

第二章

IEEE 802.11 之 MAC 層協定

IEEE 802.11 MAC 層是由 DCF(distributed coordination function)及 PCF(point coordination function) 組成，PCF 架在 DCF 之上並使用 DCF 提供之服務，如圖 2.1。IEEE 802.11 MAC 層的基本擷取 (access) 方式是 DCF，藉由 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 的使用獲得通道之使用權，並減少碰撞的機會，因此不論是在獨立或基礎建設網路環境內的使用者皆要能實行 DCF [9]。另一方面，PCF 則是由 AP (access point) 判斷哪一位使用者有權力使用通道，並利用輪呼 (polling) 方式通知使用者傳輸資料，這類的架構只能使用在基礎建設網路中。

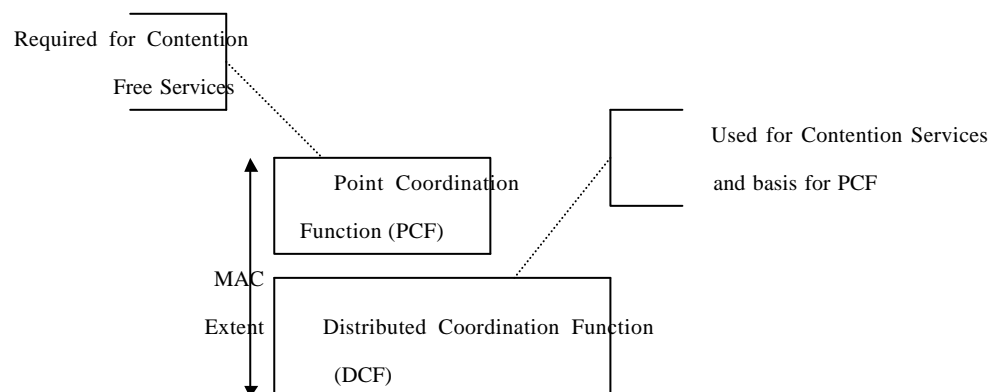


圖 2.1 MAC 層架構

2.1 DCF

在 IEEE 802.11 中，DCF 採用 CSMA/CA 及 random backoff time 的方式減少碰撞的機會，增加系統的貫通率（throughput）。除此之外，再利用 CSMA/CA four-way handshakes [10] 的方法克服隱藏用戶（hidden-terminal）的問題，見圖 2.2。關於通道使用優先權（priority）的問題，IEEE 802.11 藉由框架（frame）與框架傳送時相隔不同 IFS（interframe space）的區間形成不同等級的優先權，其中以使用 IFS 長度最短的用戶擁有最高的優先權。IFS 區間可分成 SIFS（short IFS）、PIFS（PCF IFS）及 DIFS（DCF IFS）三種，其中 SIFS 的區間最短，其次為 PIFS，最長的是 DIFS，如圖 2.3。一般而言在使用者獲得通道的使用權後，會希望有較高的優先權以便完成框架續傳動作，因此在之後的資料框的傳送及 ACK 的接收之間只相差一個 SIFS 的時間，相較於其他必須等待 DIFS 的時間才能傳送框架的使用者而言，擁有最高的優先權。

