

衛星通訊通道編碼之分析和研究

陳金塔¹、孔明隆²

¹ 高苑科技大學電機工程所-副教授

² 航空技術學院航空電子系-講師

摘要

本論文主要探討衛星數位通訊(Digital Broadcasting-Satellite, DBS)。實驗設定 RF Output Level 於各式的環境在-10dB 至-45dB 之間,並將不同調變方式以 DBS2/ S 訊號產生器模擬 DBS 信號源,經 DVStation3 應用軟體及 R&S SFE100 射頻訊號產生器,以四相相移鍵控(QPSK)傳送模式,選擇五種不同之編碼率 Code Rate(1/2、2/3、3/4、5/6、7/8) 以及四種符元訊號 Symbol Rate(20、22、24.5、27.5),交叉量測,並將測試條件同步設定於 SFE100 射頻訊號產生器,最後組合所有實驗所產生的位元錯誤率 BER(Bit Error Rate)值,來做分析比較。最後得知 Output Level-45dB 時以編碼率 1/2 之 BER(錯誤位元率)較其它編碼率(Code Rate)低,而編碼率 7/8 BER 值因串流編碼率高所以產生 BER 就越高,其結果呈現明確印證可行。

關鍵詞：DBS、BER、QPSK、RS、FEC。

1. 前言

近年來,衛星訊號比起其它傳輸方式可傳播範圍極為廣泛。但,由於衛星訊號於人口密集地區,傳輸過程中會隨著高雜訊及通道干擾使得訊號衰減嚴重,所以相對的所產生傳輸誤碼率也因此提高。亦隨著數位技術的飛速發展,為了改善衛星數位通訊的傳輸品質,故傳輸系統讓資料能在傳送過程中得到足夠的保護,於通道編碼採用內部編碼(迴旋編碼, Convolutional Coder)、內部交錯器(Convolutional Interleaver)、外部編碼(Reed Solomon Encoder, RS)、Baseband Shaping 以及調變(Gray-coded QPSK)來提升糾錯編碼能力,這樣才能保持高傳輸率及品質可靠度。

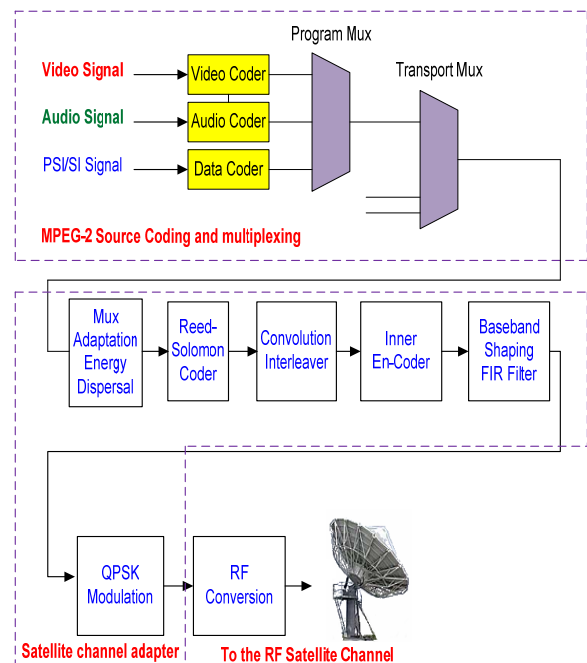


圖 2-1 DBS 傳輸系統架構圖

2. 系統描述

2.1 DBS 系統架構

DBS(Digital Broadcasting-Satellite)由來源編碼(Soure Coding)採用 MPEG-2 壓縮技術傳輸影音訊號、基頻與物理界面(Baseband and Physical interface)、亂碼器(Randomizer)、里德

所羅門碼(Reed-Solomon Coder)、迴旋交錯器(Convolutional Interleaver)、位元到 M 元組轉換(Byte To m-tuple Conversion)、差分編碼(Differential encoding)、基頻形成(Baseband shaping)、調變與物理界面(Modulation and physical interface)。來源編碼部份即 MPEG-2(Moving Picture Experts Group)之系統流程,是將影像及聲音經壓縮處理後轉變成為 188 Bytes 的封包,衛星通道轉換則是將 MPEG-2 所傳送過來的 188 Bytes 封包進行加工處理使得訊號經過 QPSK 調變載波於衛星發射時降低失真之機率,過程並透過兩層糾錯功能的編碼方式,萬一傳送過程出現失真現象即可利用客戶接收端進行還原作業。DBS 傳輸系統架構圖,如圖 2-1 所示。

