

課程名稱：無線網路與行動計算

Wireless Internet and Mobile Computing

Outline of This Lecture:
IEEE 802.11 and 802.11e for
Wireless Local Area Networks

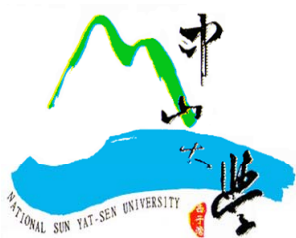
Application Layer

Transport Layer

Network Layer

Link Layer

Physical Layer



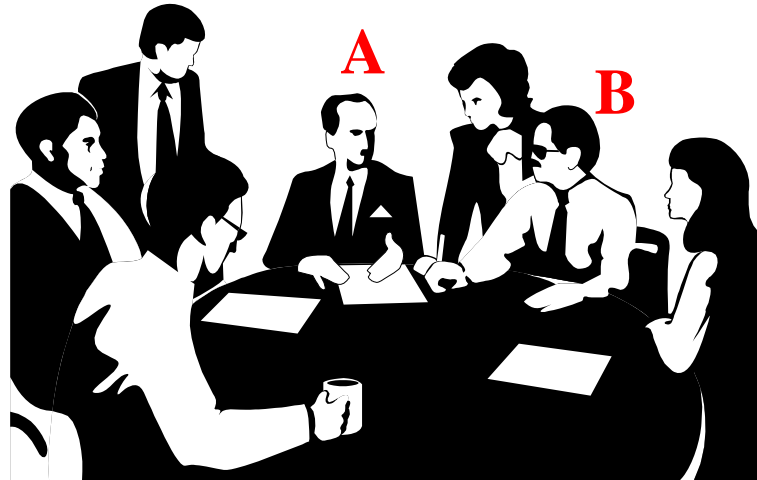
Instructor: 周孜燦 助理教授

國立中山大學電機系

Email: ztchou@ee.nsysu.edu.tw

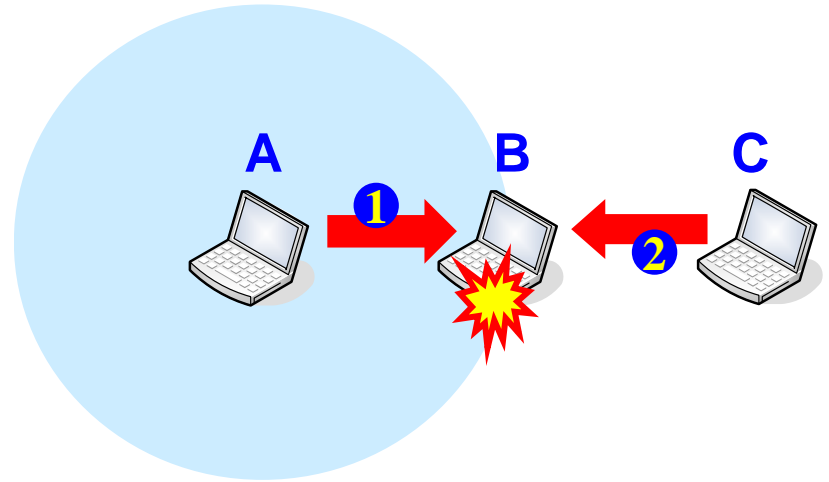
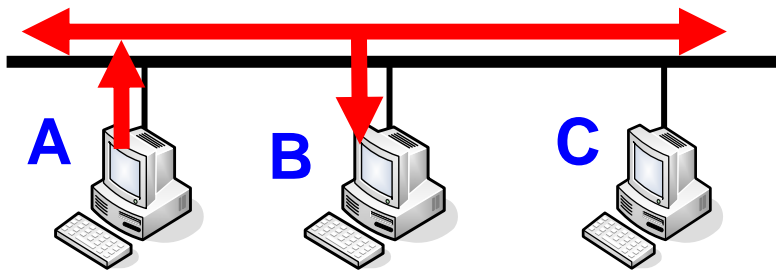
MAC : Medium Access Control

A 和 B 同時發言，導致大家都聽不清楚他們在講什麼



在一個區域網路裡頭，如果有兩台或兩台以上的 stations 同時傳送訊框（frame），將會造成 collision。想像一下，在一個會議室裡頭，如果大家都一直吵著要發言，那麼大家都會聽不清楚。MAC的目的就是要制訂「發言管理辦法」，用來規範如何發言，誰可以發言，誰不可以發言。

Hidden Terminal Problem in Wireless Networks



在傳統的 wired LAN 裡頭，如果 C 想送資料給 B 時，會先 carrier sense，一旦偵測到有其他 station 正在傳送資料，就會等其他 station 傳完資料之後再試圖傳送。然而，如右圖，在無線的環境裡頭，即使 C 在傳送資料給 B 之前也執行先 carrier sense，仍然無法偵測到 A 傳給 B 的訊號。此時 C 會誤以為目前 media 是 free，所以就傳送資料給 B，這樣便會導致 collision 的發生。這就是所謂的 **hidden terminal problem**。這是有線 MAC 所不會面臨到的問題。目前無線區域網路（wireless LAN，簡寫成 WLAN）的國際標準 802.11 有提出方法可以減緩 hidden terminal problem

International Industry Standard: IEEE 802.11

IEEE 802.11 compliant products are currently popular on the market.

mobile station



wireless LAN card



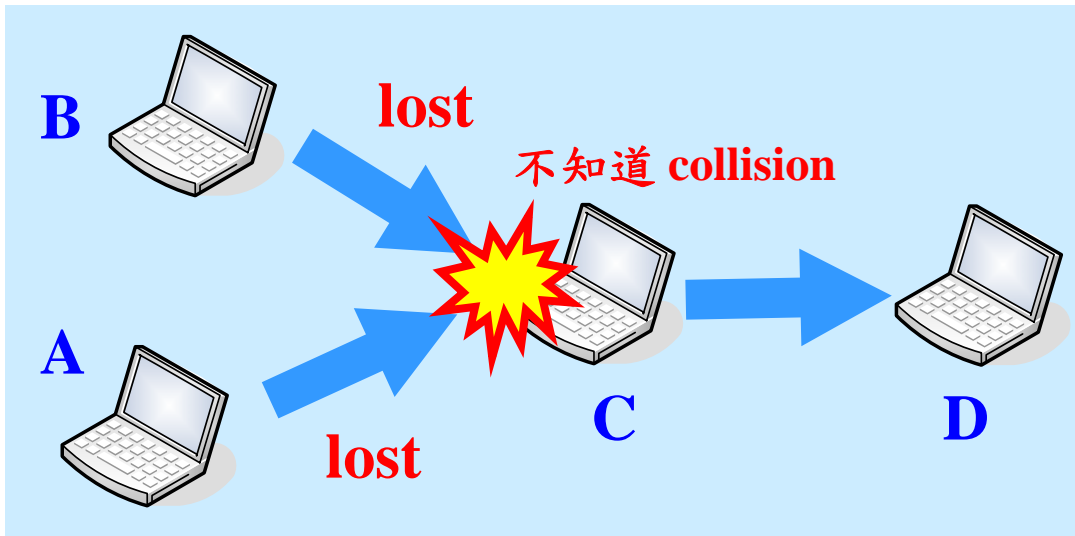
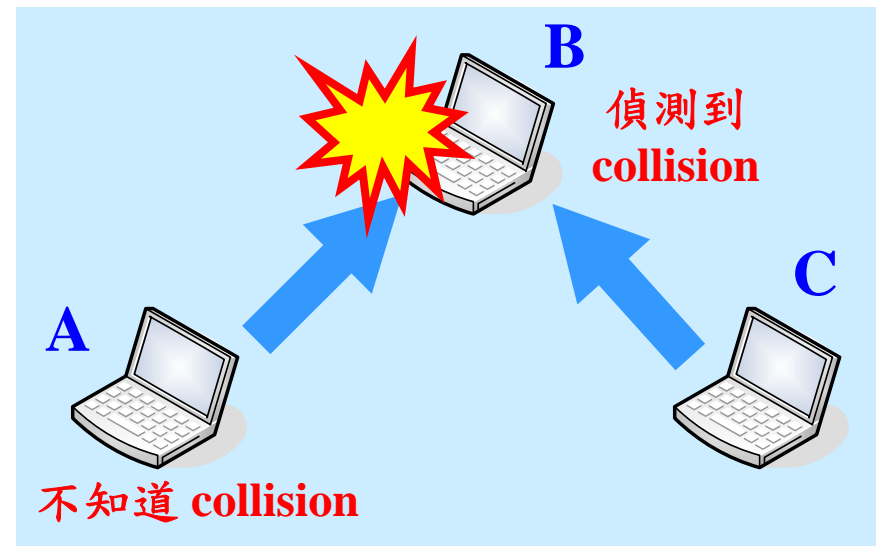
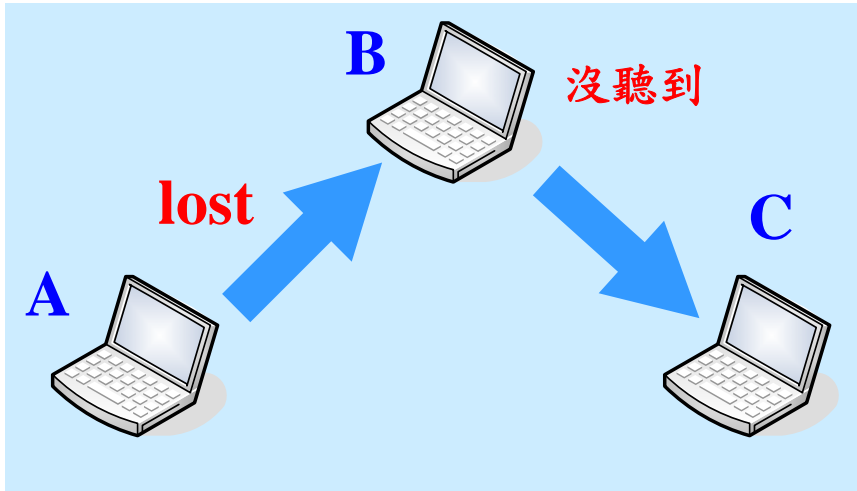
access points

國際大廠成立 WiFi (Wireless Fidelity) 組織用來檢測產品的 interoperability and conformance test , 並推廣 802.11 產業

You Can Also Access Wi-Fi Outdoors

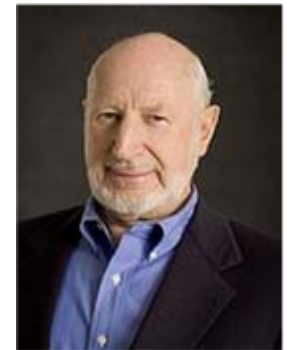
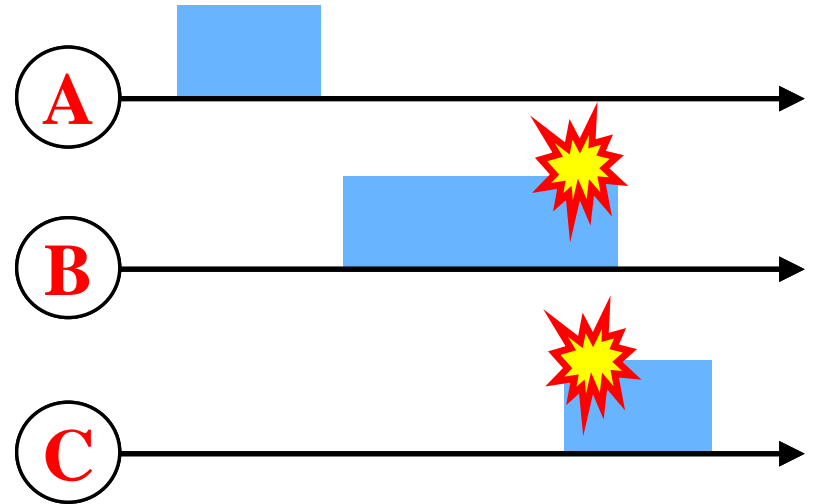
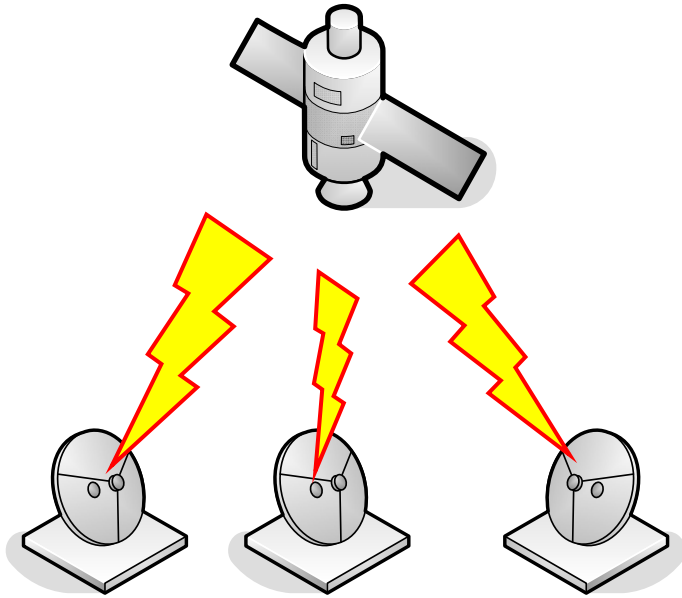


Hardware Assumption : Half-Duplex Transceiver



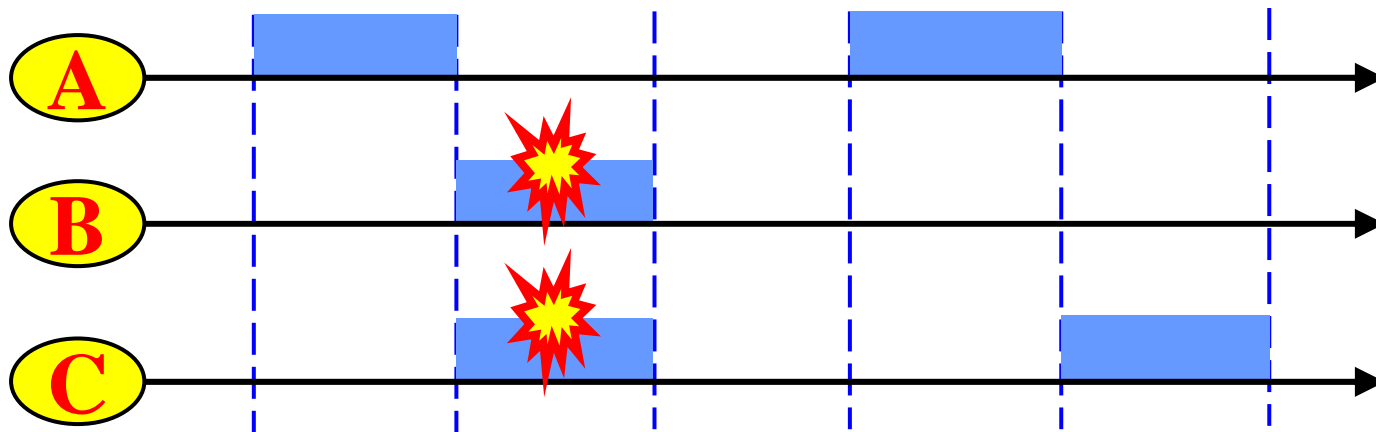
1. 半雙工意味著：講話的時候，聽不到任何人說的話
2. 正在傳送資料的人聽不到任何聲音，所以周遭發生 collision 也不知道
3. 只有正在聽的人才能知道是否發生 collision

ALOHA : The First MAC in the World

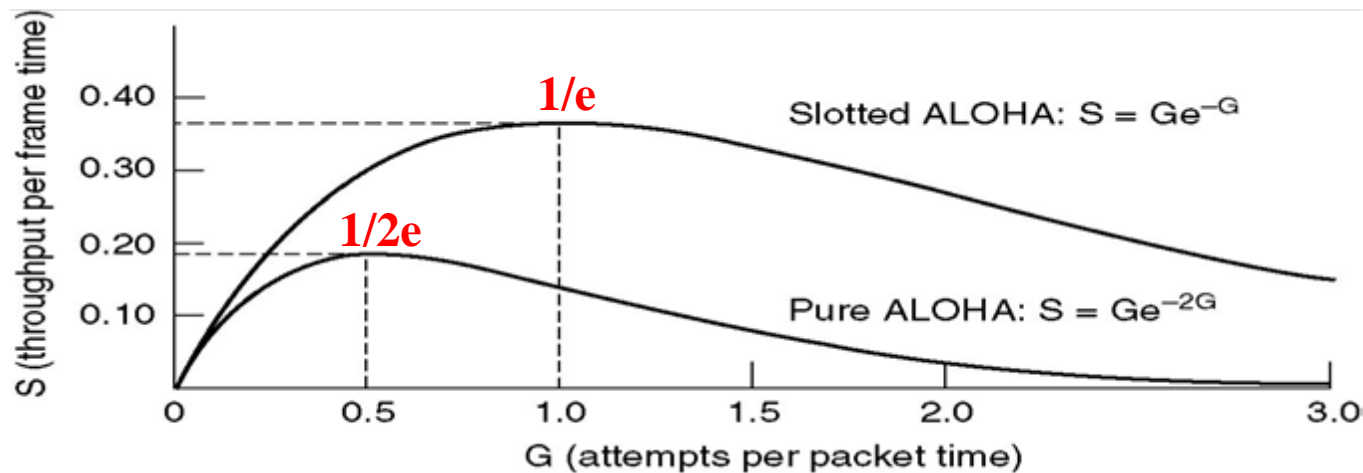


1970 年，Norman Abramson 發明 Aloha

Slotted-ALOHA : The Second MAC



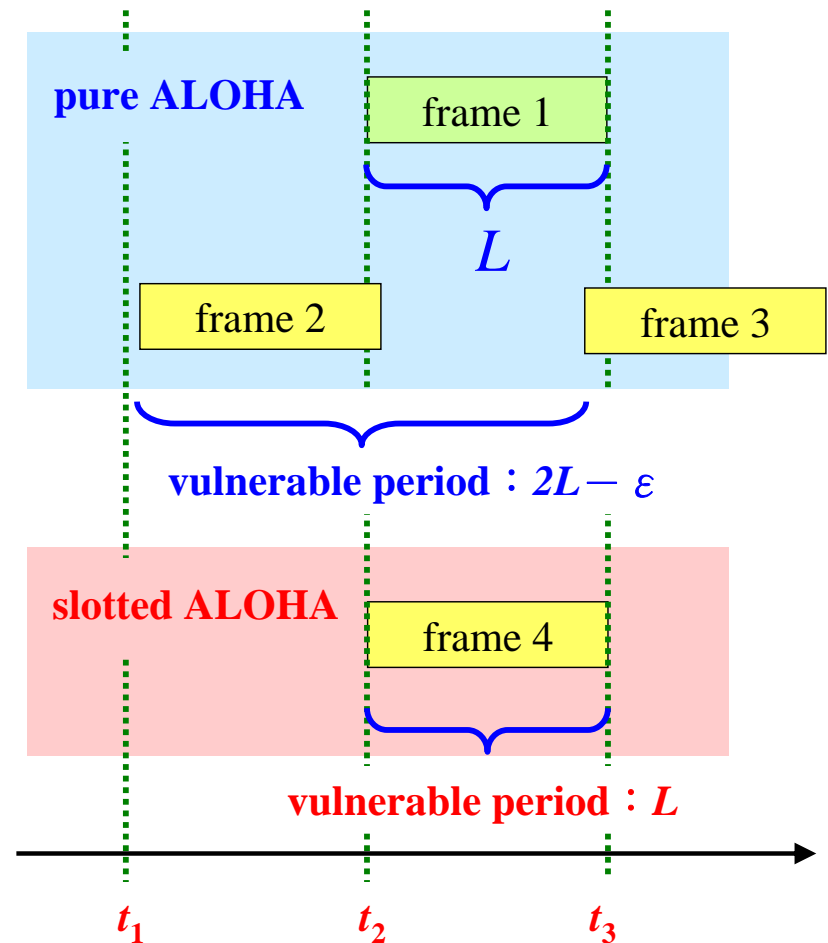
第一次感受到 MAC 的偉大：不靠硬體就將 throughput（單位時間之內所能成功傳輸的資料量）提升兩倍。理由參見下頁。缺點：需同步



Observation : Why Slotted-ALOHA Is Better

假設資料一產生，就準備要傳送。
那麼只要是在 $t_1 \sim t_3$ 期間產生的 frames
都會造成 frame 1 的損毀。

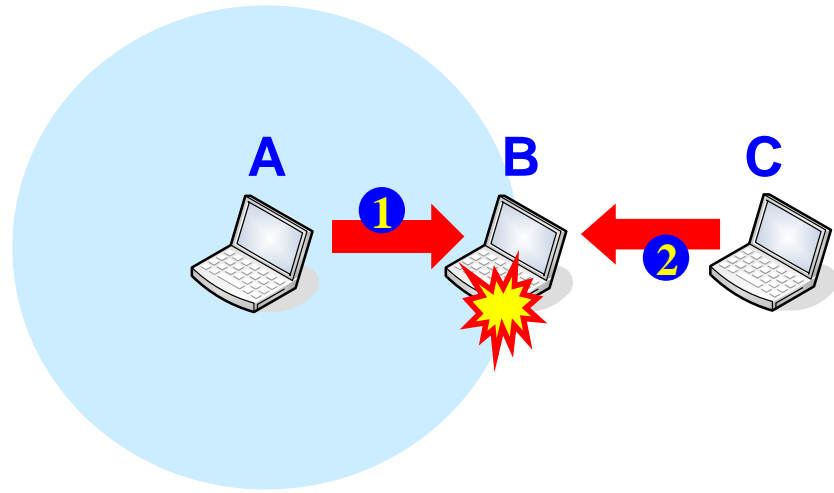
假設資料產生之後，必須要等到
下個 slot time 的起始時間才能傳送。
那麼必須在 $t_1 \sim t_2$ 期間產生的 frames，
才會造成 frame 4 的損毀。



