

# 無線隨意網路下多重頻道媒體存取協定之探討

程申如 羅壽之  
東華大學資訊工程研究所  
scl0@mail.ndhu.edu.tw

## 摘要

在無線隨意網路中，媒體存取協定通常只利用單一頻道，使得系統效能無法大幅增加。如果利用多重頻道，讓同一時間可傳輸的節點配對增加，將可提高系統的傳輸效能。目前已經有許多有關於多重頻道媒體存取協定設計的研究，在這篇論文中，我們將這些研究作一個完整的分類整理，並將設計的流程圖勾勒出來。針對每個部分，我們深入探討與比較目前現有的解法，並指出每種作法可能存在的優缺點。

**關鍵詞：**無線隨意網路、多重頻道、媒體存取協定

## Abstract

In wireless ad hoc networks, system performances can not be largely raised when using a medium access control (MAC) protocol that is based on a single-channel model. If multiple channels are available, system throughput can be increased by enabling more concurrent transmission pairs. So far, there are many papers concerning about the design of multi-channel MAC protocols. In this paper, we do a comprehensive survey on this work. We look insight each part of the whole design flow and make comparisons on the existing solutions.

**Keywords:** Wireless Ad Hoc Network, Medium Access Control, Multi-Channel

## 1. 前言

隨著無線傳輸技術的進步，讓使用者可以透過隨身攜帶行動裝置，保持與其它工作伙伴的聯繫，並且可以隨時取得工作所需的相關檔案資料。不過在傳統的無線網路中，使用者必須依靠固定的基地台且必須在傳輸範圍內才能進行通訊。而許多無法設立固定基地台的環境將限制這種架構的使用。

另外一種不需要基地台的無線網路架構稱之為「行動隨意網路」(Mobile Ad Hoc Networks, MANET)。所有的通訊都靠行動主機互相合作來完成，而不需要透過其他的裝置(例如基地台或是無線網路路由器)，可以迅速地建立起網路，使得行動主機間保有隨意移動的特性。

由於無線傳輸的特性及每個行動主機可以任意移動的許可下，隨意網路產生許多重要的問題值得討論。其中一個問題為媒體存取(Medium Access

Control, MAC) 的設計。這方面主要的功能為解決潛在的碰撞及競爭問題以提升媒體的效能。國際組織 IEEE 提出 802.11 的標準，其中利用了虛擬載波機制(virtual carrier sensing)與結合傳送控制封包的方式解決在單一頻道下隱藏節點(hidden terminal problem)的問題。但使用單一頻道在網路負載超過負荷量時，將會因為碰撞機率過高而產生效能不佳的結果[2][6][7]。

不過在現今硬體技術的進步下，使用多重頻道已具可行性。使用多重頻道可以增加同一時間的傳輸節點對(transmission pair)，並減輕媒體的競爭與降低傳輸封包的碰撞機率。如何在多重頻道環境下設計媒體存取協定便成為一個重要的議題。

## 2. 背景

目前 IEEE 802.11b 實體層有三條可供同時傳輸的頻道，而 IEEE 802.11a 有 12 條頻道可用。然而，IEEE 802.11 的媒體存取協定只利用單一頻道運作，在效能上無法有大的突破。主要的原因在於相同頻道上訊號的干擾，無法讓多個傳輸節點同時進行。

使用多重頻道可以避免在單一頻道上競爭而產生的壅塞情形，降低傳輸訊框的碰撞機率及傳輸的延遲時間。在某傳輸節點配對的傳輸範圍內的其它節點，可以用其它的頻道做傳輸動作，使得同一時間可以增加更多節點對的傳輸，讓總輸出量增加。

在設計多重頻道媒體存取協定時，我們希望能克服一些問題並增加整體的效能。我們將設計重點歸類如下：有效的利用頻寬與硬體資源達到最好的效能、要隨時能知道周圍節點的頻道資訊、解決廣播的問題、避免隱藏節點的問題等。