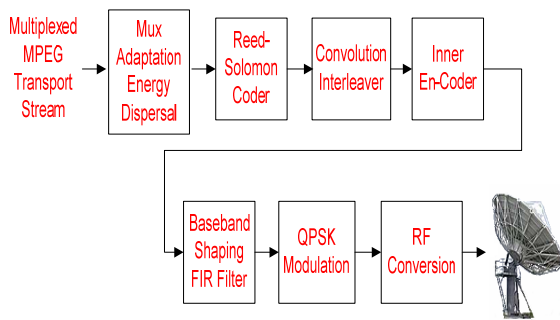


圖 2-2 DBS 系統發射端

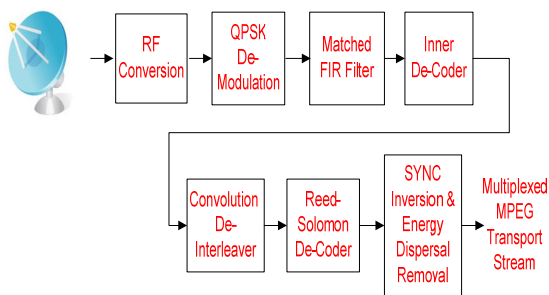


圖 2-3 DBS 系統接收端

DBS 系統發射端(如圖 2-2 所示),將壓縮為 MPEG-2 傳送 188Bytes 封包透過亂碼器(Randomizer)進行能量分散後,經由具有糾錯能力的編碼方式之里德·所羅門編碼器(Reed-Solomon coder)運算方式,使用 RS(204, 188, t=8)方式進行編碼,也就是將亂碼器處理後 188 Bytes 封包再加上 16Bytes 同位元檢查碼變成 204 Bytes,每個封包錯誤失真

不超過 8 Bytes 即可進行糾錯,傳輸過程錯誤失真往往都是連續的,這連續錯誤失真幾乎大於 8 Bytes,所以利用迴旋交錯器(Convolution Interleaver)將原本的資料訊息打散,重新封裝到其他的資料封包,即可降低傳送發生一連串的錯誤機率。而為了防止資料因傳輸距離較長而發生嚴重干擾,加入內部編碼器(Inner Coder),最後再將封包做基頻波(Baseband Shaping)處理,將數位"1"和"0"的訊號經過 QPSK 調變處理,再將調變後的訊號傳至 RF 傳送發射至衛星,而接收器則反之以相同原理將接收之數位"1"和"0"的訊號,經過 QPSK 調變、基頻處理解碼、解壓等程序還原訊號(如圖 2-3 所示)。

2.2 來源編碼(Source Coding)

DBS 的標準,影音信號編碼方式或系統多工方式都符合 MPEG-2 之標準,主要的區別於傳輸系統採用不同的方式,運用於其他不同的傳輸環境。

DBS 系統最初的目標是達到傳輸之標準,其中 Video Coder 的 SDI 串行介面數據率為 270Mbps 的 Video 信號(ITU-R 601)格式為 MPEG-2 標準,經 MPEG-2 壓縮格式,資料傳輸率為 2~10Mbps 的 Video Packetized Elementary Stream(Video PES)信號格式。Audio Coder 輸入 1.5Mbps 的 Audio 信號,輸出 MPEG-2 壓縮格式(Dolby Digital 或 AC-3),資料傳輸率在 100~400Kbps Audio Packetized Elementary Stream(Audio PES)信號資料。最後於 Data Coder PES 的資料後,多工(MUX)變成一個節目(Program)源。

將多個節目源經傳輸多工器(Transport Mux)後,成為 MPEG-2 格式的傳輸封包(Transport Stream Packet),由 DBS 系統的各項參數確定進入傳輸多工器的節目源數量,因此不同參數設定將會有不一樣的發射資料容量。

2.3 通道編碼(Channel Coding)

DBS 系統架構中的通道編碼(Channel

Coding)由亂碼器 (Randomizer)、里德索羅門碼 (Reed-Solomon Coder)、迴旋交錯器 (Convolutional Interleaver)、內編碼器 (Inner Coder) 所組成，接續將介紹通道編碼方式與特性。

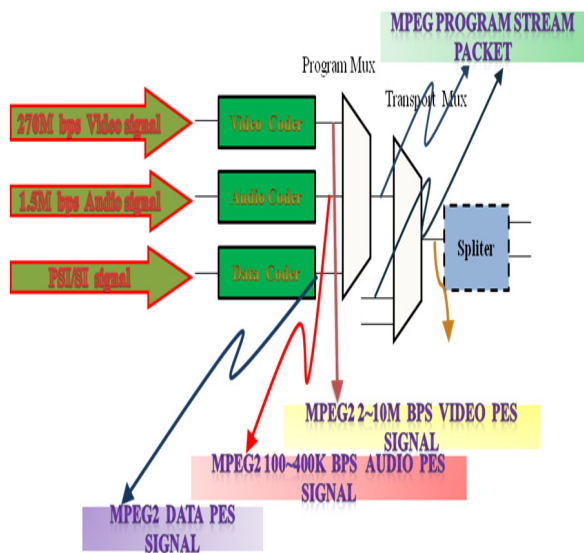


圖 2-4 來源編碼架構圖

2.3.1 亂碼器 (Randomizer)

