

## 第四章 IEEE 802.16a 無線都會網路標準介紹

IEEE 802.16a 是提供無線技術最後一哩(Last Mile)的解決方案，無線都會網路標準 IEEE 802.16a[5]主要是擬訂無線寬頻接取 (Broadband Wireless Access, BWA)系統實體層(Physical Layer, PHY)與媒介存取控制層(Media Access Control Layer, MAC)設計的規範。以下針對 IEEE 802.16a 無線區域網路標準作一介紹。

### 4.1 IEEE 802.16a 系統規格

本論文在 IEEE 802.16a 實體層是採用 WirelessMAN-OFDM PHY，此種實體層使用 OFDM 調變模式，並且針對 2-11 GHz 的 NLOS 通道環境所設計。針對不同的頻寬、不同的調變方式、不同的編碼率及不同的保護區間長度，有其相對應的傳輸速率，如表 4.1.1 所示。該系統使用 200 個子載波來傳送資料，其中規範-84、-60、-36、-12、12、36、60、84 八個子載波為領航信號。以 IFFT/FFT 實現正交分頻多工載波調變，其調變信號可為 QPSK、16QAM 與 64QAM，其通道編碼方式則是使用里德所羅門碼(Reed-Solomon Codes)及迴旋碼(Convolutional Codes)，其編碼率(Code Rate)則分別為 1/2、2/3 與 3/4，針對不同調變方式，其所對應到的編碼率，如表 4.1.2 所示。

表 4.1.1 IEEE 802.16a OFDM Mode 標準中典型傳輸速率(Mbps)

BW (MHz)	$T_g$	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
6 MHz (MMDS)	$T_b/32$	5.09	7.64	10.18	15.27	20.36	22.91
	$T_b/16$	4.94	7.41	9.88	14.82	19.76	22.24
	$T_b/8$	4.67	7.00	9.33	14.00	18.67	21.00

	$T_b/4$	4.20	6.30	8.40	12.60	16.80	18.90
<b>7 MHz (ETSI)</b>	$T_b/32$	5.94	8.91	11.88	17.82	23.76	26.73
	$T_b/16$	5.76	8.65	11.53	17.29	23.06	25.94
	$T_b/8$	5.44	8.17	10.89	16.33	21.78	24.50
	$T_b/4$	4.90	7.35	9.80	14.70	19.60	22.05
<b>20 MHz (U-NII)</b>	$T_b/16$	16.13	24.20	32.27	48.40	64.54	72.61
	$T_b/8$	15.24	22.86	30.48	45.71	60.95	68.57
	$T_b/4$	13.71	20.57	27.43	41.14	54.86	61.71

表 4.1.2 不同調變方式之編碼率

<b>Modulation</b>	<b>Uncoded Block Size (Bytes)</b>	<b>Coded Block Size (Bytes)</b>	<b>Overall Coding Rate</b>	<b>RS Code</b>	<b>CC Code Rate</b>
QPSK	24	48	1/2	(32,24,4)	2/3
QPSK	36	48	3/4	(40,36,2)	5/6
16QAM	48	96	1/2	(64,48,8)	2/3
16QAM	72	96	3/4	(80,72,4)	5/6
64QAM	96	144	2/3	(108,96,6)	3/4
64QAM	108	144	3/4	(120,108,6)	5/6

IEEE 802.16a OFDM Mode 無線都會網路中規範 2-11GHz 來做無線高速都會網路的使用頻段。在使用頻段的範圍內，可區分成需要執照的頻道(Licensed Bands)與不需要執照的頻道(Unlicensed Bands)，將分別介紹。在需要執照的頻道及不需要執照的頻道其所對應的子載波間隔頻寬，符元時間及保護區間時

間，如表 4.1.3 及表 4.1.4 所示。

表 4.1.3 頻帶不需許可執照下頻寬之主要參數

BW (MHz)	$\Delta f$ (kHz)	$T_b$ ( $\mu s$ )	$T_g$ ( $\mu s$ )				
			$T_b/32$	$T_b/16$	$T_b/8$	$T_b/4$	
$f_s/BW=8/7$	10	$44\frac{9}{14}$	$22\frac{2}{5}$	$\frac{7}{10}$	$1\frac{2}{5}$	$2\frac{4}{5}$	$5\frac{3}{5}$
	20	$89\frac{2}{7}$	$11\frac{1}{5}$	$\frac{7}{20}$	$\frac{7}{10}$	$1\frac{2}{5}$	$2\frac{4}{5}$