## 3. 多重頻道媒體存取協定的設計與分類

在圖 1 中，我們將目前有關多重頻道媒體存取協定的參考文獻，依收集頻道資訊的方法作分類。在圖 2 中，我們將多重頻道媒體存取設計的流程圖勾勒出來，然後從設計的流程由上而下分別針對每一塊區域的問題做深入的討論。首先將多重頻道的協調機制分為兩大類，再來探討設計多重頻道媒體存取協定可以有那些硬體需求、這些硬體對設計多重頻道媒體存取協定的影響、在選擇資料頻道時期的角色可以由何者去執行、握手次數的影響、頻道

偵測的技術、可以使用哪些頻道選擇的資訊等。我們希望藉由這些各種類型廣泛的分析，讓設計者對於多重頻道媒體存取協定有完整的認識，並且避免一些可能發生的設計錯誤。

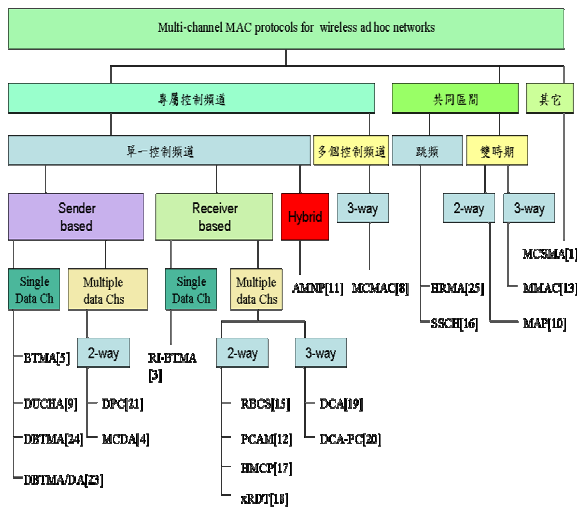


圖 1、多重頻道媒體存取協定分類圖

Place of negotiations	Dedicated control channel	Common period
Hardware support	Number of NICs、GPS、Directional Antenna	
Channel state detection	Physical Carrier Sensing / Virtual Carrier Sensing / Busy-tone	
Channel selection criterion	Reference based / Non-reference based	
Channel selection maker	Sender、Receiver、Hybrid	

圖 2、多重頻道媒體存取協定設計流程圖

### 3.1 頻道協商的場合

在多重頻道的環境底下，傳輸配對必須先行協商使用哪個頻道做為資料傳輸。目前有許多文獻提出不同協商的機制，我們可以將這些機制依據協商進行的場合分為兩大類：一為專屬控制頻道(dedicated control channel)、另一為共同區間(common period)。

#### (A) 專屬控制頻道

如圖 3 所示，其中一個頻道被指定為控制頻道，而其它的頻道為資料頻道。所有的節點都必須用控制頻道來傳輸控制封包或是監聽別人的控制封包。而控制封包的功用是用來預約資料頻道及執行媒體存取的控制。資料頻道為傳輸資料的頻道。傳輸配對依照在控制頻道中協商的結果，跳至指定

的資料頻道傳輸資料。

使用專屬控制頻道的優點如下：能將控制封包與資料封包分開在兩個頻道傳輸，如此可以避免彼此的碰撞，減低資料封包損失的風險。可利用專屬控制頻道解決廣播的問題。可以利用專屬控制頻道隨時進行協商。缺點為控制頻道只負責控制封包的傳遞而不能傳送資料封包，造成頻道使用的浪費。當傳輸流量過大時，控制頻道可能造成擁塞而無法將流量分配到每個資料頻道上。

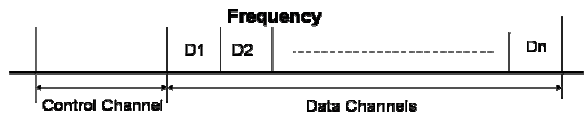


圖 3、專屬控制頻道

#### (B) 共同區間

使用共同區間協商的協定，每台主機必須要有一段時區共同跳至某個一般頻道(common channel)去協商。因此每台主機必須要做時間同步化的處理，以確保在指定時區順利做協商的動作。而依據參考的文獻可將共同區間再細分為兩類：共同跳頻(common frequency hopping)及雙時期(two phases)。