在進入亂碼器前，傳送入的資料流都會編排成長度為 188 個位元組傳輸封包，如圖 2-5 所示。每個封包都包含還有一個同步位元組 (Sync-Word Byte) 和 187 個資料位元組，每個傳輸封包的同步位元組後的第一個位元組開始進行能量分散，亂碼器 (Randomizer) 是由 15 個移位暫存器和兩個互斥或閘 (XOR) 以及一個 AND 閘所構成。亂碼器的產生多項式為 $1+X^{14}+X^{15}$ ，如圖 2-6 所示。首先從互斥或閘 (XOR) 產生一串的隨機亂碼器之二進位數列 PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) 多項式產生器與資料位元組 (同步位元組除外) 做 Exclusive-OR 運算後傳到外部編碼器，以達到能量分散的目的 (Energy Dispersal)。



圖 2-5 MPEG-2 傳輸封包示意圖

原始資料正常情況會產生一連串 1 或 0 的

資料，如連續發射端傳送 1000 個 0 時，接收端極大的可能會誤判成 999 或者是 1001 個 0，到時會造成接收端時脈無法同步的後果。所以通道編碼 (Channel Coding) 的亂碼器 (Randomizer) 主要目的於降低傳送一長串連續的 1 或 0 機率，避免造成接收端作時脈回復 (time recovery) 時有不良後果。

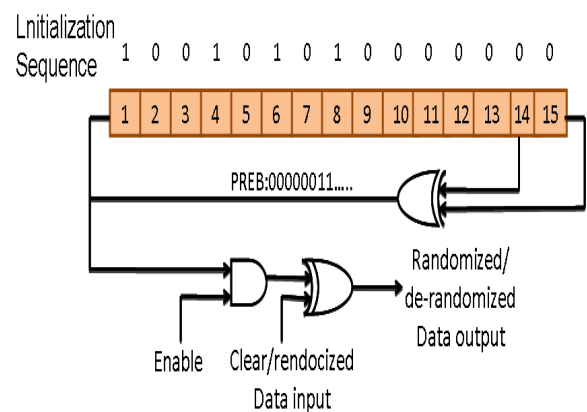


圖 2-6 亂碼器之架構示意圖

2.3.2 里德索羅門碼 (Reed-Solomon Coder)

DBS 編碼器為里德索羅門碼 (Reed-Solomon Coder)，資料流 188 個位元組經過 RS(204, 188, t=8) 定義於 GF(256) 的 (255, 239, t=8) 資料流為 204 個位元組，主要目的，在最小的固定的頻寬內，降低發生傳輸錯誤的機率，DBS 的里德索羅門碼 (Reed-Solomon code) (204, 188, T=8) 碼，編碼效率為 $188/204 \approx 0.92$ ，可以糾正一個 RS 碼字內的不超過 8 個位元組的誤碼。選擇這一 RS 碼字長度完全是為了與 MPEG-2 的 TS 包相容，即每一個 TS 包獨立進行 RS 編碼保護，Reed-Solomon code 的輸入是長度為 188 位元組的 MPEG-2 TS 封包，插入 16 位元組的保護位元組於原來的 MPEG-2 TS 封包之後這個長度為 204 位元組的 MPEG-2 TS 封包在傳送過程中如果發生錯誤，只要錯誤的個數不超過 8 個位元組，接收端的 RS 解碼器就能夠將錯誤糾正回來。RS 編碼是性能優越的錯誤修正碼，當某個 RS 碼字在接收端解碼時出現無法糾正的錯誤時，誤碼集中在一個 TS 包中，不

會影響到其他的 TS 包，便於分接器進行差錯指示；同時便於分接器提取 TS 包的同步，簡化了 TS 包同步提取系統結構。其抗突發位元錯誤(Burst Error)的能力是最佳，所以常被應用於廣泛的通訊領域，如圖 2-7 所示，需要注意的是，16 個位元組的校驗資料是由包括 TS 同步或反轉同步在內的整個 TS 包的資料生成的，也就是說 RS 編碼保護的作用範圍也包括 TS 同步在內。

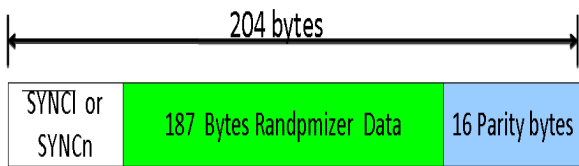


圖 2-7 插入 RS 碼後的 MPEG-2 封包

RS(204,188,t=8)是定義 GF(256)的 RS(256,239,t=8)縮寫而成，GF(256)的本質多項式為

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$$

RS(256,239,t=8)的生成多項式為

$$g(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1)(x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15})$$

λ 為 GF(256)的本質元素

2.3.3迴旋交錯器(Convolutional Interleaver)