很明顯地，frame 1 在 pure ALOHA 裡頭
比在 slotted ALOHA 裡頭更容易受損

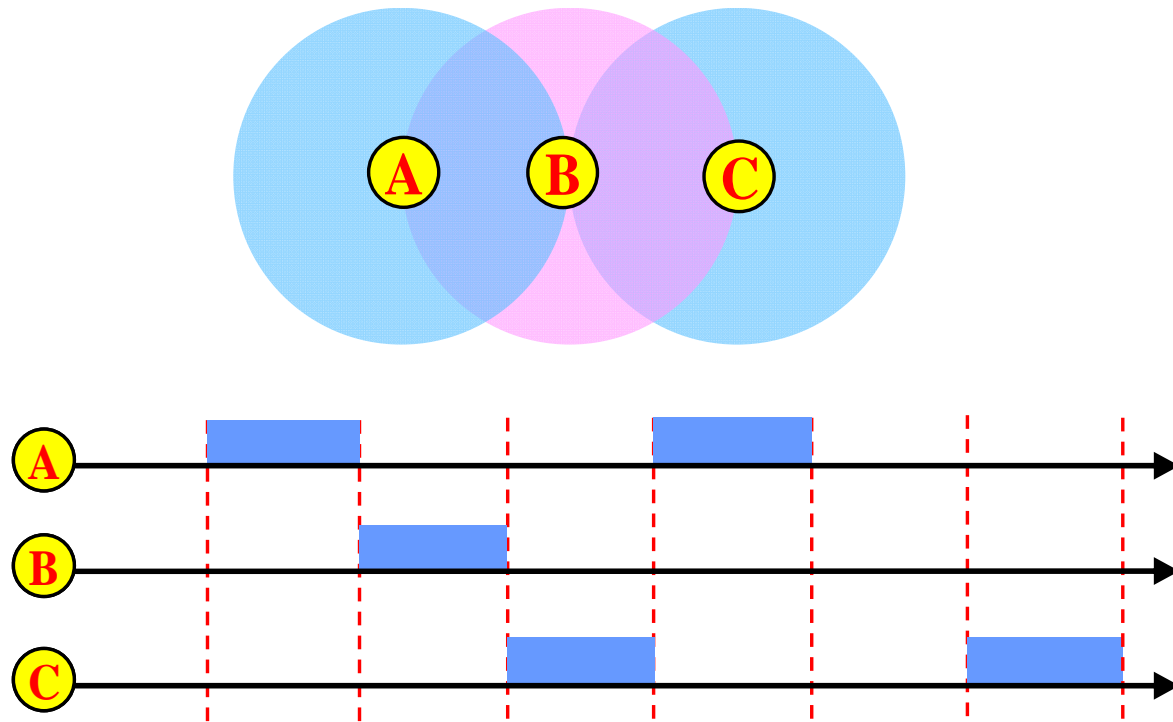
Carrier Sense and Hidden Terminal Problem

Aloha 比 S-Aloha 好的地方在於不需要同步，但缺點是沒 carrier sense，導致 throughput 很低。然而執行 carrier sense 仍然可能發生 hidden terminal problem，那該怎辦？



註：Hidden terminal problem 是造成 wireless network interface card (NIC) 選擇實作半雙工的真正主因，其理由在於：即使 NIC 具有全雙工能力也無法偵測到 hidden station 的訊號。想想看，若允許全雙工，且 B 試圖在接收資料的時候發出訊號警告 C。由於全雙工，B 能聽到自己的訊號，此時 B 又正在接收 A 的訊號，這將導致 B 發生 collision。
→ 讓我們看看 802.11 是如何解決 hidden terminal problem。

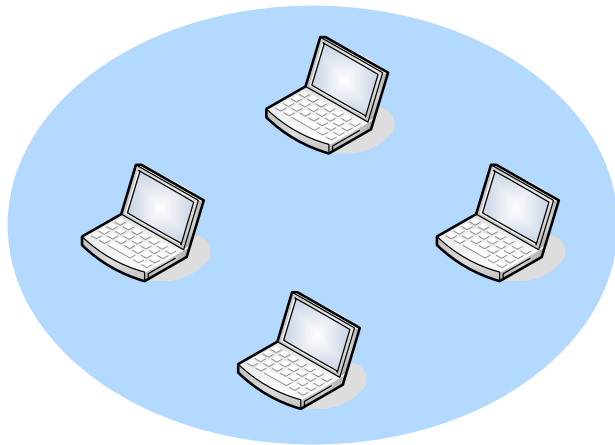
Not All Protocols Suffer Hidden Terminal Problem



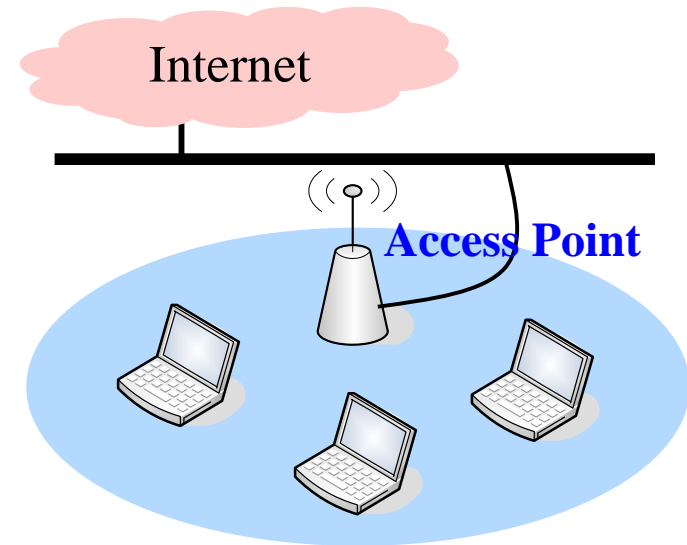
注意：並非所有的 wireless MAC 都有 hidden terminal problem。上述為一個簡單 round robin MAC，由於不需要 carrier sense，裡頭並不存在 hidden terminal problem。會發生 **hidden terminal problem** 的前提是：處在 **multi-hop** 的環境，且 wireless MAC 採用了 **carrier sense** 的機制

802.11 WLAN Architectures

Ad-Hoc WLAN



Infrastructure WLAN



Local Area Network (LAN) = Single-Hop Network

Definition given by IEEE (Ref : 黃能富/區域網路與高速網路 page 1-4)

A LAN is a data communication system allowing a number of independent devices to communicate *directly with each other*, with a moderately sized geographic area over a physical communication channel of moderate data rate.

Ad Hoc WLAN = Single-Hop MANET



Single-Hop MANET (Mobile Ad-Hoc Network)

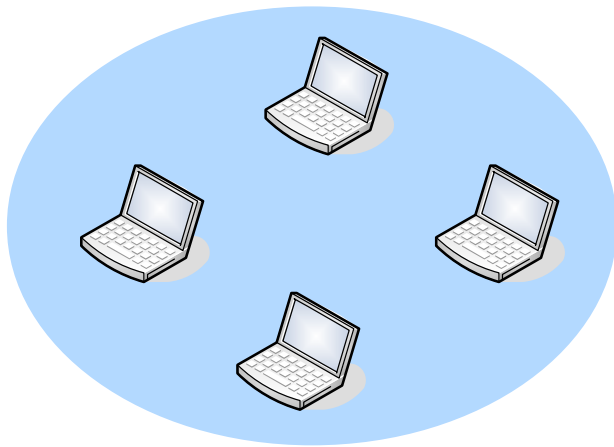
A mobile ad hoc network (MANET) is defined as a set of mobile stations operating without the aid of access points or base stations.

臨時會議 等應用

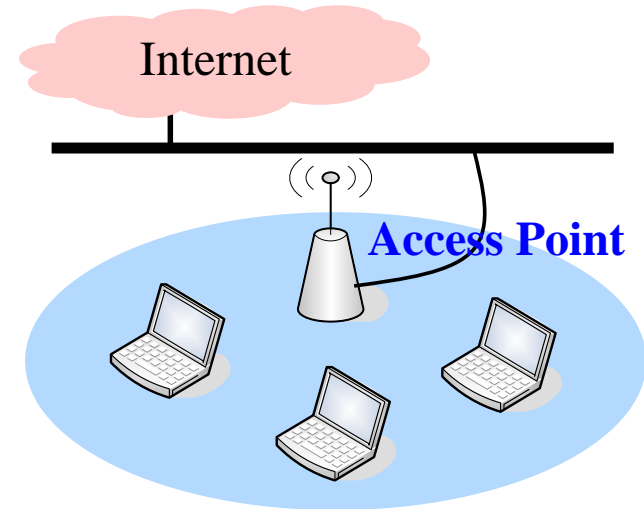
IEEE 802.11 規範了 ad hoc WLAN 的運作，主要適合在無法立即架設 access point 或 base station 等的 infrastructure 環境，例如：在戶外臨時召開的會議。

802.11 MAC Includes DCF and PCF

Ad-Hoc WLAN



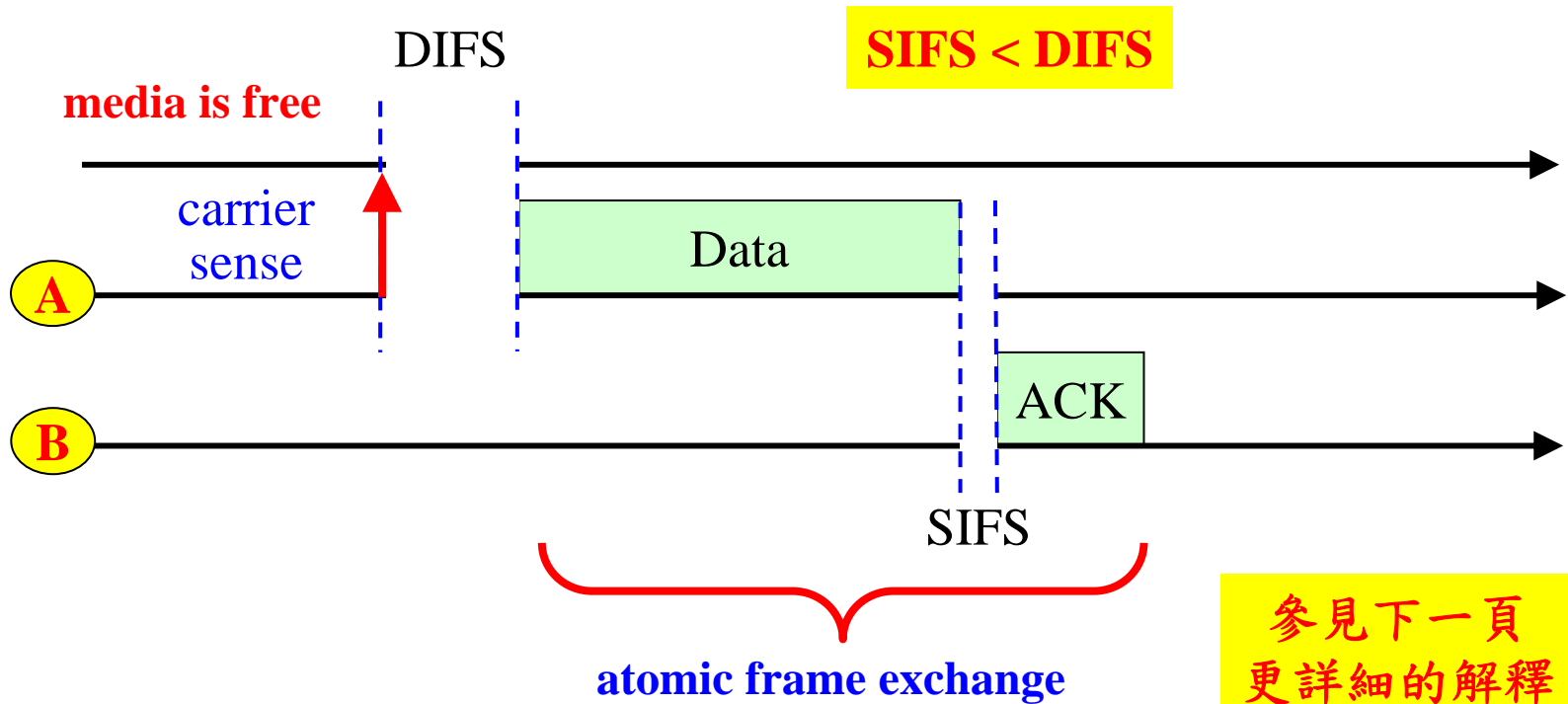
Infrastructure WLAN



適用環境	ad-hoc WLAN	infrastructure WLAN
DCF (Distributed coordination function)	yes	yes
PCF (point coordination function)	no	yes

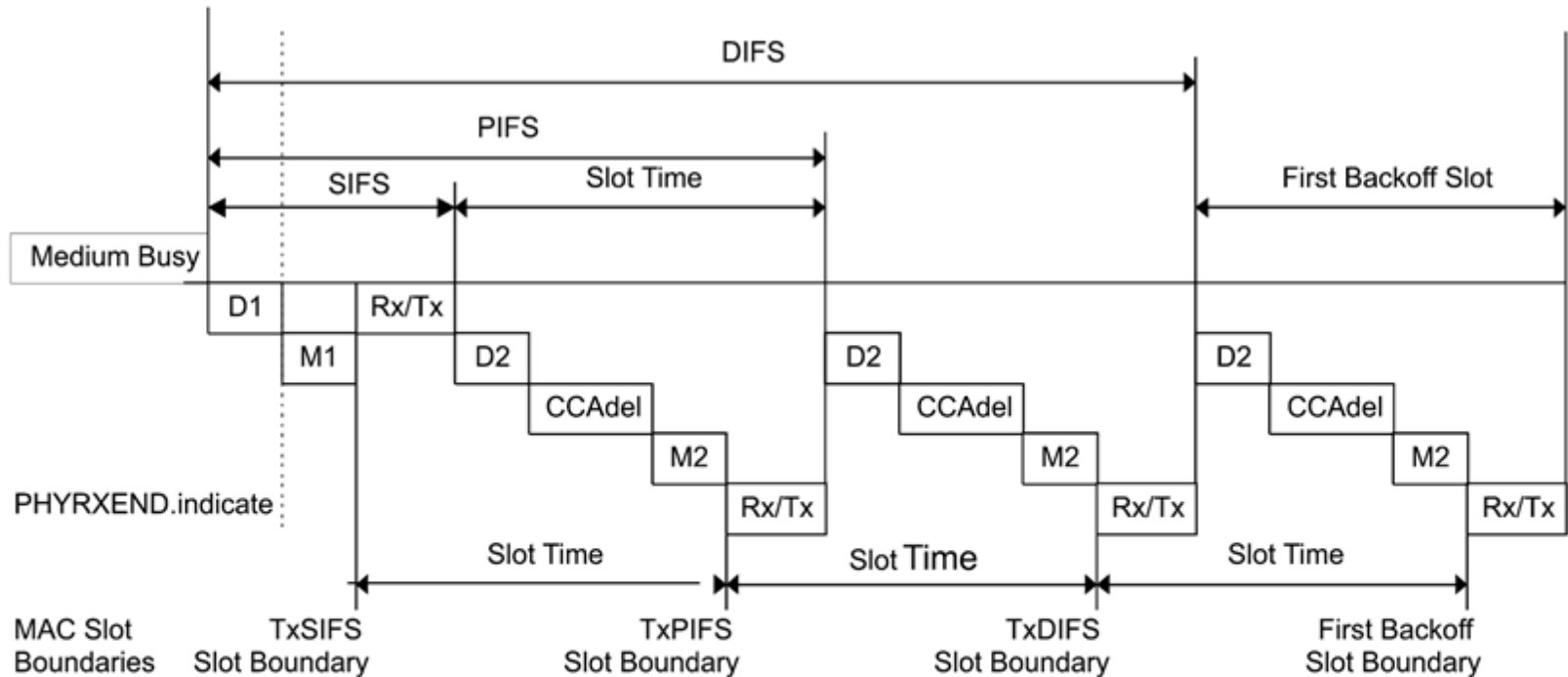
在 PCF 中，station 要發言之前，必須先獲得 AP (Access Point) 的同意

DCF Basic Method : Listen Before You Talk



DIFS 為 DCF InterFrame Space 的縮寫，SIFS 為 Short InterFrame Space 的縮寫。DIFS = SIFS + 2*SlotTime (SlotTime 主要包含 carrier sense time) 言下之意，B 不需執行 carrier sense 便直接回應 ACK。在 PHY 為 DSSS 的情況之下，DIFS 為 50 us，SIFS 為 10 us。設定 $SIFS < DIFS$ 的目的在於確保 atomic frame exchange (確保 B 的 ACK 可立即傳送而不會被中斷)

SIFS and SlotTime



$D1 = aRxRFDelay + aRxPLCPDelay$ (referenced from the end of the last symbol of a frame on the medium)

$D2 = D1 + \text{Air Propagation Time}$

$Rx/Tx = aRXTXTurnaroundTime$ (begins with a PHYTXSTART.request)

$M1 = M2 = aMACPrdDelay$

$CCAdel = aCCA\ Time - D1$

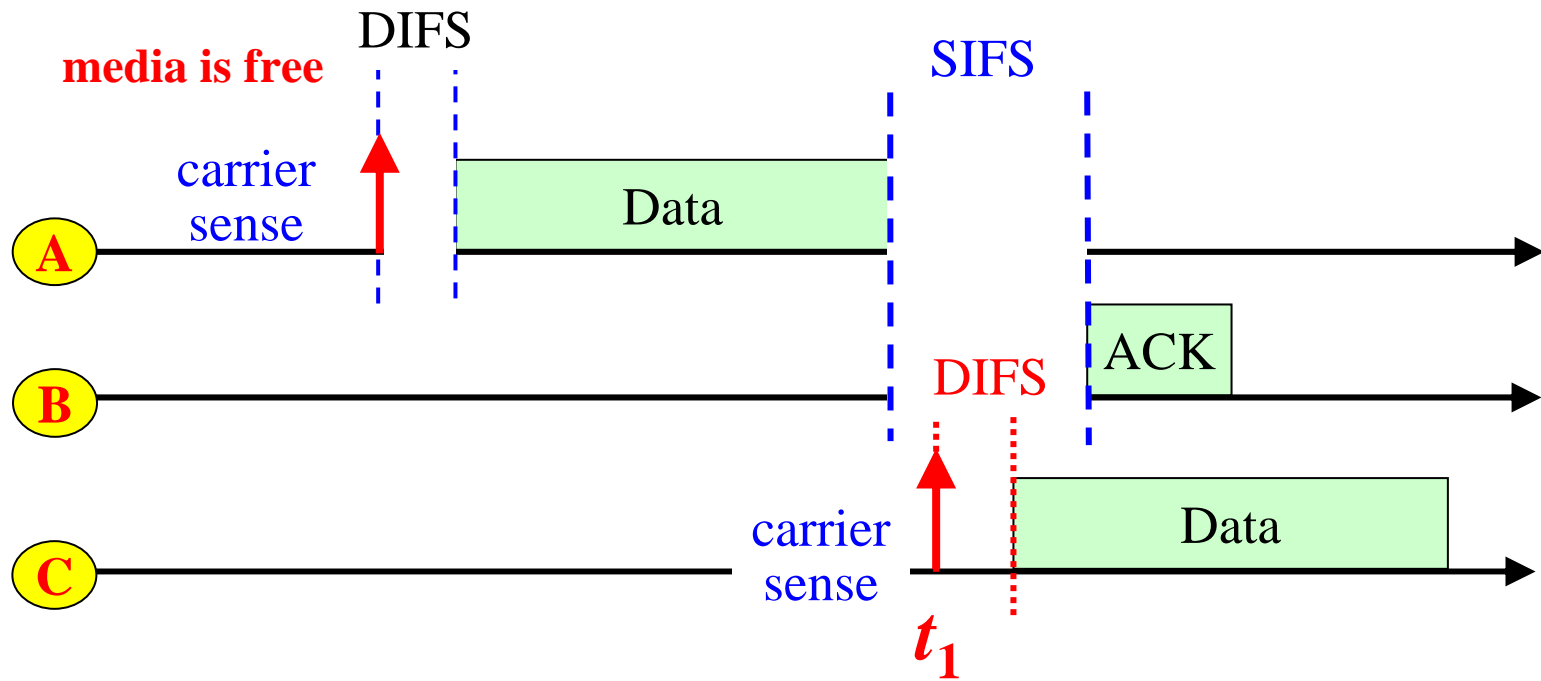
$$\mathbf{DIFS = SIFS + 2\ SlotTime}$$

$$\mathbf{PIFS = SIFS + SlotTime}$$

SIFS 相當於 transceiver turnaround time + air propagation delay

SlotTime 相當於 SIFS + carrier sensing time

Why We Cannot Allow SIFS > DIFS ?