跳頻為將時間切割成一個個等長的時槽。每個時槽節點依據制定的跳頻序列規則，將收發器切換至該頻道監聽或傳輸。此外，在某些時槽所有節點會跳至相同頻道去協商。傳送端此時利用這個共同的時槽與接收端協調一個相同的跳頻序列。而其它節點也可在此共同時槽監聽頻道訊息，進而避免使用與傳輸對相同的跳頻序列做傳輸的動作。此種機制的優點為節點不需要複雜的頻道協商機制，因為節點是依據協定當中制定的跳頻序列規則，在每個時槽切換至指定頻道。缺點為耗費大量的時間在切換頻道上，且不斷的切換頻道也造成發送廣播訊息的不易及能量的快速耗損。無法隨時進行協商，傳送資料必須等待共同時槽協商後才能傳輸，造成傳輸延遲。在隨意網路的環境下，對每個節點做時間同步化的動作相當困難。

雙時期的結構如圖 4 所示，一個時間週期分為兩個區間：控制時期與資料時期。在控制時期，欲傳送資料的所有節點跳至一個指定頻道(如 Ch 0)做競爭及協商的動作。而在資料傳輸時期，則依照先前控制時期協商的結果將收發器切換至各個頻道傳送資料。雙時期的優點在控制時期協商的指定頻道可繼續在資料時期傳輸資料。而動態的依照網路狀態去調整控制時期的長度也較專屬控制頻道調整頻寬大小來得容易。缺點為在隨意網路底下，同步所有移動中節點的時間非常困難。也無法隨時進行協商，節點必須等待控制時期協商後才能做傳輸的動作，造成傳輸延遲。

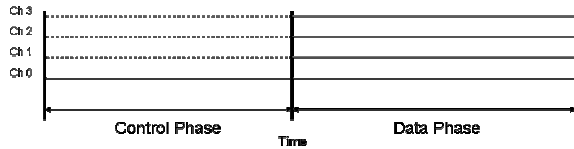


圖4、雙時期

### 3.2 收發器的數量與種類的影响

在設計多重頻道媒體存取協定的時候，硬體的運用直接決定之後的設計走向。而如何在硬體成本與效能之間取得一個平衡點，是在設計上必須達到的目標。在硬體配置的選擇上有收發器個數、方向性天線及全球定位系統的考量。收發器的個數增加表示可以配置在各個頻道的數量也越多，使得資料傳輸率提昇。但裝置越多收發器耗費更多能量，硬體成本也跟著提升。

使用方向性天線的優點為減少同頻道的信號干擾、增加頻道的再利用度，使得整體效能提升、增加傳送的距離、節省傳送所需要的電力。缺點為可能因沒有打開某方位的天線而造成該處的封包一直丟棄，接收端阻擋問題變得更嚴重、且必須不斷的對方向作定位。

配備全球定位系統是同步時間最容易的裝置。而全球定位系統的另一個功能為可以得知節點目前的位置，此項特性加上方向性天線，可以讓方向性天線的效能完全發揮。使得節點一開始欲對另一點傳送訊框，可以直接針對該方位打開方向性天線傳送，達到最好的空間利用度 [22]。

### 3.3 頻道狀態偵測

每個節點為了避免隱藏節點的問題，造成與其他節點的碰撞，必須確實掌握每個頻道使用的狀況。用來偵測某個頻道是否正在被使用中，主要有三種方式：實體載波偵測、虛擬載波偵測及忙線音。

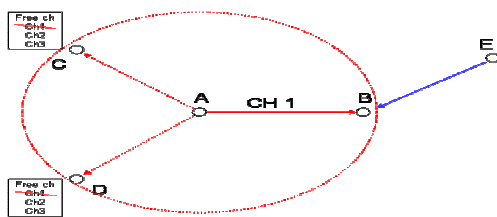


圖5、實體載波偵測

#### (A) 實體載波偵測

實體載波偵測是經由電磁波的能量大小判斷該頻道是否有其它節點使用。實體載波偵測的優點為可以迅速的判斷該頻道是否被使用，而缺點為只能在傳送端附近感測，並無法防止在接收端造成的隱藏節點問題。如