迴旋交錯器(Convolutional Interleaver)或稱為交錯器(Inner Interleaver)，資料流為204個位元組經過迴旋交錯器由12個分支，打散 RS(204, 188, t=8)錯誤位元組以能夠糾錯更多錯誤位元組輸出資料流為204個位元組，如圖 2-7所示。

Reed-Solomon code主要功用是用來提高校正傳輸時隨機突發的位元錯誤，然而在傳送過程中，有些時候會有一連串錯誤發生的機率，DVB-S系統RS碼能夠糾正8個位元組的糾錯能力，為了要增加RS碼(Reed-Solomon code)的錯誤校正能力，所以於RS碼後增加一組迴旋交錯器(Convolutional Interleaver)，迴旋交錯器

深度為I=12 Bytes，17×12=205，按照RAM矩陣實現Byter交錯器時，發射端和接收端的寫入及讀取順序，如圖2-8所示。

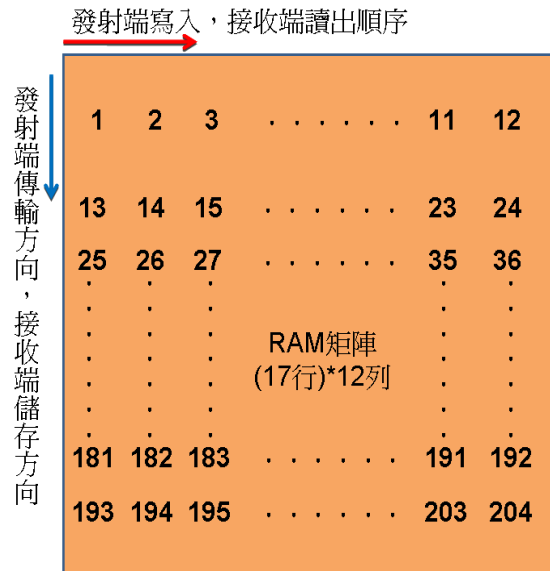


圖 2-8 17 行 12 列的 RAM 矩陣

迴旋交錯器先把同一封包的資料打散到數個不同的封包去。也就是傳送一封包的資料是來自於原先數個不同封包的部份資料。當傳輸過程中發生一連串錯誤時，這些錯誤將在還原位置後，分屬於原先數個不同的封包。如此，每一個原來封包所發生錯誤數就可減少，於是RS解碼器就能夠有能力更正錯誤。

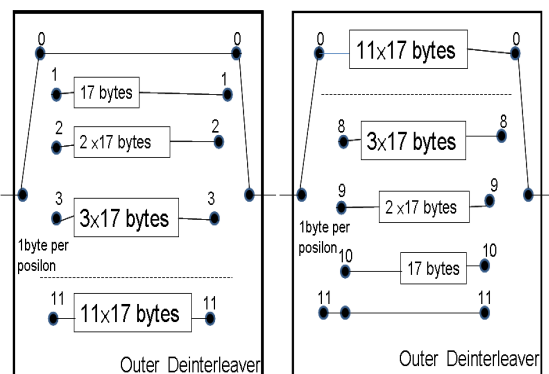


圖 2-9 外交錯器及反交錯器

迴旋交錯器是由12個分支所組成，交錯器與反交錯器在原理上是一樣的，但在支路延時上正好相反，每一個各分支的時延就都為一個恒定值，都可以用深度為I×M (I=0~11, M=17) 個位

元組的(First-In & First-Out, FIFO)移位暫存器所組成的時間，因此經過交錯與反交錯後資料的結構和順序並沒有改變，只是延時了一個固定的時間，即每一個移位暫存器的長度是 Byte，如圖2-9所示。發射端每個傳輸流的封包資料第一個同步Byte從0支路直接輸出，第二個Byte進入1支路的FIFO移位暫存器，第三個Byte進入2支路的FIFO移位暫存器，依照這種方式進入FIFO移位暫存器，所以會發現發射端的輸出Byte資料順序會是1,13,25,.....,181,193 交錯器深度 $I=12\text{Bytes}$ ，如圖2-8。接收端輸出則是解迴旋交錯器還原Bytes順序則是1,2,3,4,5,.....,204。圖2-8中的(a)和(b)分別為傳送端的迴旋交錯器和接收端的解迴旋交錯器架構示意圖。

簡單說所謂的交錯器與反交錯器的同步是指它們同時從第 n 條支路開始，按照相同的順序依次迴圈向各支路輸入資料和從各支路輸出資料。RS碼字的長度是交錯深度的整數倍，204位元組/ $12=17$ 位元組，即每個RS碼字在各支路中要佔用17個位元組的寄存器(無延時支路除外)。因此個支路移位寄存器的記憶體要以17個位元組為基本單位，為17個位元組的整數倍。

2.3.4 內編碼器 (Inner Coder)

