

第三章 IEEE802.16a 無線都會網路標準介紹

論文中發展演算法所使用之平台皆是以 IEEE802.16a OFDM Mode 無線都會網路為基礎；在此系統之下，我們考量接收機之設計。以下，我們首先介紹 IEEE 802.16a 無線都會網路。接著，我們模擬 IEEE 802.16a 在同步情況下的位元錯誤率。

3.1 無線寬頻接取系統(BWA)簡介

無線接取可分為固定接取及移動接取。其中固定接取是從交換節點到固定用戶端的接取方式，它實際上就是 PSTN/ISDN 的無線延伸。至於移動接取則可以分為高速和低速兩種類型，高速移動接取一般可用於蜂窩系統、衛星移動通信系統等等，而低速移動接取系統就如 CDMA 的 PHS 一樣。

寬頻固定接取技術共有三種，分別是**多路多點分配系統(MMDS)**、**歐洲電信標準協會(ETSI)**及**無線通訊服務(WCS)**。寬頻固定無線接取技術代表寬頻接取技術一種新的不可忽略發展趨勢，不僅鋪設快，維護簡單，用戶較密時成本低，而且改變了本地電信業務的傳統觀念，最適於新的網路公司和傳統電信公司及有線電視公司展開有效的競爭。

3.2 碼框結構(Frame Structure)

IEEE802.16a OFDM Mode 無線都會網路標準中的 OFDM 碼框(Frame)，是由 OFDM 符元所構成的，其中碼框又分成下鏈(Downlink)碼框及上鏈(Uplink)碼框，下鏈碼框包含 DL Preamble，碼框控制標頭(Frame Control Header)，DL burst，如圖 3.2.1 所示。而上鏈碼框則是包含 Initial Ranging，BW requests，UL Preamble，UL burst，如圖 3.2.2 所示。

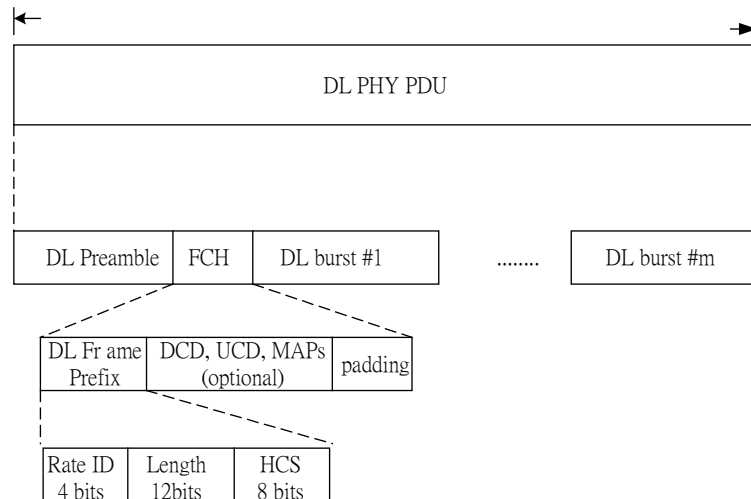


圖 3.2.1 IEEE 802.16a 下鏈碼框結構

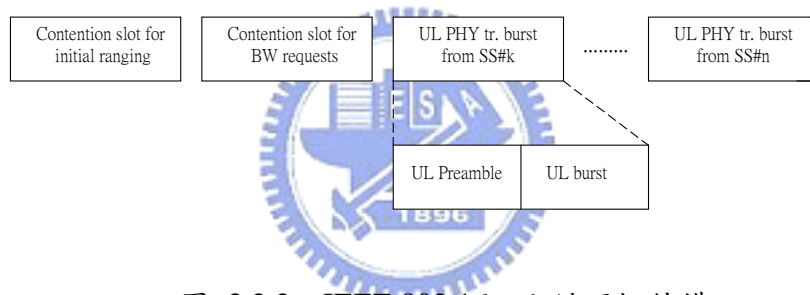


圖 3.2.2 IEEE 802.16a 上鏈碼框結構

其中 DL Burst 以及 UL Burst 均是由整數倍的 DATA 符元所構成，每個 Burst 均是載送不同 Subscriber 所要傳送的資料，圖 3.2.3 及圖 3.2.4 表示的是下鏈碼框及上鏈碼框傳送機架構。每一個 OFDM 符元為 256 個頻域子載波的反復立葉轉換 (IFFT)，在碼框控制標頭(FCH)、DATA 符元中之 256 個頻域信號，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。