圖 5 所示，節點 E 由於在節點 A 的傳輸範圍之

外，因此並無法得知 Ch 1 正被使用，有可能在 Ch 1 發送封包造成 B 的接收錯誤。此外，在收發器個數少於頻道數時，不斷切換頻道掃描，也造成能源的損耗問題。

#### (B) 虛擬載波偵測

虛擬載波偵測為藉由傳輸配對彼此傳送控制封包，去更新周圍節點的頻道資訊。如圖 6 所示，節點 A 欲與節點 B 傳輸。在每個頻道搭設收發器的情形下，A 與 B 可在欲傳送的頻道互相發送 RTS 與 CTS 控制封包存取該頻道。而傳輸配對附近的節點 C、D 與 E 藉由設定該頻道的網路配置向量 (Network Allocation Vector, NAV) 避免使用此頻道。虛擬載波偵測的優點為可經由封包的交換避免隱藏節點問題、電力消耗也較實體載波偵測少。缺點為無法馬上得知頻道狀態的改變。若控制封包本身發生碰撞，則可能造成之後收集資訊不全而產生更嚴重的資料碰撞。如節點 E 若同時接收到 B 節點發送的 CTS 及 F 節點發送的 RTS 而產生碰撞，則節點 E 之後很有可能選擇與 A、B 節點配對相同的頻道傳輸而破壞 B 節點的接收。

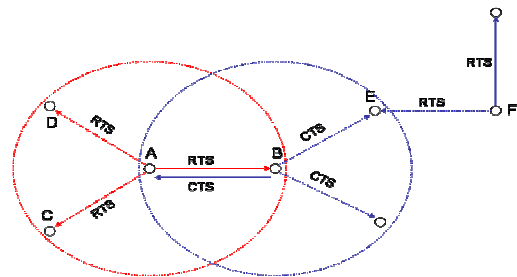


圖6、虛擬載波偵測

#### (C) 忙線音

忙線音為一連續發送的信號，為模擬在乙太網路中碰撞偵測的行為。利用這個機制必須為每個資料頻道配置一控制頻道。在傳輸配對附近的節點可藉由在控制頻道上是否聽到忙線音訊號來判斷對應的資料頻道是否正被使用。

如圖 7 所示，一開始當節點 A 欲傳送資料給 B，會先發送 RTS 控制封包給 B。若 B 附近的資料頻道為空閒，則回覆 CTS，同時在控制頻道打開忙線音訊號直到順利接收完資料的時間點上才關閉。在 A 順利地接收 CTS 之後，也在控制頻道打開忙線音訊號，告知傳送端附近的節點正在傳輸的資訊，直到順利傳送完資料後才關閉此訊號。

使用忙線音的優點為可以在第一時間得知頻道是否處於忙碌狀態。由於忙線音是藉由監聽該訊號來判斷資料頻道是否為空閒，因此不會有控制封包彼此間的碰撞而造成誤判頻道狀態的情形。使用忙線音也可減緩移動性的問題發生，如 F 節點，若貿然闖進 B 節點的傳送範圍，則可迅速得知該頻道正被使用。而使用忙線音的缺點為因連續不停的發

送訊號，所造成的大耗電量，也由於不斷發送此訊號，而造成整段傳輸過程頻寬僅發送此訊號造成的浪費。因為此訊號中並沒有夾帶任何其它資訊，因此在發送忙線音訊號的控制頻道與監控的資料頻道必須以配對的形態出現，若使用多條資料頻道，則耗損頻道數的二分之一資源僅用做傳送忙線音訊號。

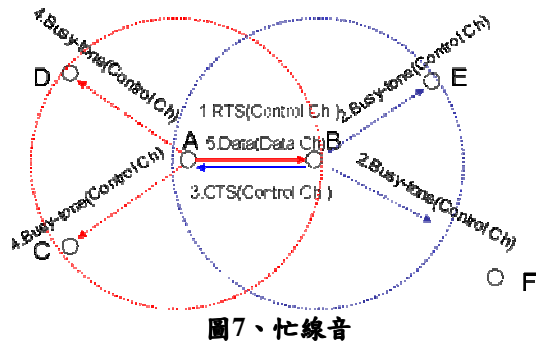


圖 7、忙線音

### 3.4 選擇頻道的條件

多重頻道的環境底下，在頻道狀態偵測這個動作完成之後，便要進一步根據獲得的資訊去選擇合適的資料頻道傳輸。理論上只要指派相鄰兩個跳接的鄰居使用不同的頻道，則一定不會發生互相干擾的問題。我們將頻道選擇的方法，分為兩個類別。如圖 8 所示，一個為需要參考資訊類別，另一個為無需參考資訊類別。

