

DTMB與DVB-T MER分析和效能之比較

陳秉宏

高苑科技大學

電機工程所-研究生

e-mail :

lakers113007@hotmail.com

陳金塔

高苑科技大學

電機工程所-副教授

e-mail :

t21020@cc.kyu.edu.tw

蔡志明

電信技術中心(TTC)

檢測驗證實驗室-副主任

e-mail :

Casper_tsai@ttc.org.tw

摘要

本文探討DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast)與DVB-T分析和效能之比較。研究頻寬採8MHz，模擬在數位電視雜訊比在-30dB環境下，以載波調變方式QPSK和16QAM及64QAM探討調變誤差率(Modulation Error Ratio, MER)，利用保護區間PN序列(PN sequence)之兩種模式，分別為420symbols及945symbols。以選取三種內部編碼率規格為0.4、0.6及0.8之編碼率作交叉測試[1]，再以實務的測試設備來探討DTMB與DVB-T的MER之性能分析。這套設備使用羅德史瓦茲(R&S)儀器廠的設備組成。經由TDS-OFDM解調變的實驗結果可知DTMB在QPSK調變為最高，MER約為37.7dB相較比DVB-T高出2.8dB。

關鍵詞：DTMB、MER、PN sequence、TDS-OFDM。

Abstract

In this paper, the modulation error ratio (MER) performance of two digital terrestrial broadcasting, namely DVB-T and DTMB, is evaluated in different modulations. We analyze the MER of the two systems in 8M bandwidth, -30dB signal to noise ratio (SNR), and the length of guard interval (GI) is set to PN sequence 420symbols and 945symbols in QPSK, 16QAM and 64QAM modulations. Three working modes in 0.4, 0.6 and 0.8 code rates are picked from each system, representing low, medium and high throughput applications. We adopted R&S equipment for test. Test results show that the DTMB outperforms DVB-T in terms of MER. DVB-T is 2.8dB less than DTMB at MER= 37.7 dB.

Keywords: DTMB、MER、PN sequence、TDS-OFDM.

1.前言

DTMB標準採用時域同步正交分頻多工器(Time-Domain Spreading Orthogonal Frequency Division Multiplexing, TDS-OFDM)技術，這是一種多載波調變技術，同時也支援單載波與多載波調變方案，TDS-OFDM由幀頭/幀體兩部份組成，TDS-OFDM信號幀架構圖如圖1所示[2]。TDS-OFDM信號幀的幀體長度為是3780子載波數。幀同步部分作為保護區間(GI)，消除OFDM符元間干擾。在OFDM的保護區間插入長度為PN-420symbol ($420 / 3780 = 1/9$)或PN-945 symbol ($945 / 3780 = 1/4$)的PN序列作為幀頭，將幀頭和幀體組合成信號幀。

DTMB系統傳輸架構圖如圖2所示，傳輸架構為：外碼-BCH編碼、內碼-低密度奇偶校驗(LDPC)編碼、PN序列(PN sequence)[3]與時域同步正交分頻多工(TDS-OFDM)。

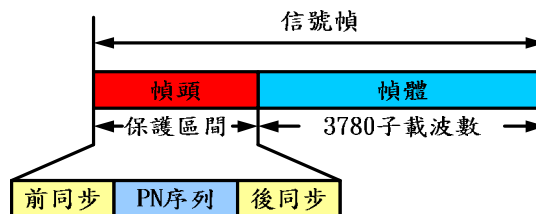


圖1 TDS-OFDM信號幀架構圖

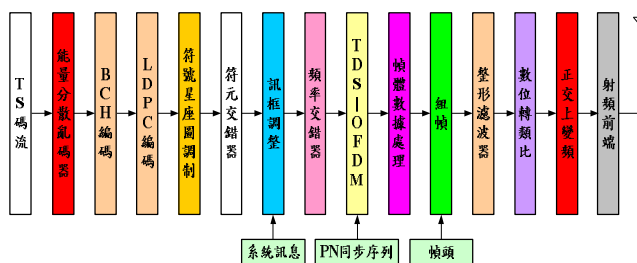


圖2 DTMB系統傳輸方塊圖

TS碼流經過亂碼器後[4]，以二進制的信號送入BCH編碼器與LDPC編碼器，BCH碼長為762 Bits；LDPC碼長為7493 Bits，信號長度分別以(7493,3048)、(7493,4572)和(7493,6096)這3種構成，作前向糾錯編碼