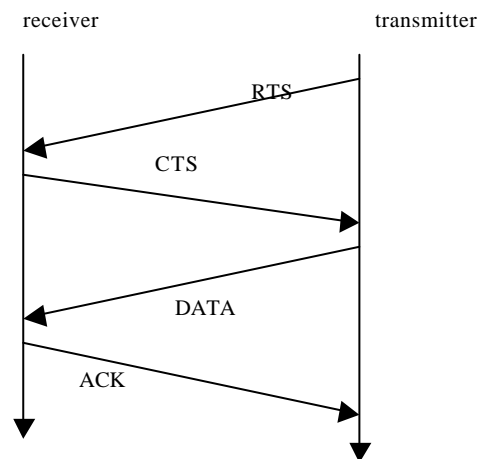


圖 2.2 CSMA / CA with four-way handshaking

IEEE 802.11 允許使用者在 DCF 時段直接通訊，不需經由 AP 輾轉傳送資料。使用者在傳送資料給某一用戶前必須先觀察通道以判斷是否有其他用戶正在使

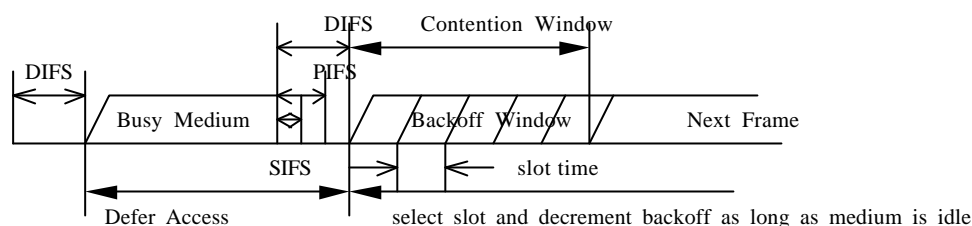


圖 2.3 基本擷取方式

用通道。一般而言，觀察的方式可分為兩種，一種是實體載波感測（physical carrier sensing）由實體層提供，另一種為虛擬載波感測（virtual carrier sensing），由 MAC 層提供。所謂的實體載波感測是藉由分析所有檢測到的封包（packet）及其他使用者發出的信號強度來判斷是否有其他使用者正在使用通道〔11〕。而虛擬載波感測藉由 RTS / CTS 及資料框、ACK 中的 Duration / ID 欄位保留通道的使用權，此欄位定義通道被保留以便傳送一個資料框及 ACK 所需時間。當收到一個完整的框架，除了接收者（receiver）外，其他使用者必須重設他們的 NAV（network allocation vector）為 Duration / ID 內的值。NAV 的值會隨時間減少，直到為 0。只要 NAV 不為 0，使用者不能接收或傳送屬於他自己的資料。

除了 NAV 需為 0 外，使用者若想傳送資料還需利用實體載波感測觀察通道狀態，如果觀察發現通道閒置（idle）中，他必須再等待通道閒置超過 DIFS 的時間才可傳輸。如果觀察通道時發現通道正被使用中，使用者必須在使用通道者完成傳輸後再等通道閒置超過 DIFS 後進入 backoff 程序。一旦獲得使用通道的權力成為傳送者（transmitter），即利用 four-way handshakes 的方法傳送資料。亦即為傳送者需先傳送 RTS（request to send）給接收者，而接收者收到 RTS 時利用自身的 NAV 值判斷通道是否閒置中。若 NAV = 0，則接收者送 CTS 給傳送

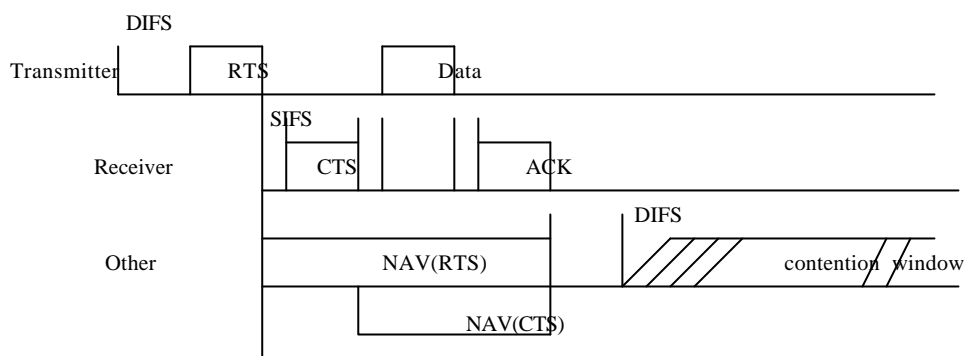


圖 2.4 RTS / CTS / 資料框 / ACK 及 NAV 之設定

者，告知可使用通道傳輸資料；若 NAV 不為 0，接收者不送 CTS 拒絕資料傳送。當傳送者在經過 CTS timeout interval 後未收到 CTS 即得知傳送要求失敗，在通道閒置超過 DIFS 後進入 backoff 程序。

使用 RTS/CTS 的原因是為了能夠快速判斷碰撞是否發生。如果利用資料框傳送後未收到 ACK 才判斷碰撞發生，一旦資料框的長度過長，不僅是時間上的延遲更是通道的浪費。使用長度較短的 RTS 可以縮短判斷通道路徑通暢與否的時間，更可以提早重新傳送的時間。但如果資料框本身長度不長，在傳送資料框前傳送 RTS 只是增加系統的負擔。因此倘若資料框的長度在某臨界值之上，則傳送之前需先執行 RTS/CTS 程序；若資料框的長度在臨界值之下，則直接傳送資料框並根據是否收到 ACK 判斷是否傳送成功。但不論處於何種狀況，傳送前皆須觀察通道狀態。