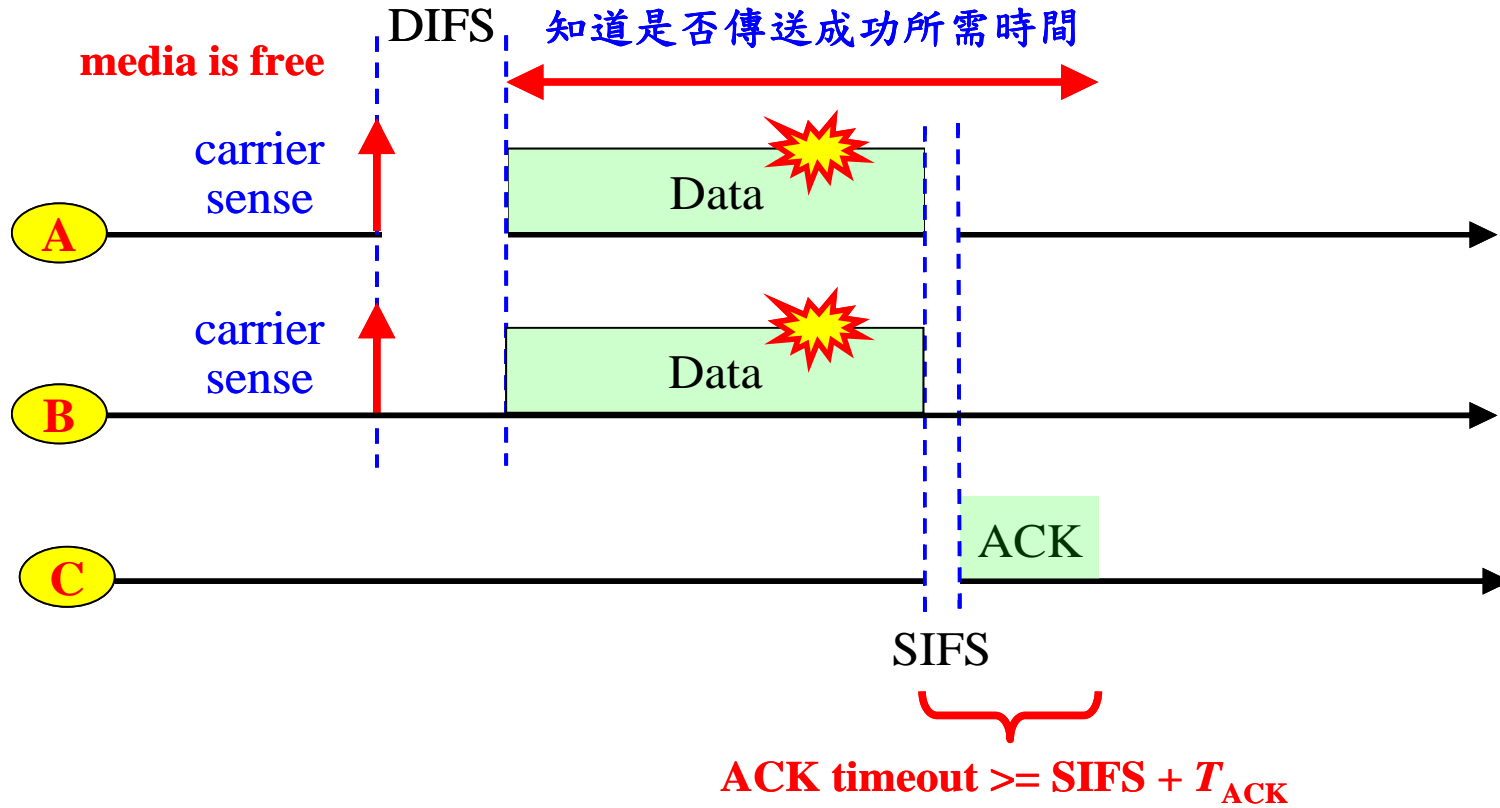


如果允許 SIFS > DIFS，會發生什麼事？ → 一堆的 **trouble**

Case 1 : station B 回 ACK 之前需 carrier sense，此時 C 已經「插嘴」，使得 B 無法立即回應 ACK，這將造成 A 誤判，以為該重送 data（浪費頻寬）

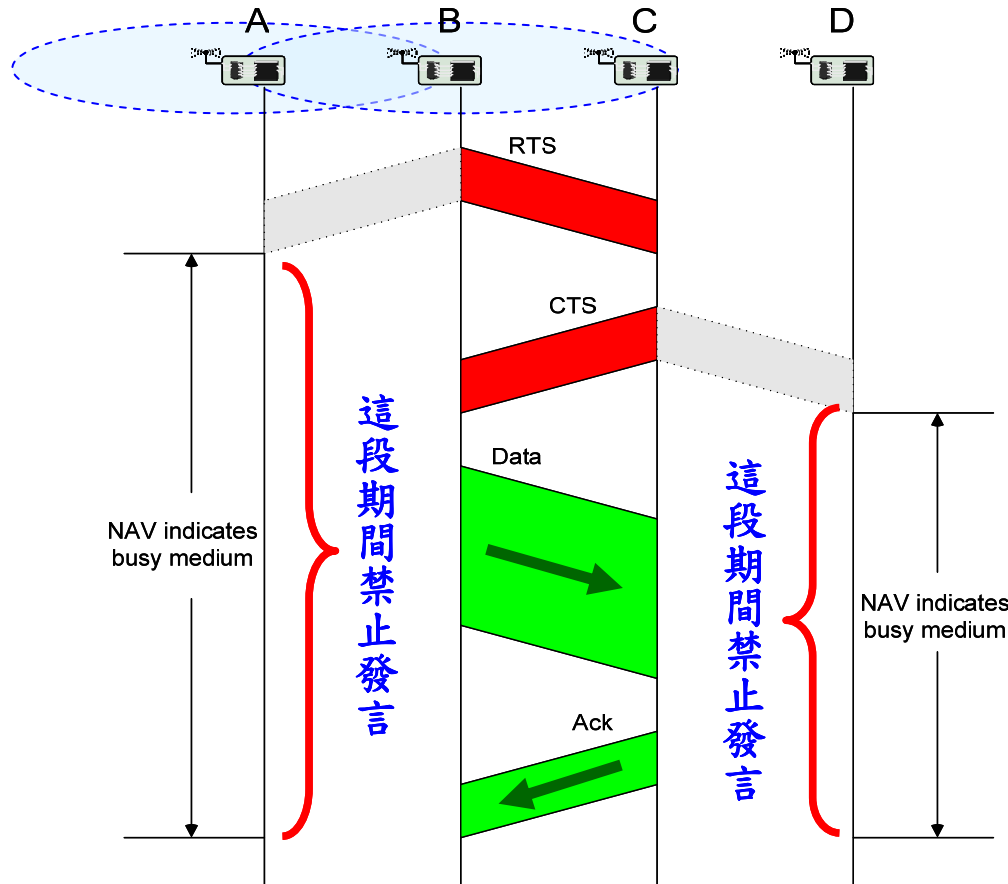
Case 2 : station 不需要 carrier sense 就可以立刻回 ACK，此時會導致 C 的 data 和 B 的 ACK 發生 collision，造成 A 必須重送 data

The Purpose of ACK



由於送資料的 station 無法執行 listen 的動作，如果 A 和 B 同時傳送，他們將無法知道他們所傳送是否有成功。因此 802.11 規定收到 data 的 station 必須回應 ACK，目的在於讓 sender 知道剛才所是否有傳送成功。如果 sender 太久沒收到 ACK（規格書定為 EIFS，和本圖所示之 ACK timeout 差不多），資料就必須重送。

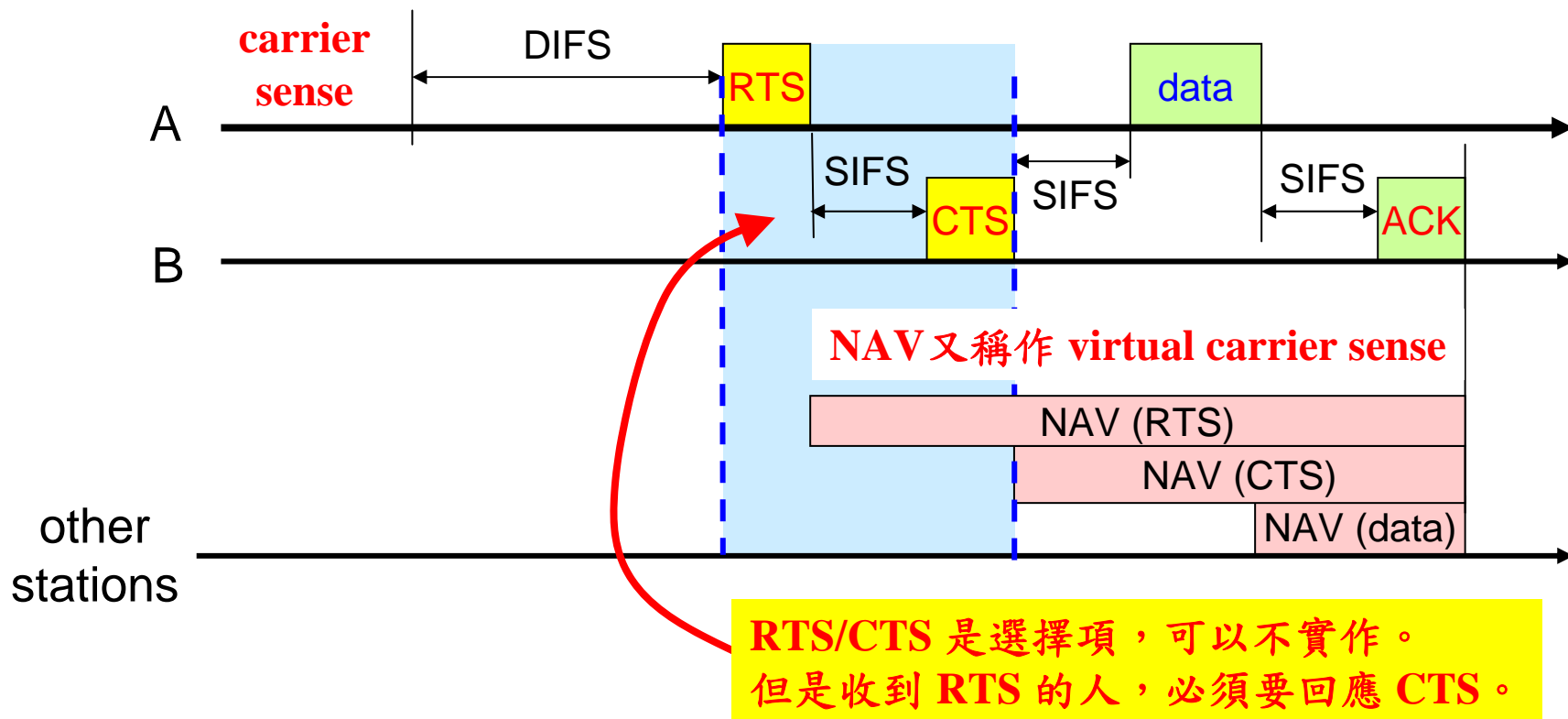
DCF Option : Request-To-Send and Clear-To-Send



傳送資料之前，先執行
RTS/CTS，以減緩 **hidden terminal problem**：
RTS/CTS 裡頭會記載
即將接收資料的時間。
收到 **RTS/CTS** 的 **stations**
在這段期間不得發言。

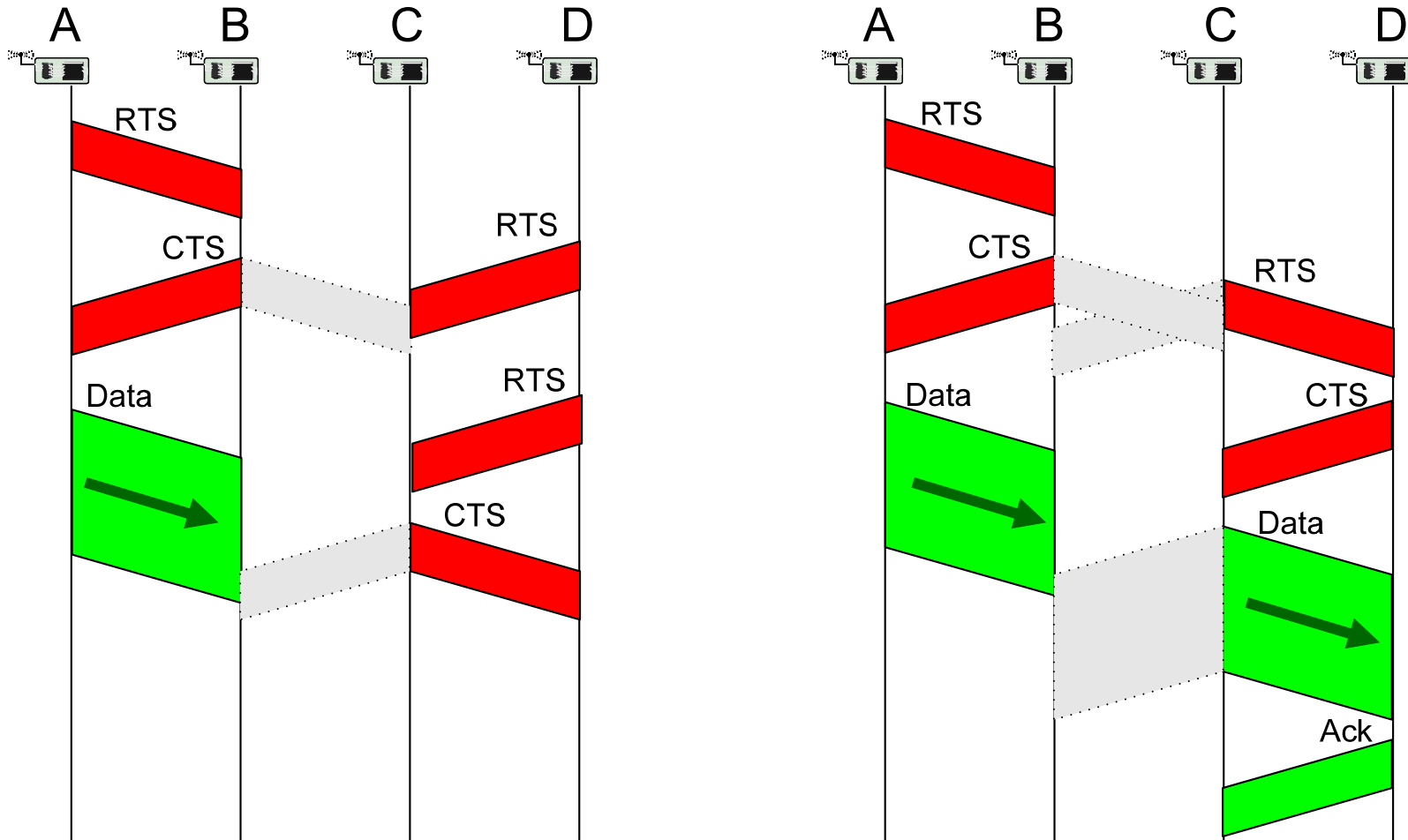
D 若在「禁止發言期間」傳送資料，將可能造成 C 無法正確接收資料； A 若在「禁止發言期間」期間傳送資料，將可能造成 B 無法正確接收 ACK

DCF : RTS/CTS Option (必選)



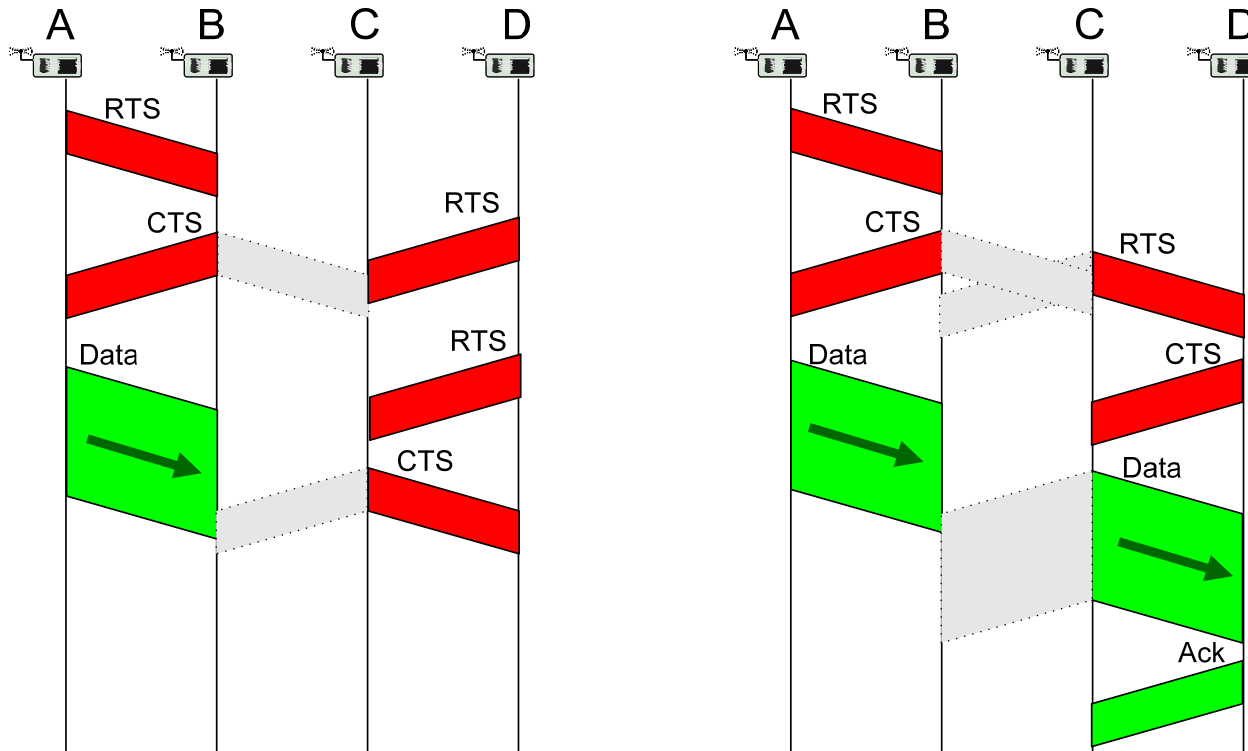
NAV (network allocation vector) 的目的：CTS 的 NAV 在於保護 receiver 能夠收到 data，RTS 的 NAV 在於保護 sender 能夠收到 ACK。NAV 的機制又稱作 virtual carrier sense，亦即 neighboring stations 在 NAV 這段期間可以不需要執行 carrier sense 的動作（反正不能傳送任何 frames）

RTS/CTS : Not A Complete Solution



RTS/CTS 無法徹底解決 hidden terminal problem 的原因：
無法保證 CTS 一定能夠成功地警告到鄰居

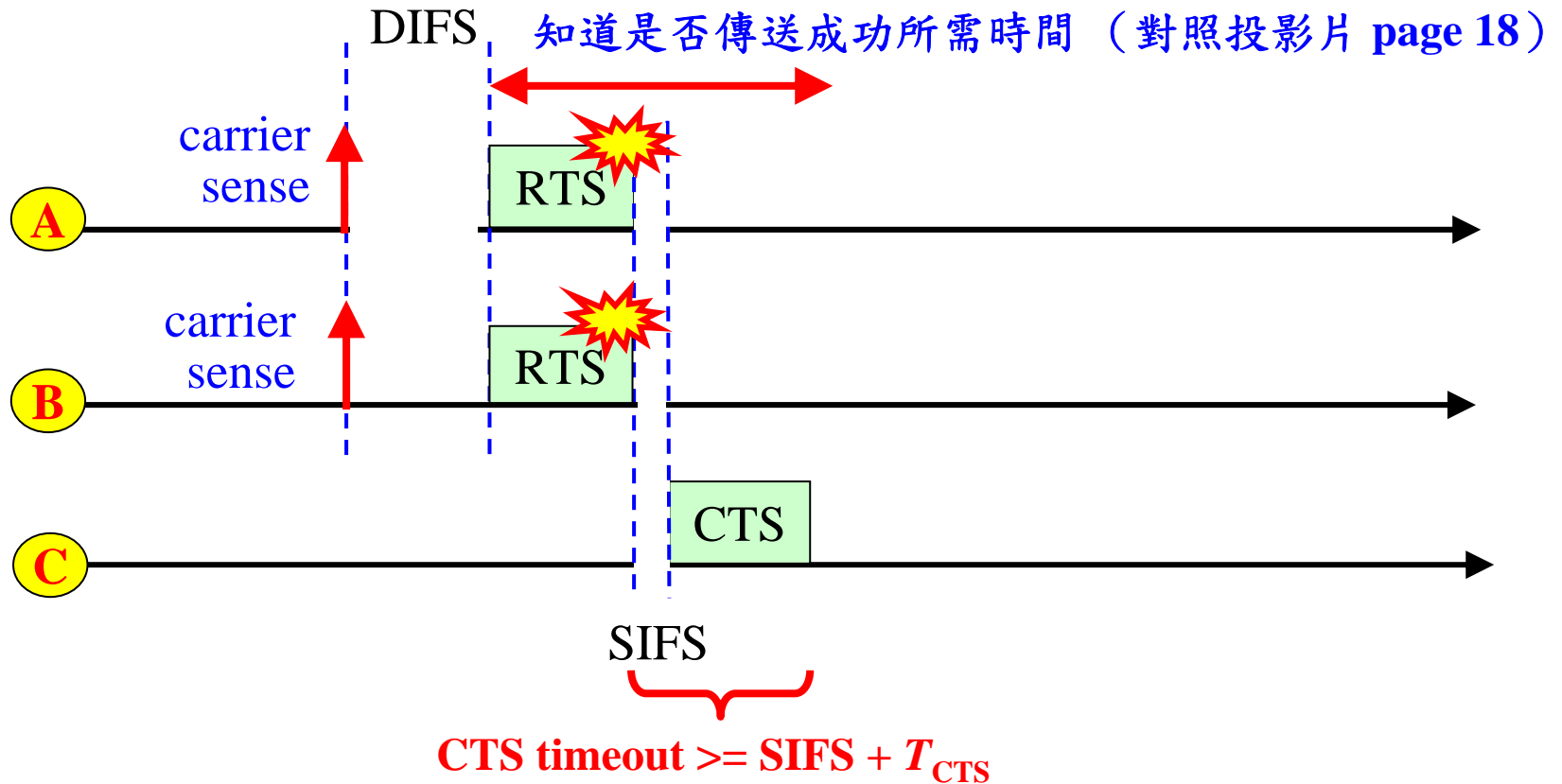
Why 802.11 Still Provides RTS/CTS Option ?



Q: 既然 RTS/CTS 無法完全解決 hidden terminal problem，為何 802.11 仍然提供此一機制？
A: (1) 至少可以降低發生 hidden terminal problem 的機率，(2) 另有其他目的 → 是什麼？

註：想想看，WLAN 為 single-hop 的環境，一旦 RTS 傳送成功，還會發生 hidden terminal problem 嗎？

RTS/CTS : Shorten the Time to Know Collision



在 802.11 裡頭，RTS/CTS 的另一目的在於加快速度讓 sender 知道是否必須重新傳送資料。因為在 WLAN 裡頭，一旦 sender 收到 CTS，便可確定之後的 data/ACK 皆可成功。所以理論上，當 data size \leq RTS 時，就不要使用 RTS。意即當 data size \gg RTS (20 bytes) 時，就推薦使用 RTS/CTS

Simulation Results : When to Use RTS/CTS ?

當 data size ≥ 100 bytes 時
建議使用 RTS/CTS

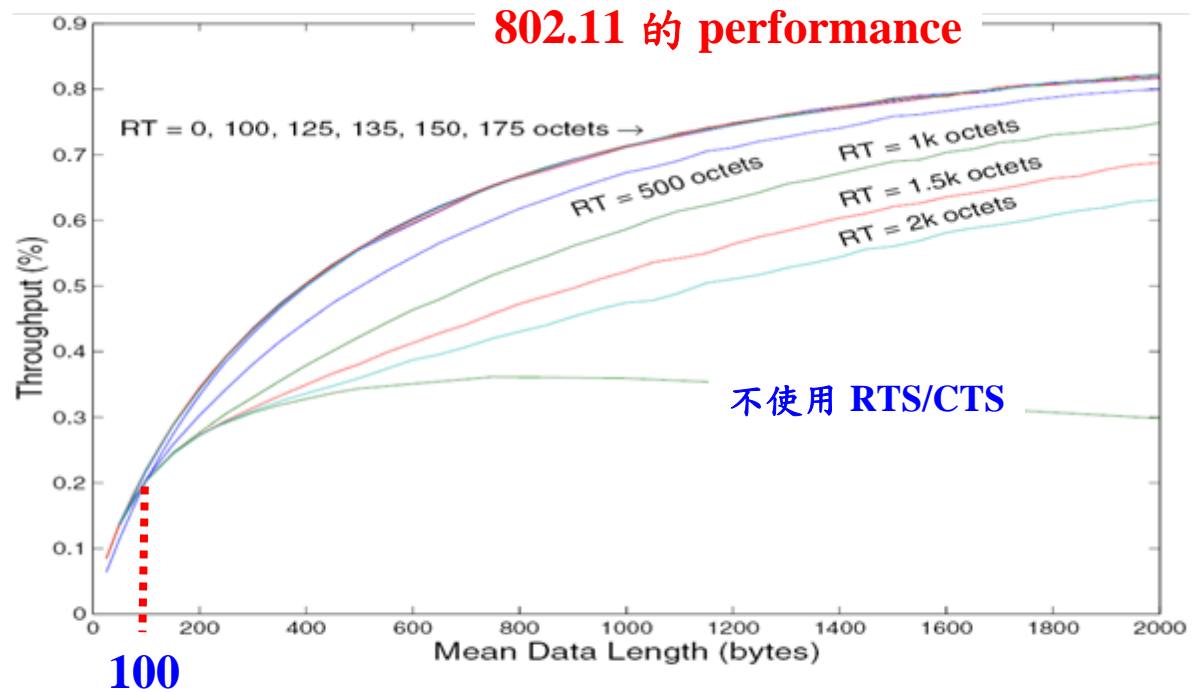


Figure 9. Throughput vs. DML for various RTs as $N = 25$, $\lambda = 0.001$ packets/slot/node.

