第一部份是為 VoIP服務建構一個基於802.11e的服務品質分類策略。第二部份提出一個跨階層調變VoIP應用程式(Cross-layer Adaptive VoIP application)來提升VoIP在802.11e無線區域網路運行的通話品質。

第一部份：我們設計了一個系統類似DiffServ的方法，以行動工作站的存取類別(Access

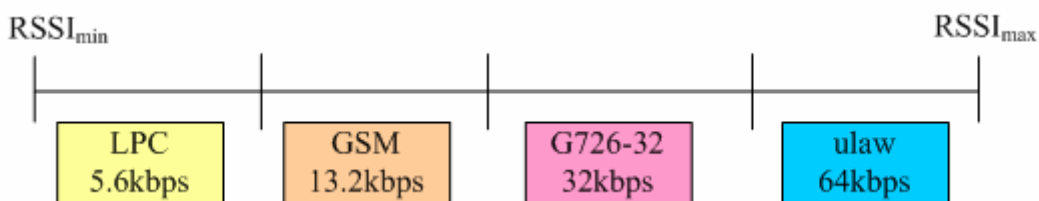
Category)為單位，以減少無線基地台需要儲存的策略資訊數量，如下圖所示：



圖十一：主要架構

當行動工作站連上無線基地台後，附在無線基地台上的hostap daemon會先幫工作站去和RADIUS Server做認證。認證完後，工作站申請的服務等級契約(Service Level Agreement,SLA)會附在Access-Accept中帶給無線基地台。我們是去修改RADIUS Server，使之可以利用RADIUS Message中的Vendor Specific Attribute將服務等級契約傳給無線基地台，無線基地台收到服務等級契約後，每當有認證成功的行動工作站要傳送封包，無線基地台會去看IP封包的DSCP欄位的值判斷封包的類型，如果是VoIP的封包，無線基地台會再去服務等級契約中查看這個行動工作站是否有申請AC_VO的服務，如果有申請才將封包設成AC_VO的型態，使之擁有較高的傳送優先權。

第二部份：這個部份我們修改一個在Window平台上運行的開放原始碼VoIP application—RAT(Robust Audio Tool)。在RAT中新加入可根據行動工作站和無線基地台間訊號的強度值(RSSI(Receiver Signal Strength Indicator))來調整VoIP codec的方法。如圖十二，將 $RSSI_{min} \sim RSSI_{max}$ 分為四個區段，每收集 n 個封包後就計算一次平均的RSSI值，若平均RSSI值落在某個區段A，就選擇用區段A對應到codec。