(Forward Error Correction, FEC)時，則將刪除前 5 個 Bit 為校驗碼，其實際輸出碼長度為 7488Bit，編碼率(code rate)規格分別為以下 3 種：0.4(7488,3008)、0.6(7488,4512) 和 0.8(7488,6016)。完成 BCH 編碼與 LDPC 編碼後，進行符號星座圖調變，符號星座圖為 QPSK, 16QAM 和 64QAM。

DVB-T 標準採用 COFDM(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)技術，DVB-T 傳輸系統架構圖如圖三所示，傳輸架構為：亂碼器(randomizer)、外編碼器(outer coder)、外交錯器(outer interleaver)、內編碼器(inner coder)與內交錯器(inner interleaver)，它輸入資料的格式是 MPEG II 運輸封包(transport packet)，經過外部編碼與外部交錯器至內部編碼與內部交錯器，最後將信號輸出。

經上述 DTMB 與 DVB-T 兩系統之比較後，探討 MER 的糾錯能力比較 MER(Modulation Error Ratio)之間的差異點，調變方式分為 QPSK、16-QAM 及 64-QAM 做為探討，將 DTMB 的保護區間設定為 PN 序列模式 945symbols ($945 / 3780 = 1/4$)與 DVB-T 保護區間的 1/4 設成相同的條件，再比較 DTMB 內部編碼器(0.4、0.6、0.8)、DVB-T 內部編碼器(1/2、3/4、7/8)等不同情況下，做交叉測試搭配的 TDS-OFDM、COFDM 保護區間 $GI=1/4$ 。經由 TDS-OFDM 解調變的實驗結果可知 QPSK 調變時，其調變誤差率約為 37.6dB，此實驗結果發現 QPSK 之調變誤差率最高，故其糾錯能力最強。

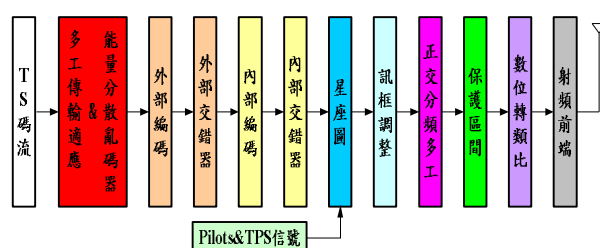


圖 3 DVB-T 系統傳輸方塊圖

2.DTMB 理論分析

DTMB系統之前向糾錯編碼(FEC)方式與 DVB-T系統不同，DTMB系統採用 LDPC 碼為外部編碼，內部編碼則為 BCH 碼。

DTMB 系統為了修正 DVB-T 的抗多重路徑干擾，則利用 TDS-OFDM 加入 PN 序列進行通道性能估計，採用通道沖激響應演算法，使

受雜訊干擾影響小、降低演算法複雜度、提高通道估計的準確度。

2.1 LDPC 之定義

低密度奇偶校驗 (Low-density parity-check, LDPC) 編碼，屬於線性區塊碼 (Linear Block code)的一種，區塊碼的編碼方式是利用傳輸資料與生成矩陣 (generator matrix) 作矩陣乘法運算，而產生出編碼字 (codeword)[5]。而 LDPC 碼編碼字長度越長，編碼增益愈高。判斷編碼字經過雜訊干擾後是否仍為有效，則利用奇偶校驗矩陣 (parity check matrix)，又稱為 H 矩陣如圖 4，H 矩陣是由多數個『0』與少數個非零的元素『1』所組成，因『1』在 H 矩陣所占比例很少，故稱之為“低密度”。奇偶校驗矩陣為二位元矩陣，而一列中非零元素的個數稱為列權重 (row weight)，一行中非零元素的個數稱為行權重 (column weight)；若矩陣的每列的列權重跟行權重都相同，此 LDPC 碼為正規 (規律性，Regular) 的 LDPC 碼[6]。反之，就是非正規 (非規律式，irregular) LDPC 碼。LDPC 碼的編碼增益是由奇偶校驗矩陣決定，一般而言，非正規的 LDPC 碼的編碼增益則比正規的 LDPC 碼好。