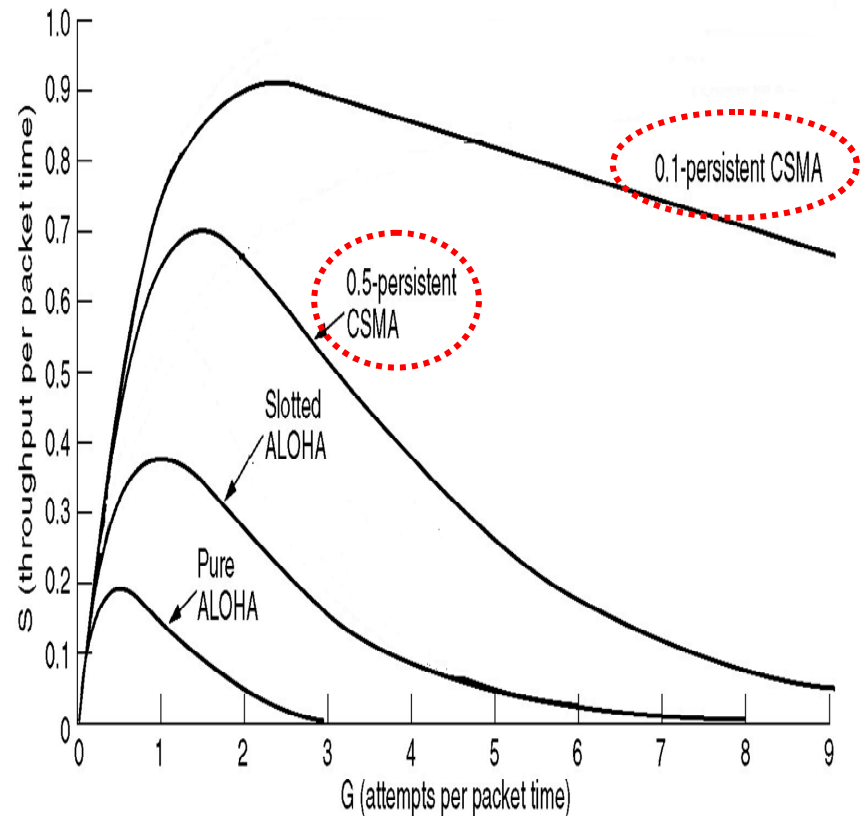
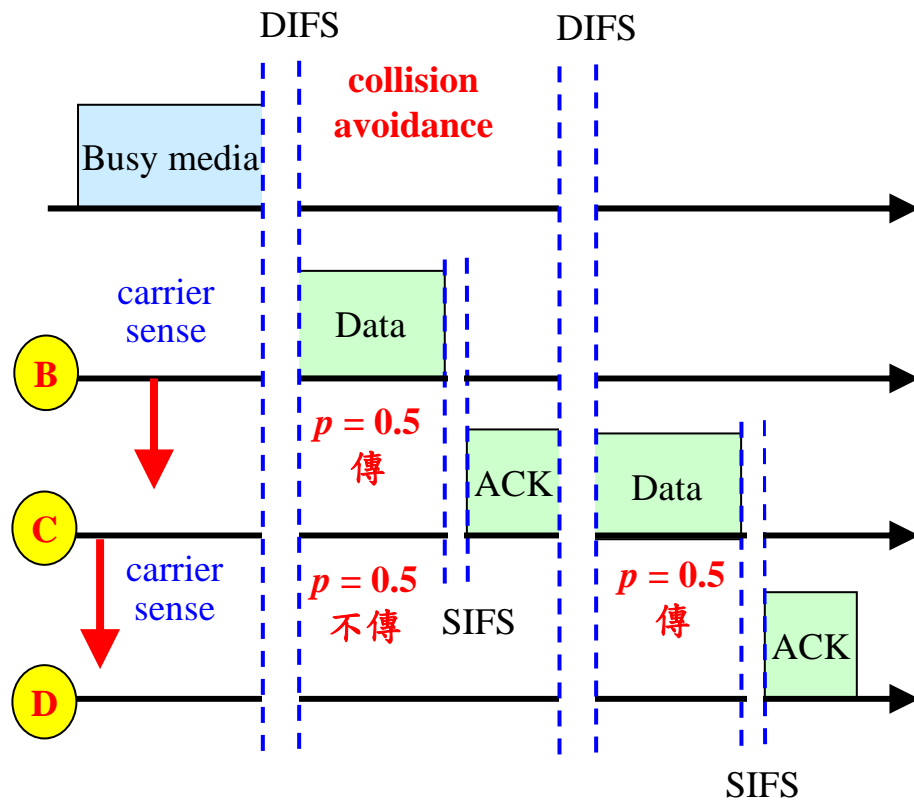
RTS_threshold 可自行設定
例如：1000 bytes

結論 (RTS/CTS 的使用時機) :

- 1) 想要避免 hidden terminal problem 的時候
→ 適用於 multi-hop 的環境
- 2) 當 data size \geq RTS_threshold 的時候
→ 適用於 single-hop 的環境

DML: data mean length
RT: RTS threshold

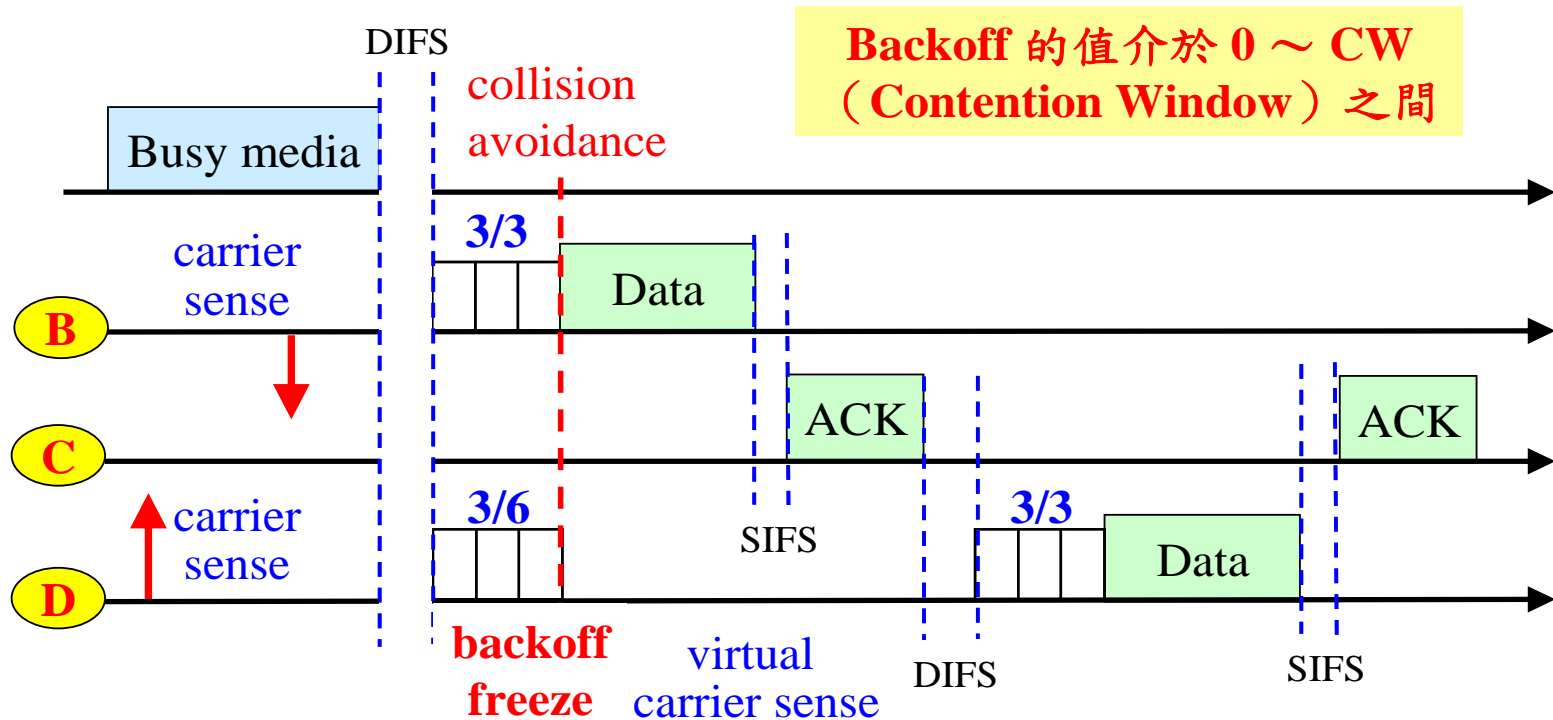
Why Not p -Persistent CSMA Approach ?



早期的論文提出 p -persistent CSMA approach，雖然理論分析的結果證實其效能非常高。但我們注意到，當 p 很大時，很多 stations 將浪費時間在 collisions；當 p 很小時，stations 將浪費很多時間在等待 (idle) 狀態。

「如何動態調整 p 值」這件事需要複雜計算，對廠商造成嚴重困擾

Collision Avoidance : Random Backoff



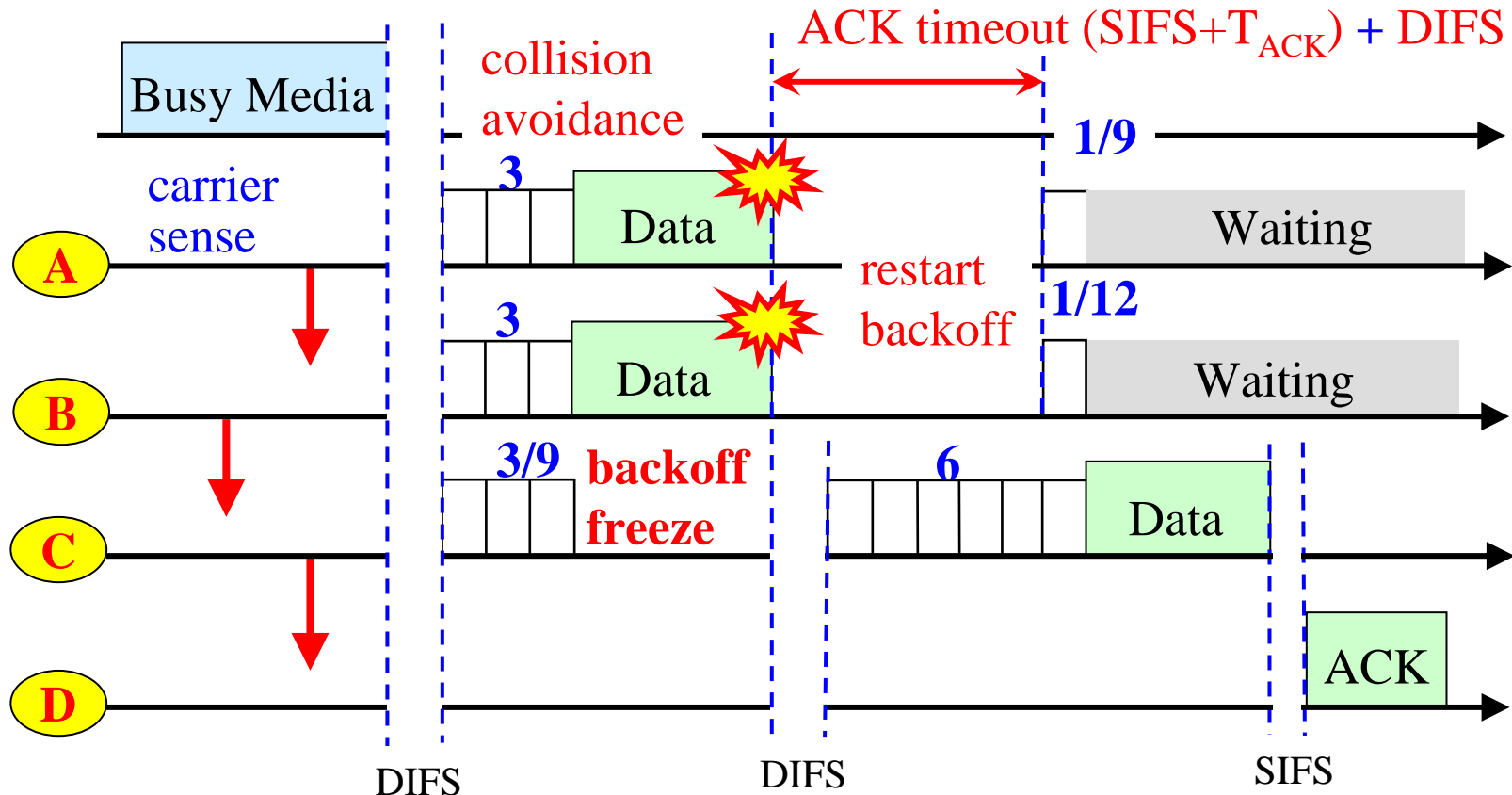
Backoff freeze 的目的在於避免 starvation。而 starvation 的目的不在於確保 station 一定可以將資料成功傳送出去，而在於確保一定可以獲得發言權。

Q: 為什麼 backoff time 是離散的 (slot time 的整數倍)，而不是連續的？

A: 受到 slotted ALOHA 的啟發

Adaptive Contention Window Control

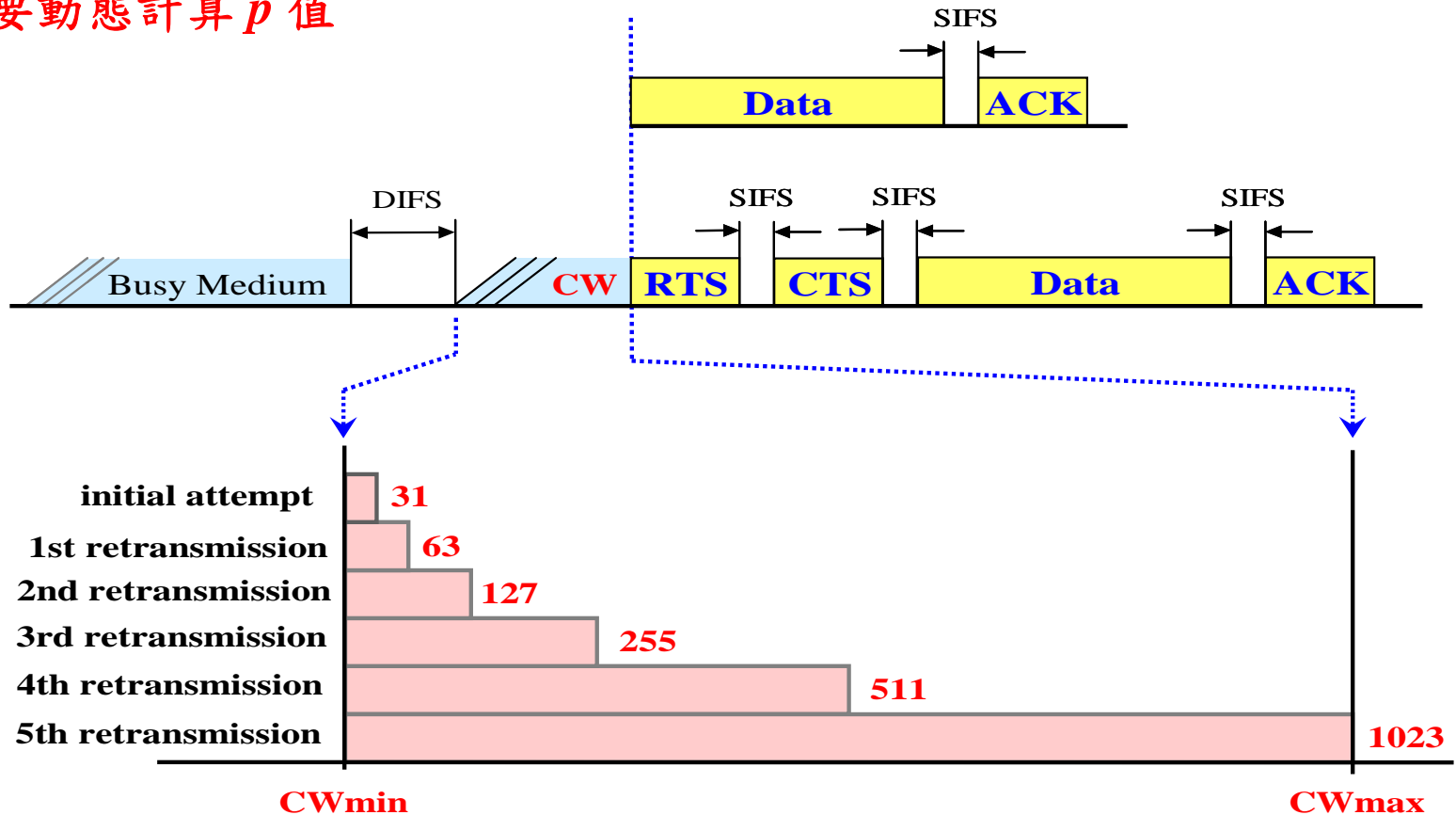
沒收到 ACK 的時候，sending station 猜測 data 在傳送的過程中發生了 collision



會發生 collision，可能是因為競爭太激烈，導致至少有兩個 stations 選到相同的 backoff slots。DCF 的解決之道：將 CW 加大，降低 stations 選到相同 slots 的機率

BEB : Binary Exponential Backoff

MAC 史上最偉大的發明：BEB。可達到 p -persistent CSMA 的效果，卻不需要動態計算 p 值

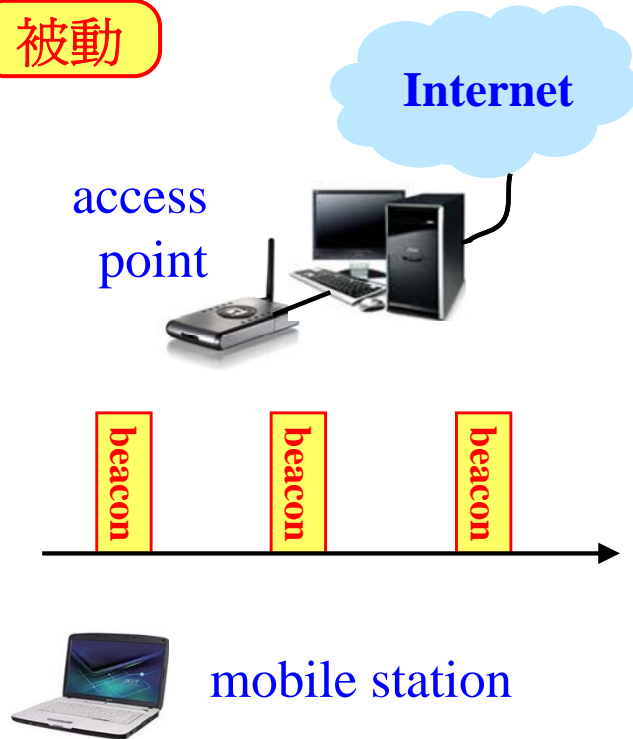


令 CWS (contention window size) $\equiv CW + 1$

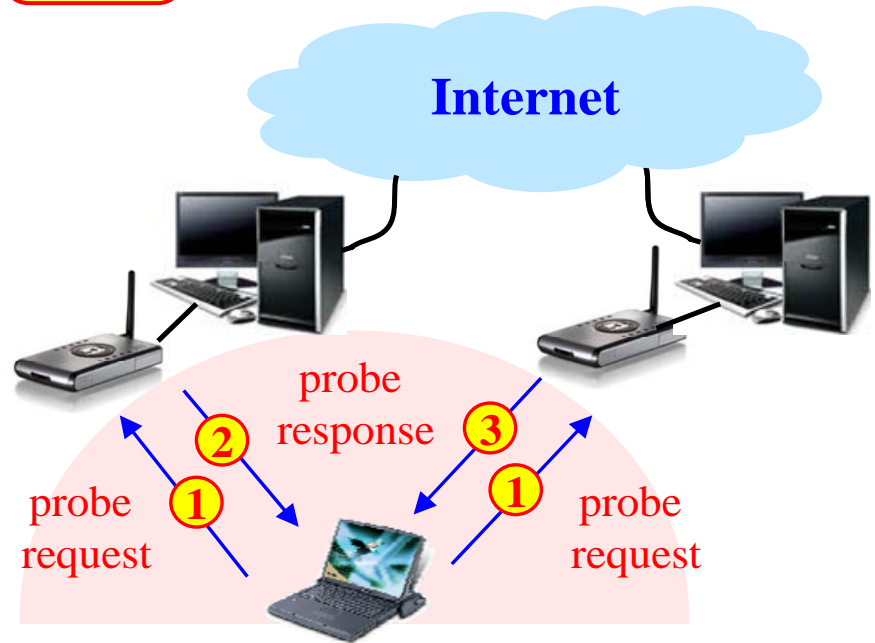
$$CWS_{new} = \begin{cases} \min\{2 \times CWS_{old}, CWS_{max}\}, & \text{when data transfer fails} \\ CWS_{min}, & \text{when data transfer succeeds} \end{cases}$$