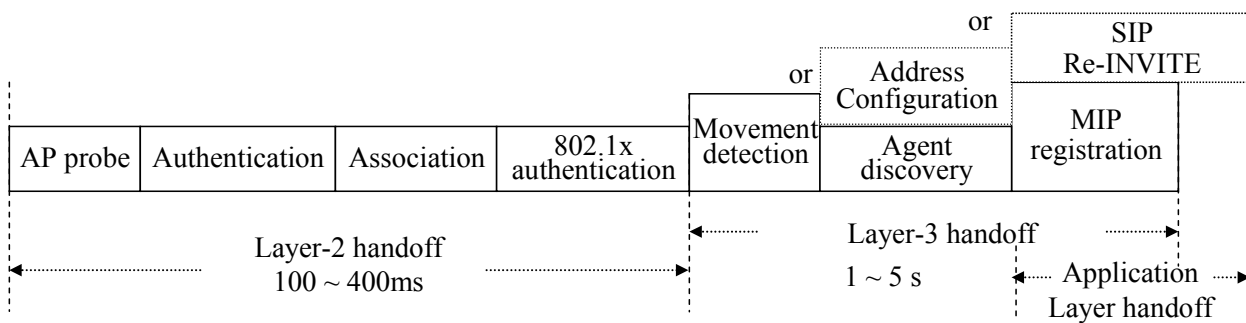
圖十二：選擇codec的方法

子計畫三：M4無線網狀網路具品質知覺之無縫交遞

在本子計畫的第一年研究目標有二：(1)分析快速或流暢交遞機制的效能、(2)設計M4無線網狀網路具服務品質路由路徑的重建及預建機制。

快速或流暢交遞機制的效能分析

為了達成具品質知覺之無縫交遞的目的，我們在第一年進行交遞程序、延遲以及改進技術的分析，以便未來可以在交遞程序中加入具品質知覺與虛擬私有網路的流暢交遞機制。我們首先分解交遞程序、剖析交遞程序中造成交遞延遲的因子、並測量各種快速或流暢交遞機制的效能。



圖十三、Handoff Delays

交遞的延遲可以分為三類：(1)Layer-2 handoff delay、(2)Layer-3 handoff delay及(3)Application Layer handoff delay。其中Layer-2 handoff delay是指當一個行動主機從前一個AP斷線後要與下一個AP連接時進行的動作而造成延遲，這些動作包含了AP probe、authentication、association及802.1x authentication等，在這部份的延遲大約需要100ms至400ms。而Layer-3 handoff delay是指當行動主機重新連接上一個AP後，可能會需要進行Layer-3 configuration所造成的延遲，以Mobile IP為例這些動作包含Movement detection、Address configuration/Agent discovery及Mobile IP registration等，這部份所需的延遲約為1至5秒。最後一部份則是Application Layer handoff delay，在圖十三當中我們是舉了以SIP為例的結果，而這部份的延遲時間則會因為不同的Application而長短不一。

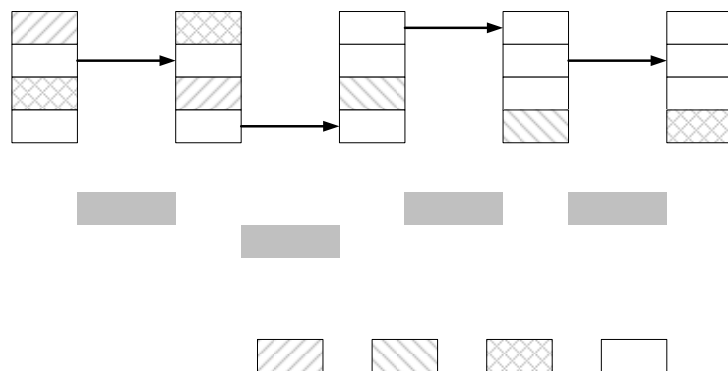
為了改善交遞延遲所造成的影響，增加行動主機handoff的流暢，所以我們有以下方法可以解決上述問題：(1)AP pre-discovery、(2)direct association、(3)pre-authentication、(4)Layer-2 trigger、(5)Address pre-acquisition及(6)pre-handoff/bicasting等。其中AP pre-discovery、direct association及pre-authentication可以縮短Layer-2 handoff delay，利用Layer-2 trigger及Address pre-acquisition則能縮短Layer-3 handoff delay，再者根據不同的application使用pre-handoff或bicasting (SIP re-invite)機制，也可以大幅縮短application layer handoff delay。

在我們詳細分解分解交遞程序、剖析交遞程序中造成交遞延遲的因子、並測量各種快速或流暢交遞機制的效能後，我們可以找出適當時機使用各種快速或流暢交遞機制，以達到完成具品質知覺的交遞機制。