LDPC 碼提供優良的編碼增益，可以較低的功率發送信號而遠端仍可正確收到，相較於 Turbo codes 亦有較低的運算複雜度。

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

圖 4 奇偶校驗矩陣

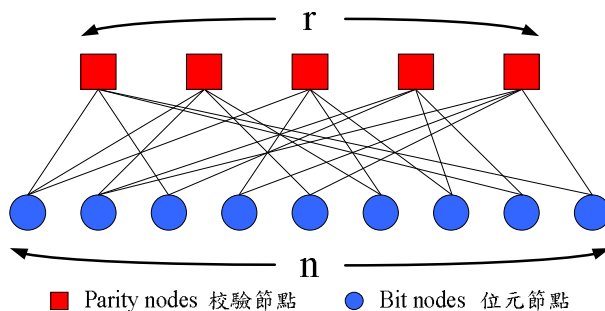


圖 5 Tanner 圖

從奇偶校驗矩陣與 Tanner 圖[7]的對應，

方法為將矩陣的校驗節點(check node)與位元節點(bit node)的元素為 1，則將校驗節點與位元節點之間相連接。以圖5之H 矩陣為例，第一行與第一列為 [101000011]，則上圖的第一個校驗節點將會依序與第 1 個、第3 個、第 8 個、第9 個位元節點相連接。LDPC 碼的解碼是用一種遞迴解碼的演算法，每一個位元節點對應校驗矩陣的一行，即對應編碼字中的位元，一個校驗節點對應校驗矩陣的一列，即代表一個校驗等式。

奇偶校驗矩陣是由 r 為行 n 為列的二進制矩陣：

$$k=n-r$$

以原始資料長度 $r=5$ 位元[8]，傳輸資料長度 $n=9$ 位元為例，可得知額外加上的資料 $k=4$ 。H 矩陣中的 1，將作為記錄機率值，再各個別做行與列兩方向的判斷，便而完成更正錯誤之效果。

2.2 BCH 碼

BCH 碼是用於校正多個隨機錯誤模式的多級、循環、錯誤校正糾錯編碼，二進制的BCH碼是目前數位通訊中常用的糾錯碼之一，它是一種重要的循環糾錯碼，能夠糾正多個隨機錯誤，具有糾錯能力強，構造方便、編碼簡單、參數選擇具彈性，解碼比較容易實現等一系列優點，在數位通訊中被廣泛使用。

Let $c(x) = c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1}$ 是一個BCH碼的碼字，係數 $c_i \in GF(2)$ 。

任何兩個整數 m 和 t ，二進制 (n, k) BCH碼的參數如下：

碼長度： $n = 2^m - 1$

同位查核位元數： $n - k \leq mt$

最小距離： $d_{\min} \geq 2t + 1$

BCH 碼可以更正 t 個位元以內的錯誤，其產生多項式由 $(x^{2^m-1} + 1)$ 的因式建構得到。

3.DVB-T 理論分析

DVB-T系統採用，內編碼器由迴旋乘積編碼器 (Convolutional coder) 和打 孔 器 (Puncturing Unit) 所組成的，迴旋碼的解碼器採用威特比演算法(Viterbi Algorithm)和外部編碼器(里德·所羅門(Reed-Solomon code))。

3.1 威特比(Viterbi)[9]

迴旋碼是通訊系統中的一種重要通道編碼 (channel coding) 技術，主要透過具記憶性質的時序電路 (sequential circuit) 對數位輸入信號進行特定的轉換，產生具有碼距 (metric) 與一定序列 (sequence) 關係的數位輸出信號。藉由這種碼距與既定之序列關係，當數位信號在傳輸過程中即使經過各種通道損傷，如雜訊、干擾、與衰退等而導致部分數位信號產生位元錯誤時，接收端之解碼器仍然可以透過信號本身內涵之碼距與序列關係將位元錯誤更正，產生正確的原始數位輸入信號。在迴旋碼的幾種解碼器類型中，威特比解碼器 (Viterbi decoder) 算是效能最佳且硬體複雜度相對較低的一種演算法選項。