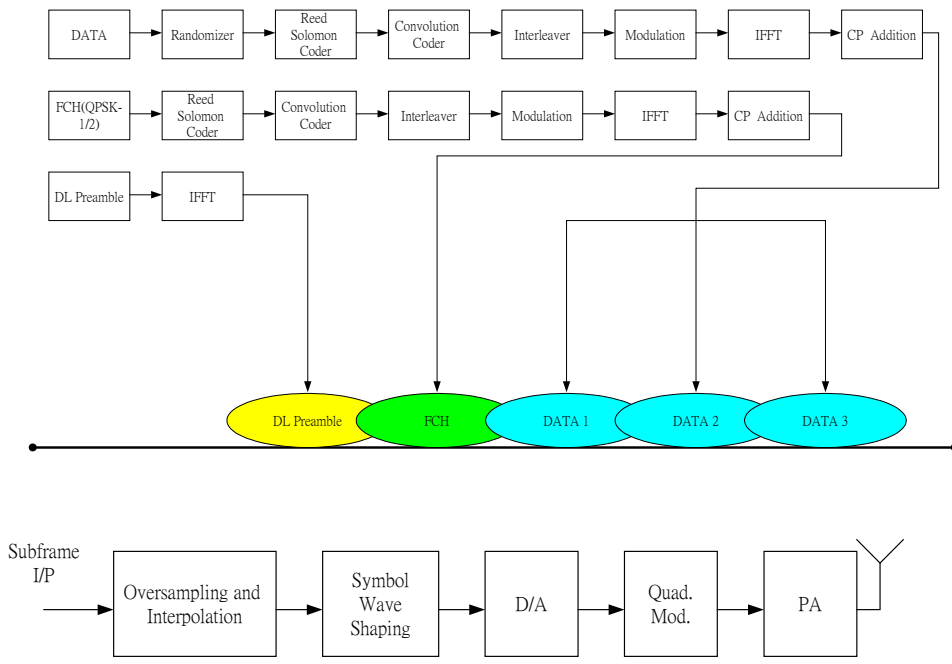


圖 3.2.3 IEEE 802.16a 下鏈碼框傳送機架構

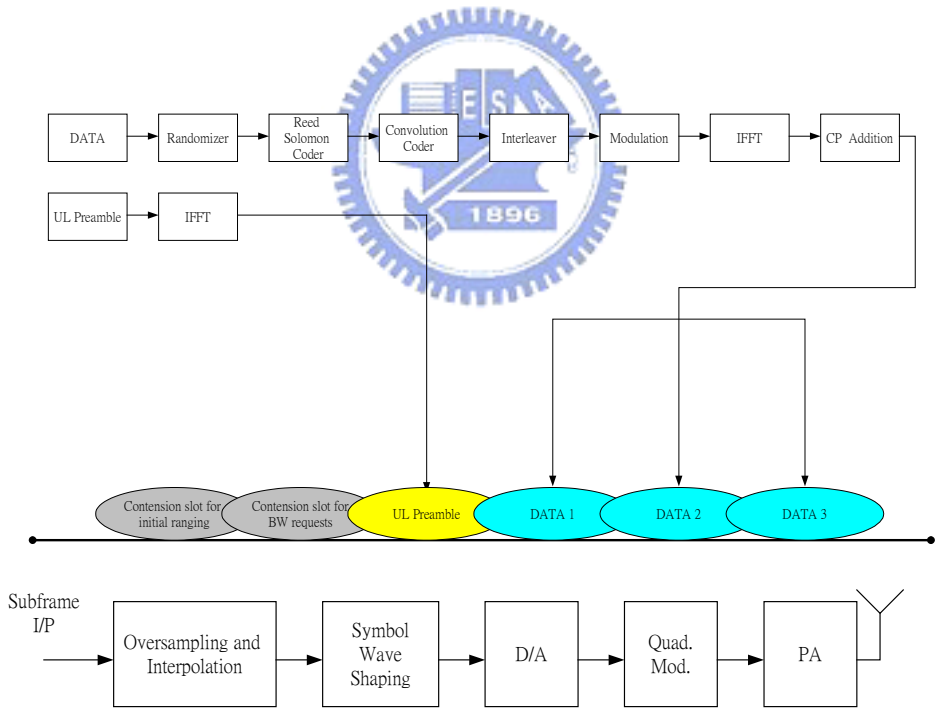


圖 3.2.4 IEEE 802.16a 上鏈碼框傳送機架構

其中兩個 OFDM 符元均乘上兩個 $\sqrt{2}$ ，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。

