

有線數位電視動態影像模擬分析研究

黃智男

陳金塔

蔡志明

高苑科技大學電機工

高苑科技大學電機工

電信技術中心(TTC)檢測

程所-研究生

程所-副教授

驗證實驗室-副主任

e-mail :

e-mail :

e-mail :

t21020@cc.kyu.edu.tw t21020@cc.kyu.edu.tw Casper_tsai@ttc.org.tw

摘要

本論文主要探討有線數位電視(Digital Video Broadcasting-Cable, DVB-C)動態影像模擬分析。所使用的軟體是 MATLAB, 以 SIMULINK 製作出 DVB-C 模擬平台。模擬 MPEG-2 傳輸為 188 個位元組傳輸封包於 DVB-C 系統, 經由亂碼器(Randomizer)、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)、調變(Modulation)。模擬 DVB-C 系統標準傳輸所需頻寬(Bandwidth)、位元率(Bit Rate)、符元率(Symbol Rate)。模擬結果: MPEG-2 transport stream[Mbit/s]為 38.1 且調變在 64QAM 時, 符元率是 6.89M 及頻寬是 7.92 MHz, 符合所需。再者, 影像壓縮率於 0.01 以上為人眼可接受範圍, 故在 DVB-C 系統上影像品質可以控制最大的壓縮率且又不影響人眼對畫面感覺失真進行傳輸影像。

關鍵詞: 有線數位電視(DVB-C)、差分編碼(Differential encoding)、調變(Modulation)、里德所羅門碼(Reed-Solomon Coder)。

Abstract

In this paper, we use MATLAB SIMULINK to analyze the motion pictures of DVB-C. We simulate MPEG2 188Byte transport stream in DVB-C that is combined of Randomizer、Reed-Solomon Coder、Convolutional Interleaver、Byte To m-tuple Conversion、

Differential encoding and Modulation。Simulation results show the range of occupied Bandwidth=7.92 MHz and Symbol Rate=6.89M in DVB-C system, while the MPEG2 transport stream is 38.1[Mbit/s]. Moreover, human eyes can accept the image quality when the compression ratio is over 0.01. So, motion pictures quality can be controlled in maximum image compression ratio and unsensible distortion for your eyes when image is in transmission.

1. 前言

目前國內主要採用標準畫質數位電視(standard definition television, SDTV)做為歐規系統影像傳輸, 且 MPEG-2 傳輸為 188 個位元組傳輸封包於 DVB-C 系統, 經由亂碼器(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)、調變(Modulation)。調變方式選用 64-QAM(Quadrature amplitude modulation)於歐規 DVB-C(Digital Video Broadcasting-Cable)系統。

本論文利用 MATLAB SIMULINK 程式進行色彩系統轉換仿效數位機上盒數位化的色彩轉換, 再利用 JPEG2000(Joint Photographic Experts Group)(聯合圖像專家小組)所提供的標準壓縮程式進行壓縮, 以各種不同的壓縮率利用於 MATLAB 程式進行客觀量測, 並模擬 DVB-C 系統標準傳輸所需頻寬(Bandwidth)、位元率(Bit Rate)、符元率(Symbol Rate)。

2. 系統描述

DVB-C(Digital Video Broadcasting-Cable) 系統圖 1 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)。

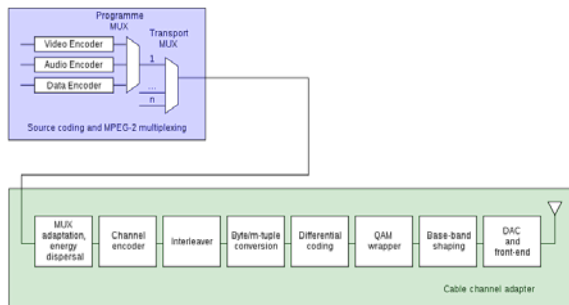


圖 1.DVB-C(Digital Video Broadcasting-Cable)

2.1 亂碼器(Randomizer)

在進入亂碼器前，傳送的資料流都會編排成長度為 188 個位元組傳輸封包。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，如圖 2 所示。