威特比(Viterbi)解碼方式就是找出迴旋碼格子圖裡有最大概似(Maximum Likelihood, ML)機率的可能路徑，而從這條路最可能路徑所對應的輸出序列就是最後解得的碼字。假設有一個 (n, l, m) 迴旋碼，他資訊序列長度是 L ，那麼它的編碼器輸入端會是一個長度為 L 的序列 $u = (u_0, u_1, \dots, u_{L-1})$ 編碼器的輸出碼字會是一長度為 $N = n(L + m)$ 的序列 $v = (v_0, v_1, \dots, v_{L+m-1}) = (v_0^1 v_0^2 \dots v_0^n, v_1^1 v_1^2 \dots v_1^n, \dots, v_{L+m-1}^1 v_{L+m-1}^2 \dots v_{L+m-1}^n)$ ，而解碼時所接收到的也是一長度為 N 的序列 $r = (r_0, r_1, \dots, r_{L+m-1}) = (r_0^1 r_0^2 \dots r_0^n, r_1^1 r_1^2 \dots r_1^n, \dots, r_{L+m-1}^1 r_{L+m-1}^2 \dots r_{L+m-1}^n)$ 。此接收序列的概似機率為

$$P(r|v) = \prod_{i=0}^{L+m-1} P(r_i|v_i) = \prod_{i=0}^{L+m-1} \prod_{j=1}^n P(r_i^j|v_i^j) \quad (1)$$

而格子圖中進入每個狀態的路徑稱為分支 (Branch)， $P(r|v)$ 為每個位元的概似機率。對概似機率取對數值，使概似機率乘法運算變成加法操作，產生一組對數概似函數 (Log-Likelihood Function)

$$\log P(r|v) = \prod_{i=0}^{L+m-1} \log P(r_i|v_i) = \prod_{i=0}^{L+m-1} \prod_{j=1}^n \log P(r_i^j|v_i^j) \quad (2)$$

將這組對數概似函數 $\log P(r|v)$ 設為解碼演算法中的度量 (Metric) 以 $M(r|v)$ 表示，其中(2)式中的 $\log P(r_i|v_i)$ 稱為分支度量以 $M(r_i|v_i)$ 表示 $\log P(r_i^j|v_i^j)$ 則稱為位元度量以 $M(r_i^j|v_i^j)$ ，則(2)式可改寫成

$$M(r|v) = \sum_{i=0}^{L+m-1} M(r_i|v_i) = \sum_{i=0}^{L+m-1} \sum_{j=1}^n M(r_i^j|v_i^j) \quad (3)$$

令前 t 個時間單位的分支度量子的總和稱為局部路徑度量子 $M([r|v]_t)$

$$M([r|v]_t) = \sum_{i=0}^{t-1} M(r_i | v_i) \quad (4)$$

而最大概似解碼的意義就是挑選迴旋碼格子圖中有最大度量子的可能路徑，也就是如果對於所有 2^{KL} 可能路徑所對應的碼字 v ，

$$M(r|\hat{v}) \geq M(r|v) \quad (5)$$

則 $\hat{v}$ 是解碼演算法中最後解的碼字。

3.2 里德·所羅門(Reed-Solomon)[10]

DVB-T的外編碼器(Outer Coder)採用里德·所羅門碼(Reed-Solomon code; RS code) [6]。此里德·所羅門碼(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，如圖6所示，這個長度為204位元組的MPEG-2 TS封包於傳送過程如果發生錯誤，每封包只要錯誤的個數不超過8個位元組，因此接收端的RS解碼器就能將錯誤糾正回來。RS編碼是性能優越的錯誤修正碼，尤其抗突發位元錯誤(Burst Error)的能力是最佳的，所以常被應用於廣泛的通訊領域。

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

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 \quad (6)$$

RS(256,239,t=8)的生成多項式為

$$g(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1)(x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15}) \quad (7)$$