在傳送者接收到完整的 CTS 再過 SIFS 的時間後開始資料的傳輸。為了避免傳輸時受到其他使用者的干擾，RTS、CTS、資料框及 ACK 框架內的 Duration / ID 可以讓其他的使用者設定他們的 NAV 值。在不同位置的使用者會收到不同的 NAV 值。例如：接收到 RTS 框架的使用者，從 RTS 的 Duration / ID 欄位中得到的值為傳送一個 MPDU 加一個 CTS 及一個 ACK、3 個 SIFS 所需時間；接到 CTS 框架的使用者從 CTS Duration / ID 中得到的值為一個 MPDU 加一個 ACK 及 2 個 SIFS 所

需之時間，見圖 2.4。這些使用者是否修改他們的 NAV 值得視他們從 Duration / ID 中獲得之 NAV 值是否比原先的 NAV 值大而定。如果後來的值較大，修改 NAV 值；較小，不改 NAV 值。

在 IEEE 802.11，使用者獲得通道使用權後最多傳送一個 MSDU (MAC service data unit) 的資料量。一般而言使用者會將一個 MSDU 分割成較小單位的框架，即 MPDU (MAC protocol data unit)，分別傳送，如圖 2.5。而接收者每收到一個 MPDU 即回應一個 ACK，如此可允許一個 MPDU 的重傳，而非一個 MSDU。此時 Duration / ID 欄位內的值如下，見圖 2.6：

在 RTS / CTS 框架內的 Duration / ID 內容用來修正其他使用者的 NAV，告知到 ACK1 結束前通道皆為忙碌狀態。而 MPDU1 及 ACK1 的 Duration / ID 資訊表示通道到 ACK2 結束前通道皆為忙碌狀態。同理，利用 MPDU2 及 ACK2 的資料可以修改 NAV 使得通道在 ACK3 結束前皆在使用中。利用此方法修改 NAV 直到最後一個 MPDU 為止。最後一個 MPDU 的 Duration / ID 欄位之值為 1 個 ACK 時間加上一個 SIFS 時間，最後一個 ACK 其 Duration / ID 之值為 0。因此資料框格式內的 Duration / ID 會有兩種表示法：

() 若資料框標頭內的 More Fragment bit 設為 0 (即只送一個 MPDU 或多個 MPDU 中最後一個)，則 Duration / ID 欄位的值為傳送一個 ACK 加一個 SIFS

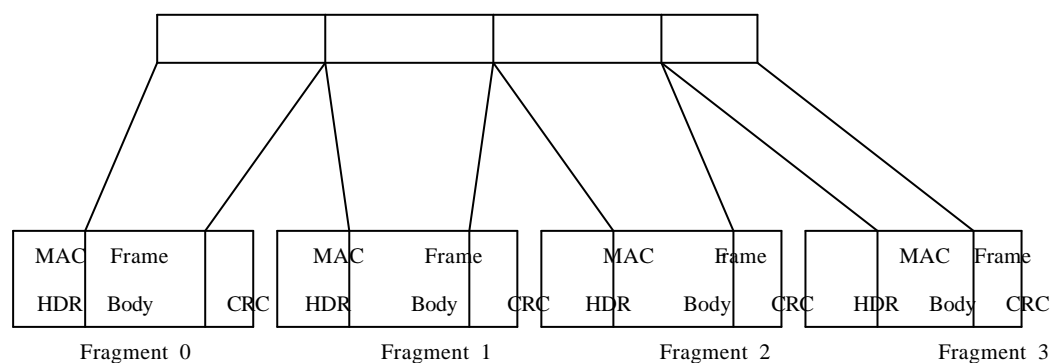


圖 2.5 Fragmentation

所需之時間。

- () 若 More Fragment bit 設為 1 (即傳送多個 MPDU 時的前幾個 MPDU), 則 Duration / ID 欄位的值為傳送下個 MPDU 加上一個 ACK frame 及 2 個 SIFS 所需時間。

