

### 第三章 IEEE 802.11a 無線區域網路標準介紹

IEEE 802.11a 規格書[4]是無線區域網路的規範，內容定義實體層(Physical Layer, PHY)與媒介存取控制層(Media Access Control Layer, MAC)設計的規範，以下便針對 IEEE 802.11a 無線區域網路標準作一介紹。

#### 3.1 IEEE 802.11a 標準架構

IEEE 802.11a 使用 5GHz 到 6GHz 間的 5.15-5.25 GHz、5.25-5.35 GHz 及 5.725-5.825 GHz 共 12 個頻段來傳輸資料，並依序區分為低頻帶、中頻帶及高頻帶。在各個頻帶中各劃分四個通道，每個通道的頻寬為 20 MHz，並使用其中的 16.6 MHz 頻寬來傳輸資料，在頻段邊緣有 30MHz 的保護頻帶，如圖 3.1.2 所示。規格書中使用傳輸頻譜遮罩(Transmit Spectrum Mask)來規範各個通道的功率頻譜密度(Power Spectral Density)如圖 3.1.1 所示，並且在各個頻帶規範了相對應的功率限制如表 3.1.1 所示。

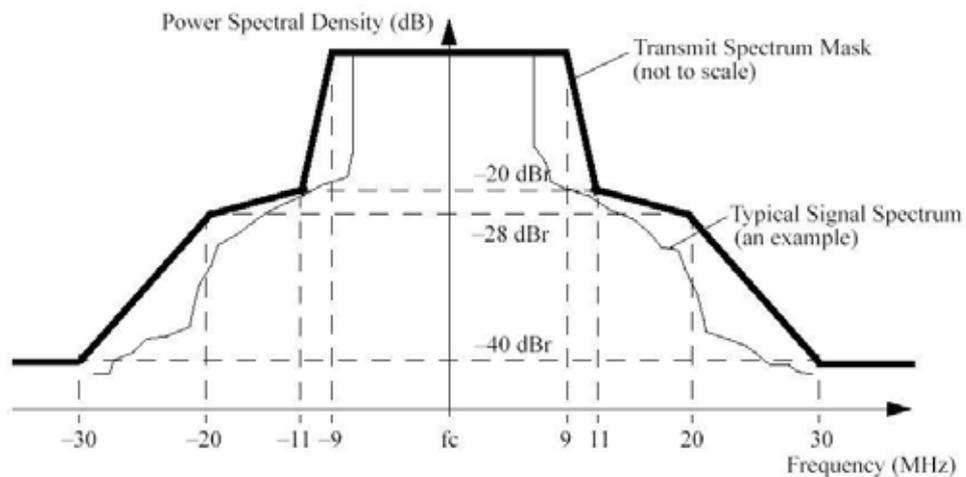


圖 3.1.1 傳輸頻譜規範

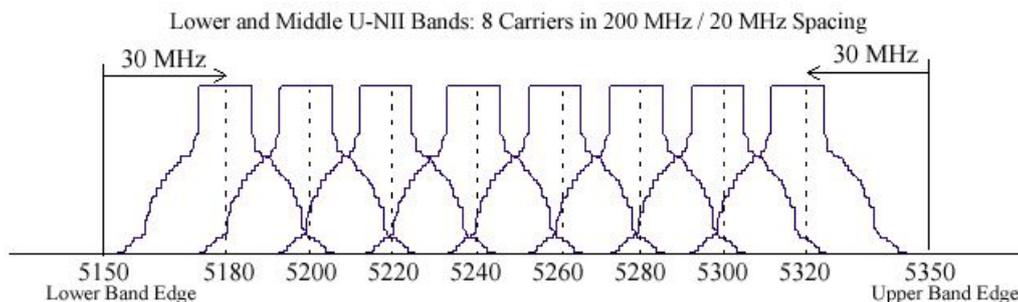


圖 3.1.2(a) IEEE802.11a 標準之頻帶(低、中頻段)