具服務品質路由路徑的重建及預建機制

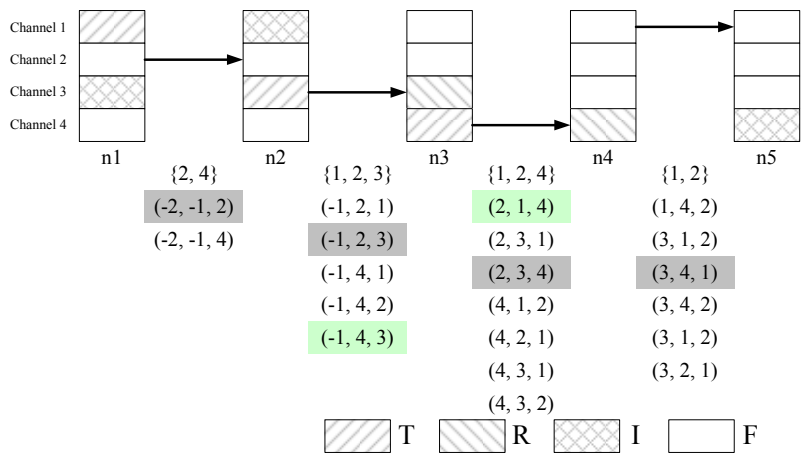
為了第二年發展具服務品質的交遞服務，所以第一年我們必須先設計具品質路由路徑的重建及預建機制。因為無線網路都是透過相同介質傳遞訊號，所以若同時有多個收送端使用相同頻帶時，就會因為彼此的訊號干擾及搶奪發送的權力而使得傳輸速率下降。因而若想要建立一條具服務品質的路由路徑，必須要先能確保在此一路由路徑上不會發生訊號干擾及搶奪發力權力等問題。由於在M4無線網狀網路的架構下讓我們可以具有多天線多通道的特性，只要我們可以有適當機制選擇適用的天線及通道，即使路由路徑重疊也能避開訊號干擾及搶奪發送權等問題。

在我們的方法中，每個節點會為每一個channel計錄目前的狀態，狀態有4種，分別為transmitting (T)、receiving (R)、interfered (I)及free (F)。當一個節點的channel 1為transmitting state (receiving state)時，代表該節點正在使用channel 1這發送(接收) packet，而interfered state則表示在訊號範圍內正有某個節點正在發送packet而自己不是receiving節點，而當任兩個節n1和n2有free channel 1時，則n1可以使用channel 1發送packet給n2 (但是反方向則不行)，並且保證不會與其它任何節點發生碰撞。每一個free channel的組合是由一個3元組(a1, a2, a3)用來表示，a3是當前link的free channel，a2是前面一個link的free channel，而a1且代表是前面二個的free channel。而選擇channel的方法是由路由路徑的最後一個link開始。如圖十四，由於n4至n5只有一個組合(4, 1, 2)可以使用，因此只能選擇這個組合。當選擇這個組合時，表示n4至n5會選用channel 2 (因為a3是2)。而因為a1是4且a2是1，則使得n3至n4這個link只能選擇(2, 4, 1)這個組合，以此類推得圖十四的結果。此時這條path上所配置的channel將不會與其它link發生碰撞。



圖十四、Channel allocation的結果

為了讓已配置channel所剩餘的頻寬能得到更有效利用，我們加入了一個優先權機制，而最後這條新的路由路徑所配置的channel會包含原來已經在使用的channel增加使用效率，結果就像如圖十五所表示的。