λ 為 GF(256)的本質元素

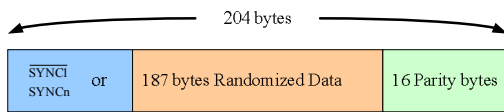


圖6 插入RS碼後的MPEG-2封包

4. 實驗結果

本研究所採用設備羅德史瓦茲(R&S)-SFE-100是多標準的測試發射機，支援DTMB、ISDB、DVB-T、ATSC等系統，提供編碼廣播信號，再搭配ETL電視分析儀可將由SFE-100所產生的訊號作解調、解碼和分析TDS-OFDM(時域同步正交分頻多工)信號。可接受所有信號參數之解調，也可選擇自動或手動，並支援8MHz頻寬且兩種保護區間設定為可變及固定

(420、945symbols)，為了與DVB-T系統相互比較，在此僅將參數設定成固定模式，ETL提供實質信號分析的數位信號處理，可接受的DTMB信號，做快速和詳盡的分析。分析同時執行，獨立地解調和解碼。MPEG2傳輸封包，可用來解碼，並且產生視訊和聲音。

本研究為了解DTMB系統與DVB-T系統之間MER的差異性，故將DTMB系統與DVB-T系統的參數條件設定成相等，分別將編碼率、保護區間、調變等三個參數。在DTMB系統的編碼率為：0.4、0.6、0.8；而在DVB-T系統中，共提供了五種編碼率：1/2、2/3、3/4、5/6、以及7/8，由其中選出之編碼率與DTMB系統近似相符合，分別為1/2、3/4、7/8此三種編碼率；就保護區間而言，DVB-T系統有四種保護區間：1/4、1/8、1/16、1/32，DTMB系統的PN序列模式945symbols (945 / 3780 = 1/4)與DVB-T系統相同；在分別將調變設定成QPSK、16QAM及64QAM，來探討比較MER。

4.1 調變誤差率(MER)

在數位電視中每一個信號在星座圖上都有一個相對應的位置，調變誤差率(Modulation Error Ratio; MER)[11]是決定接收器的解調能力好壞。故一個理想的接收器，經由發射器發送信號，將所有信號以點的方式(星座點)顯示在星座圖上理想的位置，但信號在傳送過程中受到各種因素(如失真、雜訊)的干擾，而導致信號路徑與實際星座點偏離星座圖之理想位置。本文將DTMB與DVB-T兩系統信號進行量測與分析。

$$MER_{dB} = 10 \times \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} dB \quad (8)$$

$$MER = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (I_{0j}^2 + Q_{0j}^2)}{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\Delta I_j^2 + \Delta Q_{0j}^2)} \quad (9)$$

$$MER_{PEAK} = \frac{\max(error - vector)}{U_{RMS}} \cdot 100\% \quad (10)$$

$$MER_{RMS} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (error - vector)^2}}{U_{RMS}} \cdot 100\% \quad (11)$$

$$MER_{dB} = -20 \cdot \log \left(\frac{MER[\%]}{100} \right) \quad (12)$$

由圖 7，當調變 QPSK 與編碼率 0.4、0.6、0.8 時，DTMB 系統的 MER 均明顯的比 DVB-T 系統的調變誤差率好，差異最高可達 2.8dB。