圖 2. MPEG-2 傳輸封包示意圖

每個傳輸封包的同步位元組後的第一個位元組開始做亂數化的動作，亂碼器是由 15 個移位暫存器和 2 個互斥或閘(XOR)以及 1 個 AND 閘所構成。隨機二進位序列 PRBS(Pseudo Random Binary Sequence) 的多項式為 $1+X^{14}+X^{15}$ ，如圖 3 所示。而亂數化後是以每 8 個傳輸封包為一個單位，且移位暫存器必須初始化為 100101010000000，第一個封包同步位元組在亂數化之前會轉換成補數以做為接收亂碼器的開始信號，當亂數化過程中碰到 7 個封包的同步位元組能會技術產生亂數，必須利用致能信號(Enable)的控制，以停止亂數化。因此亂數序列的周期為 1503 個位元組，如圖 4

所示。

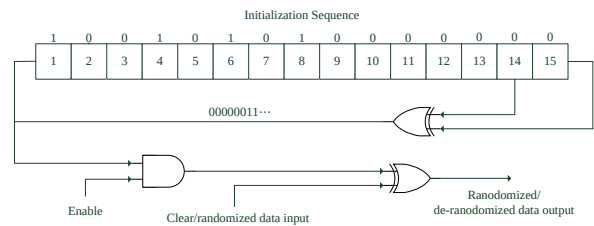


圖 3. 亂碼器架構圖

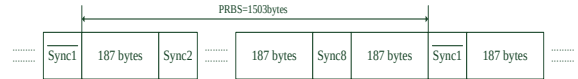


圖 4. 擾亂後的傳輸封包示意圖

2.2 里德索羅門碼(Reed-Solomon Coder)

里德所羅門碼(Reed-Solomon Coder)又稱 RS 編碼，主要目的式降低發生傳輸錯誤的機率。RS(204, 188, t=8)定義於 GF(256)的(255, 239, t=8) 里德所羅門碼縮短而成。[2]RS 碼為 188 個位元組的 MPEG-2 傳輸封包，產生 16 個錯誤保護位元，長度為 204 個位元組的傳輸封包，此編碼方式可以將錯誤位元組糾錯 8 的錯誤位元組，如圖 5 所示。

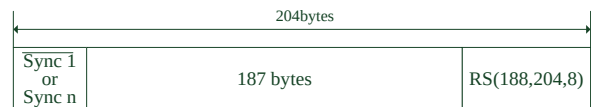


圖 5. 里德所羅門編碼後的封包

RS(204, 188, t=8)是將長度 188 個位元組的傳輸封包加上 51 個空封包全部為零的位元組，以(255, 239, t=8) 里德所羅門碼編碼器之後再將 51 個空封包全部為零的位元組丟棄，形成 204 個位元組的錯誤保護封包。伽羅瓦體 GF(256)的本質多項式為[2]:

$$p(x)=x^8+x^4+x^3+x^2+1 \quad (2.14)$$

$$RS(255, 239, t=8) \text{ 里德所羅門碼的生成多項式 } g(x)=(x+\lambda^0)(x+\lambda^1)(x+\lambda^2) \dots (x+\lambda^{15}) \quad (2.15)$$

λ 為 GF(256)的本質元素

2.3 迴旋交錯器(Convolutional Interleaver)

RS 碼(Reed-Solomon Coder)可糾錯 8 的錯誤位元組，但在傳輸過程中有時候會造成連續性的錯誤，超過了 RS 編碼(Reed-Solomon Coder)的糾錯能力，故為了增加里德所羅門碼(Reed-Solomon Coder)的糾錯能力，而在增加一組迴旋交錯器(Convolutional Interleaver)，迴旋交錯器會將原來屬於同一封包的位元組打

散到不同的封包去，如此一來這些錯誤位元組會由不同里德所羅門碼處理連續性的錯誤。迴旋交錯器是由 $J=12$ 個分支所組成，每一個分支深度為 $J \times M$ 個先進先出(First-In & First-Out, FIFO)移位暫存器來實現。圖 6 為經過迴旋交錯器後所輸出的位元組，每個長度為 204 個位元組，如圖 7 所示。