How to Enjoy Internet via WLAN ? Find an AP

被動

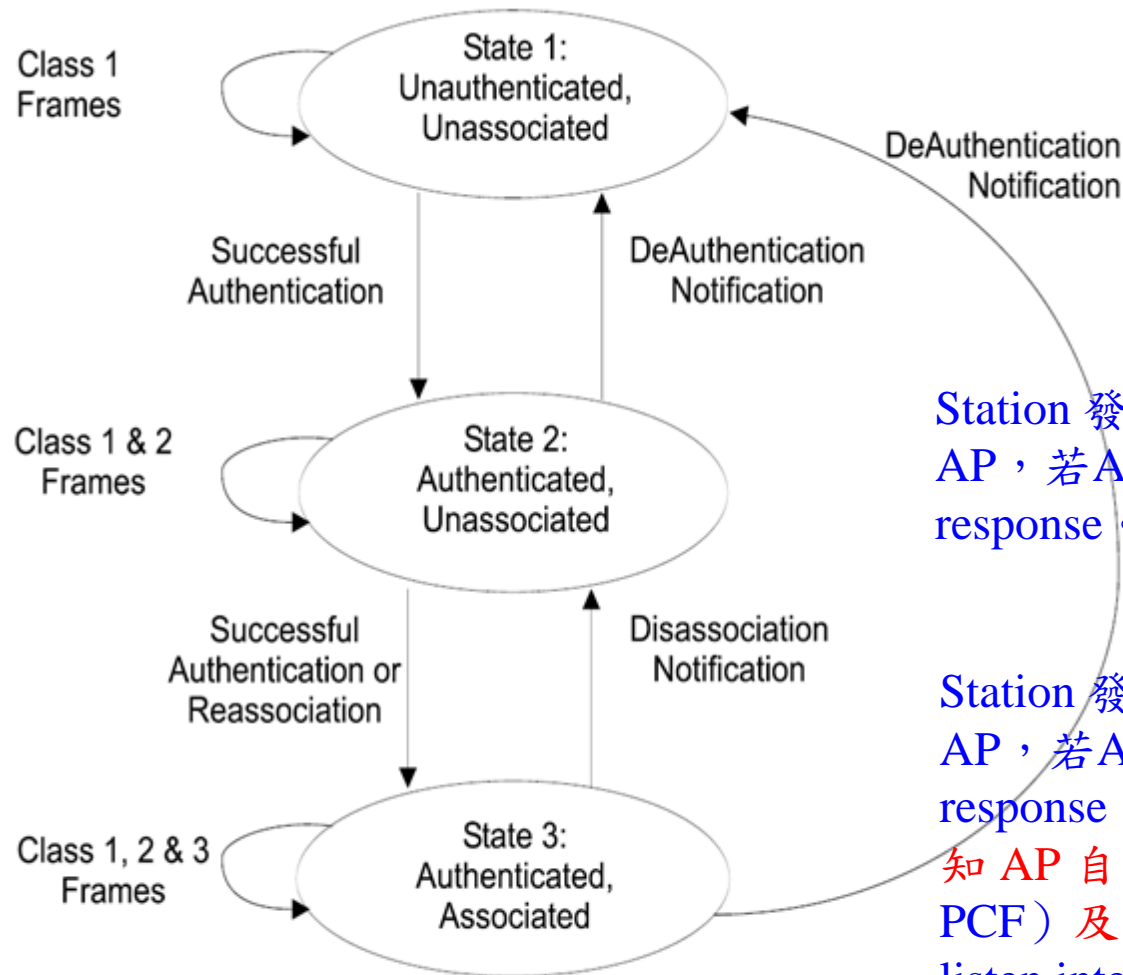


主動



要透過無線區域網路連上 Internet，第一步就是要先找到 AP。AP 會定期發送 beacon（約 0.1 秒）。Mobile station 聽到 beacon，便可得知有 AP 的存在。如果沒聽到 beacon，也可主動發出 probe request frame。舉凡聽到 probe request 的 AP，都必須以競爭的方式回應 probe response

How to Get Services from the AP

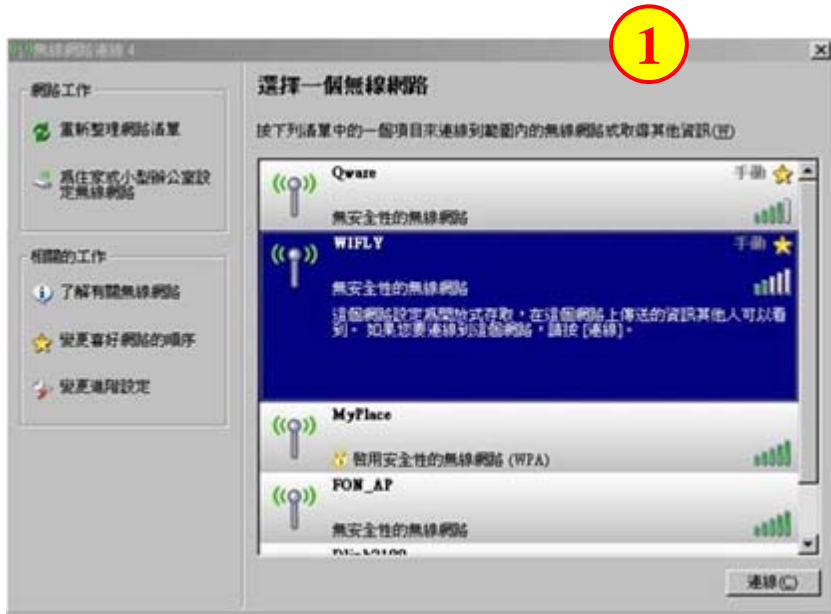


Station 發送 authentication request 給 AP，若 AP 同意，會回復 authentication response。目的在於保有安全性。

Station 發送 association request 給 AP，若 AP 同意，會回復 association response。Association 的目的在於告知 AP 自己的能力（例：是否有實作 PCF）及自己所需的 resources（例：listen interval）

Figure 8—Relationship between state variables and services

Access the Internet via AP



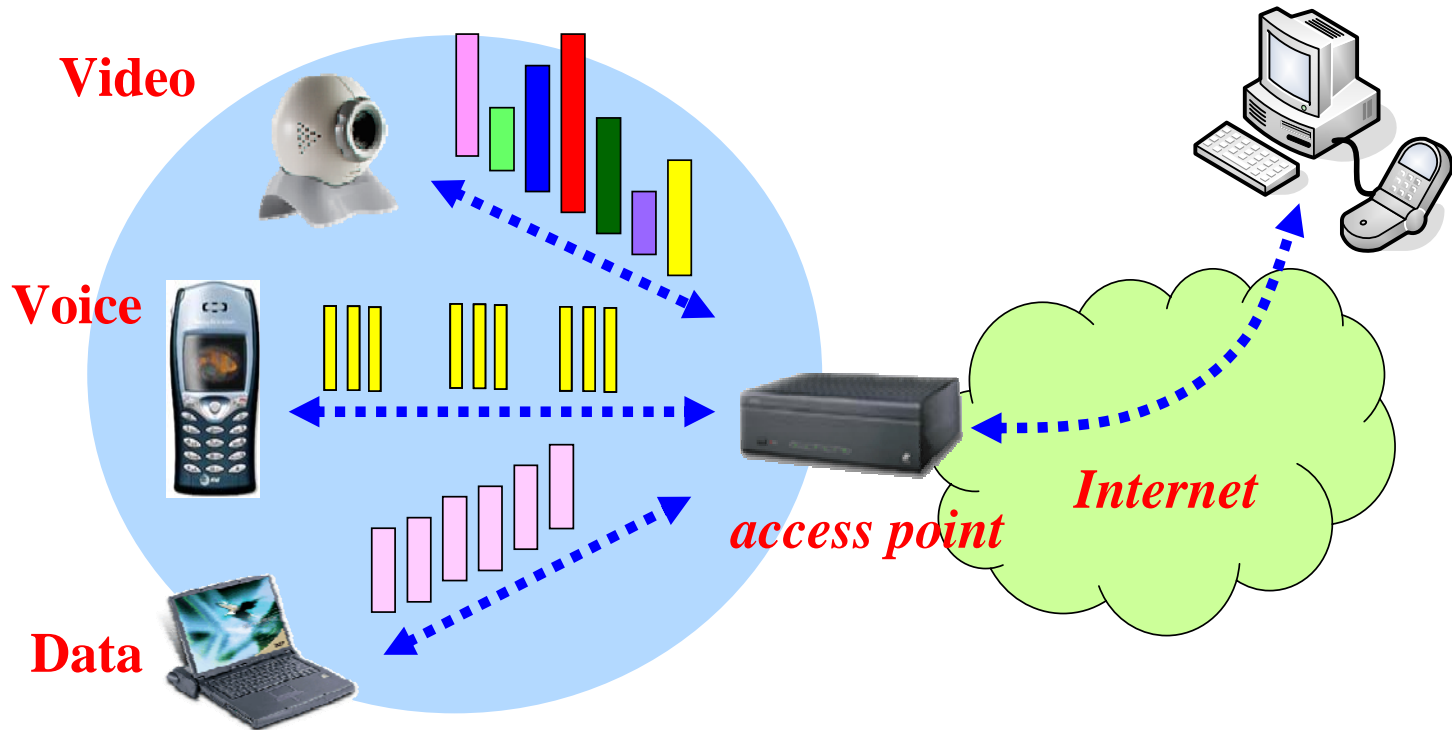
1. 選取【網路上的芳鄰】再按右鍵
選取【內容】，開啓【網路連線】

2. 選取【無線網路連線】再按右鍵
選取【檢視可用的無線網路】



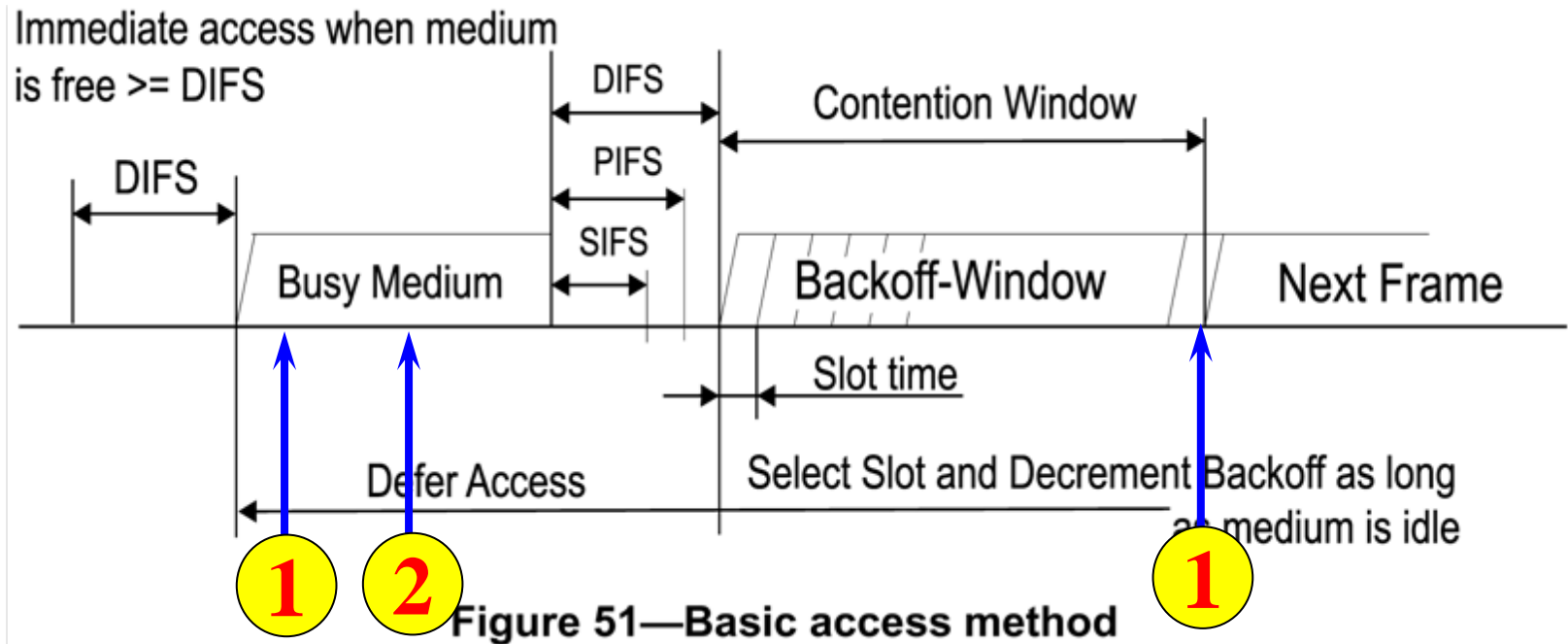
選取【檢視可用的無線網路】之後，mobile station 會開始偵測是否有 AP 的存在。若有，按「連線」，mobile station 開始執行 association。當【已連線】出現時，就可以透過 AP 連上網際網路

Priority Support for Real-Time Traffic



Real-time traffic, 例如 voice 或者 video, 通常有 deadline 的限制 (voice 的 deadline 通常為 25 ms, video 的 deadline 通常為 75 ms), 必須盡快將其資料送出去。在 deadline 之後才將資料送出的話, 那麼這些資料也沒任何用處了

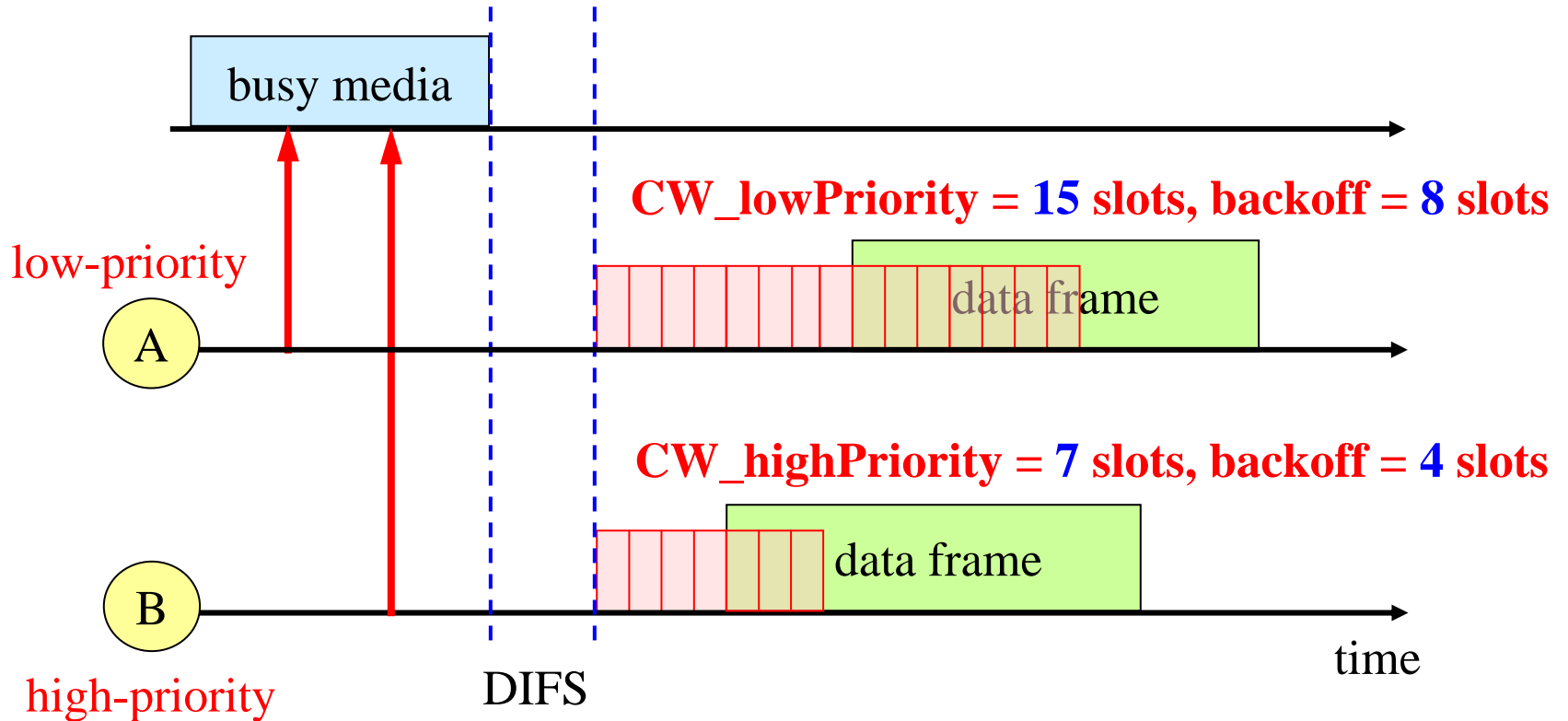
Priority Support Problem



low-priority high-priority

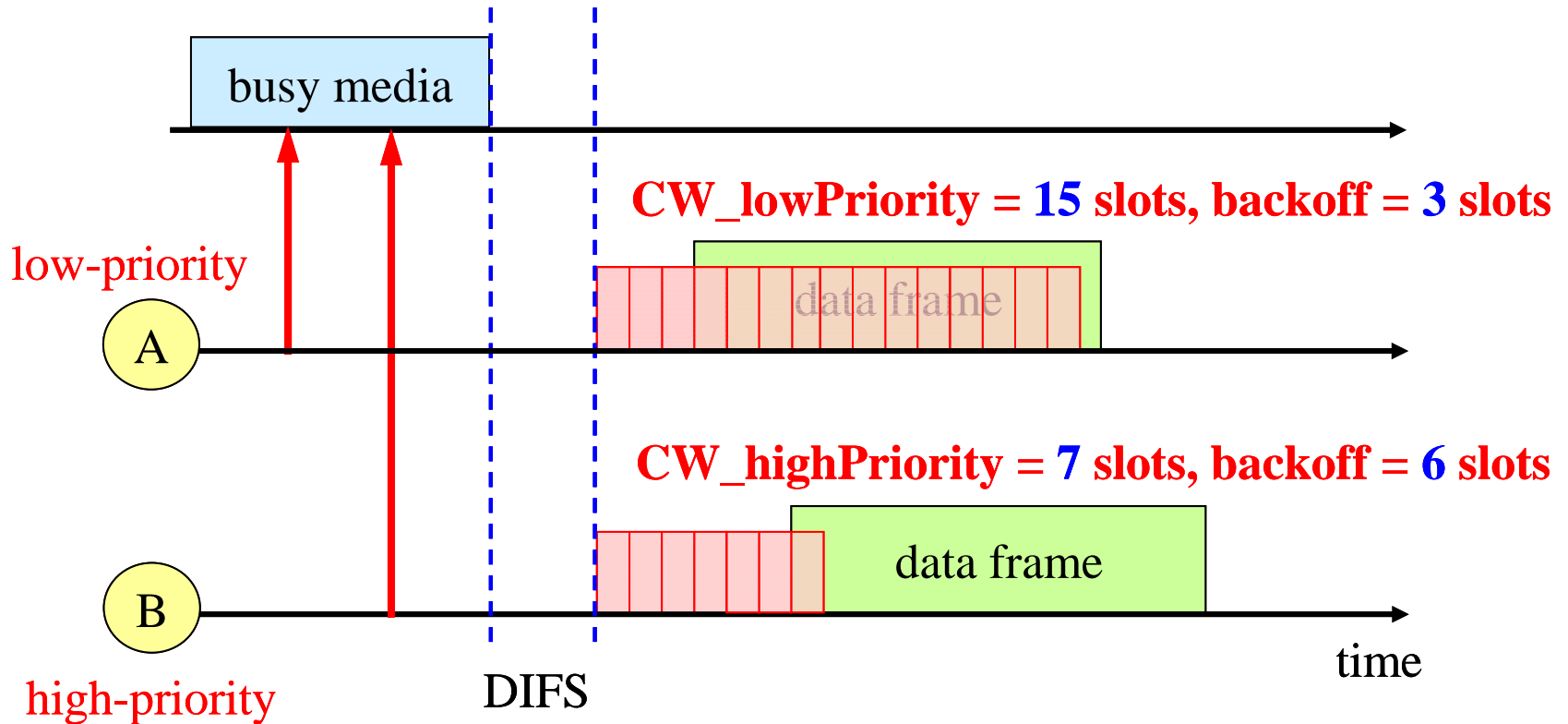
A low-priority station may acquire the floor earlier and faster than a high-priority stations.

Prioritization via CW Differentiation Scheme



Priority 較高的 frame 使用較小的 contention window，期待有較小的 backoff slots，以便可以比 priority 低的 station 先將資料送出去。

Priority Reversal Problem



Priority reversal phenomenon: 當 high-priority frame 和 low-priority frame 同時競爭的結果，有可能 low-priority frame 先獲得 channel 的控制權（先傳送成功）

Prioritization via CW Separation Scheme

D. J. Deng and R. S. Chang, "A Nonpreemptive Priority Based Access Control Scheme for Broadband Ad Hoc Wireless ATM Local Area Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18, No. 9, pp. 1731–1739, Sep. 2000.