在地面傳輸通道遭受到的高雜訊及干擾是最為嚴重的，外部交錯器深度 $I=12$ 顯然是一定不夠的。為了增強FEC(Forward Error Correction)的能力，所以採用內編碼器(Inner Coding)以及迴旋交錯器(Convolutional Interleaver)相結合，以利於抗地面傳輸通道不良的環境。

內編碼器由迴旋乘積編碼器(Convolutional Encoder)和打孔器(Puncturing Unit)所組成。使用 (n,k,N) 為 $(2,1,7)$ 所形成的迴旋乘積編碼器是由一個長度為6個1 bit之shift-register和modulo-2的加法器組成，如圖2-10所示。一個訊息位元(bit)的輸入將會產生兩個位元的輸出編碼位元，約束長度(Constraint Length) N 為7位元。也就是說，傳送

的資料量是原來的兩倍，其基本的編碼率(coding efficiency或code rate) $\eta = k/n = 1/2$ 。通常迴旋碼中的 n 及 k 值都很小，內編碼器更正錯誤能力會隨著 N 增大而增強，所以在接收端解碼時誤碼率會隨著 N 增大而降低，雖然解碼電路非常複雜的，但是糾正錯誤碼的能力是相對提升的。

DVB-S採用的 $(2,1,7)$ 基本迴旋碼電路，如圖2-8所示。每輸入1 Bit生成2個Bit為 X 、 Y 的生成多項式為

$$G'(x) = x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + 1 \rightarrow 1111001 = 121_d = 171_{oct} \quad (1)$$

$$G''(x) = x^6 + x^4 + x^3 + x + 1 \rightarrow 1011011 = 91_d = 133_{oct} \quad (2)$$

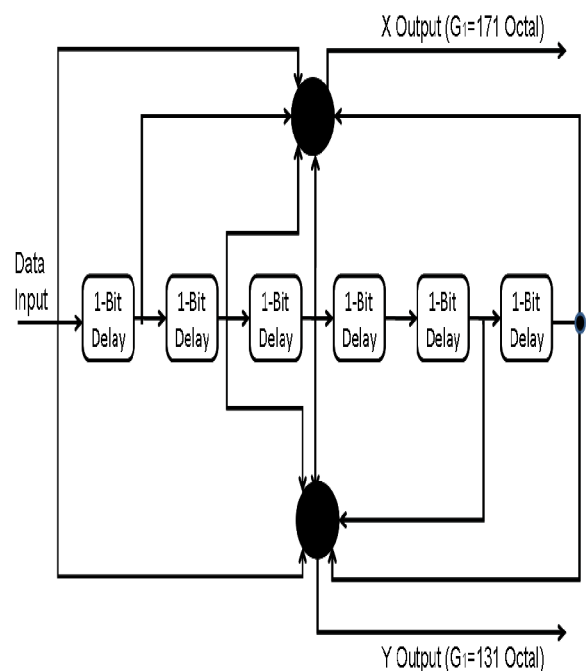


圖 2-10 迴旋乘積編碼器ETSI EN300 744V1.5.1

為了能夠提高的編碼率，就是迴旋編碼器後加上打孔器(Puncturing)方法就是不要將每個輸入位元所產生的兩個輸出位元都傳送出去，就是用來有規則地選擇所產生兩個位元的其中之一或全部送到下一級，如圖 2-11 所示。DBS標準中，總共提供了五種編碼率之選擇：1/2、2/3、3/4、5/6以及7/8，在一定的固定頻寬內可傳送的有效位元率(Bit Rate) 隨著編碼率 (Code Rate) 的減少而增加，越高的編碼率代表錯誤糾正能力越差，如7/8編碼率具有最高的編碼率，但是因串流編碼率高所以錯誤率BER (錯誤位元率)相對提高，1/2或2/3，可獲得較傳輸速效率，但串流編碼率低，相對會產生之BER (錯誤位元率)也較低，DBS系統所使用的編碼率及打孔模型，如表2-1所示。

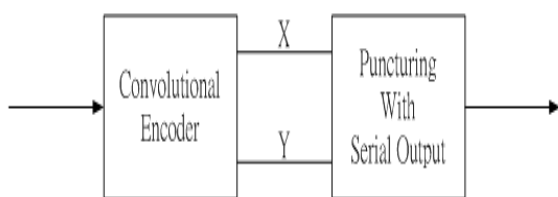


圖 2-11 Convolutional Encoder and Puncturing Unit

表 2-1 DBS系統所使用的編碼率及打孔模型

Code Rate	Puncturing Pattern	Transmitted Sequence
1/2	X:1 Y:1	X1Y1
2/3	X:10 Y:11	X1Y1Y2
3/4	X:101 Y:110	X1Y1Y2X3
5/6	X:10101 Y:11010	X1Y1Y2Y3Y4X5
7/8	X:1000101 Y:1111010	X1Y1Y2Y3Y4X5Y6X7

2.4特性量測(Performance Metrics)