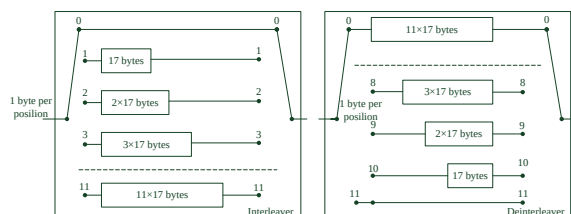


圖 6. 傳送與接收迴旋交錯器示意圖

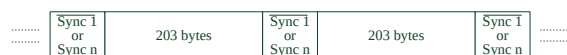


圖 7. 經過迴旋交錯器後所輸出位元組

2.4 位元到 M 元組轉換(Byte To m-tuple Conversion)

DVB-C 系統在進行調變(Modulation)前，要針對碼流進行編碼以去除錯誤傳送，以改善糾錯性能。通常以 8 個二進制構成為元為單位進行，在進行 2^m -QAM 調變，每個調變符號要與 m 個位元進行映射，及每次的調變和解調變都會以 m 個位元單位進行，因此要再位元到 m 個符號之間進行轉換與映射，對於不同的 QAM 調變，映射的符號數將會有所不同。

DVB-C 系統中所規定的位元與 m 個符號之間的轉換方式為任何情況下，符號 Z 的最高有效 MSB(Most Significant Bit)都應取自位元 V 的最高有效位的 MSB，相對應的符號的下一個有效位應取自位元的下一個有效位。

圖 8.以 64-QAM 為例， k 個位元與 n 個符號， $8k=m \times n$ 。

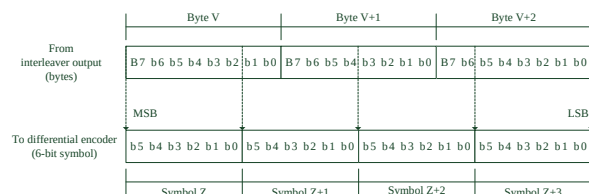


圖 8. 64-QAM 的位元到 m 個符號轉換

為了得到 $\pi/2$ 旋轉的 QAM 星座圖，對每個符號的 2 個最高有效位 MSB(Most Significant Bit)進行差分編碼，2 個 MSB 差分

編碼(I_K, Q_K)由 A_K, B_K 產生星座圖。隨著 I_K 與 Q_K 從星座圖的第一象限 00 依次變換到第二象限的 10、第三象限的 11、第四象限的 01，符號較低的位的從第一象限旋轉 $\pi/2$ 到第二象限，從第二象限旋轉 $\pi/2$ 到第三象限，從第三象限旋轉 $\pi/2$ 到第四象限，完成整個星座圖 (Constellation)，如圖 9 所示，而 $q=2$ for 16-QAM、 $q=3$ for 32-QAM、 $q=4$ for 64-QAM、 $q=5$ for 128-QAM、 $q=6$ for 256-QAM[9]。

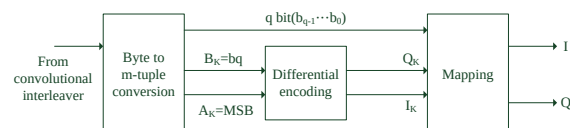


圖 9. 位元到符號轉換與差分編碼示意圖

2.5 調變(Modulation)

DVB-C(Digital Video Broadcasting-Cable) 共有 5 種模式調變(Modulation)，為 16-QAM(圖 10)、32-QAM(圖 11)、64-QAM(圖 12)、128-QAM(圖 13)、256-QAM(圖 14)，而 32-QAM、128-QAM 效果並無特別顯著，在 DVB-C 系統不常被使用，目前最常被使用 64-QAM 而本文也選用此調變(Modulation)。