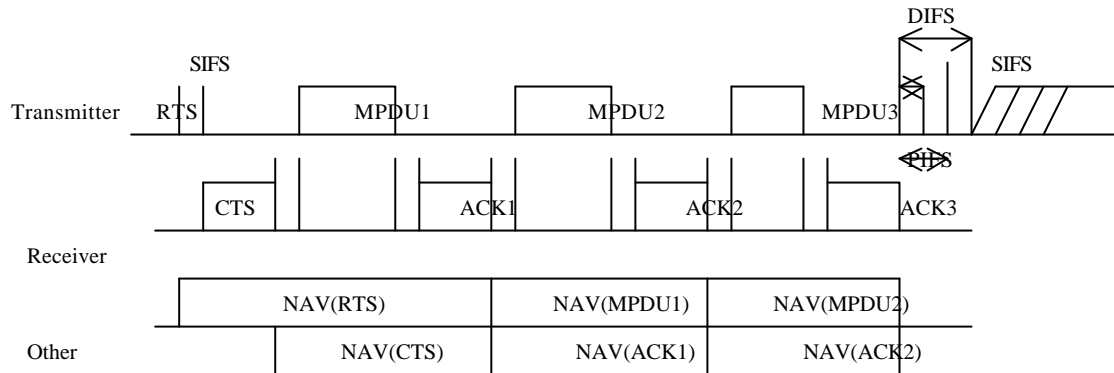


圖 2.6 MPDU 與其 NAV 之關係

2.2 Backoff 程序

由於在通道忙碌的這段時間內，可能已有多個使用者有資料要傳並準備爭取下一段的通道使用權，因此通道由忙碌轉為閒置的這個時間點是碰撞最有可能發生的時候。為了解決這種現象，並希望在通道轉為閒置時已準備競爭通道的使用者能分散在各個時間點傳輸以減少碰撞機會，IEEE 802.11 藉由 Backoff 程序達到以上效果。

使用者在傳送資料之前必須檢測通道狀態，若通道忙碌則需等待通道閒置超過 DIFS 後選擇一個任意的 backoff 區間，並等這段時間過後才能傳送資料。在通道閒置 DIFS 後的時間分成許多時槽 (slot)，每個時槽是傳送者開啟所需時間 (transmitter turn-on time) 加上傳輸延遲及判斷通道忙碌的反應時間，如圖

2.3 PCF

PCF 區段由 AP 控制通道的使用權，藉由輪呼的方式讓使用者依序傳送資料，且一次只能傳送一個 MPDU 的長度。PCF 屬於免碰撞區間 (contention-free period)，與之後由 DCF 主導的碰撞區間 (contention-period) 形成一個超級框架 (superframe)^[13]，如圖 2.8。每次 CFP (即免碰撞區間) 週期開始，AP 傳送一個 Beacon 給所有使用者以達到同步及時序 (timing) 效果。由於 AP 週期性的開始 CFP 區間，因此使用者可以預估 Beacon 的傳送時間。但若有使用者在 CP (碰撞區間) 週期內獲得通道的使用權，發現傳送框架的期間會遇到 Beacon 的預定傳送時間，他將會無視 Beacon 應該出現的時間繼續傳送框架，此時 AP 會發現通道忙碌中並在使用者送完框架再過 PIFS 的時間後才送出 Beacon，造成這段 CFP 區間被壓縮，如圖 2.9。

使用者一旦收到 Beacon 將設定自身之 NAV 值為 CFP 最大區間 (CFPMaxDuration)，如此可避免某使用者在傳送框架時隱藏用戶判斷通道閒置超過 DIFS 區間，誤以為在 CFP 週期內取得通道的控制權並傳送框架，造成正在傳送的資料被破壞。一般而言，CFP 最大區間指的是超級框架的長度減去 (一個最大長度的 MPDU 及 RTS/CTS 交換和接收 ACK 所需時間)。