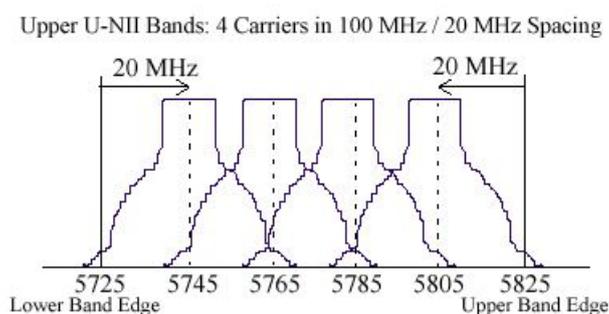


圖 3.1.2 (b) IEEE802.11a 標準之頻帶(高頻段)

表 3.1.1 IEEE 802.11a 標準中頻帶與相對應的功率限制

Frequency Band(GHz)	Maximum Output Power(mW)
5.150 ~ 5.250	40
5.250 ~ 5.350	200
5.725 ~ 5.825	800

在 IEEE 802.11a 中以 OFDM 技術為基本架構，規範的傳輸速率包含 6、9、12、18、24、36、48 及 54M bit/s 的資料。該系統使用 52 個子載波來傳送資料，其中規範-7，-21，7，21 四個子載波為領航信號(Pilot Signal)。以 IFFT/FFT 實現正交分頻多工載波調變，其調變信號可為 BPSK、QPSK、16-QAM 及 64-QAM。其通道編碼方式則使用迴旋碼(Convolutional Codes)，其編碼率(Code Rate)為 1/2、2/3 或 3/4，表 3.1.2 說明 OFDM 系統不同傳輸速率的參數。

表 3.1.2 IEEE802.11a 標準中不同傳輸速率之參數

Data Rate (Mbits/s)	Modulation	Coding Rate (R)	Coded bits per Sub-carriers ( $N_{BPSC}$ )	Coded bits per OFDM Symbol ( $N_{CBPS}$ )	Data bits per OFDM Symbol ( $N_{DBPS}$ )
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216

### 3.2 碼框結構(Frame Structure)

IEEE 802.11a 無線區域網路標準中的 OFDM 碼框，是由 OFDM 符元所構成，包含短訓練符元、長訓練符元、SIGNAL 符元、DATA 符元，如圖 3.2.1 所示。每一個 OFDM 符元為 64 個頻域子載波的反複立葉轉換(IFFT)，在 SIGNAL 符元、DATA 符元中之 64 個頻域信號，包含 48 個真正使用的子載波負責傳送資料、4 個領航信號(Pilot Signal)與 12 個虛擬子載波。

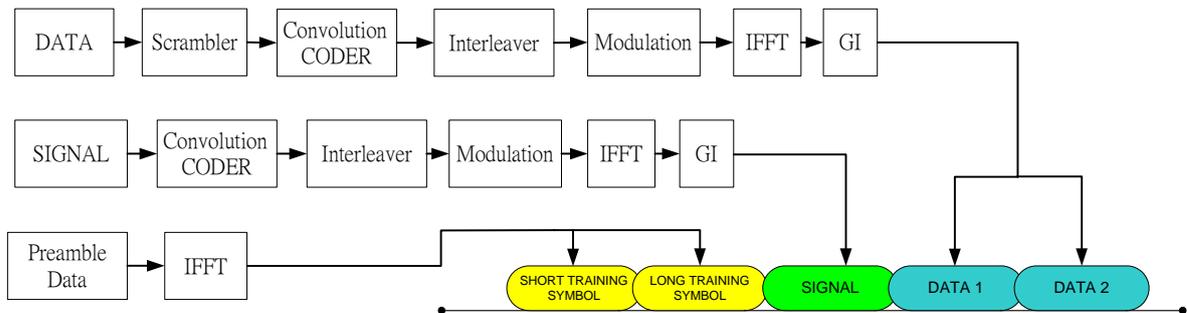


圖 3.2.1 IEEE802.11a 碼框結構

以下便針對構成碼框之各種不同符元所承載資料作一介紹。

- 短訓練符元

短訓練符元由序列  $S_{-26,26}$  經 IFFT 所得到。其中  $S_{-26,26}$  定義為

$$S_{-26,26} = \sqrt{13/6} \times \{0, 0, 1+j, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, -1-j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0, 0, 1+j, 0, 0\}$$