表 4.1.4 頻帶需許可執照下頻寬之主要參數

BW (MHz)	$\Delta f$ (kHz)	$T_b$ ( $\mu s$ )	$T_g$ ( $\mu s$ )				
			$T_b/32$	$T_b/16$	$T_b/8$	$T_b/4$	
(MMDS) $f_s/BW=7/6$	1.5	$6\frac{51}{61}$	$146\frac{2}{7}$	$4\frac{4}{7}$	$9\frac{1}{7}$	$18\frac{2}{7}$	$36\frac{4}{7}$
	3.0	$13\frac{43}{64}$	$73\frac{1}{7}$	$2\frac{2}{7}$	$4\frac{4}{7}$	$9\frac{1}{7}$	$18\frac{2}{7}$
	6.0	$27\frac{11}{32}$	$36\frac{4}{7}$	$1\frac{1}{7}$	$2\frac{2}{7}$	$4\frac{4}{7}$	$9\frac{1}{7}$
	12.0	$54\frac{11}{16}$	$18\frac{2}{7}$	$\frac{4}{7}$	$1\frac{1}{7}$	$2\frac{2}{7}$	$4\frac{4}{7}$
	24.0	$109\frac{3}{8}$	$9\frac{1}{7}$	$\frac{2}{7}$	$\frac{4}{7}$	$1\frac{1}{7}$	$2\frac{2}{7}$
(ETSI) $f_s/BW=8/7$	1.75	$7\frac{13}{16}$	128	4	8	16	32
	3.5	$15\frac{5}{8}$	64	2	4	8	16
(ETSI) $f_s/BW=8/7$	7.0	$31\frac{1}{4}$	32	1	2	4	8
	14.0	$62\frac{1}{2}$	16	$\frac{1}{2}$	1	2	4

	28.0	125	8	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2
(WCS) $f_s/BW=7/6$	2.5	$11\frac{35}{89}$	$87\frac{27}{35}$	$2\frac{26}{35}$	$5\frac{17}{35}$	$10\frac{34}{35}$	$21\frac{33}{35}$
	5.0	$22\frac{70}{89}$	$43\frac{31}{35}$	$1\frac{13}{35}$	$2\frac{26}{35}$	$5\frac{17}{35}$	$10\frac{34}{35}$
	10.0	$45\frac{55}{96}$	$21\frac{33}{35}$	$\frac{24}{35}$	$1\frac{13}{35}$	$2\frac{26}{35}$	$5\frac{17}{35}$
	15.0	$68\frac{23}{64}$	$14\frac{22}{35}$	$\frac{16}{35}$	$\frac{32}{35}$	$1\frac{29}{35}$	$3\frac{23}{35}$

## 4.2 碼框結構(Frame Structure)

IEEE802.16a OFDM Mode 無線都會網路標準規範的碼框(Frame)，是由 OFDM 符元所構成的，其中碼框又分成下鏈(Downlink, DL)碼框及上鏈(Uplink, UL)碼框，DL 碼框包含 DL Preamble，碼框控制標頭(Frame Control Header, FCH)，DL burst，如圖 4.2.1 所示，而 UL 碼框則是包含 Initial Ranging，BW requests，UL Preamble，UL burst，如圖 4.2.2 所示。