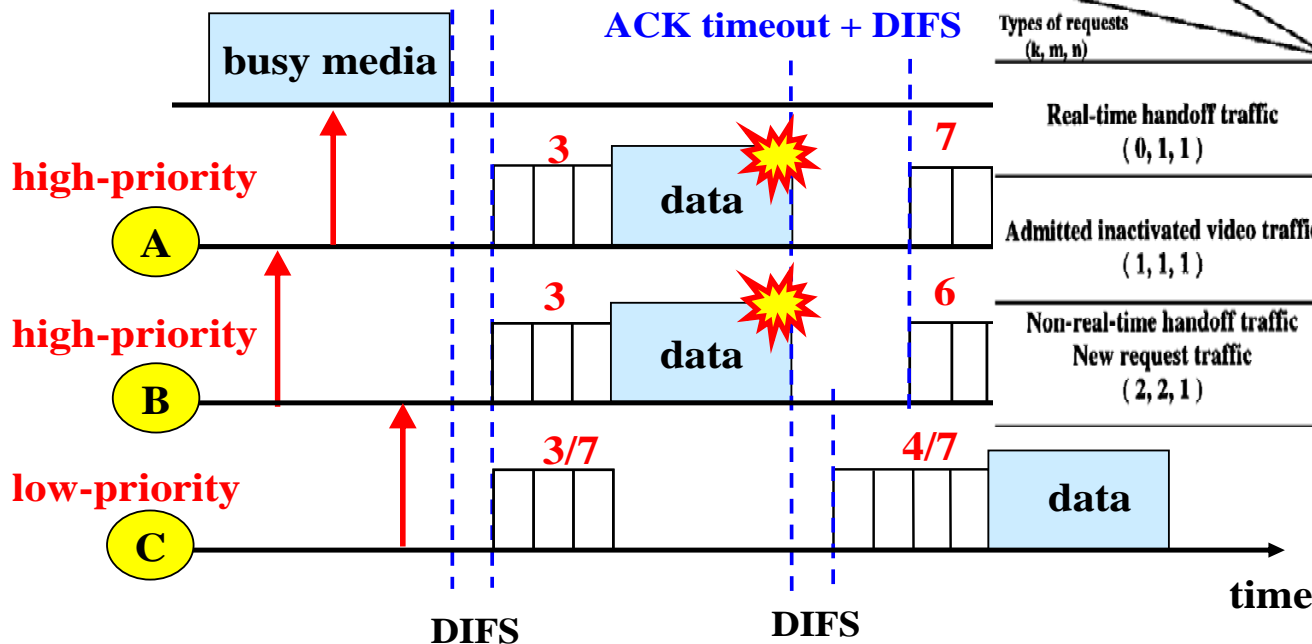
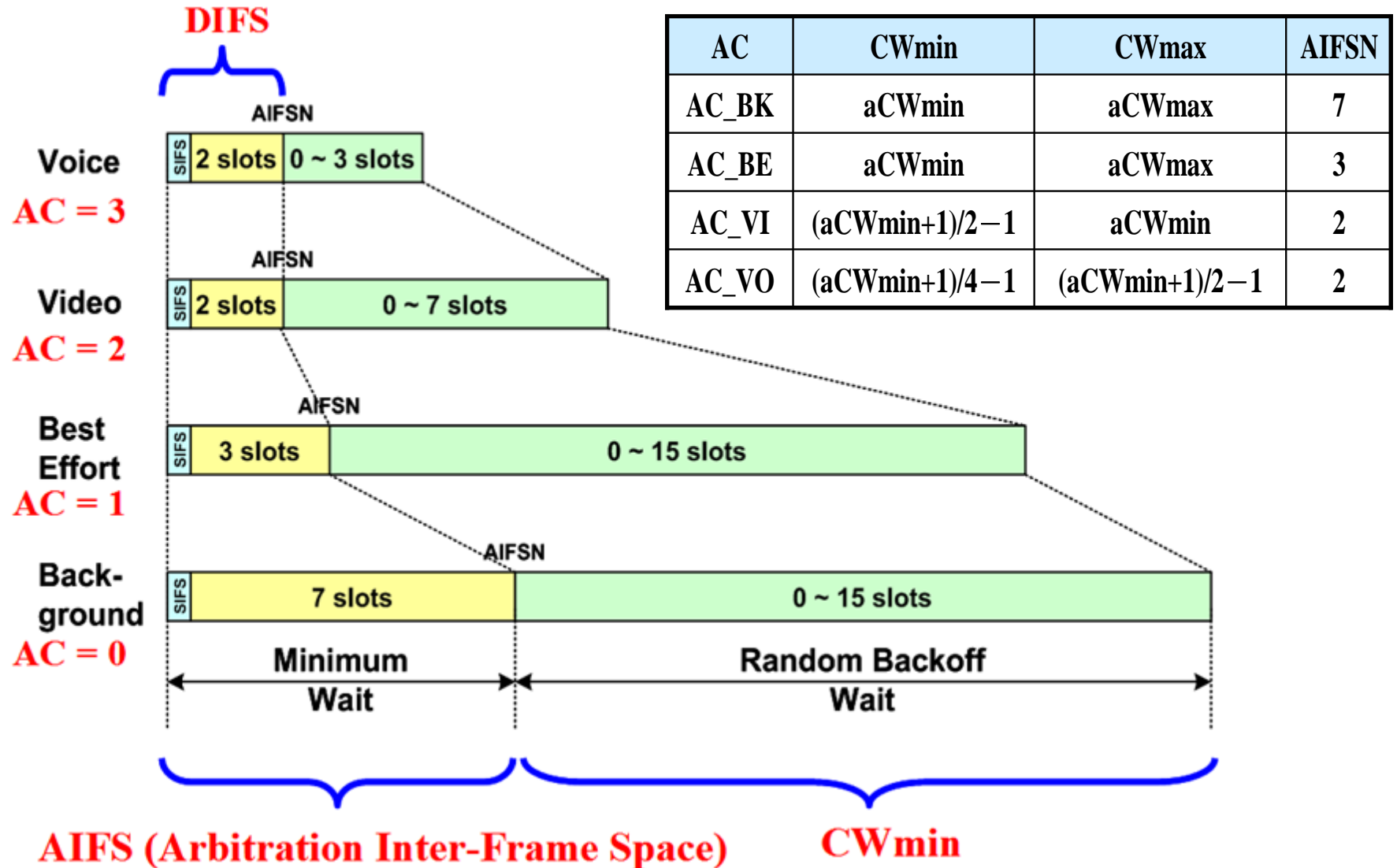


TABLE I
EXAMPLES OF BACKOFF TIME OF INDIVIDUAL TRAFFIC

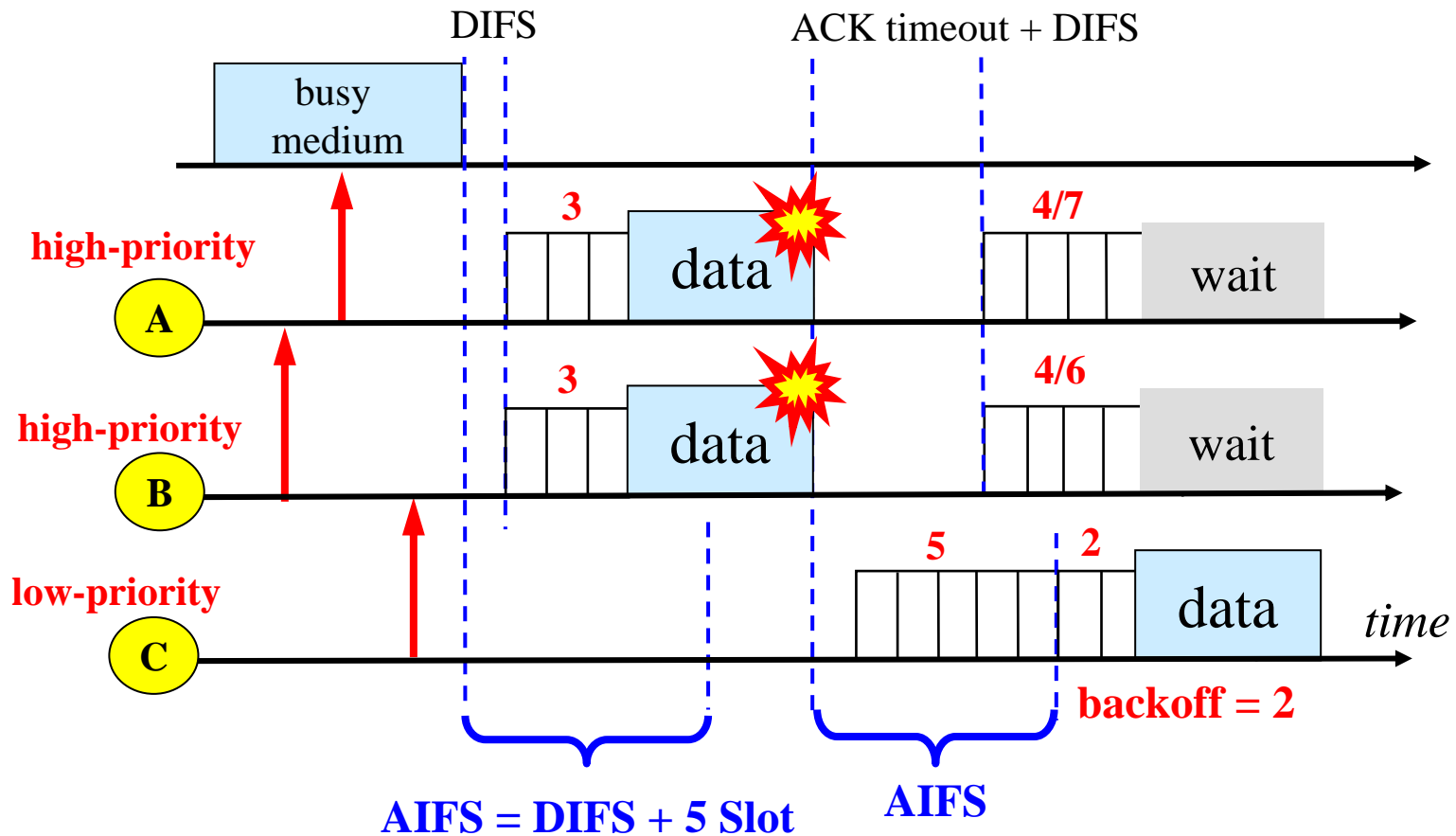
Backoff slot numbers Types of requests (k, m, n)	Consecutive times (l)			
	1 st	2 nd	3 rd	4 th
Real-time handoff traffic (0, 1, 1)	0 - 3	0 - 7	0 - 15	0 - 31
Admitted inactivated video traffic (1, 1, 1)	4 - 7	8 - 15	16 - 31	32 - 63
Non-real-time handoff traffic New request traffic (2, 2, 1)	8 - 15	16 - 31	32 - 63	64 - 127

由於 data frame 的傳送可能發生 collision，一旦發生 collision，data frame 必須重送，此時 contention window 會加大。這導致 high-priority backlogged (重送) frame 可能會輸給 low-priority non-backlogged (未重送) frame。所以此一方法仍然無法消除 priority reversal problem

Prioritization in 802.11e Enhanced DCF

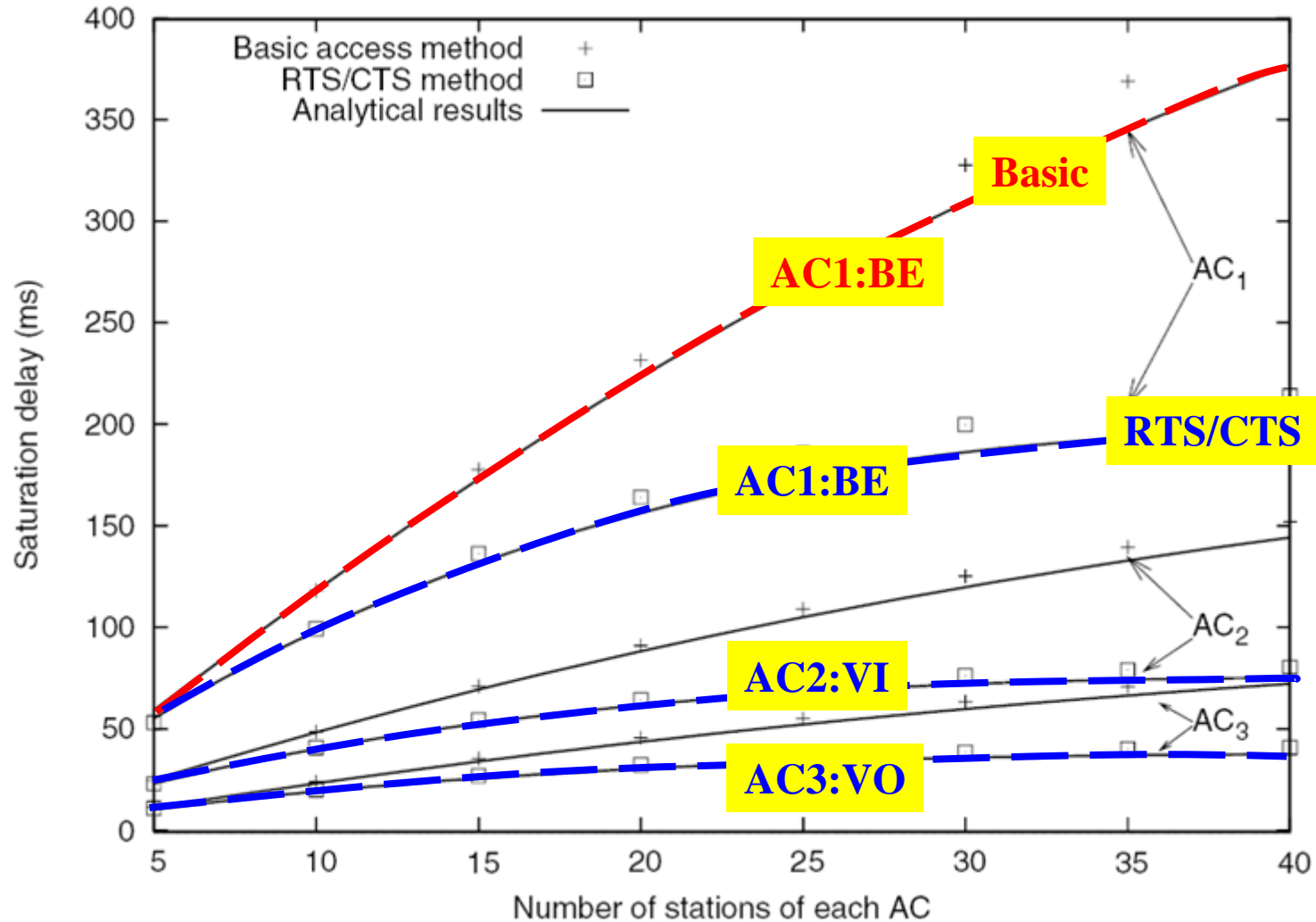


Priority Reversal Problem in IEEE 802.11e

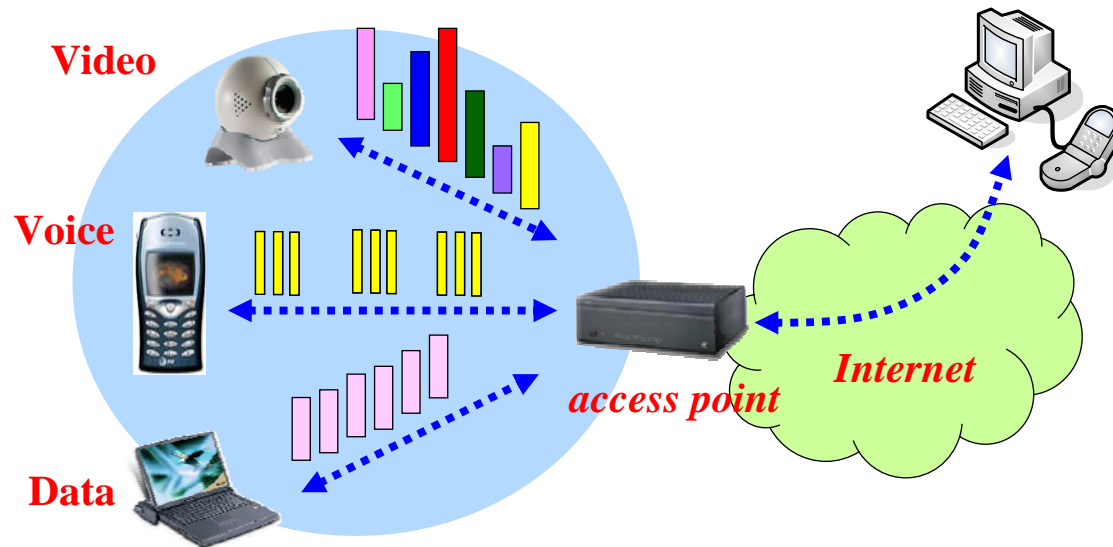


任何牽涉到利用 backoff 來支援 prioritization 的方法都註定無法解決 priority reversal problem。其原因在於當初設計 backoff 的目的是用來解決 collision，而不是 priority。

IEEE 802.11e: Simulation Results



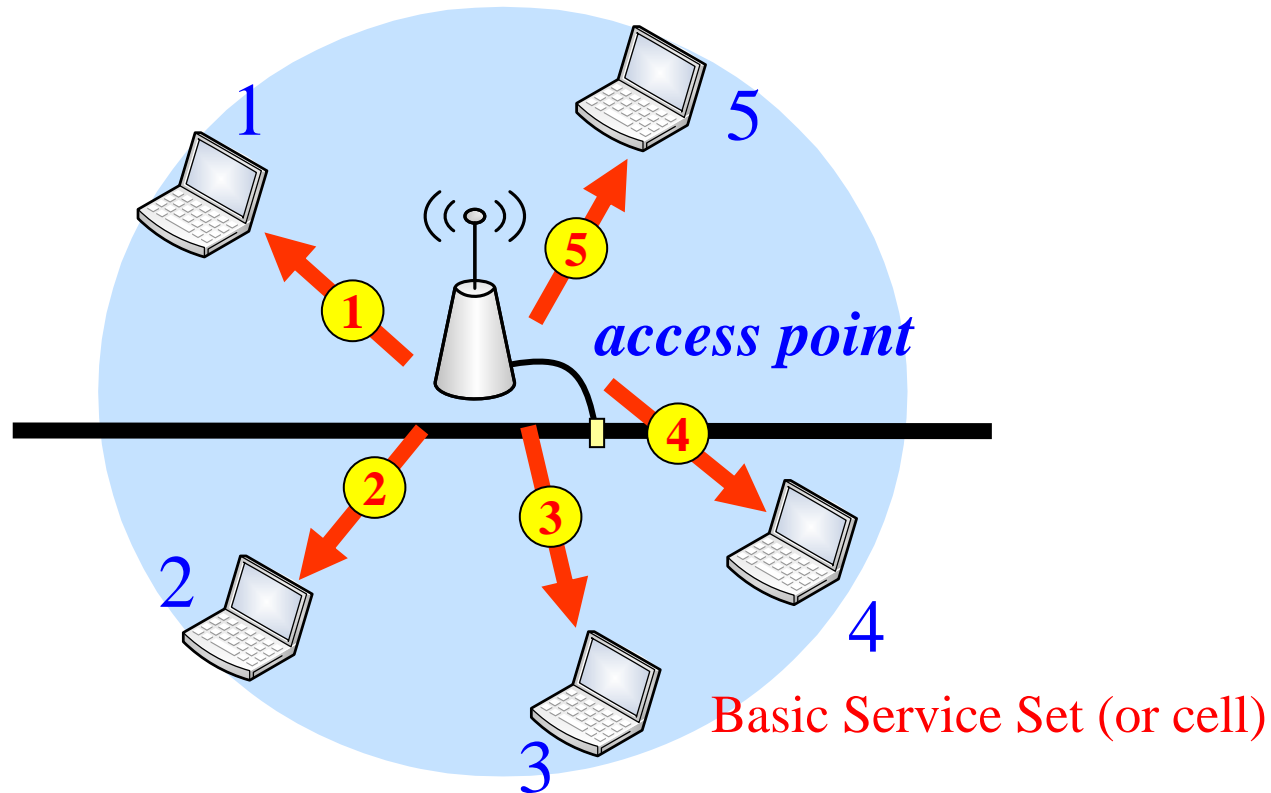
Revisit of Real-Time Traffic Characteristics



Real-time traffic，例如 voice 或者 video，通常是**持續性**的有大量的資料產生，而且通常有 **deadline** 的限制，所以 real-time stations 通常不希望透過 **競爭** 的方式來傳送資料，以避免有「**不可預期**」的情況產生。我們接下將介紹 802.11 裡頭的 PCF。因為 PCF 支援 contention-free 的 data stream transmission。（從這角度來看，PCF 對於 multimedia streaming 的支援勝過 EDCF）。但是在介紹 PCF 之前，讓我們先看看 roll-call polling

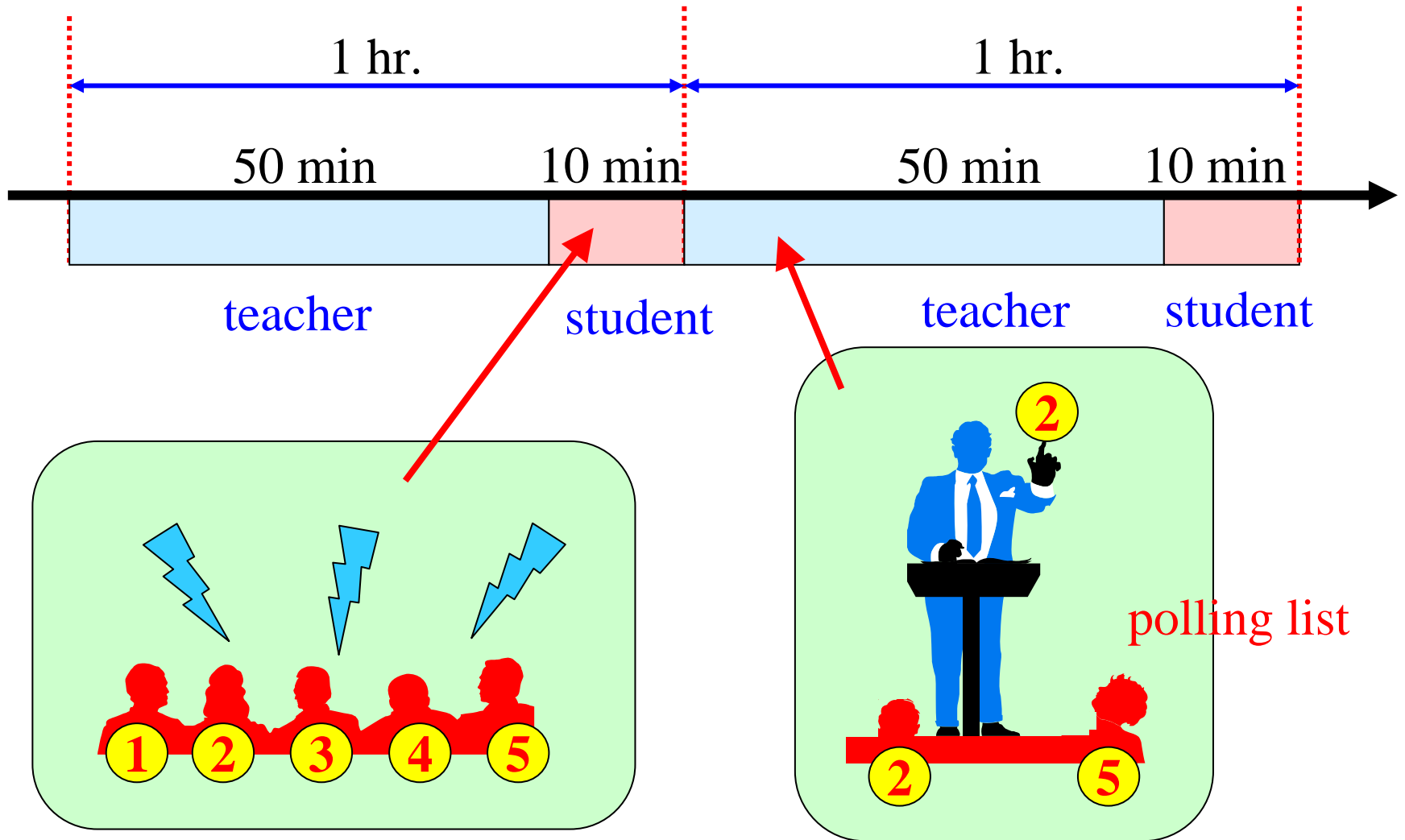
注意：PCF 是選擇項，不實作也可通過 Wi-Fi 認證

The First Step Toward QoS: Roll-Call Polling



The simplest way to support the features of (1) *time bounded transmission* and (2) *contention-free access* → The AP polls every station in sequence and check whether the polled station has data to send.

