

# 不相等錯誤保護之交錯映射應用於無線多媒體傳輸

江松茶

呂明弦

洪智禹

唐至賢

國立雲林科技大學

電機工程系暨通信工程研究所

e-mail : jiangsj@yuntech.edu.tw

e-mail : g9612745@yuntech.edu.tw

## 摘要

在本篇的主要研究方向為多輸入多輸出正交分頻多工信號偵測技術結合非均勻調變技術應用交錯映射(Mapping Interleave)技術的效能分析。我們使用格狀編碼調變 (Trellis Coded Modulation, TCM) 與非均勻 QAM (Non-uniform QAM) 來實現我們所提出的構思,我們加入了渦輪碼 (Turbo Code) 來增加無線傳輸的錯誤更正能力,在渦輪編碼後,分別映射至非均勻 QAM 上。MIMO-OFDM 的訊號偵測我們將分析比較在非均勻調變技術應用交錯映射上各種訊號偵測技術的效能,如強制歸零(zero-forcing)、貝爾實驗室垂直分層空時 (V-blast)、QR 貝爾實驗室垂直分層空時 (QR-blast)、最大相似搜尋法 (Maximum likelihood search)這幾種方法。在此分析下我們可以找出位元錯誤率(BER)較低,適合非均勻調變技術應用交錯映射架構的訊號偵測方法。我們以 16-QAM 調變規格在具符元干擾通道與 AWGN 通道狀況下來做效能模擬。

**關鍵詞:** 非均勻調變技術、交錯映射、渦輪碼、格狀編碼

## 1. 前言

視近年來在無線通訊系統上,頻寬仍舊受到限制,但可應用的壓縮技術、錯誤更正碼技術多不勝數,然而在考慮硬體成本與系統複雜度下,又不能一味的一直對資料重複的做壓縮保護,因此我們的研究重點是利用非均勻調變技術的特性,將資料以交錯的方式做映射,藉此將可能受到的干擾或雜訊分散,降低整體的位元錯誤率來提升效能。

發射端是經由MIMO-OFDM傳輸我們的資料,我們知道在SISO-OFDM系統上,接收端的時序及頻率同步、通道估測、訊號偵測都是很重要的研究主題,而這些主題在MIMO-OFDM上也是很重要的研究主題,尤其是MIMO-OFDM在以上研究主題裡複雜度又更高。這篇論文裡我們把重點擺在訊號偵測這主題上,我們希望找出不同的訊號偵測技術使用交錯映射技術之

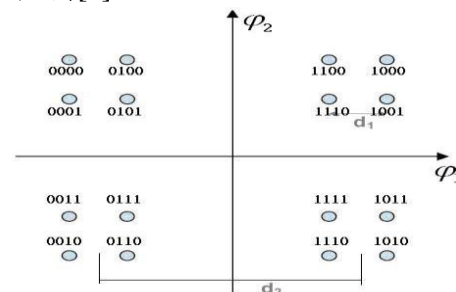
後,整體效能可提升多少,研究交錯映射對資料的保護效果。

## 2. 主要內容

為了達到高速傳輸資料的特性,在一般正交分頻多工 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 系統中,我們選用了對通道利用率較高且適合較高速率傳輸的正交振幅調變 (Quadrature Amplitude Modulation, QAM) 作為調變方式。並且加入了格雷碼和非均勻星座圖的概念,達成了以格雷碼映射之非均勻 QAM 調變方式,並且我們將在下面文章分析每個位元的位元錯誤率。

### 2.1 格雷碼映射之 16-QAM

依據外加白色高斯雜訊(Additive White Gaussian Noise, AWGN)的特性,在信號星座圖中,任一符元由於外加白色高斯雜訊(AWGN)的影響所造成的符元錯誤,絕大部分只會被誤判成鄰近於原傳輸符元的相鄰符元,也就是原傳輸符元的上下左右相鄰符元。所以,為了使傳送時能有較小的錯誤率,在從位元碼映射到符元時,我們使用具有任兩相鄰字元間僅相差一個位元的特性的格雷碼 (Gray Code) 作為映射方式,圖一為經格雷碼映射後的 16-QAM 星座圖[1]。



圖一 以格雷碼映射之 16-QAM 星座圖

### 2.2 位元錯誤率分析

正交振幅調變中,由於外加白色高斯雜訊(AWGN)的分佈特性,我們可以做出以下概略假設:符元錯誤機率  $P_e$  是由最鄰近於被傳輸

信號的相鄰者所主宰。也就是說，我們可以粗略的認定，由於外加白色高斯雜訊 (AWGN) 所引起的符元錯誤，在接收端絕大部分只會被誤判成最鄰近於原傳輸符元的相鄰符元，也就是原傳輸符元的上下左右相鄰符元。而格雷碼所相差的位元，發生在較低的位元的次數會高於較高位元的特性暗示了我們，在將位元碼映射到 M-ary 正交振幅調變符元中使用格雷編碼，在每一個符元相對的個位元中，不同的位元將會具有不同的位元錯誤率 [2]。

在圖一中有設定兩個變數  $d_1, d_2$ ，而且我們進一步定義兩變數的比率關係  $k$ ：

$$\frac{d_1}{d_2} = k, \text{ wherer } 0 < k \leq 0.5 \quad (1)$$

在圖一星座圖中的每一個符元 (symbol) 都可以表示為：

$$s = \left( \pm \frac{d_2}{2} \pm \frac{d_1}{2} \right) + \left( \pm \frac{d_2}{2} \pm \frac{d_1}{2} \right) j \quad (2)$$