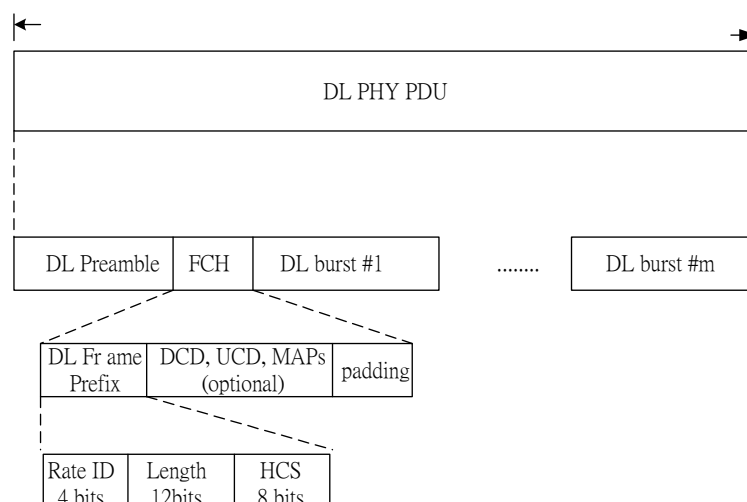


圖 4.2.1 IEEE 802.16a Downlink 碼框結構

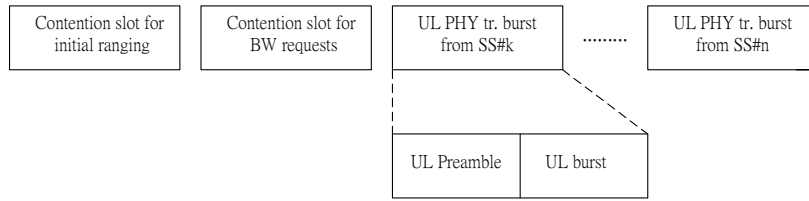


圖 4.2.2 IEEE 802.16a Uplink 碼框結構

OFDM 符元在時域上的結構如圖 4.2.3 所示， $T_b$  為有效的符元區間，將有效的符元區間最後的  $T_g$  長度複製成為前置循環信號(Cyclic Prefix)，結合  $T_b$  與  $T_g$  就是一個完整的 OFDM 符元。

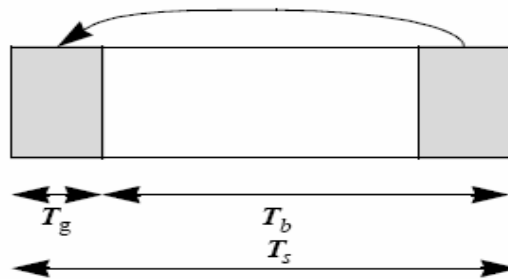


圖 4.2.3 OFDM 符元結構(Time Domain)

OFDM 符元在時域上的結構如圖 4.2.4 所示，每個符元由 256 個頻域信號所組成，其中 192 子載波負責傳送資料，8 個領航信號(Pilot Signal)作為估算的輔助工具，56 個無效的子載波(Null Carriers)，56 個 Null Carriers 包括 1 個 DC Carrier，27 個 Null Carriers 給上 Guard Band 使用，28 個 Null Carriers 給下 Guard Band 使用。

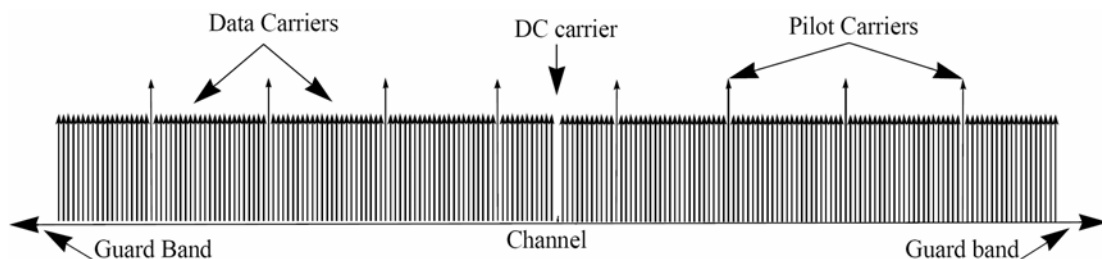


圖 4.2.4 OFDM 符元結構(Frequency Domain)