IEEE 802.11: Basic Idea



Superframe Structure

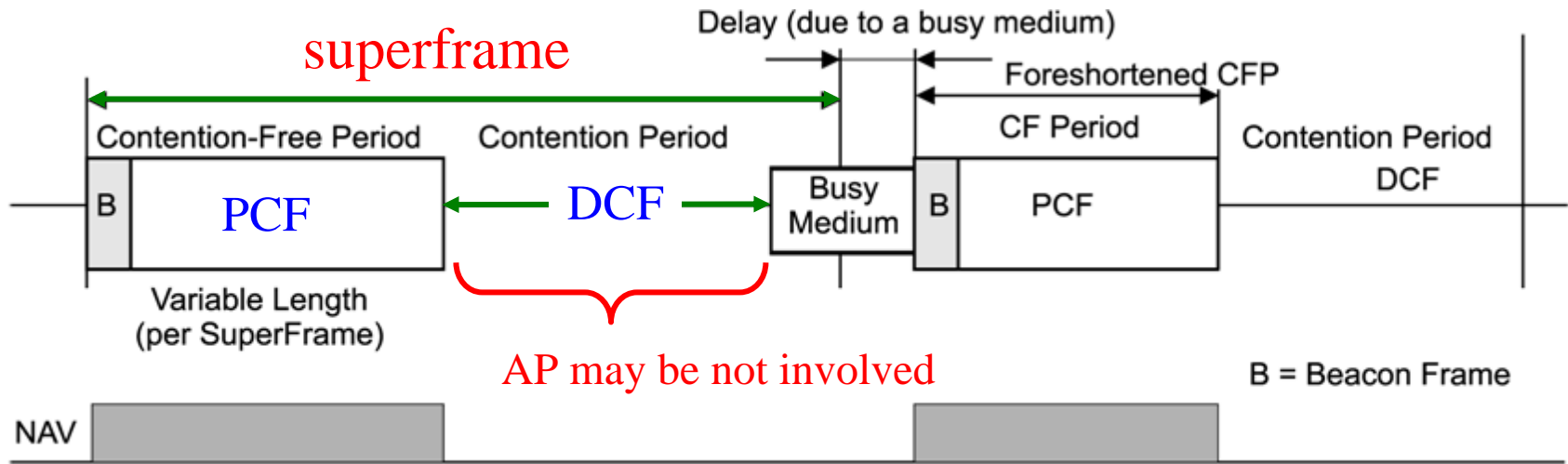
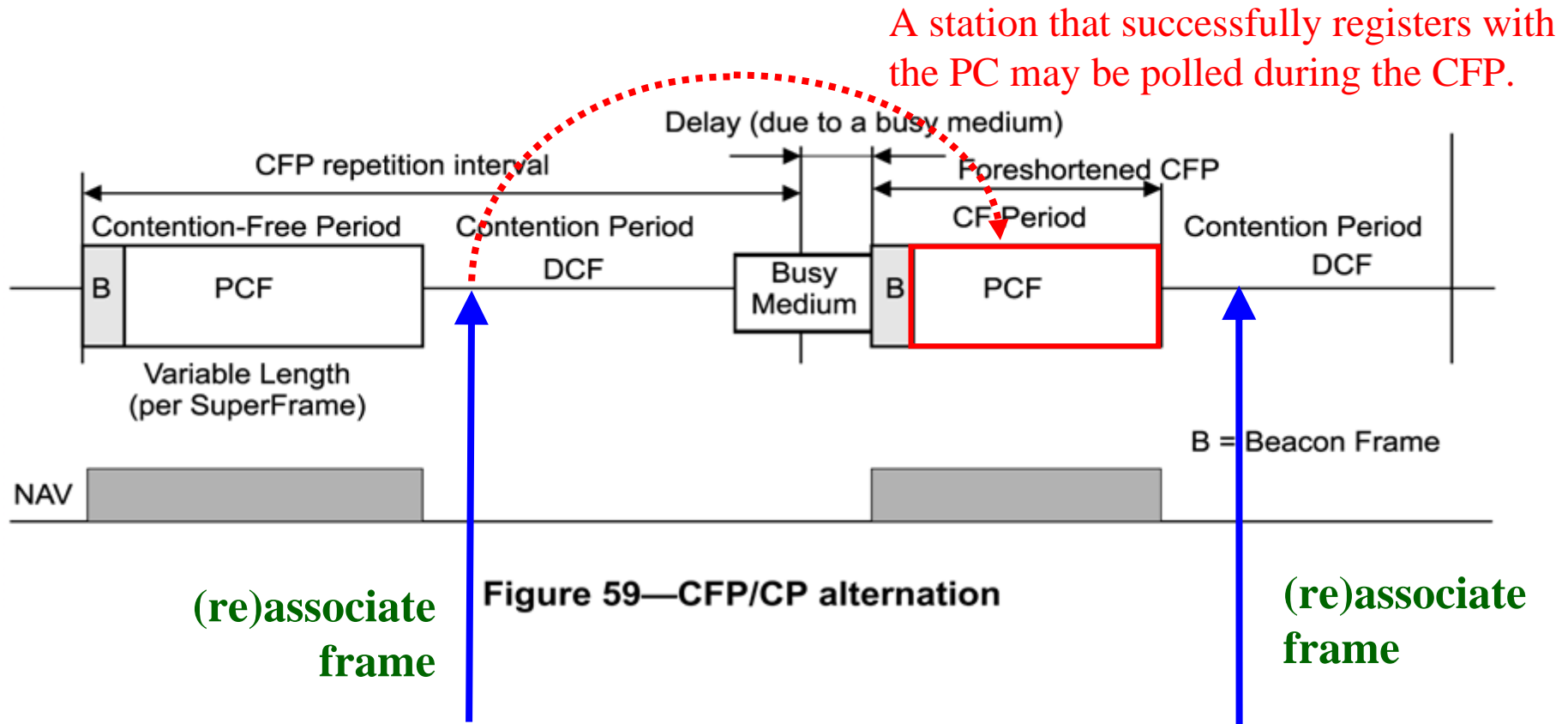


Figure 59—CFP/CP alternation

The **DCF** used in the contention period (CP) employs *carrier sense multiple access with collision avoidance* (CSMA/CA) strategy to provide asynchronous data service. The **PCF** used in the contention-free period (CFP) employs the **polling** strategy to provide time-bounded service.

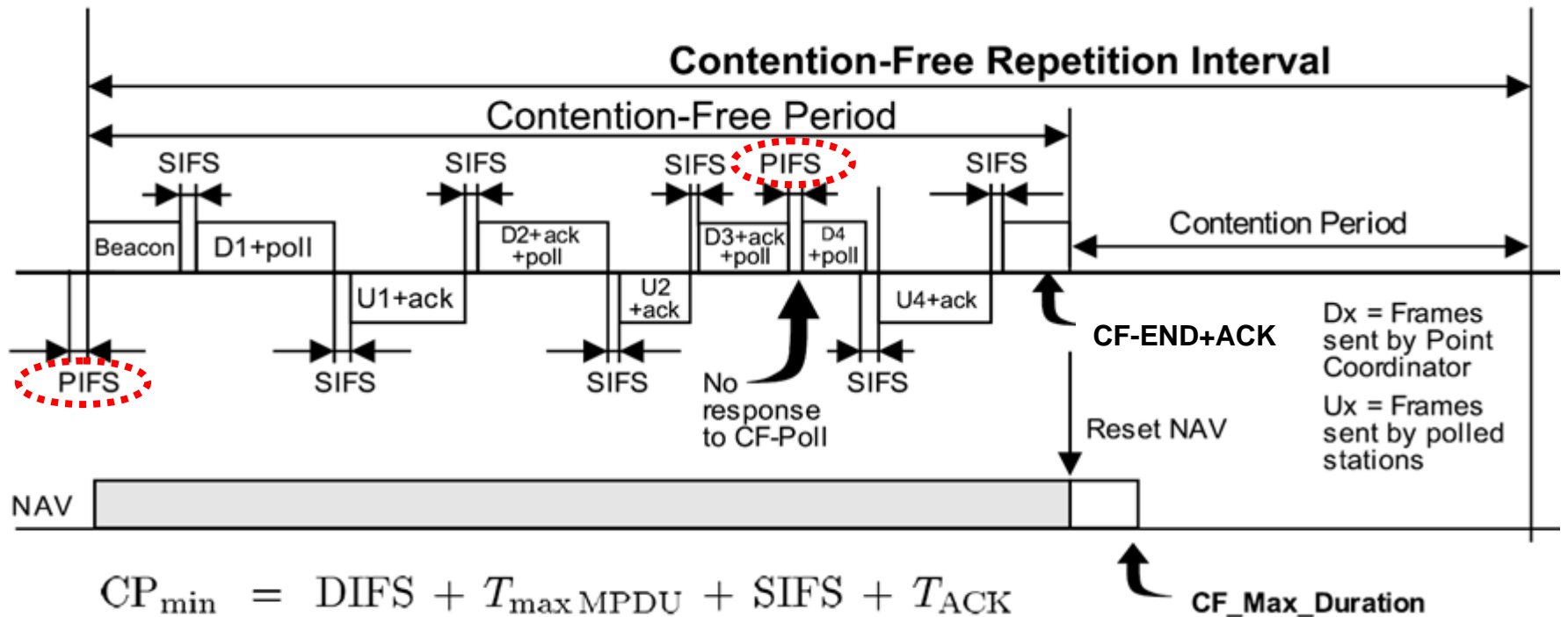
Reservation Scheme : Join the Polling List



Get on the polling list:
The station shall use the **DCF**
to **(re)associate** with the AP/PC.

Get off the polling list:
The station shall use the **DCF**
to **reassociate** with the AP/PC.

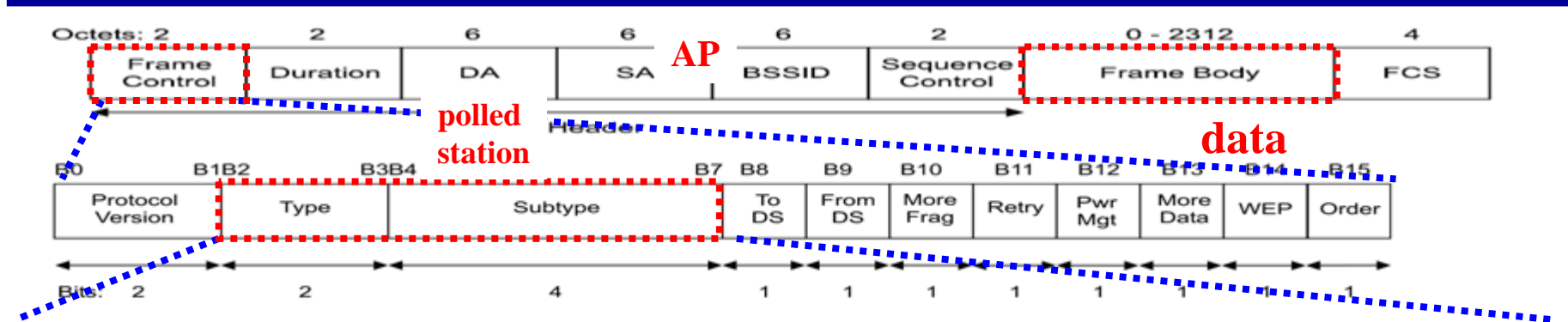
PCF (Point Coordination Function)



PIFS = PCF InterFrame Space = SIFS + SlotTime → SIFS < PIFS < DIFS

PCF 原本藉由在 beacon 裡頭宣告 NAV (長度為 CF_Max_Duration) 來防止 DCF stations (只有實作 DCF 的 stations) 的干擾。但更高招的是：在 CFP 階段，inter frame space 僅有 SIFS 和 PIFS 這兩種，這確保即使 **DCF stations 沒聽到 beacon (可能受到雜訊干擾)**，也無法干擾 **CFP 階段的運作**，因為他們至少需等待 DIFS 才能傳送資料

Aside : Piggyback via Frame Format



Type value b3 b2	Type description	Subtype value b7 b6 b5 b4	Subtype description
01	Control	1010	Power Save (PS)-Poll
01	Control	1011	Request To Send (RTS)
01	Control	1100	Clear To Send (CTS)
01	Control	1101	Acknowledgment (ACK)
01	Control	1110	Contention-Free (CF)-End
01	Control	1111	CF-End + CF-Ack
10	Data	0000	Data
10	Data	0001	Data + CF-Ack
10	Data	0010	Data + CF-Poll
10	Data	0011	Data + CF-Ack + CF-Poll
10	Data	0100	Null function (no data)
10	Data	0101	CF-Ack (no data)
10	Data	0110	CF-Poll (no data)
10	Data	0111	CF-Ack + CF-Poll (no data)

注意：由於只有一個 DA (destination address)，所以在 Poll + Data 的部分，**AP 送 data 的對象和 AP 點名 (poll) 的對象必須是相同的**。至於 ACK，由於已經沒有 address 欄位可填，前一個送 data 的 station 必須自己清楚這個 ACK 是給他的（用暗示性的 ACK 方法，意即 implicit ACK）

Early Criticism on PCF



PRODUCT FEATURES

- Compliant with IEEE 802.11a/b/g standard
- Host interfaces: PCI 2.2, miniPCI and 32-bit Cardbus
- Compliant with PCI bus power management specification v1.1
- I²C EEPROM interface
- 1 programmable GPIO
- 3.3V operating with 1.8V core voltage, 3.3V / 5V compliant IOs for PCI interface
- Integrated 3.3V to 1.8 V regulator control circuit
- Integrated oscillation circuit for external 20 MHz crystal
- Supports advanced power saving solution
- Package: 14mm x 14 mm LQFP-128

BASEBAND FEATURES

- On-chip IQ ADC and DAC
- On-chip AGC (Automatic Gain Control)
- Programmable data rates: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps for OFDM; 5.5, 11Mbps for CCK; and 1, 2Mbps for barker modulation
- Antenna diversity for better transmitting and receiving performance
- RSSI status report by per receiving packet

MAC FEATURES

- Supports Infrastructure / AdHoc mode
- Supports Multi-cast packet filtering function
- Two 32-bit timers Unit: 1 us
- Transmit loop-back mode support (Internal / External) to VIA solution
- Supports BSS PCF
- Supports IBSS ATIM window
- SIMPLE TEST Mode Support by hardware. (Continuing Receiving / Continuing Transmitting)
- Supports 4 MIB counters: RTSSuccessCount, RTSFailureCount, ACKFailureCount, FCSErrorCount

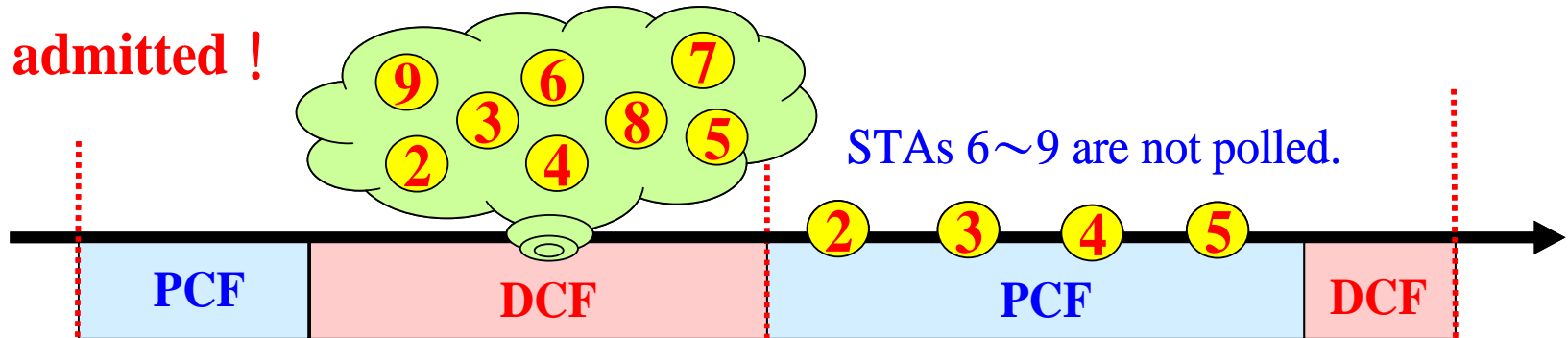
問題：PCF 有何缺失？

早期的文獻大多回答：(1) PCF 太複雜。但其實大家都知道 polling 是最簡單的 MAC。(2) PCF 沒人實作。但目前已經有 PCF 的產品。左圖為威盛公司所生產的 MAC 晶片。

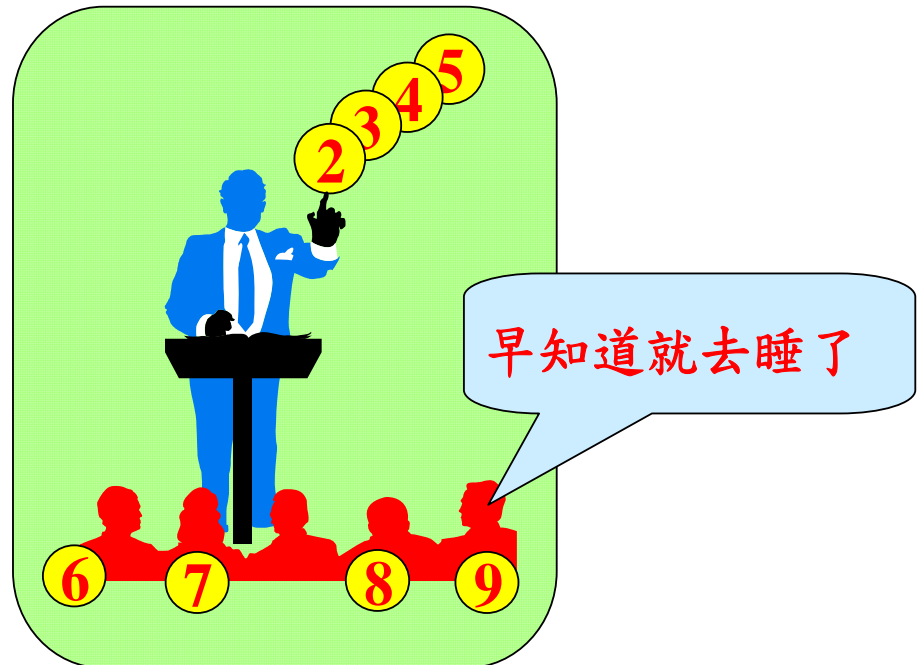
事實上，上述兩者都稱不上是嚴重的技術缺失。最嚴重的技術缺失是什麼？

PCF 缺點：No Admission Control

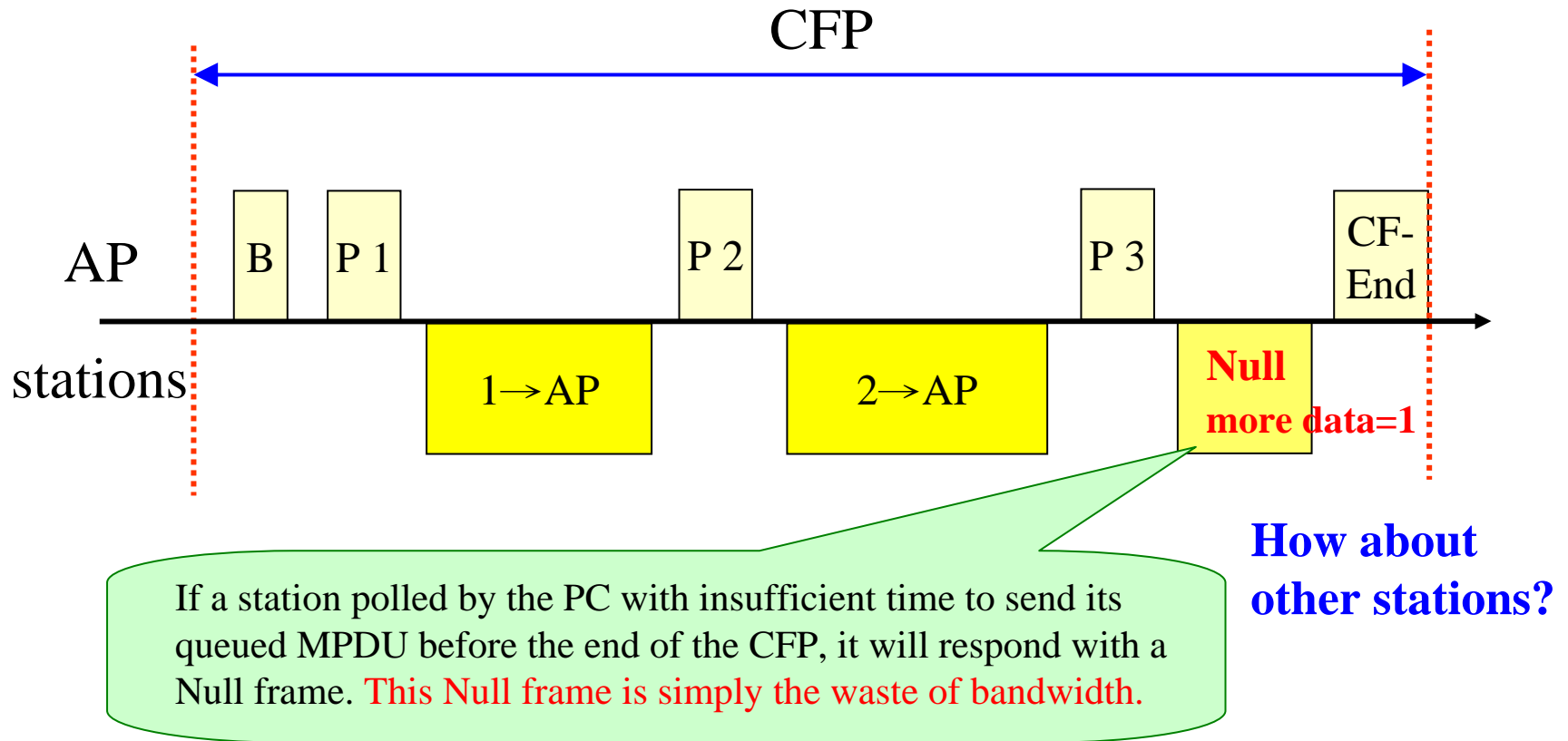
All admitted !



In PCF, all admitted stations are not allowed to sleep during the entire CFP since they do not know when will be polled. If the number of admitted stations is large, then several stations may not be polled during the entire CFP, causing the **unnecessary awakeness**.