衛星載波是由順序的脈衝波組成以得到連續訊號。各脈衝波皆為一個符元(symbol)。根據調變方法，每一個symbol代表bit數。例

如，當四相移鍵控(QPSK)應用於DBS系統時，則每一個 symbol為2bits，意即，bit速率為symbol速率的兩倍。對於一個在加性白高斯噪聲(Additive White Gaussian Noise; AWGN)頻道裡的QPSK訊號，其誤碼率(Bit Error Rate; BER)之公式為：[4]

$$BER = 1 / 2 \operatorname{erfc} (\sqrt{E_b / N_o}) \dots\dots\dots (3)$$

其中，erfc為補償誤差函數、Eb為每位元能量、No為頻譜雜訊密度或是雜訊功率密度。Eb亦可以下列式子表示：

$$E_b = P_{avg} / R \dots\dots\dots (4)$$

其中，Pavg為傳輸機功率(Watt)、R為位元速率(bit rate)，單位為位元/秒(bits/sec)表示。大部份都會受到功率的限制。為了增加每位元能量(Eb)，則降低位元速率並利用公式(2.4)改變為：

$$R = P_{avg} / E_b \dots\dots\dots (5)$$

每位元能量及位元速率(bit rate)的交互關係作為位元速率愈低則愈好分析。由於使用FEC編碼，傳輸資料添加相似之位元，使得每位元所需的能量被降低，因此可得到功率效能提升，所以編碼技術得到的功率效能均使用編碼增益(coding gain)進行計算。DBS位元錯誤率分析圖(如圖 2-12所示)。

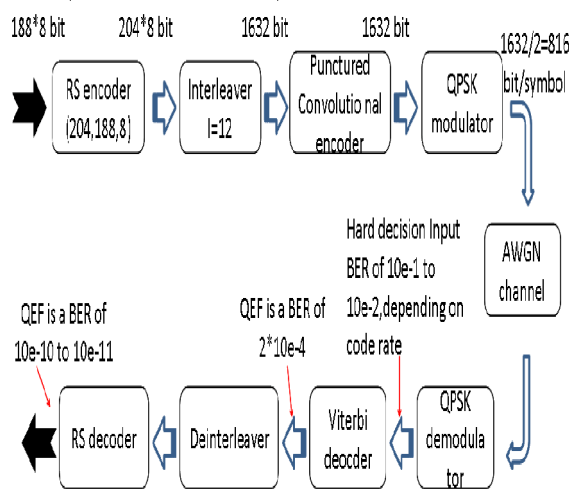


圖 2-12 DBS位元錯誤率之流程圖

3.實驗結果

本研究所使用的設備為DBS2/ S訊號產生器與已安裝DVStation3軟體之電腦連結，將信號傳輸線連接至SFE100射頻訊號產生器，為突出顯示實驗差異，本次實驗中在SFE100射頻訊號產生器接收端前增加衰減器以提升結果之明確性。

本實驗採用不同之編碼率 Code Rate(1/2、2/3、3/4、5/6、7/8)及、四種符元訊號 Symbol Rate(20、22、24.5、27.5)交換比對，並選擇不同之輸出條件(Output Level)由-10、-15、-20、-25、-30、-35、-40、及-45dBm經DVB-S2/S訊號產生器、SFE100射頻訊號產生器及操作軟體DVStation3產生位元錯誤率 BER(Bit Error Rate)如表 3-1(a至e)所示。

表 3-1(a) Symbol Rate 5 時，Code Rate實驗統計表

符元訊號 Symbol Rate 5								
編碼率 Code Rate	Output Level							
	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
(1/2)	2.6E-06	4.4E-06	4.7E-06	7.4E-06	2.3E-05	3.1E-05	2.8E-05	4.2E-05
(2/3)	3.4E-06	4.9E-06	5.6E-06	2.1E-05	2.5E-05	3.2E-05	4.6E-05	4.9E-05
(3/4)	5.2E-06	6.8E-06	8.3E-06	2.4E-05	3.7E-05	3.8E-05	5.1E-05	6.6E-05
(5/6)	6.7E-06	7.9E-06	8.9E-06	2.9E-05	4.4E-05	4.6E-05	5.8E-05	7.6E-05
(7/8)	7.5E-06	8.5E-06	9.7E-06	3.2E-05	5.1E-05	5.9E-05	7.2E-05	7.6E-05

表 3-1(b) Symbol Rate 15 時，Code Rate實驗統計表

符元訊號 Symbol Rate 15								
編碼率 Code Rate	Output Level							
	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
(1/2)	6.9E-06	7.4E-06	1.7E-05	2.3E-05	3.2E-05	3.8E-05	6.7E-05	7.8E-05
(2/3)	8.4E-06	9.7E-06	1.6E-05	2.9E-05	3.6E-05	5.5E-05	8.5E-05	8.6E-05
(3/4)	8.9E-06	1.2E-05	2.8E-05	3.4E-05	4.2E-05	5.7E-05	8.8E-05	8.4E-05
(5/6)	9.8E-06	2.1E-05	2.4E-05	4.3E-05	5.1E-05	6.9E-05	9.2E-05	9.7E-05
(7/8)	1.2E-05	2.7E-05	2.8E-05	4.1E-05	5.6E-05	8.1E-05	9.4E-05	1.6E-04