需要參考資訊類別為需要參考某些頻道資訊，加以彙整選擇出一條最合適的頻道傳輸。我們在需要參考資訊類別底下，分為參考頻道空閒狀態的資訊及參考流量的資訊。而無需參考資訊類別則不需參考其他的資訊，在此類別只能採用隨機方式。在參考頻道空閒狀態下，我們希望找出一條最早閒置的頻道做傳輸的動作。可依據的資訊有頻道釋放時間或是實體載波偵測的結果。而在參考流量依據類別下，我們則希望找出一條流量較小的頻道做傳輸，可參考的資訊有頻道使用次數。

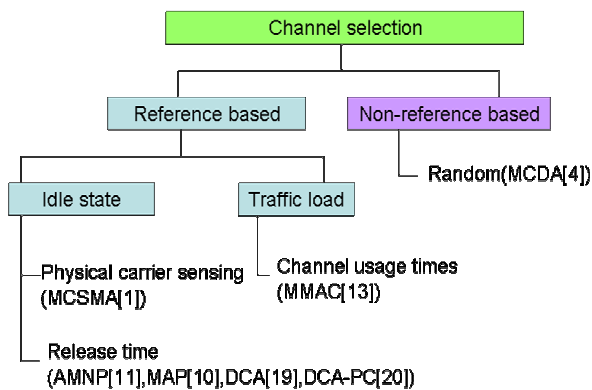


圖 8、頻道選擇依據

#### (A) 無需參考資訊類別

無需參考資訊類別由於不需要參考其它的資訊選擇頻道，因此無需在控制封包中附加額外的資訊造成封包的負擔，可迅速的協商並傳輸資料。在行動速度較為快速的環境下可採用此類別的協定。因為如果採用協商較長的協定，有可能正在協商時期雙方便因為離開彼此的傳輸範圍而造成協商失敗。

隨機選擇是指採取隨機的方式選取一條資料頻道開始傳輸。當某節點欲傳輸，一開始在控制頻道競爭，若成功的交換控制封包 RTS 與 CTS 取得頻道使用權，則隨機產生一頻道切換的序列，之後便依照此序列跳至指定資料頻道。雖然跳到不同的資料頻道大大的降低碰撞的機率，但仍有可能有其它傳輸對也跳至同樣的頻道。因此需重新在跳至的資料頻道上再競爭一次，才可傳輸資料。此種方式優點為傳輸對雙方不需要記錄過多資料頻道的訊息，及長期來看可以將流量分散到各個頻道，達到疏解在單一頻道上的擁塞情形。缺點為沒有辦法依據當時的環境動態的配置網路負載量，而節點依據隨機的方式有可能全部跳至同一資料頻道而造成更激烈碰撞與競爭的情形。

#### (B) 需要參考資訊類別

需要參考資訊類別是藉由控制封包的傳遞，比對傳送端與接收端附近收集的頻道資訊，經彼此的協商分析判斷，選擇出一條最為合適傳輸的頻道。當可用的頻道數目越多，則附加的資訊也增加，增加控制封包傳送的負擔。但可由附加的資訊去避免可能發生的碰撞跟競爭情形，進而從中挑出最合適的頻道以利傳輸。

##### <1> 利用釋放時間

藉由控制封包內所夾帶的各個頻道的釋放時間資訊，可得知目前對方那條資料頻道需要多少時間後才會釋放，或是已經處於空閒狀態，因此可對頻道做最有效的利用。[11][19]中提到若沒有空閒的頻道，可利用此資訊預約釋放時間最短之頻道以節省傳輸時間。更新周圍節點釋放時間的資訊依據預留資料頻道角色有所不同，而不斷地維護更新此資料，也使得整體協定的複雜度提昇許多。