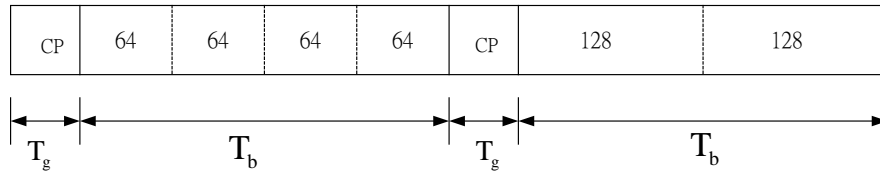


圖 3.2.5 DL Preamble

◇ 碼框控制標頭(FCH)

碼框控制標頭是由三個成分所構成，分別是 DL Frame Prefix、DCD/UCD、Padding。其中 DL Frame Prefix 又可細分成 Rate ID、Length、HCS 三部分，Rate ID 共有 4 個 bits，其定義第一個 DL burst 的通道編碼及調變方式，表 3.2.1 說明 Rate ID 所有內容。Length 定義一個 burst 內的 OFDM 符元的數目，HCS 是一個 8-bit Header Check Sequence，其是被用來偵測 DL Frame Prefix 是否有錯。DCD/UCD 分別是描述下鏈或上鏈每個 burst 的通道編碼及調變方式。Padding 目的是用來填零以構成一個 OFDM 符元。

表 3.2.1 OFDM Rate ID encodings

Rate ID	Modulation RS-CC rate
0	QPSK 1/2
1	QPSK 3/4
2	16QAM 1/2
3	16QAM 3/4
4	64QAM 2/3
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 之里德索羅門碼 (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。

◇ DATA 符元

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。



● 上鏈碼框

◇ Contention Slot for Initial Ranging

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 3.2.6 表示。

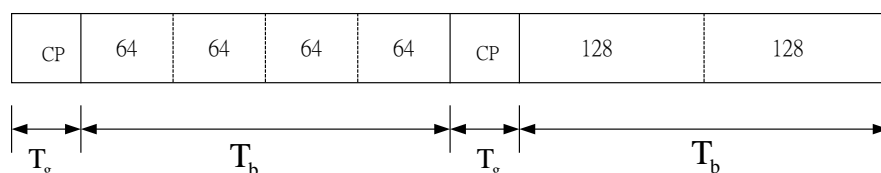


圖 3.2.6 Long Preamble 架構

◇ DATA 符元

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 ± 1 。在下鏈(Downlink)時，這八個領航信號的值是由(3.1)式決定

$$\begin{aligned}c_{-84} &= c_{-36} = c_{60} = c_{84} = 1 - 2w_k \\c_{-60} &= c_{-12} = c_{12} = c_{36} = 2w_k - 1\end{aligned}\tag{3.1}$$

而在上鏈(Uplink)時，這八個領航信號的值則是由(3.2)式決定

$$\begin{aligned}c_{-84} &= c_{-36} = c_{12} = c_{36} = c_{60} = c_{84} = 1 - 2w_k \\c_{-60} &= c_{-12} = 2w_k - 1\end{aligned}\tag{3.2}$$

在(3.1)及(3.2)式均有個變數 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 3.2.8 PRBS 架構產生。

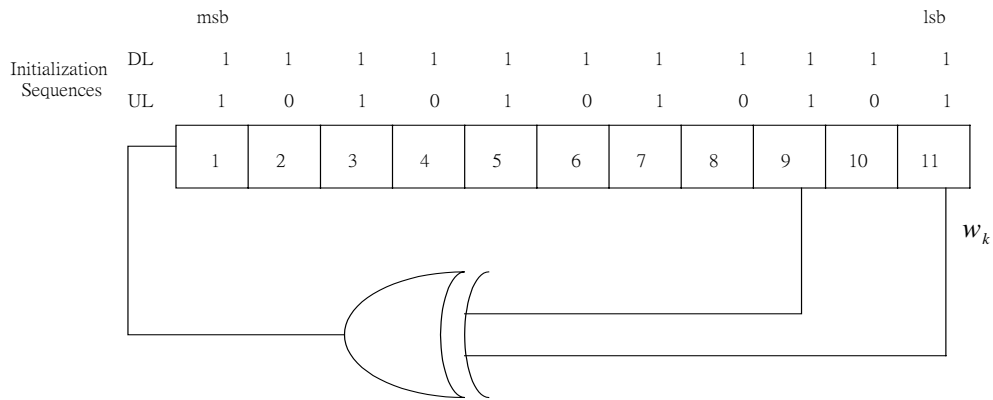


圖 3.2.8 PRBS 架構

其中在 PRBS 架構下，下鏈時的初始序列是 1111111111，相對的，上鏈時的初始序列則是 1010101010。IEEE802.16a OFDM Mode 是一種以碼框(Frame)格式為基礎的連續傳輸技術，圖 3.2.9 說明了此傳輸架構。