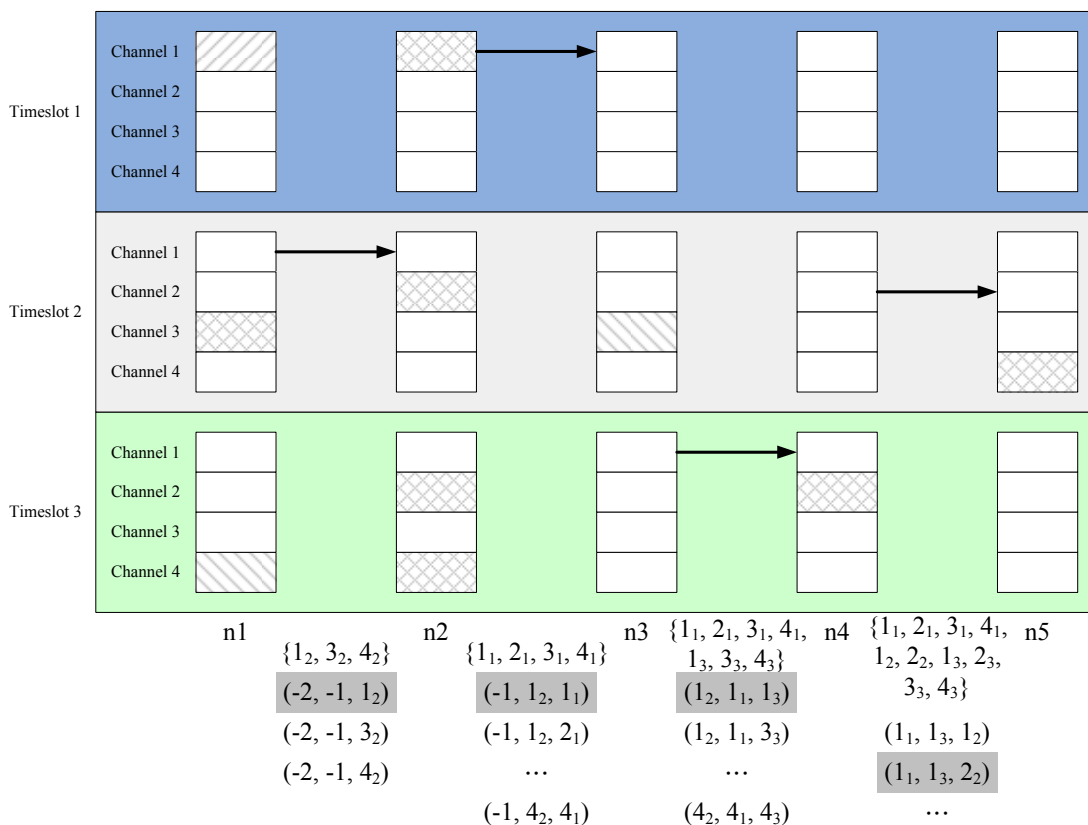
圖十五、可利用剩餘頻寬的channel allocation結果

但是在前述的方法中，最多有可能會需要在一個節點上安裝4個NIC，而且隨著non-overlapping channel越多，所需要的NIC也跟著提高，然而這個問題在M4無線網狀網路下的多天線架構可以獲得解決。但是為了避免過度增加天線的數量而造成成本的不斷提升，我們也提出另一個機制加以配合以達到使用效率的提升。我們進一步將傳輸時間切成若干個timeslot，圖十六是舉3個timeslot為例的例子，並且每一個節點上有2個Network Interface Card (NIC) (也可以視為2個天線分別使用不同的channel)。再此並定義2個名詞：common NIC及serving NIC。Common NIC是指這個NIC正在使用一個所有節點都共同的channel，目的是要讓所有的節點可以聽到並交換control message等。而serving NIC表示這個NIC是使用前述的方法而被指定在某一個channel負責傳packet。

在圖十六的例子中，必需重新定義free channel。若是我們說n1至n2的timeslot 1中的channel 1是free channel，意思是說在timeslot 1中，n1及n2的任何一個channel都不能有transmitting state及receiving state，而且n1的channel 1是interfered/free state、n2的channel 1是free state及n1的訊號範圍內的所有node的channel 1是transmitting/interfered/free state，但是增加了相隣link在不同timeslot中使用相同channel的可能性。我們使用 I_j 來表示timeslot j的channel I，以圖六為例，n1至n2的free channel有 $1_2, 3_2, 4_2$ 共3個free channel。接著套用前述的方法，則可以找出保證不會發生碰撞的channel allocation。

因為在這個方法中，我們將packet傳輸切割成不同timeslot及channel來傳送，為了避免channel切換時的延遲過長，common NIC與serving NIC會交互運用，以圖十六的n1為例，假設

在timeslot 1時，serving NIC是設定在channel 1並處於傳送packet狀態，當準備切換到timeslot 2時，common NIC會被指定使用channel 1並傳送packet給n2，而serving NIC則在進入timeslot 2時變成common NIC，同理，進入timeslot 3時，common NIC又會切換至channel 4負責接收packet，原來的serving NIC則又變成common NIC。