IEEE 802.16a OFDM Mode 下 OFDM 符元主要參數如表 4.2.1 所示：

表 4.2.1 IEEE 802.16a OFDM Mode 之 OFDM 符元主要參數

Parameter	Value
$N_{FFT}$	256
$N_{used}$	200
$F_s / BW$	Licensed channel bandwidths which are multiples of 1.75 MHz and license- exempt:8/7, any other bandwidth: 7/6
$T_g / T_b$	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Number of lower frequency guard carriers	28
Number of higher frequency guard carriers	27
Frequency offset indices of guard carriers	-128, -127, ..., -101 and 101, 102, ..., 127
Frequency offset indices of BasicFixedLocationPilots	-84, -60, -36, -12 12, 36, 60, 84
Subchannel number: Allocated frequency offset indices of carriers	1: $\{-88, \dots, -76\}, \{-50, \dots, -39\}, \{1, \dots, 13\}, \{64, \dots, 75\}$ 2: $\{-63, \dots, -51\}, \{-25, \dots, -14\}, \{26, \dots, 38\}, \{89, \dots, 100\}$ 3: $\{-100, \dots, -89\}, \{-38, \dots, -26\}, \{14, \dots, 25\}, \{51, \dots, 63\}$ 4: $\{-75, \dots, -64\}, \{-13, \dots, -1\}, \{39, \dots, 50\}, \{76, \dots, 88\}$

Downlink 與 Uplink 傳送機的架構如圖 4.2.5 及圖 4.2.6 所示:

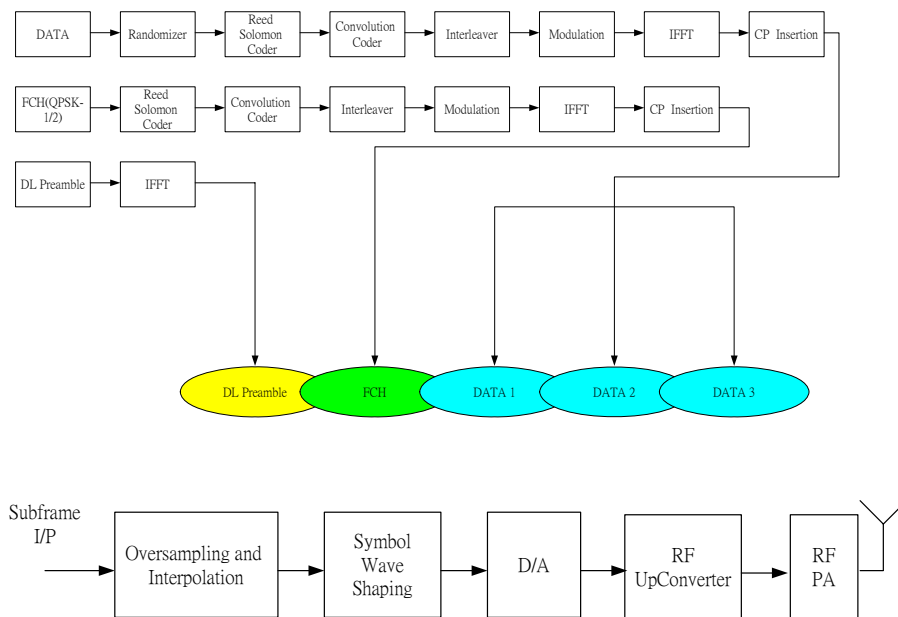


圖 4.2.5 IEEE 802.16a Downlink 傳送機架構

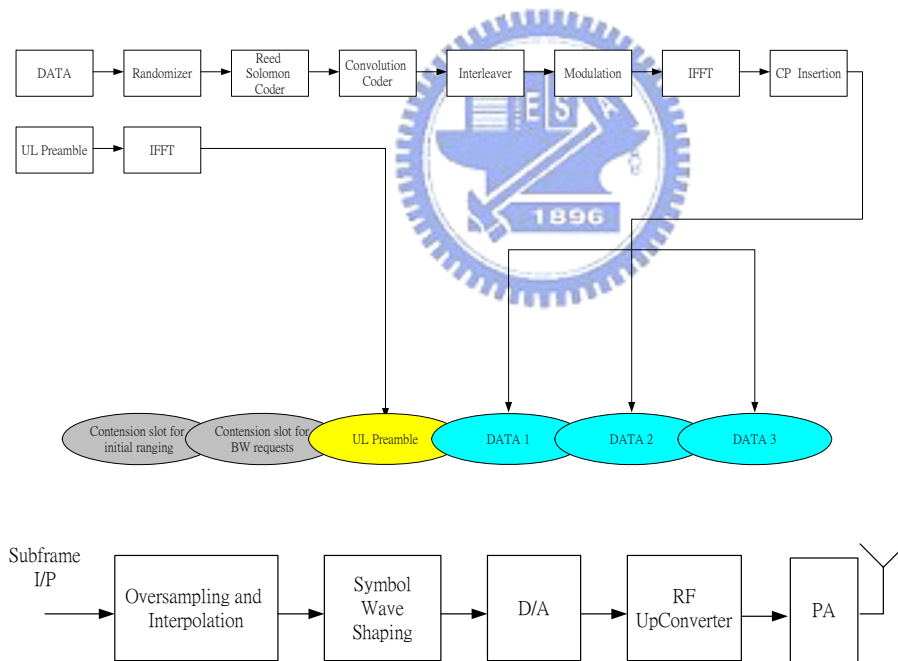


圖 4.2.6 IEEE 802.16a Uplink 傳送機架構

#### 4.2.1 Downlink 碼框結構

DL 碼框包含 DL Preamble、FCH 及 DL burst 所組成，分別介紹如下：

**DL Preamble**：主要是用來當成為同步過程的輔助工具，包括 DL Preamble 能量偵測、載波頻率偏移估算、碼框同步、保護區間長度估測與通道估測。DL Preamble

是由兩個 OFDM 符元構成，其架構如圖 4.2.7 所示。

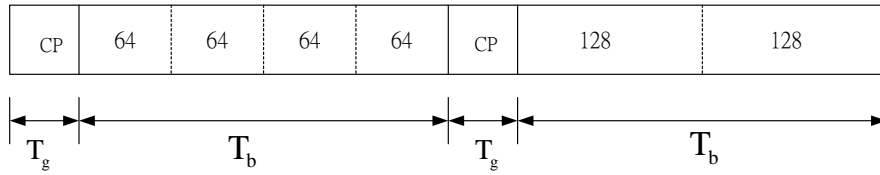


圖 4.2.7 DL Preamble

第一個 OFDM 符元是由 4 個相同內容、週期為 64 個取樣點的短訓練符元所組成，第二個 OFDM 符元由 2 個相同內容、週期為 128 個取樣點的長訓練符元所組成。CP( Cyclic Prefix)是用來防止符際干擾(Inter Symbol Interference, ISI)，其長度由基地台根據通道的狀況而決定。 $T_g$  代表 CP 的長度，在 IEEE 802.16a 無線都會網路標準中，定義了四種保護區間長度，分別是 8 個取樣點、16 個取樣點、32 個取樣點、64 個取樣點。 $T_b$  代表 IFFT/FFT 區間，其中第一個 OFDM 符元由序列  $S_{-100,100}$  經 IFFT 所得到。其中  $S_{-100,100}$  定義為

$$\begin{aligned}
 S_{-100,100} = & \{1 + j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 1 - j, 0, 0, 0, -1 + j, \\
 & 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 1 - j, 0, 0, 0, -1 + j, \\
 & 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, 1 - j, 0, 0, 0, -1 + j, \\
 & 0, 0, 0, 1 - j, 0, 0, 0, 1 - j, 0, 0, 0, 1 - j, 0, 0, 0, -1 - j, 0, 0, 0, 1 + j, \\
 & 0, 0, 0, -1 + j, 0, 0, 0, -1 + j, 0, 0, 0, -1 + j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, \\
 & -1 - j, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1 - j, 0, 0, 0, 1 - j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, \\
 & -1 - j, 0, 0, 0, -1 + j, 0, 0, 0, 1 - j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, -1 + j, 0, 0, 0, \\
 & 1 - j, 0, 0, 0, -1 - j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, -1 + j, 0, 0, 0, -1 - j, 0, 0, 0, \\
 & 1 + j, 0, 0, 0, 1 - j, 0, 0, 0, -1 - j, 0, 0, 0, 1 - j, 0, 0, 0, 1 + j, 0, 0, 0, \\
 & -1 - j, 0, 0, 0, -1 + j, 0, 0, 0, -1 + j, 0, 0, 0, -1 - j, 0, 0, 0, 1 - j, 0, 0, 0, \\
 & -1 + j, 0, 0, 0, 1 + j\} * \sqrt{2} * \sqrt{2}
 \end{aligned}$$