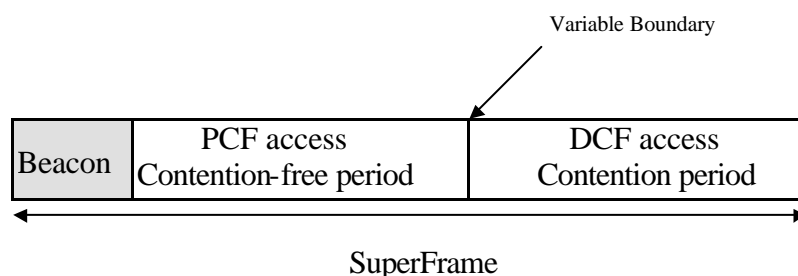


圖 2.8 免競爭及競爭週期之輪替

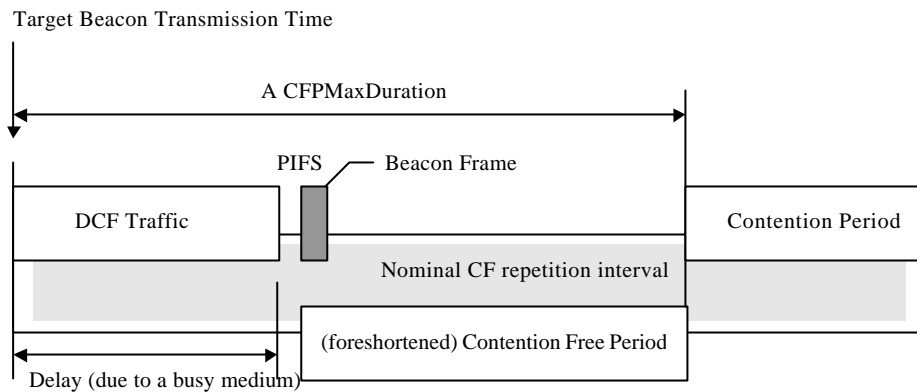


圖 2.9 延遲的 Beacon 及壓縮的 CFP 區間示意圖

AP 根據輪呼清單(Polling list)決定每次 CFP 週期呼叫使用者的個數及順序。使用者利用結合框 (association frame) 的傳送加入輪呼清單，AP 則根據 AID (association identifier) 的序號以由小到大的順序呼叫。由於 AP 在呼叫使用者時可以同時傳送資料框給此使用者，因此收到完整資料框的使用者如果沒有資料要傳則直接回復 ACK 給 AP；若此時使用者有資料要傳送，則在傳送完自身的資料框後 piggyback ACK 給 AP。如果 AP 只是呼叫使用者而無資料傳送，則使用者只需傳送資料框，若使用者被呼叫到時沒有資料要傳送則送出 NF (Null Frame) 告知 AP。此外，AP 在呼叫某一用戶後經過 PIFS 的時間使用者仍無回應，則 AP 放棄呼叫此用戶繼續呼叫輪呼清單的下一使用者。如果 AP 在 CFP 最大區間內呼叫完所有輪呼清單內的使用者並已送完所有 CF 的資料框，或 CFP 最大區間時間已到，則送出 CF-end 告知使用者 CF 週期結束，CF 週期開始，此時使用者重設 NAV 值為 0，如圖 2.10。

在使用者被呼叫時如果發現傳送一個 MPDU 及等待 ACK 回應的時間會超過 CFP 最大區間的界線，應該回應 NF，並將 NF 標頭內的“更多資料位元”(More Data bit) 設為 1，以便讓 AP 區分此時是屬於沒有資料傳送或是沒有足夠時間可以傳送這兩種情形中的哪一種。如果剩餘的時間不足以傳送一個最小的 MPDU

及 ACK，AP 必須停止 CFP 週期，送出 CF-end 框架。

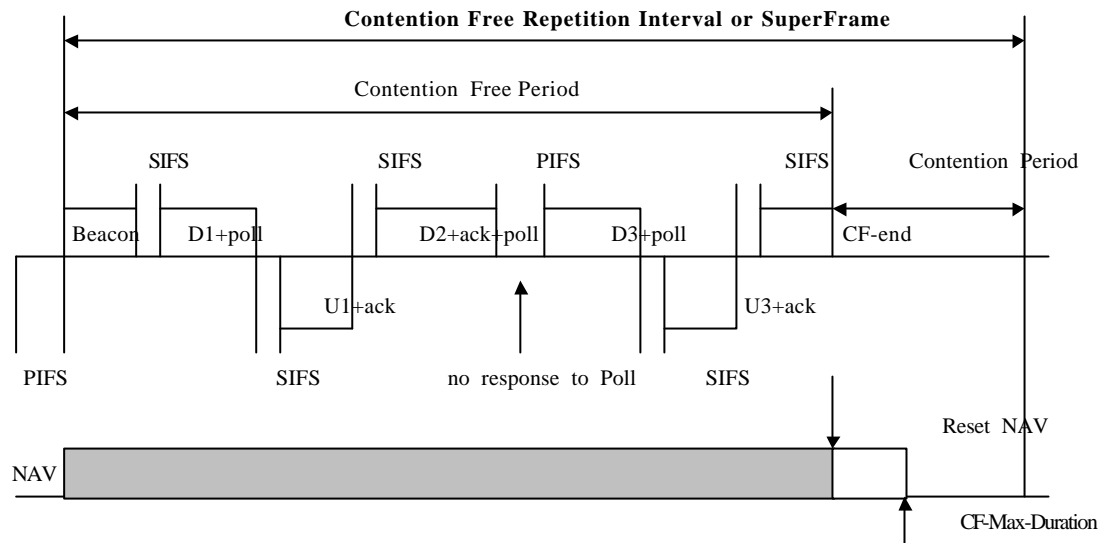


圖 2.10 PCF 區間框架傳輸情形