##### <2> 利用實體載波偵測的結果

利用實體載波偵測，若感測到該頻道為空閒則做傳輸的動作。在 MCSMA[1] 中，N 條頻道上配置 N 個收發器做實體載波偵測。欲傳送資料時，若某收發器感測為空閒則在配置的該資料頻道上傳輸。優點為在媒體存取時期做完實體載波偵測後無需交換控制封包，便可直接做傳輸資料的動作。缺點為硬體成本太高，且仍然沒有解決隱藏節點問題。

##### <3> 利用頻道使用次數

頻道使用次數代表節點附近資料頻道的使用

次數。附加此資訊可得知頻道的使用狀況，進而避開使用較擁塞的頻道，達到負載平衡的目標。表 1 整理不同頻道選擇條件的比較。

表1、選擇頻道方式比較

	Method	Advantages	Drawbacks
Random	由傳送端隨機選擇頻道	控制封包不需夾帶冗長的參考資訊	1.在資料頻道需要再競爭 2.有可能所有節點跳至同一個頻道造成更壅塞的情況
Release time	頻道在多久之後為空閒狀態	在資料頻道不需要競爭，協商完便可在資料頻道傳輸	1.需重新設計封包格式 2.計算時間較複雜 3.Release time 不一致時會當造成碰撞
Physical carrier sensing	實體載波感測空間的頻道	可立即判斷頻道是否為空閒狀態	過高的硬體成本
Channel usage times	周圍頻道的使用次數	將網路流量分散	1.需重新設計封包格式 2.在資料頻道需要再競爭

表2、協商方式與次數的分類

	傳送端 first way	接收端 second way	傳送端 third way	
2-way sender based	<ul style="list-style-type: none"> <li>指定使用的頻道</li> <li>通知鄰居該使用頻道的預留</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>如果同意則回覆並通知鄰居該使用頻道的預留</li> </ul>		有可能選擇的傳輸頻道在接收端不為空閒
2-way receiver based	<ul style="list-style-type: none"> <li>傳送空閒頻道的表列</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>指定使用的頻道</li> <li>通知鄰居該使用頻道的預留</li> </ul>		沒有在傳送端做預留頻道的動作
3-way receiver based	<ul style="list-style-type: none"> <li>傳送空閒頻道的表列</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>指定使用的頻道</li> <li>通知鄰居該使用頻道的預留</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通知鄰居該使用頻道的預留</li> </ul>	在傳送端與接收端狀態差不多時多浪費一次協商
Hybrid 2-way	<ul style="list-style-type: none"> <li>指定使用的頻道</li> <li>傳送空閒頻道的表列</li> <li>通知鄰居該使用頻道的預留</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同意指定的頻道並通知鄰居該使用頻道的預留</li> </ul>		有可能選擇的傳輸頻道在接收端不為空閒
Hybrid 3-way	<ul style="list-style-type: none"> <li>指定使用的頻道</li> <li>傳送空閒頻道的表列</li> <li>通知鄰居該使用頻道的預留</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>不同意指定的頻道則另外指定使用的頻道</li> <li>通知鄰居該使用頻道的預留</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通知鄰居該使用頻道的預留</li> </ul>	多做一次預留的動作