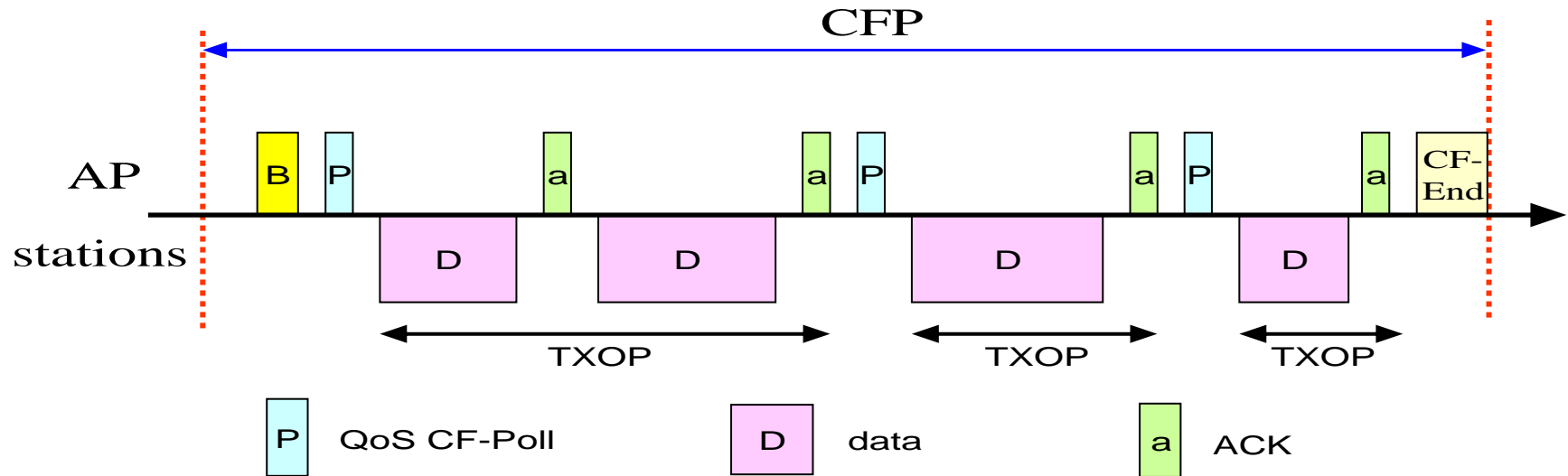


PCF 缺點：Unconstrained Transmission Time



Unconstrained Transmission Time 稱得上是 PCF 的最大缺失。Any polled station is allowed to send a single frame that may be of an arbitrary length, up to the maximum of **2304** bytes. This may adversely **ruin the performance of other stations on the polling list.**

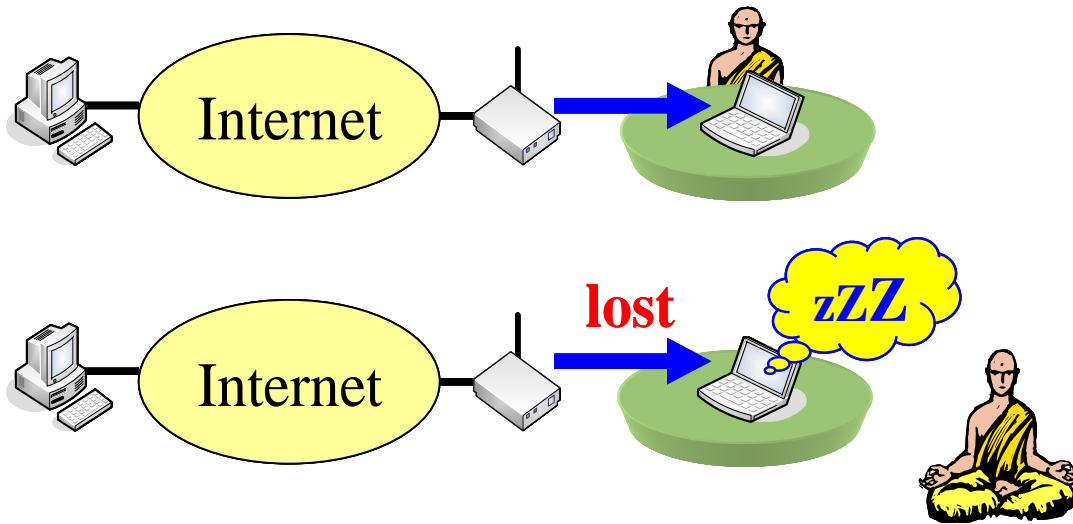
802.11e HCF : TXOP (Transmission Opportunity)



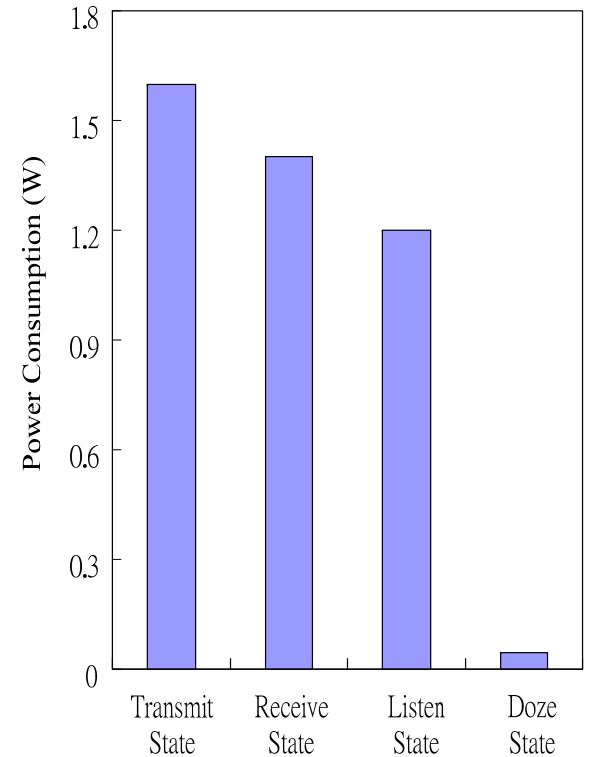
TXOP Limit (its value depends on PHY)			
	DS-CCK	OFDM	Others
AC_BK	一個 frame	一個 frame	一個 frame
AC_BE	一個 frame	一個 frame	一個 frame
AC_VI	6.016 ms	3.008 ms	一個 frame
AC_VO	3.264 ms	1.504 ms	一個 frame

HCF (hybrid coordination function): The beacon frame will announce the $TXOP_limit[AC]$ for each access category, where TXOP is defined as an interval of time during which a polled station has the right to initiate frame exchange sequences onto the wireless medium.

Power Management

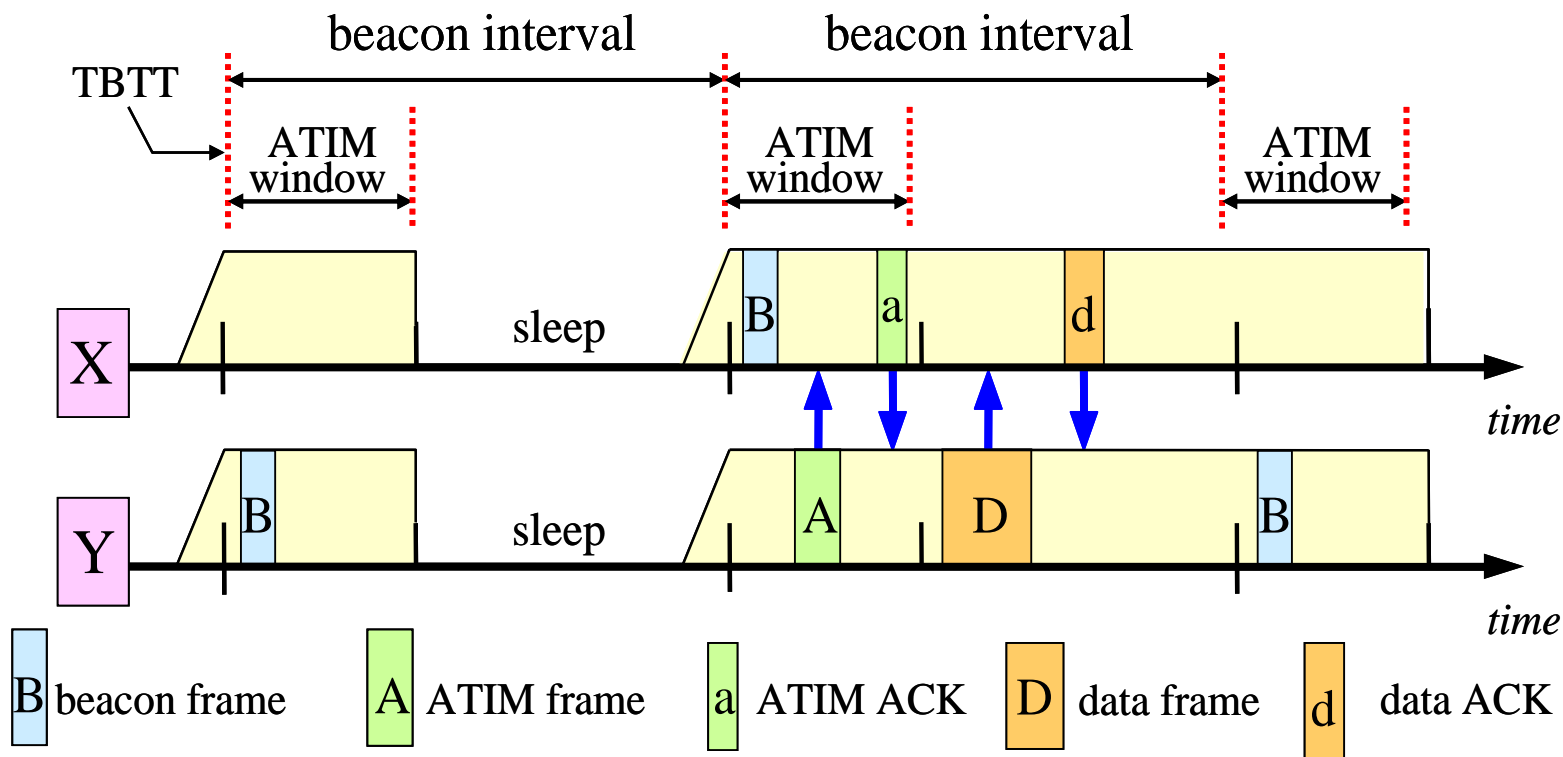


Mobile station (簡寫成MS) 通常使用電池作為電力來源，以便要享受 mobility。然而電池的技術相當緩慢，因此省電技術也就變得很重要，這是傳統有線 MAC 所不曾面臨過的新問題。為了省電，station 必須進入 sleep state (幾乎是把 wireless interface card 關閉掉) 如果 A 進入 sleep state，那麼 B 在此時傳送給 A 的資料將會完全 lost。因此 wireless MAC 如何規範 MS 何時該醒，何時該睡 (稱之為 power management) 就變得很重要。



From: Lucent Wireless Network Interface Card (IEEE INFOCOM 2002)

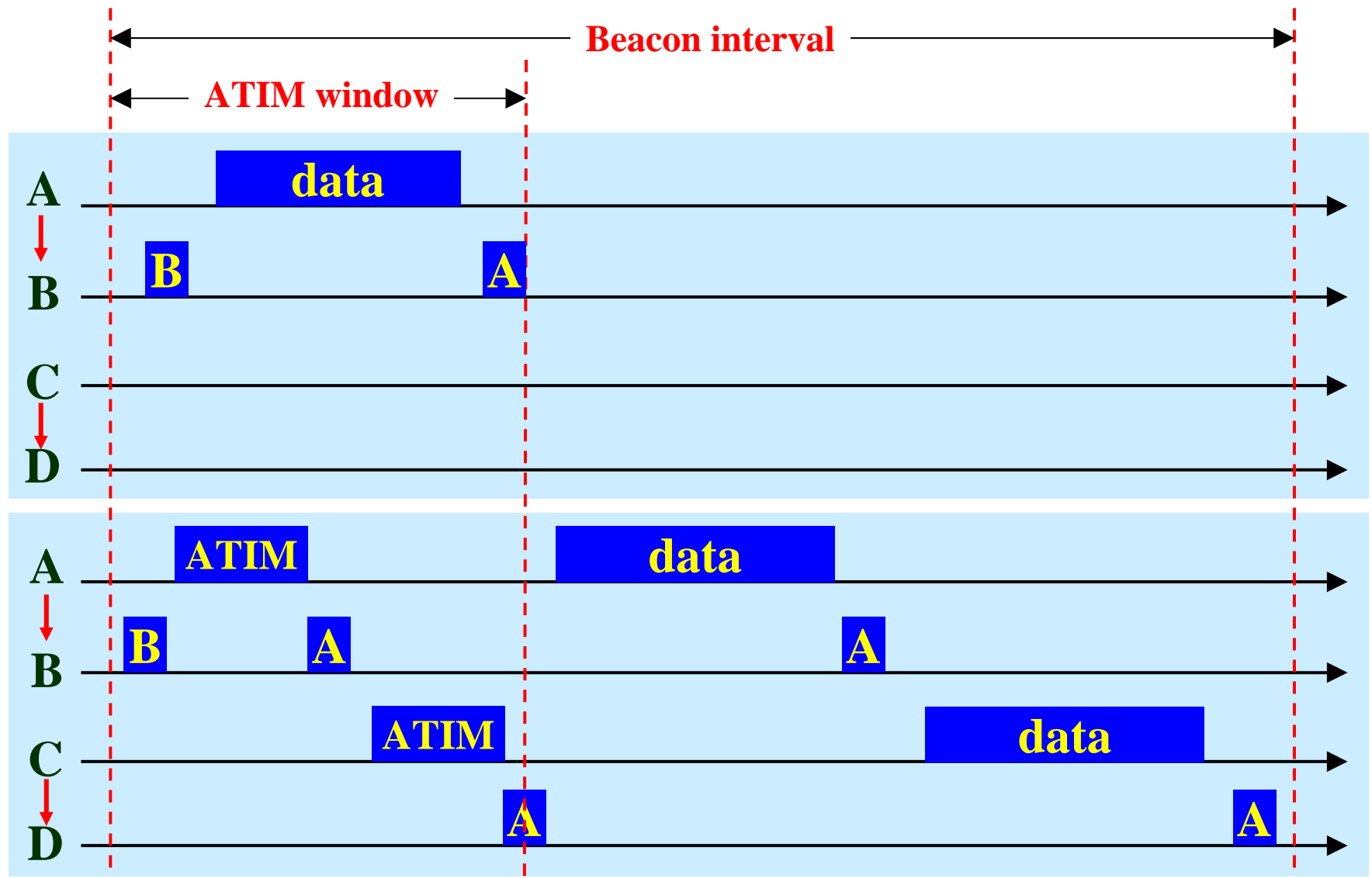
Power Management in Ad Hoc WLAN



問題

1. 假設 Y 想送資料給 X，反正大家都會在 ATIM window 期間醒來，為何 Y 不乾脆在 ATIM window 期間就直接將資料傳送給 X？
2. 由於大家同時競爭發送 beacon 的結果，導致 beacons 容易 collision 而不容易順利同步。那為何不要固定由某個 station 發送 beacon？

ATIM Window : Throughput Consideration



Beacon Broadcast in Ad Hoc WLAN

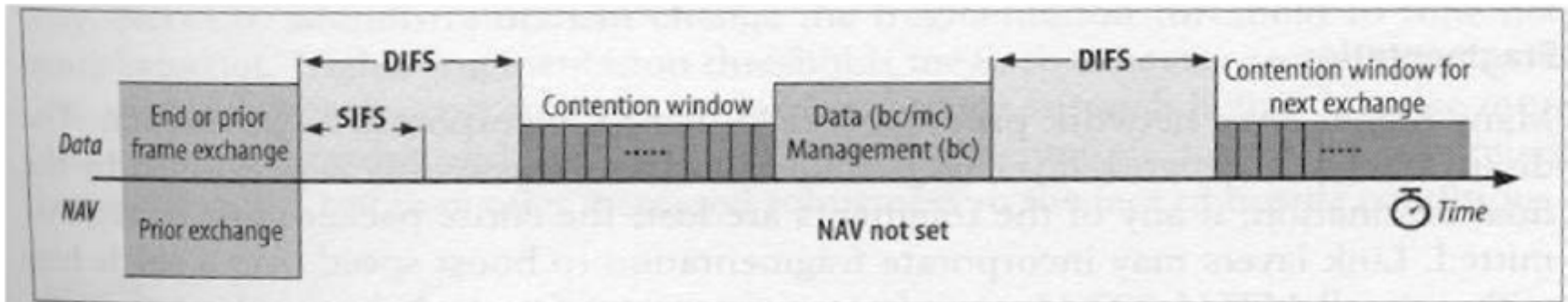
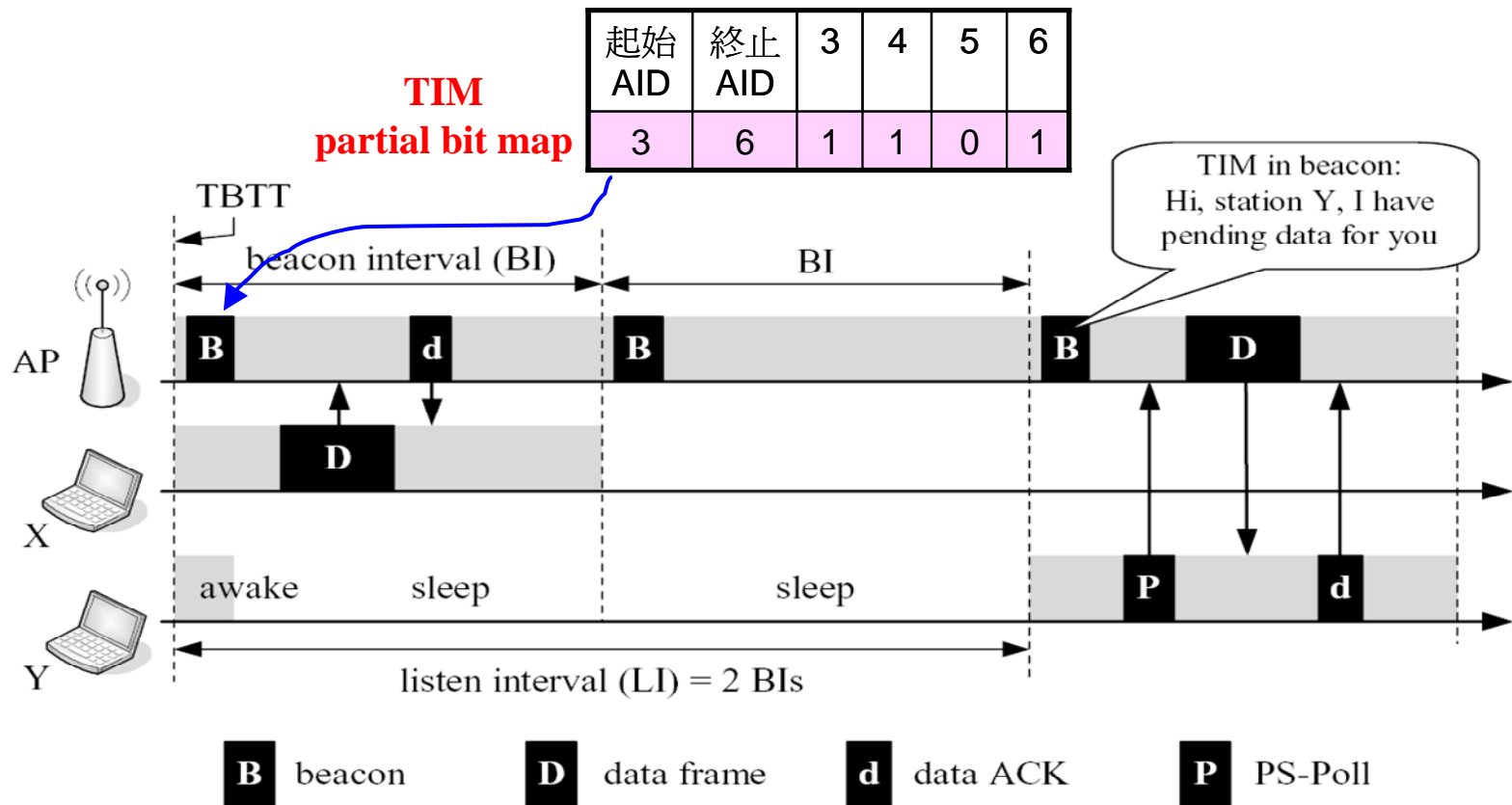


Figure 3-14. Broadcast/multicast data and broadcast management atomic frame exchange

1. 對於 broadcast 性質的 frame 來說，receiver 不能回 CTS 或 ACK。因為如果 CTS 或 ACK 同時回的話會導致 collision。
2. 若某個 station 在傳送 beacon 之前就聽到別的 station 所發出之 beacon，就取消發送 beacon 的計畫。畢竟只要一個 beacon 就足以同步
3. 在 infrastructure WLAN 裡頭固定由 AP 發送 beacon。在 ad hoc WLAN 裡頭不可以固定由某一個 station 來發送 beacon，因為那個 station 的負擔會增加，容易很快就沒電。
註：所有 station 都不知道 beacon 是否發送成功

Power Management in Infrastructure WLAN



在 infrastructure WLAN 裡頭，每個 station 的 listen interval (簡寫 LI) 可以不一樣 (這是 ad hoc WLAN 裡頭所沒有的功能)。由於有 LI 的功能，因此 infrastructure mode 比 ad hoc mode 更省電！注意：在 infrastructure WLAN 的省電機制裡頭，沒有 ATIM window 這種東西

(Re)Association Response Frame

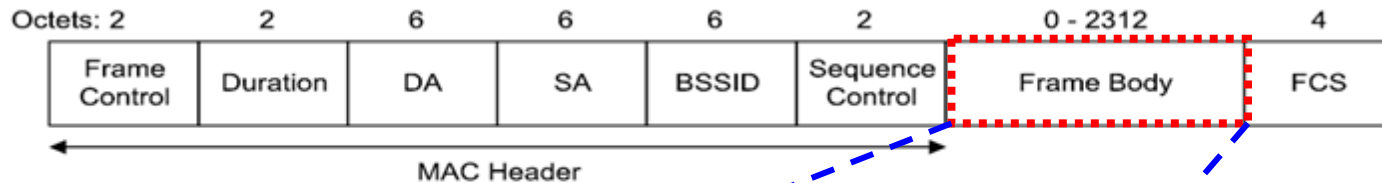


Figure 23—Management frame format

Table 8—Association Response frame body

Order	Information
1	Capability information
2	Status code
3	Association ID (AID)
4	Supported rates

Association 成功之後，station 會從 AP 那兒獲得 AID（association ID），類似身份證號碼功能。既然有了 MAC address，何需 AID？MAC address 有 48 個 bits，然而 AID 的值介於 1~2007（0 保留給 broadcast 使用），僅佔用 11 個 bits，減少頻寬浪費。此外，在 infrastructure WLAN 裡頭，有了 AID 才能啟動省電的功能

自我評量

1. 在以 802.11 為 MAC 機制的無線網路裡頭，在何種情況之下，station 在送 data frame 之前，最好先執行 RTS/CTS handshake？
2. 在 802.11 DCF 裡頭，data frame 和 ACK frame 之間的時間間隔為 SIFS，其值小於 DIFS，目的何在？
3. 試描述 802.11 裡頭 BEB 的運作。
4. 802.11e EDCF 採用什麼機制來支援 prioritization？
5. 何謂 priority reversal phenomenon？
6. 802.11 PCF 採用什麼機制來防止 DCF stations 的干擾？
7. 802.11 PCF 最嚴重的缺失為何？802.11e 的 HCF 採用什麼方法來改善？
8. 描述 802.11 ad hoc WLAN 裡頭 power management 的運作方式
9. 描述 802.11 infrastructure WLAN 裡頭 power management 的運作方式
10. 802.11 infrastructure WLAN 的省電機制裡頭，有哪一項功能是 ad hoc WLAN 省電機制所沒提供的？