表 1. 轉換星座象限所需旋轉角度

象限	MSBs	LSBs 旋轉角度
I	00	
II	10	$+\pi/2$
III	11	$+\pi$
IV	01	$+3\pi/2$

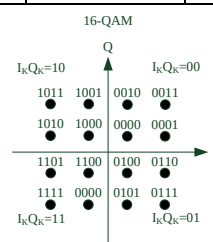


圖 10. 16-QAM

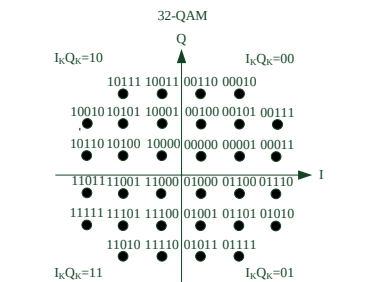


圖 11. 32-QAM

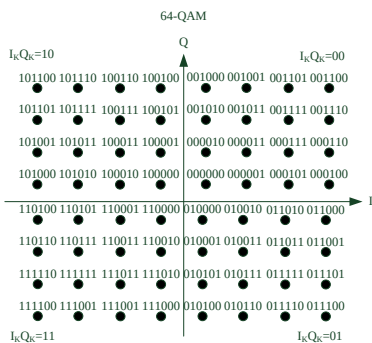


圖 12. 64-QAM

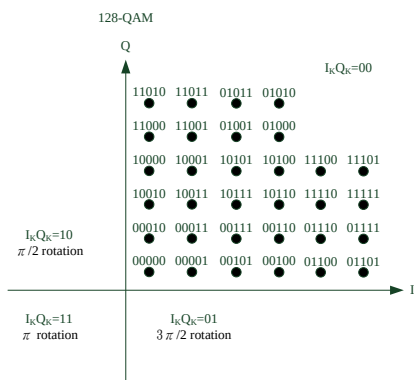


圖 13. 128-QAM

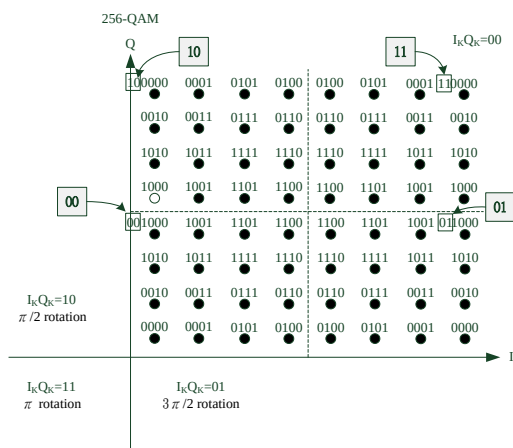


圖 14. 256-QAM

3. 實驗結果

MATLAB SIMULINK DVB-C 模擬平台

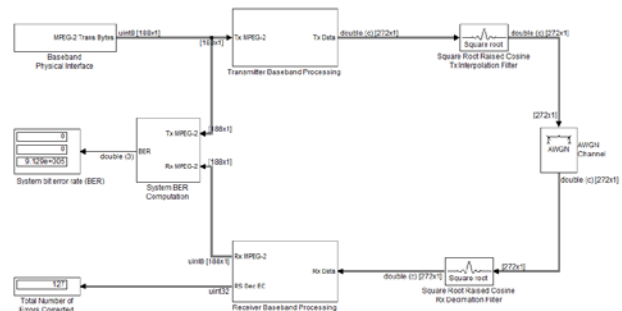


圖 15. MATLAB SIMULINK DVB-C 模擬平台

模擬 MPEG-2 傳輸為 188 個位元組傳輸封包於 DVB-C 系統如圖 15 所示，經由亂碼器 (Randomizer)、里德所羅門碼 (Reed-Solomon Code)、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)、調變 (Modulation)，如圖 16 所示，而接收端反之。

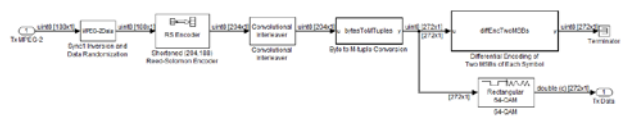


圖 16. 通道編碼系統

3.1 亂碼器 (Randomizer) 方塊圖

以隨機二進位序列 PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) 產生 187 的資料位元組與同部位元組封包 SYNC 產生一個位元組即 47_{HEX} (01000111) 在亂數化之前轉換成補數即 B8_{HEX} (10111000) 做為接收端解亂碼器的開始信號，數入資料流為 188 個位元組模擬 MPEG-2 傳輸封包，如圖 17 所示。