其中乘上  $\sqrt{13/6}$  是為了將 OFDM 短訓練序列信號正規化(Normalization)，也就是希望頻域上平均載波資料功率為一。

時域信號數學式可表示如式(3.2.1)：

$$r_{SHORT}(t) = w_{TSHORT}(t) \sum_{k=-\frac{N_{ST}}{2}}^{\frac{N_{ST}}{2}} S_k \exp(j2\pi k \Delta F t) \quad (3.2.1)$$

其中  $w_T(t)$  為時域視窗函數(Window Function)，定義  $w_T(t)$  為

$$w_T(t) = \begin{cases} \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\left(0.5 + t/T_{TR}\right)\right) & (-T_{TR}/2 < t < T_{TR}/2) \\ 1 & (T_{TR}/2 \leq t < T - T_{TR}/2) \\ \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\left(0.5 - (t-T)/T_{TR}\right)\right) & (T - T_{TR}/2 \leq t < T + T_{TR}/2) \end{cases} \quad (3.2.2)$$

視窗函數的使用最主要的目的是平滑一連串 OFDM 符元之間的串連(Cascade)， $T_{TR}$  持續時間大約在 100ns 左右。時域平滑效應可以降低頻域頻譜的延伸(Side Lobes)。在 IEEE 802.11a 無線區域網路標準另有考量離散時間下的對應實現函數。基本上，視窗函數可用離散時間來表示，假設視窗函數參數  $T = 4.0 \mu\text{sec}$ ， $T_{TR} = 100 \text{ nsec}$ ，取樣率為 20 MHz，則視窗函表示如式(3.2.3)。

$$w_T [n] = w_T (nT_s) = \begin{cases} 1 & 1 \leq n \leq 79 \\ 0.5 & 0, 80 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (3.2.3)$$

- 長訓練符元

長訓練符元是由序列  $L_{-26,26}$  經 IFFT 所得到，其中  $L_{-26,26}$  定義為

$$L_{-26,26} = \{1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 0, \\ 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1\}$$

其時域信號數學式可表示如(3.2.4)式所示。

$$r_{LONG} (t) = w_{TLONG} (t) \sum_{k=-\frac{N_{ST}}{2}}^{\frac{N_{ST}}{2}} L_k \exp(j2\pi\Delta F (t - T_{GI2})) \quad (3.2.4)$$

以上短訓練符元與長訓練符元兩者共同組成前導信號(Preamble)。

- SIGNAL 符元

SIGNAL 符元負責承載 SIGNAL Field，其中包含 DATA RATE、DATA LENGTH、Reversed Bit、Parity Bit 與 Tail Bits，總共 24 Bits，如圖 3.2.2 所示，藉以告訴接收機在該封包中其餘資料的傳輸速率，包含調變形式與編碼率，與資訊位元(Information Bits)長度。0~3 的 4 個位元，也就是 R1~R4，被編碼成為 RATE，如表 3.2.1。位元 4 是被保留給以後使用的。位元 5~16 被編碼成為 LENGTH，其中最低次位元(LSB)是先被傳送的，放在第 5 位元，最高次位元(MSB)是最後被傳送的，放在第 16 位元，LENGTH 可指定傳送資料位元組(Bytes)數目，最多至 4095 Bytes。PAD Bits 的 6 個位元皆為“0”，是為了將迴旋碼編碼器(Convolutional Encoder)的狀態重置為初始狀態(Initial State)。SIGNAL Field 是固定以 BPSK 調變，使用編碼率 R=1/2 之迴旋碼(Convolutional Codes)，SIGNAL Field 在碼框組合程序中經過迴旋碼編碼，交錯(Interleaving)，調變映射程序(Modulation Mapping Processes)，領航信號(Pilot Signal)插入與 OFDM 調變。