### 3.5 頻道選擇決定者

資料頻道選擇決定者指的是由何者去做最後頻道選擇的動作。在這邊分為三個類別：由傳送端決定 (Sender Based)、由接受端決定 (Receiver

Based)、或是動態的由傳送端或是傳送端決定 (Hybrid)。

依照協商方式與次數可分為下列幾種：

- 傳送端使用兩次握手決定資料頻道的協定
- 接收端使用兩次握手決定資料頻道的協定
- 接收端使用三次握手決定資料頻道的協定
- 綜合類型握手協定

表 2 說明每種方式運作的方式與可能遭遇的問題。利用共同區間之跳頻的協定或是使用專屬控制頻道的單一資料頻道並不需要夾帶資料頻道的資訊，只需兩次握手就可完成協商。

表 3 中，我們列出目前多重頻道媒體存取協定的協商策略特性。

表3、多重頻道媒體存取協定的比較

Protocol	Place of Contention and Info. Collection	No. NUCs	Data Ch selection method	Data_Ch	Carrier sensing	handshakes	Ch_selection	Clock sync.
HDMAC[25]	共同待播一個指定頻道	1	Sender	多值	Virtual & Physical	2-way	Hopping sequence	yes
SSCH[16]	共同待播一個指定頻道	1	Sender	多值	Virtual & Physical	2-way	Hopping sequence	yes
MAP[10]	控制時間一個指定頻道	1	algorithm	多值	Virtual & Physical	2-way	Release time	yes
NMAC[13]	控制時間一個指定頻道	1	Receiver	多值	Virtual & Physical	3-way	Channel usage times	yes
BTMA[5]	專屬控制頻道	1	Sender	1	Busy-tone	2-way	no need	no
DBTMA[24]	專屬控制頻道	2	Sender	1	Busy-tone	2-way	no need	no
DBTMA/DA [23]	專屬控制頻道	2	Sender	1	Busy-tone	2-way	no need	no
AMMP[11]	專屬控制頻道	1	Hybrid	多值	Virtual & Physical	Hybrid	Release time	no
FCAM[12]	專屬控制頻道	3	Receiver	多值	Virtual & Physical	2-way	Idle state	no
DPC[21]	專屬控制頻道	2	Sender	多值	Virtual & Physical	2-way	Idle state	no
NCBMA[1]	一般頻道	與發送端同數目	Sender	多值	Physical	no	Carrier sensing	no
RBC[15]	專屬控制頻道	1	Receiver	多值	Virtual & Physical	3-way	Idle state	no
RBTMA[2]	專屬控制頻道	2	Receiver	1	Busy-tone	2-way	No need	no
DCA/PC[20]	專屬控制頻道	2	Receiver	多值	Virtual & Physical	3-way	Release time	no
HMC[17]	專屬控制頻道	2	Receiver	多值	Virtual & Physical	2-way	Idle state	no
NCMAC[8]	n個控制頻道	n+1	Receiver	多值	Virtual & Physical	3-way	Idle state	no
DCEBA[9]	專屬控制頻道	2	Sender	1	Busy-tone	2-way	no need	no
NCDA[4]	專屬控制頻道	2	Sender	多值	Virtual & Physical	2-way	random	no
sRDT[18]	專屬控制頻道	2	Receiver	多值	Busy-tone	2-way	一開始搶談	no
DCA[19]	專屬控制頻道	2	Receiver	多值	Virtual & Physical	3-way	Release time	No

### 4. 結論

我們提出在設計多重頻道媒體存取協定中所遇到新的問題及挑戰。並依據參考文獻將目前多重頻道媒體存取協定加以分類，制定一完整的設計流程圖，示意各個階段可能遇到的問題並加以深入的討論，以勾勒出一個完整設計的藍圖，使得有興趣的人能避免可能發生的錯誤而迅速的進入此研究領域。