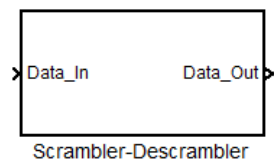


圖 17. 亂碼器方塊圖

3.2 里德索羅門碼 (Reed-Solomon Code) 方塊圖

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，如圖 18 所示。

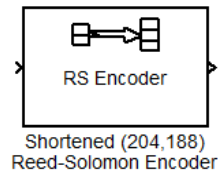


圖 18. RS 編碼方塊圖

3.3 迴旋交錯器 (Convolutional Interleaver) 方塊圖

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 19 所示。

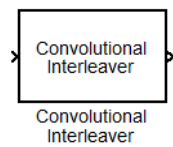


圖 19. 迴旋交錯器方塊圖

3.4 位元到 M 元組轉換(Byte To m-tuple Conversion) 方塊圖

資料流為 204 個位元組經過位元到 M 元組轉換提升資料流。以 64-QAM 為例， $\log_2(64)=6$ ， $204 \times 8/6=272$ 。輸出資料流為 272 個位元組，如圖 20 所示。

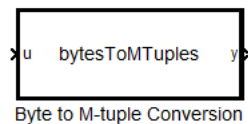


圖 20. 位元到 M 元組轉換方塊圖

3.5 差分編碼(Differential encoding)方塊圖

由差分編碼(I_K, Q_K)由 A_K, B_K 產生 I_K 與 Q_K 排列出星座圖位置以 $\pi/2$ 旋轉產生各象限座標，如圖 21 所示。

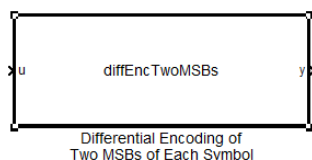


圖 21. 差分編碼方塊圖

3.6 調變(Modulation) 方塊圖

由差分編碼以 $\pi/2$ 旋轉產生各象限座標排列出星座圖 (Constellation)，模擬調變

(Modulation)資料顯示所需要位置而排列出，如圖 22 所示。

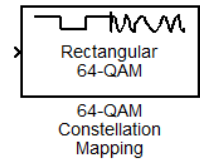


圖 22. 調變方塊圖

我國數位電視目前採用 64-QAM，並以 EN300429 所制定標準 MPEG-2 傳輸資料量由 MATLAB SIMULINK DVB-C 模擬平台執行觀察所需要之符元率及所需頻寬，如表 2 所示。

表 2. MATLAB SIMULINK DVB-C 模擬平台執行之結果

MPEG-2 transport [Mbit/s]	Cable symbol rate [MBaud]	Occupied bandwidth [MHz]	Modulation scheme
38.1	6.89	7.92	64-QAM
18.9	3.42	3.93	64-QAM
9.6	1.74	2.00	64-QAM

3.7 客觀量測模擬結果

由 JPEG200 網路提供的影像訊號之資料壓縮應用程式，以標準影像壓縮七種不同的壓縮率進行彩色的客觀量測平均平方誤差(mean square error, MSE)、信號雜訊比(Signal-to-noise ratio, SNR)、峰值信號雜訊比(peak signal-to-noise ratio, PSNR)，分別對於兩張由 N 個像素點所構成的相似影像進行客觀量測，A 為像素點的最大值 $2^8=256$ ，PSNR 達到 40dB 以上肉眼上幾乎無法判別出兩張影像有何不同，PSNR 約 30dB~40dB 會因個人對視覺上的要求而會有所差異，一般普通影像通常必須要求 PSNR 要達到 30dB 以上，而 PSNR 低於 30dB 以下會在視覺上有明顯的差異感覺。

平均平方誤差(mean square error)

$$MSE = \frac{\sum_{n=1}^{FrameSize} (I_n - P_n)^2}{FrameSize}$$

信號雜訊比(Signal-to-noise ratio)

$$SNR(dB) = 10 \times \log_{10} \left(\frac{\sum_{n=1}^{FrameSize} (I_n)^2}{\sum_{n=1}^{FrameSize} (I_n - P_n)^2} \right)$$