圖十六、加入時間切割機制的channel allocation方法

而這方法會因為三個參數的調整發生不同變化：(1)non-overlapping channel的數量、(2)切割的timeslot個數及(3)每一個節點上安裝的NIC個數，而且在這個方法中，每一個節點的NIC個數並不需相同，只要至少2個NIC可同時提供一個作為common NIC及一個作為serving NIC，增加serving NIC可以讓網路更具有彈性。

6. 結論

本計劃於第一年的執行進度中，已針對無線網狀網路的相關議題，提供多項具體且豐碩的研究成果，不但讓無線網狀網路設備可同時搭載多個天線來倍增頻寬，更可充分利用多重通道來避免嚴重的碰撞問題，這些都是傳統無線隨意網路(Ad hoc network)所無法達到的。我們提供了Grid-based以及Hybrid兩種通道指定架構，Grid-based架構強調空間再使用率(space reuse)的提升，適用於網路初期規劃及佈建階段，而Hybrid架構則強調降低控制成本(control

overhead)同時保有通道切換的彈性，適用於網路運行階段，因此提供了網管人員更多的選擇性。而為了進一步避免重傳(retransmissions)並支援鏈結層(link-layer)的傳輸，我們分別對此兩通道指架構設計其對應的存取協定(Media access control, MAC)，Grid-based MAC以分時的觀念協調點與點之間最有利的收送時間，而Hybrid MAC則以動態調整NAV更時等待時間來避免同時間的傳輸，實驗結果皆顯示能顯著的提升整體網路的效能。此外，我們也對無線狀網路的行動管理、服務品質保證、以及VoIP等議題進行深入的研究。在行動管理方面，我們對無線網狀網路的交遞程序、延遲以及技術做了先期分析，剖析交遞程序中造成交遞延遲的因子、並測量各種快速或流暢交遞機制的效能，以便未來可以在交遞程序中加入具品質知覺與虛擬私有網路的流暢交遞機制。而在服務品質保證方面，我們設計了具品質路由路徑的重建及預建機制，使得路由路徑即使高度的重疊，也能避開訊號干擾及搶奪發送權等問題。最後，我們以VoIP為應用，對IEEE 802.11e標準提出了跨層次的品質保證控制架構(cross-layer QoS control scheme)，使得VoIP有效地應用於無線網狀網路之上

然而要提升無線網狀網路的效能，不能只單靠鏈結層或媒介存取層的改進就能獲得大幅的改善，其它如繞路協定(Routing Protocol)，用來確保服務品質的允入控制機制等都有改善的空間，在繞路協定方面，在此計劃的第二年我們將試著設計一個適用於多重天線(multi-antenna)、多重頻道(multi-channel)的繞路協定，並且在繞路的選擇上去考量多重傳輸速率(multi-rate)的影響，此外我們也將思考一些無線網狀網路上資源分配的問題。而我們最終的目的則是要實作出一個無線網狀網路的Prototype。此外承接第一年的研究成果，我們已經可以正確的選擇能支援無縫交遞且具品質保證的路由路徑，但接著將面臨以下問題：(1)如何保留該路由路徑的頻寬而不被其它要求侵佔，(2)如何節省路由路徑一再重建所花費的成本。

總結前述，在完成第一年的基礎工作後，第二年與第三年的研究也是本計畫相當重要的部份，將第三年成果結合後才能確保在M⁴無線網狀網路功能的完整性。且在本計畫第一年的研究過程中也同時培訓5位博士班及數十位碩士班學生具有無線網狀網路相關技術，並衍生6篇期刊論文、4篇會議論以及數篇畢業論文。相信本整合型計劃之完成不僅有利於電信學術研究，對於提昇學術界實作無線通訊系統之能力及我國無線通訊產業之昇級將會有相當的助益。