第二個 OFDM 符元也是由序列  $S_{-100,100}$  經 IFFT 所得到。 $S_{-100,100}$  定義為





5	64QAM 3/4
6-15	Reserved

碼框控制標頭是採用 QPSK 調變，編碼率為 1/2 之里德所羅門碼 (Reed-Solomon Codes)及迴旋碼(Convolutional Codes)。碼框控制標頭在碼框組合程序中經過里德所羅門編碼，迴旋編碼，交錯(Interleaving)，調變映射程序 (Modulation Mapping Process)，領航信號(Pilot Signal)插入與 OFDM 調變。

**Data Symbol:** 符元由 256 個頻域信號所組成，其中包含 192 個真正使用的子載波負責傳送資料、8 個領航信號(Pilot Signal)與 56 個虛擬子載波。所有在 DATA 中的資料位元都要先經過隨機性發生程序(Randomization)，再經過里德索羅門編碼，迴旋編碼，交錯(Interleaving)，調變映射程序(Modulation Mapping Process)，領航信號(Pilot Signal)插入與 OFDM 調變。

#### 4.2.2 Uplink 碼框結構

UL 碼框包含 Contention Slot for Ranging Request(RNG)、Contention Slot for BW requests、DL Preamble 及 UL burst 所組成,分別介紹如下:

**Contention Slot for Ranging Request:**在此期間內將執行 Initial Ranging，Initial Ranging 目的就是對於一個新用戶端(New Subscriber)來調整其時間偏移及傳送功率，使得此新用戶端和基地台做適當的通訊。Initial Ranging 傳輸架構是由一個 DL Preamble 及一個採用最堅固的編碼和調變方式的 OFDM 符元所構成。至於 DL Preamble 的架構則是由圖 4.2.8 表示。

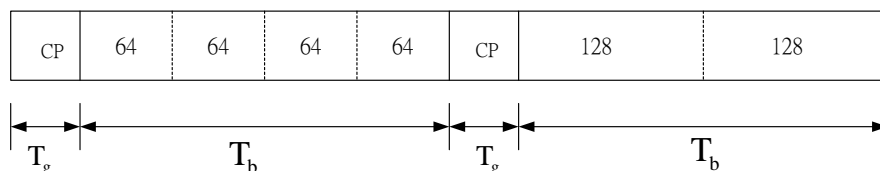


圖 4.2.8 Long Preamble 架構

**Contention Slot for BW requests:**在此期間內將執行 Bandwidth Requests，也就是

說用戶端(Subscriber)對基地台提出頻寬配置的要求。

**UL Preamble:** UL Preamble 是由一個 OFDM 符元構成，其架構如圖 4.2.9 所示。

CP Guard Period， $T_g$  代表 Guard Interval duration， $T_b$  代表 IFFT/FFT Period，此

OFDM 符元由序列  $S_{-100,100}$  經 IFFT 所得到。其中  $S_{-100,100}$  定義為

$$S_{-100,100} = \{ 1, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, -1, \\ 0, 1, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, 0, 1, 0, 1, 0, \\ 1, 0, 1, 0, -1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, \\ 0, 1, 0, 1, 0, -1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, 0, \\ 1, 0, 1, 0, -1, 0, 1, 0, 1, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, 1, \\ 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, \\ 1, 0, -1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, \\ 0, -1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, 0, \\ -1, 0, -1, 0, -1, 0, 1, 0, 1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, 0, -1, \\ 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, 1, 0, 1, 0, \\ 1, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, 1, 0, 1, 0, -1, 0, -1, 0, -1, \\ 0, 1, 0, -1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, 0, -1, 0, -1 \} * \sqrt{2} * \sqrt{2}$$