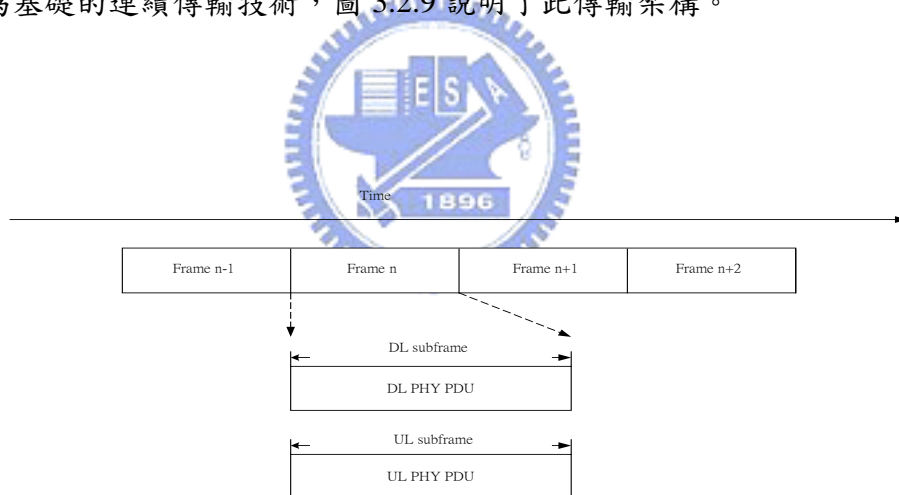


圖 3.2.9 OFDM 碼框架構

表 3.2.2 列出了 IEEE 802.16a OFDM Mode 之 OFDM 符元主要參數。

表 3.2.2 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: $\{-75, \dots, -64\}, \{-13, \dots, -1\}, \{39, \dots, 50\}, \{76, \dots, 88\}$

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 802.16a 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。

DL Preamble 是用來作為同步用途的，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算。而 UL Preamble 也是用來執行同步，包括載波頻率偏移估算、通道估測。至於 DL Preamble 及 UL Preamble 架構圖我們已於圖 3.2.5 及圖 3.2.7 介紹過。

3.3 IEEE 802.16a 標準架構

在 IEEE 802.16a OFDM Mode 中以 OFDM 技術為基本架構，規範的典型傳輸速率以表 3.3.1 表示，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，至於其他的傳輸速率則請參考[19]。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索羅門碼 (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，整理如表 3.3.2 所示，說明針對不同調變方式，其所對應到的編碼率。



表 3.3.1 IEEE 802.16a OFDM Mode 標準中典型傳輸速率(Mbps)

BW (MHz)	T_g	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
		1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	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

7 MHz (ETSI)	$T_b/32$	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
20 MHz (U-NII)	$T_b/16$	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 3.3.2 不同調變方式之編碼率

Modulation	Uncoded Block Size (Bytes)	Coded Block Size (Bytes)	Overall Coding Rate	RS Code	CC Code Rate
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。表 3.2.3 及表 3.2.4 將分別介紹頻帶不需許可執照下及頻帶需許可執照下針對不同的面具其所對應到的子載波間隔頻寬，符元時間及保護區間時間。

表 3.3.3 頻帶不需許可執照下頻寬之主要參數

BW (MHz)		Δf (kHz)	T_b (μs)	T_g (μs)			
				$T_b/32$	$T_b/16$	$T_b/8$	$T_b/4$
$f_s/BW=8/7$	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 3.3.4 頻帶需許可執照下頻寬之主要參數

BW (MHz)		Δf (kHz)	T_b (μs)	T_g (μs)			
				$T_b/32$	$T_b/16$	$T_b/8$	$T_b/4$
(MMDS)	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
	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	$68\frac{23}{64}$	$14\frac{22}{35}$	$\frac{16}{35}$	$\frac{32}{35}$	$1\frac{29}{35}$	$3\frac{23}{35}$

3.4 模擬結果

我們建立了無線都會網路(Wireless-MAN)實體層的模擬平台。頻寬 3MHz，保護區間長度是 32 個取樣點為標準。在不同調變方式及編碼率下，我們將有位元錯誤率(Bit Error Rate, BER)對 E_b/N_0 之比較。假設資料長度 LENGTH 1000 Bytes 為例，其中傳送端使用數位濾波器為 Square-Root Raised Cosine 濾波器，升高取樣頻率兩倍(Up-sampling, $M=2$)，接收端使用數位濾波器為 Square-Root Raised Cosine 濾波器，降低取樣頻率兩倍(Down-sampling)，並假設所有參數皆已同步。模擬結果示於圖 3.4.1 與 3.4.2。其中橫軸定義為資訊位元(Information Bits)之 E_b/N_0 ，縱軸為位元錯誤率。模擬中所用到的多路徑通道模型將留待下一章講通道估測時一併介紹。