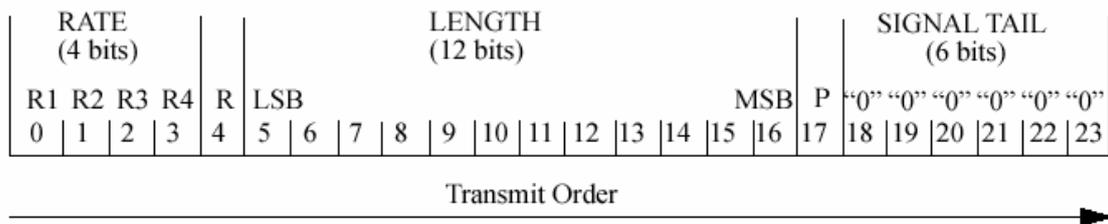


圖 3.2.2 SIGNAL Field 之位元分配圖

表 3.2.1 傳輸速率位元 R1~R4 之對照表

Rate (Mbits/s)	R1~R4
6	1101
9	1111
12	0101
18	0111
24	1001
36	1011
48	0001
54	0011

● DATA 符元

DATA 之資訊位元是由 SERVICE、PSDU、TAIL Bits 與 PAD Bits 所組成。其中 SERVICE 由 16 個位元構成，也就是位元 0~15，位元 0~6 先被傳送，並且用來作為接收端解擾亂器(Descramble)之同步用途，也就是解擾亂器會做自我同步(Self-Synchronization)。其餘的 9 個位元 7~15 是保留給未來使用的，如圖 3.2.3 所示。所有在 DATA 中的資料位元都要先經過擾亂器(Scramble)，再經過迴旋碼編碼，交錯(Interleaving)，調變映射程序(Modulation Mapping Processes)，領航信號(Pilot Signal)插入與 OFDM 調變。



802.11a 之 PPDU 碼框格式，包含了 PLCP Preamble、SIGNAL 與 DATA 部分。表 3.2.2 列出了 IEEE 802.11a 實體層(Physical Layer)的主要參數。

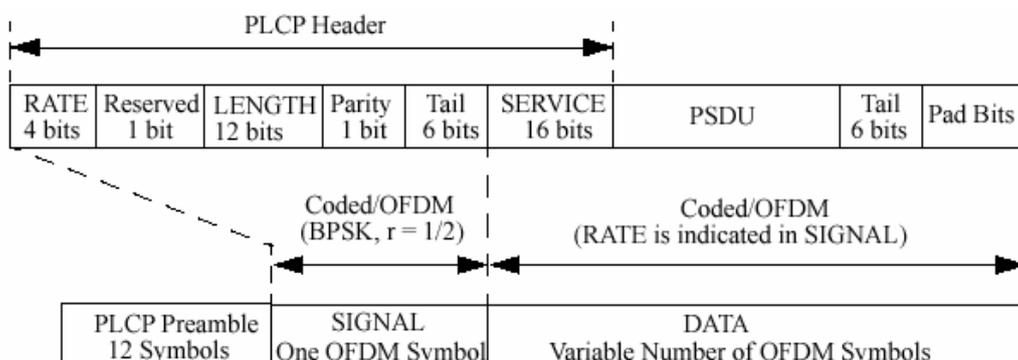


圖 3.2.5 PPDU 碼框結構

表 3.2.2 IEEE 802.11a 實體層之主要參數表

<b>Information Data Rate</b>	6,9,12,18,24,36,48,and 54 Mbits/s ( 6,12 and 24 Mbits/s are mandatory )
<b>Modulation</b>	BPSK OFDM QPSK OFDM 16-QAM OFDM 64-QAM OFDM
<b>Error Correcting Code</b>	K=7 (64 states) Convolutional Codes
<b>Coding Rate</b>	1/2, 2/3, 3/4
<b>Number of Subcarriers</b>	52
<b>OFDM Symbol Duration</b>	4.0 $\mu s$
<b>Guard Interval</b>	0.8 $\mu s (T_{GI})$
<b>Occupied Bandwidth</b>	16.6Mhz