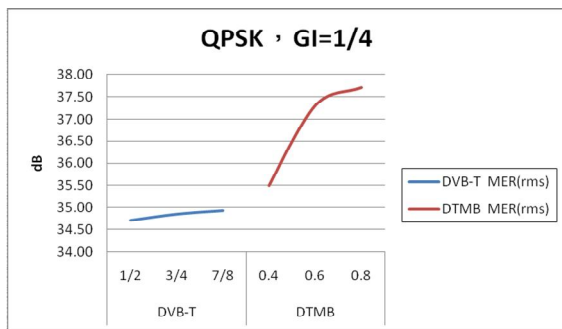


圖 7 DVB-T 與 DTMB，
於 QPSK 下 MER 之比較

由圖 8，當調變 16QAM 與不同編碼率時，DTMB 系統比 DVB-T 系統的 MER 好，差異高達 2.5dB。

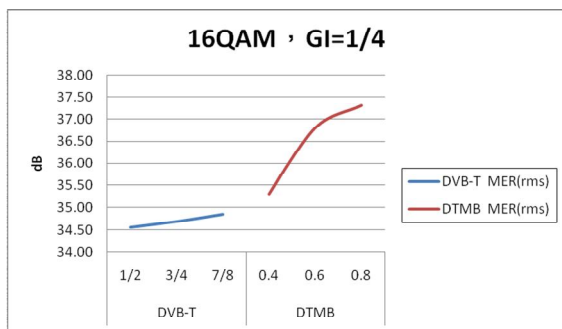


圖 8 DVB-T 與 DTMB，
於 16QAM 下 MER 之比較

由圖 9，當調變 64QAM 與不同編碼率時，DTMB 系統 MER 性能也較 DVB-T 系統優，差異高達 1.2dB。

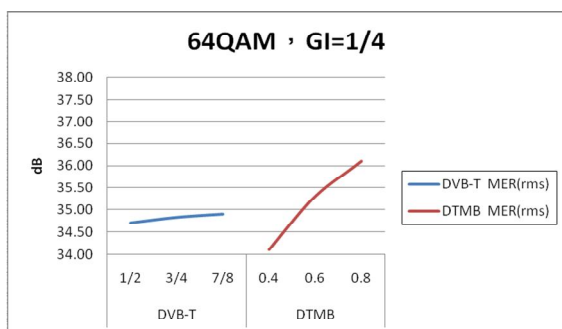


圖 8 DVB-T 與 DTMB，
於 64QAM 下 MER 之比較

5. 結論

本文針對 DTMB 與 DVB-T 系統之 MER

分析比較的研究，以實務設備來調整以下三項參數：編碼率(Code rate)、保護區間(guard interval)、調變(Modulation)來分析兩系統之優劣。經由量測實驗結果發現 DTMB 系統較 DVB-T 為優，可知 LDPC 確實較 RS 碼錯誤更正率為優。尤其在 QPSK 調變的環境下 MER 值 37.7 dB 為最佳值，而 DVB-T 系統在 QPSK 調變等相同條件下，則只有 34.9 dB，明顯差異質達 2.8dB，本研究主要目的在於探討數位電視於不同的系統中，參數設定等條件為相同時，此時調變誤差率將決定接收器的解調能力好壞與抗雜訊。調變誤差率差，收視時圖像容易出現馬賽克，甚至隨時斷線導致無法收看。

參考文獻

- [1] 宋健，”中国地面数字电视传输标准 DTMB 与产业化推广”，清华大学信息技术研究院数字电视中心，2009。
- [2] 羅軼洲、王群生、馮永浩，” DMB-T 系統技術要點綜述”，世界廣播電視，2002
- [3] Fang Yang, Jintao Wang, Jun Wang, Jian Song, Zhixing Yang, ” Channel Estimation for the Chinese DTTB System Based on a Novel Iterative PN Sequence Reconstruction”, *IEEE International Conference on*, pp 285-289, 2008.
- [4] Ming Liu, Matthieu Crussiere, Jean-Francois Helard, Oudomsack Pierre Pasquero, ” Analysis and Performance Comparison of DVB-T and DTMB Systems for Terrestrial Digital TV”, *IEEE Singapore International Conference on*, pp1399-1404, 2008.
- [5] 葉正誠、黃永發、楊政穎，”低密度同位檢查碼輔助等化器之研究”，碩士論文，朝陽科技大學，2007。
- [6] 歐育松、翁萬德，”LDPC 之補償式最小和演算法之 DVB-S2 應用”，碩士論文，國立雲林科技大學，2009。
- [7] 王鵬、王新梅，”LDPC 碼的編碼原理及編碼設計”，西安電子科技大學，2003。
- [8] 鍾偉碩、朱嘯秋，”結合低密度同位元檢查碼與遞迴型式迴旋碼之錯誤更正機制應用於二位元抹除通道”，碩士論文，逢甲大學，2007。
- [9] 林春宏、陳金塔、蔡志明，”威特比在 DVB-T 接收器之應用”，第六屆現代通訊科技應用學術研討會，高苑科技大學，2008
- [10] 王章諭、陳金塔，”DVB-T 於 6/7/8M 之

通道特性與 RF 訊號分析研究”，碩士論文，高苑科技大學，2008。

- [11] ETSI technical report ETR 290:
***"Measurement guidelines for DVB
systems"***, Errata 1, May 1997