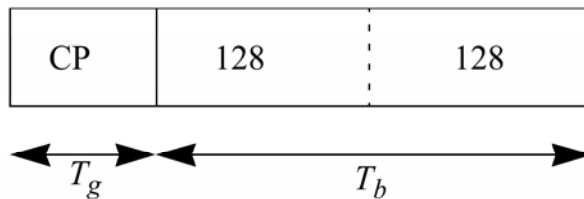


圖 4.2.9 UL Preamble

其中 OFDM 符元乘上兩個  $\sqrt{2}$ ，第一個  $\sqrt{2}$  是為了將 Preamble 信號歸一化 (Normalization)，也就是希望頻域上平均載波資料功率為一，而第二個  $\sqrt{2}$  則是增加 3dB 的功率。

**Data Symbol:** 所有在 DATA 中的資料位元都要先經過隨機性發生程序 (Randomization)，再經過里德索羅門編碼，迴旋編碼，交錯 (Interleaving)，調變映射程序 (Modulation Mapping Process)，領航信號 (Pilot Signal) 插入與 OFDM 調變。在所有頻域子載波中，有八個子載波負責傳送領航信號 (Pilot Signal)。這八個子載波的位置分別為 -84、-60、-36、-12、12、36、60 與 84。領航信號一律採用 BPSK 調變，也就是  $\pm 1$ 。在 Downlink 中，這八個領航信號的值是由式 (4.2.1)

決定，

$$\begin{aligned}
 c_{-84} &= c_{-36} = c_{60} = c_{84} = 1 - 2w_k \\
 c_{-60} &= c_{-12} = c_{12} = c_{36} = 2w_k - 1
 \end{aligned}
 \tag{4.2.1}$$

而在 Uplink 中，這八個領航信號的值則是由式(4.2.2)決定

$$\begin{aligned}
 c_{-84} &= c_{-36} = c_{12} = c_{36} = c_{60} = c_{84} = 1 - 2w_k \\
 c_{-60} &= c_{-12} = 2w_k - 1
 \end{aligned}
 \tag{4.2.2}$$

在式(4.2.1)及(4.2.2)均有個變數  $w_k$ ，其代表的就是第  $k$  個 OFDM 符元所要調變的值，至於  $w_k$  要如何決定，則是由圖 4.2.10 PRBS 架構產生。

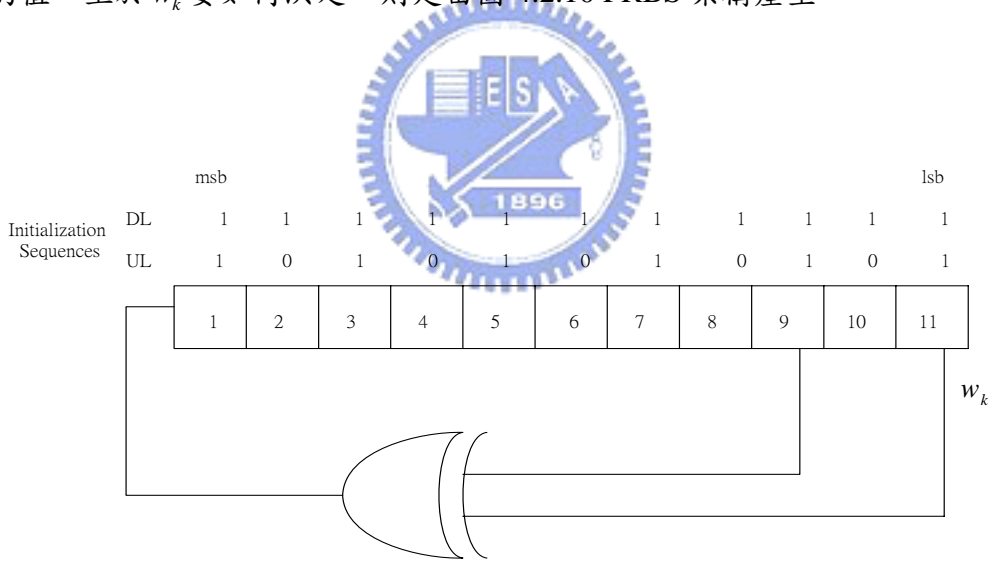


圖 4.2.10 PRBS 架構

其中在 PRBS 架構下，Downlink 時的初始序列是 1111111111，相對的，Uplink 時的初始序列則是 1010101010。