峰值信號雜訊比(peak signal-to-noise ratio)

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{A^2}{MSE} \right)$$

圖 23 為原始影像，圖 24 是由 JPEG2000 的影像訊號之資料壓縮應用程式所壓縮彩色之圖形結果，壓縮率分別為 1、0.1、0.01、0.001。



原始影像

圖 23. 原始影像圖



壓縮率為1之影像



壓縮率為0.1之影像



壓縮率為0.01之影像



壓縮率為0.001之影像

圖 24. 由 JPEG200 壓縮之圖片

由表 3、圖 25 所示，彩色影像壓縮率於 0.01 或 0.05 以上為人眼可接受範圍，故在 DVB-C 系統上影像品質可以控制最大的壓縮率且又不影響人眼對畫面感覺失真進行傳輸影像。

表 3. 由 MATLAB 所執行客觀量測於彩色影像之結果

	rate	MES	SNR	PSNR
1	1	0.000053	82.400	90.910
2	0.5	0.124	48.657	57.167
3	0.1	7.193	31.051	39.561
4	0.05	17.163	27.274	35.984
5	0.01	73.993	20.928	29.438
6	0.005	111.315	19.155	27.665
7	0.001	265.147	15.386	23.895

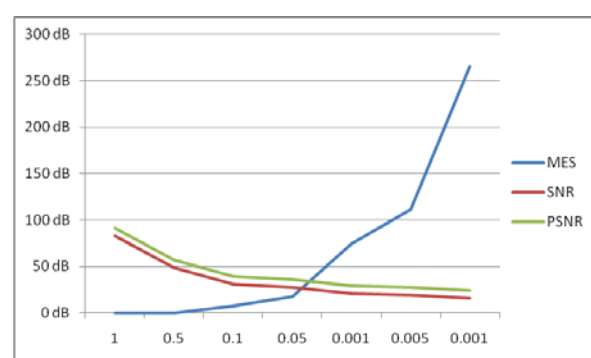


圖 25. 由 MATLAB 所執行客觀量測於彩色影像之曲線圖

4. 結論

本論文主要模擬 DVB-C 動態影像分析研究。使用的軟體是以 MATLAB SIMULINK 製作出 DVB-C 模擬平台。模擬 DVB-C 系統標準傳輸所需頻寬(Bandwidth)、位元率(Bit Rate)、符元率(Symbol Rate)。並模擬 MPEG-2 傳輸 188 個位元組封包於 DVB-C 系統，不同的壓縮率對傳輸影像畫面是否會感覺失真。模擬結果：MPEG-2 transport stream[Mbit/s]為 38.1 且調變在 64QAM 時，符元率是 6.89M 及頻寬是 7.92 MHz，符合所需。影像壓縮率於 0.01 或 0.05 以上，PSNR 約為 30，且為人眼可接受範圍，但壓縮率於 0.001 時，PSNR 及 SNR 均太低，對傳輸影像畫面會產生感覺失真。

參考文獻

- [1] 尤信程,林世欽,劉玉蓀,鄭獻勳“數位電視之原理及技術”全華圖書,2004

- [2] 胡國瑞,孫沛立,徐道義,陳鴻興,黃日鋒,詹文鑫,羅梅君“顯示色彩工程學”全華圖書,2004
- [3] 楊士萱,尤信程,陳偉凱“數位電視之多媒體技術”全華圖書,2007
- [4] MathWorks, <http://www.mathworks.com/>
- [5] KHALID SAYOOD 原著,吳俊霖 編譯“資料壓縮(第三版)”全華圖書,2008
- [6] The JPEG committee, <http://www.jpeg.org/>
- [7] MPEG .ORG, <http://www.mpeg.org/>
- [8] ETSI “Digital video Broadcasting(DVB)Framing structure, channel coding and modulation for cable systems”EN 300 429 v1.2.1, 1988
- [9] 王章諭 “DVB-T於6/7/8之通道特性與RF訊號分析研究”碩士論文,高苑科技大學電機工程研究所, 2008