從實驗結果表 3-1(a)以可知，當符元訊號 Symbol Rate 為 5M Symbol/s 傳輸及 Output Level 為-45dBm時所得到編碼率 7/8 BER 值為 7.6E-05，1/2 BER 為 4.2E-05，整體平均 7/8 Code Rate 所得到之錯誤位元率值較高，1/2 Code Rate 錯誤位元率較低。

從實驗結果表 3-1(b)可知，當符元訊號 Symbol Rate 15M Symbol/s 傳輸及 Output Level 為-45dBm 時編碼率 7/8 BER 值為 1.6E-04，1/2 BER 為 7.8E-05，整體平均 7/8 Code Rate 所得到之錯誤位元率值較高，1/2 Code Rate 錯誤位元率較低。

表 3-1(c) Symbol Rate 25 時，Code Rate 實驗統計表

符元訊號 Symbol Rate 25								
編碼率 Code Rate	Output Level							
	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
(1/2)	4.4E-05	5.8E-05	6.3E-05	7.4E-05	8.1E-05	8.3E-05	8.7E-05	1.2E-04
(2/3)	4.6E-05	7.6E-05	7.1E-05	8.1E-05	8.2E-05	9.1E-05	1.2E-04	1.7E-04
(3/4)	5.1E-05	6.4E-05	7.6E-05	8.5E-05	9.1E-05	9.4E-05	1.3E-04	1.4E-04
(5/6)	6.4E-05	6.8E-05	8.1E-05	8.5E-05	9.3E-05	1.1E-04	1.9E-04	2.7E-04
(7/8)	6.6E-05	7.9E-05	8.9E-05	9.1E-05	9.6E-05	1.5E-04	2.5E-04	2.8E-04

從實驗結果表 3-1(c)可知，當符元訊號 Symbol Rate 以 25M Symbol/s 傳輸及 Output Level 為-45dBm 時，編碼率 7/8 BER 值為 $2.8E-04$ ，1/2 BER 為 $1.2E-04$ ，整體平均 7/8 Code Rate 所得到之錯誤位元率值較高，1/2 Code Rate 錯誤位元率較低。

從實驗結果表 3-1(d)可知，當符元訊號 Symbol Rate 以 35M Symbol/s 傳輸及 Output Level 為-45dBm 時，編碼率 7/8 BER 值為 $2.7E-04$ ，1/2 BER 為 $2.0E-04$ ，整體平均 7/8 Code Rate 所得到之錯誤位元率值較高，1/2 Code Rate 錯誤位元率較低。

從實驗結果表 3-1(e)可知，當符元訊號 Symbol Rate 以 45M Symbol/s 傳輸及 Output Level 為-45dBm 時，編碼率 7/8 BER 值為 $9.0E-04$ ，1/2 BER 為 $4.9E-04$ ，整體平均仍以 7/8 Code Rate 所得到之錯誤位元率值較高，1/2 Code Rate 錯誤位元率較低。

表 3-1 (d) Symbol Rate 35 時，Code Rate 實驗統計表

符元訊號 Symbol Rate 35								
編碼率 Code Rate	Output Level							
	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
(1/2)	9.2E-07	9.4E-07	1.1E-05	1.2E-05	1.3E-04	1.5E-04	1.7E-04	2.0E-04
(2/3)	9.4E-07	1.4E-06	1.1E-05	1.2E-05	2.2E-04	2.2E-04	2.4E-04	2.4E-04
(3/4)	9.5E-07	1.6E-06	1.4E-05	1.3E-05	2.2E-04	2.4E-04	2.5E-04	2.3E-04
(5/6)	1.0E-06	9.3E-06	1.6E-05	1.6E-05	2.4E-04	2.3E-04	2.4E-04	2.7E-04
(7/8)	2.2E-06	1.6E-05	7.4E-05	2.0E-04	2.4E-04	2.4E-04	2.5E-04	2.7E-04

表 3-1(e) Symbol Rate 45 時，Code Rate 實驗統計表

符元訊號 Symbol Rate 45								
編碼率 Code Rate	Output Level							
	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
(1/2)	9.6E-06	1.0E-05	1.8E-05	3.4E-05	3.4E-04	3.6E-04	3.8E-04	4.9E-04
(2/3)	9.8E-06	2.4E-05	2.6E-05	3.7E-05	3.9E-04	4.2E-04	4.1E-04	5.1E-04
(3/4)	9.6E-06	3.2E-05	3.3E-05	3.3E-05	4.4E-04	4.3E-04	4.3E-04	5.2E-04
(5/6)	2.1E-06	3.9E-05	4.0E-05	4.6E-05	4.6E-04	5.2E-04	5.9E-04	6.1E-04
(7/8)	2.8E-06	3.9E-05	4.2E-05	4.8E-04	5.6E-04	5.7E-04	6.0E-04	9.0E-04