我們在以下的同步條件，進行本章的電腦模擬。

- 載波頻率與取樣頻率同步
- 完全準確 DL Preamble 能量偵測(DL Preamble Detection)
- 碼框同步(已抓到總合通道(Overall Channel)最大一根為基準)
- 正確通道估測(Channel Estimation)
- 完美的線性功率放大器(Linear Power Amplifier)
- 射頻前級電路(RF Front-End)之 I-Q 平衡(I-Q Balance)
- 沒有相位雜訊(Phase Noise)
- 零點強迫(Zero-Forcing)解調
- 軟式解碼(Soft-Decoding)
- 模擬所用的運算資料皆為浮點數(Floating Point)



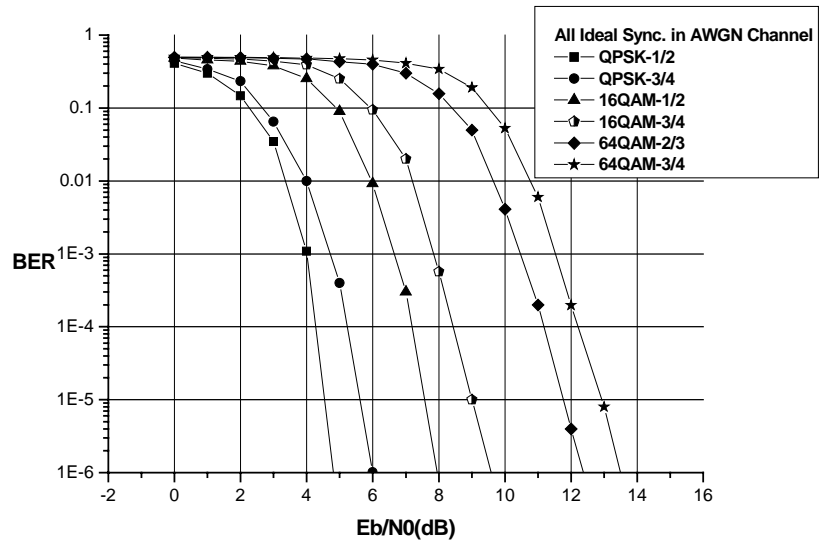


圖 3.4.1 各種調變方式及編碼率在 AWGN 通道中之 BER vs. E_b/N_0

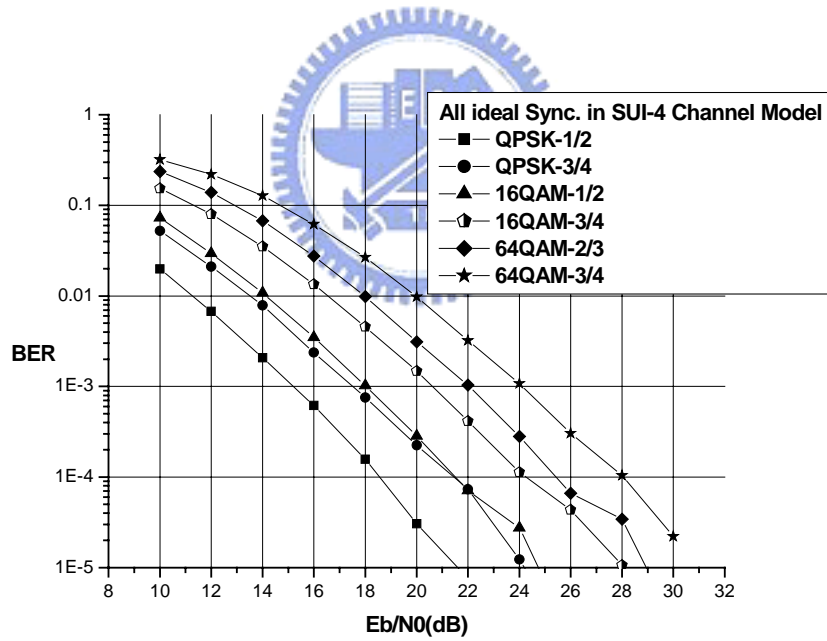


圖 3.4.2 各種調變方式及編碼率在多路徑通道中之 BER vs. E_b/N_0