利用時域週期延伸的保護區間，使得 OFDM 符元免於受到前一個符元的干擾。在 IEEE 802.11a 無線區域網路標準中，定義了兩種保護區間類型：(1)長訓

練符元保護區間( $T_{GUARD} = T_{GI2}$ )，(2)資料符元保護區間( $T_{GUARD} = T_{GI}$ )，如圖 3.2.6。

IEEE 802.11a 之時間相關的參數如表 3.2.3 所示。

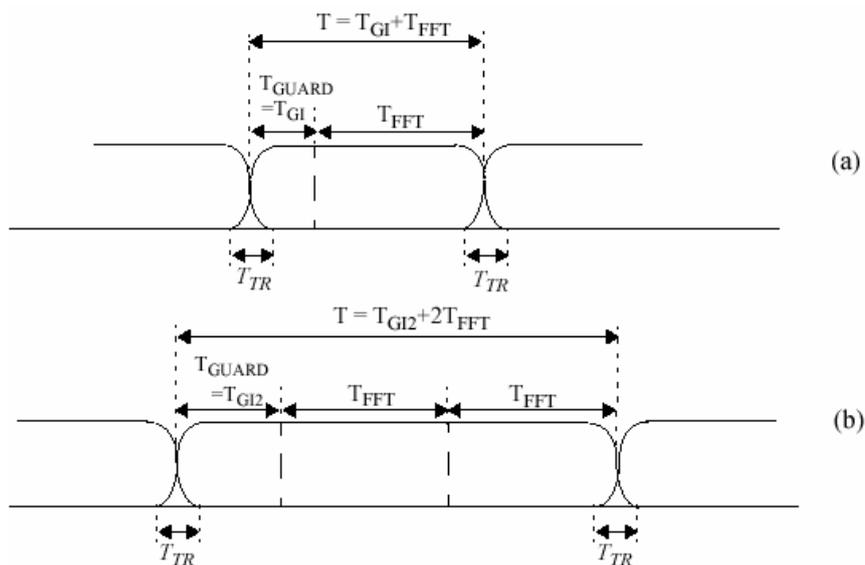


圖 3.2.6 IEEE802.11a 兩種保護區間類型

表 3.2.3 IEEE802.11a 標準中時間相關的參數

Parameter	Value
$N_{SD}$ : Number of data subcarriers	48
$N_{SP}$ : Number of pilot subcarriers	4
$N_{ST}$ : Number of subcarriers, total	$52 ( N_{SD} + N_{SP} )$
$\Delta F$ : Subcarrier frequency spacing	0.3125 MHz (= 20 MHz/64)
$T_{FFT}$ : IFFT.FFT period	$3.2 \mu s ( 1/\Delta F )$
$T_{PREMABLE}$ : PLCP preamble duration	$16 \mu s ( T_{SHORT} + T_{LONG} )$
$T_{SIGNAL}$ : Duration of the SIGNAL BPSK-OFDM symbol	$4.0 \mu s ( T_{GI} + T_{FFT} )$
$T_{GI}$ : GI duration	$0.8 \mu s ( T_{FFT}/4 )$
$T_{GI2}$ : Long Training symbol GI duration	$1.6 \mu s ( T_{FFT}/2 )$
$T_{SYM}$ : Symbol interval	$4.0 \mu s ( 10 \times T_{FFT}/4 )$
$T_{SHORT}$ : Short training sequence duration	$8.0 \mu s ( 10 \times T_{FFT}/4 )$
$T_{LONG}$ : Long training sequence duration	$8.0 \mu s ( T_{GI2} + 2 \times T_{FFT} )$