表 3-2 Output Level -45 時，Symbol Rate 實驗結果統計表

Output Level -45					
編碼率 Code Rate	符元訊號 Symbol Rate				
	5	15	25	35	45
(1/2)	4.2E-05	7.8E-05	1.2E-04	2.0E-04	4.9E-04
(2/3)	4.9E-05	8.6E-05	1.7E-04	2.4E-04	5.1E-04
(3/4)	6.6E-05	8.4E-05	1.4E-04	2.3E-04	5.2E-04
(5/6)	7.6E-05	9.7E-05	2.7E-04	2.7E-04	6.1E-04
(7/8)	7.6E-05	1.6E-04	2.8E-04	2.7E-04	9.0E-04

從表 3-1(a-d)實驗結果截取中 Output Level-45dBm 時，編碼率(Code Rate)及符元訊號(Symbol Rate)比對所產生之結論顯示，當符元位元率傳輸達 45M Symbol/s，7/8 Code Rate 時 BER 為 $9.0E-04$ ；而當 1/2 Code Rate 時 BER 為 $4.9E-04$ ，如表 3-2 可知，顯示當符元訊號(Symbol Rate)輸出及編碼率(Code Rate)越大時所得到 BER (錯誤位元率)就越高。

表 3-3 Code Rate 1/2 時, 符元訊號 Symbol Rate 及 Output Level 實驗統計表

符元訊號 Symbol Rate	編碼率 Code Rate 1/2							
	Output Level							
	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
5	2.6E-0 6	4.4E-0 6	4.7E-0 6	7.4E-0 6	2.3E-0 5	3.1E-0 5	2.8E-0 5	4.2E-0 5
15	6.9E-0 6	7.4E-0 6	1.7E-0 5	2.3E-0 5	3.2E-0 5	3.8E-0 5	6.7E-0 5	7.8E-0 5
25	4.4E-0 5	5.8E-0 5	6.3E-0 5	7.4E-0 5	8.1E-0 5	8.3E-0 5	8.7E-0 5	1.2E-0 4
35	9.2E-0 7	9.4E-0 7	1.1E-0 5	1.2E-0 5	1.3E-0 4	1.5E-0 4	1.7E-0 4	2.0E-0 4
45	9.6E-0 6	1.0E-0 5	1.8E-0 5	3.4E-0 5	3.4E-0 4	3.6E-0 4	3.8E-0 4	4.9E-0 4

從表 3-1(a-d)實驗結果截取中編碼率 Code Rate 1/2 所得之 BER (錯誤位元率)當, 如表 3-2 統計表, Output Level -45dBm 符元訊號 Symbol Rate 45 M Symbol/s 時所得到之 BER 為 4.9E-04, 當符元訊號 Symbol Rate 為 5M Symbol/s, 所得到之 BER 為 4.2E-05, 可見當符元訊號(Symbol Rate)輸出及 Output Level 輸出 dBm 值越高時, 所得到實驗結果 BER (錯誤位元率)就越高。

4. 結論

本論文針對數位衛星通訊, 在無外在干擾及與傳輸信號失真的情形下並依 QPSK 正交相移鍵控調變模式及基本頻率 950MGZ, 進行編碼率 Code Rate(1/2、2/3、3/4、5/6、7/8)、符元訊號 Symbol Rate(20、22、24.5、27.5)以及 RF Output Level 於-10Db 至-45dB 之間方式之錯誤位元率 (BER) 分析與效能比較。

利用 DBS2/S 訊號產生器模擬 DBS 信號源, 經 DVSSStation3 應用軟體及 R&S SFE100 射頻訊號產生器, 使實驗於傳輸與接收測試時穩定不受干擾。

經實驗結果了解 Output Level-45dBm 編碼率 1/2 之 BER(錯誤位元率)較其它編碼率 (Code Rate) 低, 而編碼率 7/8 BER 值因串流

編碼率高所以產生 BER 也越高。另外當編碼率(Code Rate)越大及符元位元率傳輸值越高所得之錯誤位元率(BER; Bit Error Rate)也越高; 最後也截取編碼率 1/2 時所得到之 BER 值, 符元訊號(Symbol Rate)輸出及 Output Level 之 dBm 值越高時所得到 BER 也相對越高。

參考文獻

- [1] 羅德史瓦茲公司, <http://www.rohde-schwarz.com.tw/>
- [2] 聯恩電子公司, <http://www.linkwen.com.tw/Alistronika/at2900usb.htm>
- [3] 工業技術研究院, <http://www.itri.org.tw/>
- [4] 文紅, 符初生, 周亮編著 2006.4.1 由電子科技大學出版社出版 LDPC 碼原理與應用