## 誌謝

本研究計畫所需經費由國科會補助，計畫編號為 NSC 94-2213-E-259-016

## 參考文獻

- [1] A. Nasipuri, J. Zhuang, and S. R. Das, "A Multi-Channel CSMA MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks," *IEEE WCNC*, pp.1402-1406, Sept. 1999.
- [2] B. P. Crow, I. Widjaja, J. G. Kim, and P. T. Sakai, "IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 9, pp. 116-126, Sept. 1997
- [3] C. S. Wu and V. O. K. Li, "Receiver-Initiated Busy Tone Multiple Access in Packet Radio Networks," *ACM Computer Communication Review*, vol. 17, no. 5, pp. 336-42, Aug. 1987.
- [4] C. Y. Chang, H. C. Sun and C. C. Hsieh, "MCDA: an efficient multi-channel MAC protocol for 802.11 wireless LAN with directional antenna", *IEEE AINA*, pp.64-67, Mar. 2005.
- [5] F. A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet Switching in Radio Channels: Part II – The Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple-Access and the Busy-Tone Solution," *IEEE Trans. Commun.*, vol.23, no.12, pp. 1417 – 1433, Dec. 1975.
- [6] G. Anastasi and L. Lenzini, "QoS Provided by the IEEE 802.11 Wireless LAN to Advanced Data Applications: a Simulation Analysis," *Wireless Networks*, vol. 6, no. 2, pp. 99-108, Mar. 2000.
- [7] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 3, Mar. 2000.
- [8] H. Koubaa, "Fairness-Enhanced Multiple Control Channels MAC for Ad Hoc Networks," *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp.1504–1508, Jun. 2005.
- [9] H. Zhai, J. Wang, Y. Fang, and D. Wu, "A dual-channel MAC protocol for mobile ad hoc networks," *IEEE GlobeCom*, pp. 27-32, Dec. 2004.
- [10] J. Chen, S. T. Sheu, C. A. Yang, "A new multi-channel access protocol for IEEE 802.11 ad hoc wireless LANs," *IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp.7-10, Sept. 2003.
- [11] J. H. Chen and Y. D. Chen, "AMNP: Ad Hoc Multichannel Negotiation Protocol for Multihop Mobile Wireless Networks," *IEEE International Conference on Communication*, pp. 3607-3612, 2004.
- [12] J. S. Pathmasuntharam, A. Das, and A. K. Gupta, "Primary channel assignment based MAC (PCAM) - a multi-channel MAC protocol for multi-hop wireless networks," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 21-25, Mar. 2004.
- [13] J. So and N. Vaidya, "Multi-Channel MAC for Ad Hoc Networks: Handling Multi-Channel Hidden Terminals Using A Single Transceiver," *ACM Mobihoc*, pp.222-233, May 2004.
- [14] N. Choi, Y. Seok, and Y. Choi, "Multi-channel MAC protocol for mobile ad hoc networks," *IEEE VTC*, pp. 1379-1382, Oct. 2003.
- [15] N. Jain, S. R. Das, A. Nasipuri, "A multichannel CSMA MAC protocol with receiver-based channel selection for multihop wireless networks," *Computer Communications and Networks*, pp. 15-17, Oct. 2001.
- [16] P. Bahi, R. Chandra, and J. Dunagan, "SSCH: Slotted Seeded Channel Hopping for Capacity Improvement in IEEE 802.11 Wireless Networks," *ACM MobiCom*, pp.216-230, 2004.
- [17] P. Kyasanur and N. H. Vaidya, "Routing and Interface Assignment in Multichannel MultiInterface Wireless Networks," *IEEE WCNC*, 2005.
- [18] R. Maheshwari, H. Gupta, S. R. Das, "Multichannel MAC Protocols for Wireless Networks," *SECON*, Sept. 2006.
- [19] S. L. Wu, C. Y. Lin, Y. C. Tseng, and J. P. Sheu, "A New Multi-Channel MAC Protocol with On-Demand Channel Assignment for Multi-Hop Mobile Ad Hoc Networks," *Int'l Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks*, 2000.
- [20] S. L. Wu, Y. C. Tseng, C. Y. Lin, J. P. Sheu, "A multi-channel MAC protocol with power control for multi-hop mobile ad hoc networks", *Computer. J.* vol. 45, no. 1, pp. 101-110, 2002.
- [21] W. C. Hung, K. L. Eddie Law, A. Leon-Garcia, "A Dynamic Multi-Channel MAC for Ad Hoc LAN," *21st Biennial Symposium on Communications*, Apr. 2002,
- [22] Y. B. Ko, V. Shankarkumar, and N. H. Vaidya, "Medium Access Control Protocols Using Directional Antennas in Ad Hoc Networks," *IEEE INFOCOM*, vol. 1, pp. 13-21, Mar. 2000.
- [23] Z. Huang, C. C. Shen, C. Srisathapornphat, and C. Jaikao, "A Busy Tone Based Directional MAC Protocol for Ad Hoc Networks," *IEEE MILCOM*, Oct. 2002.
- [24] Z. J. Haas and J. Deng, "Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA) – A Multiple Access Control for Ad Hoc Networks," *IEEE Trans. Commun*, vol. 50, no. 6, pp. 975-985, Jun. 2002.
- [25] Z. Tang and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Hop-Reservation Multiple Access (HRMA) for Ad Hoc Networks," *IEEE INFOCOM*, vol. 1, pp. 194-201, Mar. 1999.