Preamble 是用來作為同步的用途，包括封包偵測、頻率偏移估算、碼框同步與通道估算。由 10 個短訓練序列(Short Training Sequence)與 2 個長訓練符元(Long Training Symbols)所組成，如圖 3.2.7 所示。

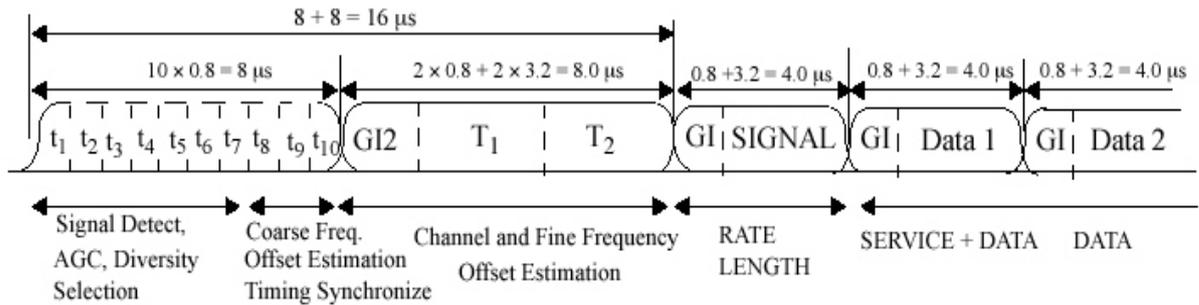


圖 3.2.7 IEEE802.11a 之碼框結構

其中  $t_1$  到  $t_{10}$  表示短訓練序列， $T_1$  與  $T_2$  表示長訓練符元，整個 Preamble 長度為  $16 \mu\text{sec}$ 。使用兩個重複的長訓練符元是為了改善通道估測的精確度，因此長訓練符元的長度為  $T_{LONG} = 1.6 + 2 \times 3.2 = 8 \mu\text{sec}$ 。接在後面為 SIGNAL 與 DATA。

IEEE 802.11a 實體層(Physical Layer)的傳送端、接收端的系統方塊圖，如圖 3.2.8 所示。

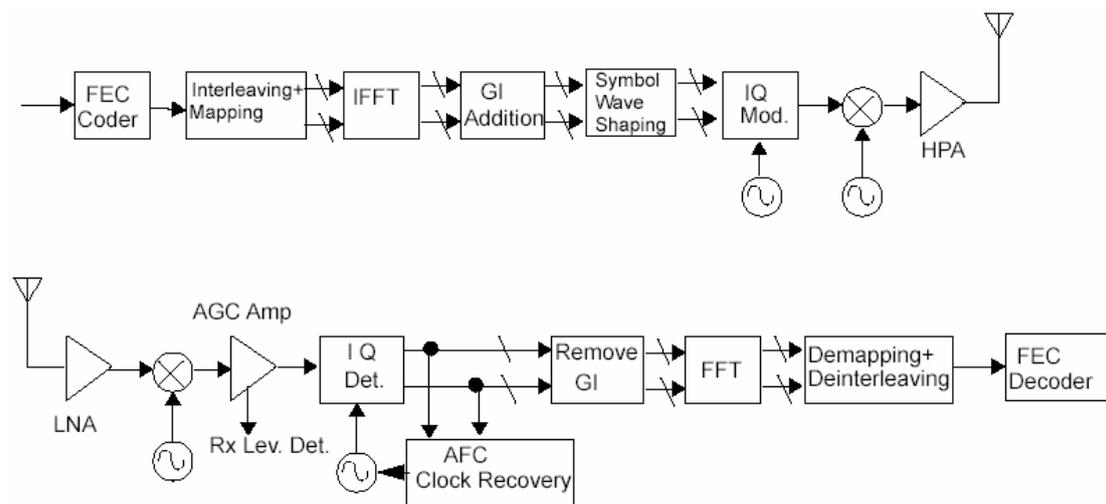


圖 3.2.8 IEEE 802.11a 實體層之傳送端、接收端方塊圖