從 [3] 可以求得 16-QAM 上的各個位元分別的位元錯誤率：

bit0 之位元錯誤率  $P_{b0e}$

$$\frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{d_1}{2} \sqrt{\frac{E_0}{N_0}} \right) \quad (3)$$

bit1 的位元錯誤率  $P_{b1e}$

$$\frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \left( d_1 + \frac{(d_2 - d_1)}{2} \right) \sqrt{\frac{E_0}{N_0}} \right) \quad (4)$$

同時 bit2 的位元錯誤率與 bit0 完全相同，為

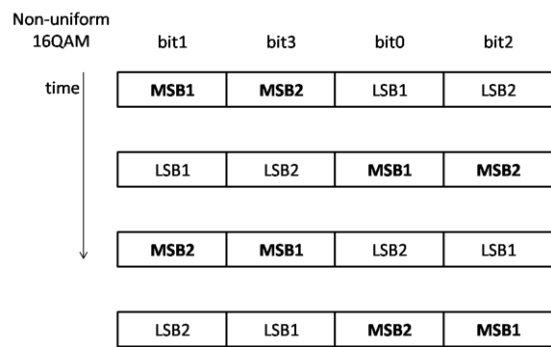
$$\frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{d_1}{2} \sqrt{\frac{E_0}{N_0}} \right)$$

bit3 的位元錯誤率與 bit1 相同，為

$$\frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left( \frac{(d_2 - d_1)}{2} \sqrt{\frac{E_0}{N_0}} \right)$$

### 2.3 交錯映射

交錯映射是針對非均勻 16-QAM 的不相等錯誤保護機制去做交錯應用，非均勻 16-QAM 我們可以區分為兩種不同的保護能力分別為 MSB 和 LSB；MSB 代表在非均勻 16-QAM 上面有較低錯誤率的位元映射位置，LSB 則為非均勻 16-QAM 上面擁有較高錯誤率的位元映射位置。因此利用非均勻 16-QAM 的特性，在最高位元與最低位元不同的錯誤率下，做交錯式的映射，如圖二，藉此降低整體位元錯誤率。



圖二 交錯模式

## 3. MIMO-OFDM

近年來多重輸入多重輸出正交分頻多工 (MIMO-OFDM) 在研究領域上一直是很熱門的話題，不但可以增加傳輸容量，也可以增加傳輸可靠度。在 MIMO-OFDM 裡訊號偵測佔了一個很重要的地位，系統的效能好壞跟所使用的訊號偵測方法有很大的關係。本篇文章中將使用四種方法來分析我們的不相等錯誤保護系統。

### 3.1 強制歸零 (zero-forcing)

這是一種最簡單的訊號偵測技術，但也是效果最差的技術。使用強制歸零來求得估測向量  $S_{est}$ ，如式 (5)。

$$\begin{aligned} S_{est} &= (H^* H)^{-1} H^* R \\ &= H^\# R \end{aligned} \quad (5)$$

其中 H 要先利用通道估測求出，而上式的 \* 為取其共軛轉置，# 為取其虛擬反矩陣。若我們繼續推導上式可以發現強制歸零的一個很大的缺點。

$$\begin{aligned} S_{est} &= (H^* H)^{-1} H^* R \\ &= H^\# H S + H^\# n \\ &= S + H^\# n \end{aligned} \quad (6)$$

問題在於  $H^\# n$  這裡，當我們想求出 S 時會乘上  $H^\#$  來消除 H，但這樣做反而會把雜訊放大，導致整體效果有限，如公式 (6)。

### 3.2 QR 貝爾實驗室垂分層空時 (QR-blast)

QR-blast 是一種複雜很低的一種訊號偵測方法，他的基本原理是以排序 QR 分解來分解通道矩陣，具有不會把雜訊放大的特性。

QR-blast 可以分成幾個步驟進行：

步驟 1：決定順序 (order)

步驟2：通道估測矩陣做QR分解  
 步驟3：使用向後取代方式求得信號S  
 步驟1：G是H的反矩陣，我們得到G以後用公式(7)來決定順序(order)

$$G = H^{-1}$$

$$order = sort\left(\left[\left(G\right)_i\right]^2\right) \quad (7)$$

步驟2：將H做QR分解分成Q與R，2個矩陣，Q是正交單位矩陣，R是上三角矩陣。  
 $H = QR$

$$= \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \cdots & Q_{1n} \\ Q_{21} & Q_{22} & \cdots & Q_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{N1} & Q_{N2} & \cdots & Q_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1n} \\ 0 & R_{22} & \cdots & R_{2n} \\ 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & R_{NN} \end{bmatrix} \quad (8)$$

步驟3：做往後取代，求出每一根天線訊號從公式(8)可以發現雜訊項n會乘上QH，但是它並不會像強制歸零一樣把雜訊放大，因為QH的行列norm直都為1。

### 3.3 貝爾實驗室垂分層空時(V-blast)

V-blast是採用重複的方法來減少互相干擾，一開始先必須找出一個正確的sx，在從接收端減去sx以減少sx對別支天線的影響，此方法可以分成幾個步驟：

步驟1：使用零向量。  
 步驟2：決定順序(order)，如公式(9)。

$$G = H^{-1}$$

$$K_1 = \arg \min \left[ \left( G_1 \right) \right]^2 \quad (9)$$

步驟3：量化  $y_{k1}$ ，如公式(10)。

$$\hat{a}_{k1} = Q(y_{k1}) \quad (10)$$

公式(10)  $Q(y_{k1})$  為找距離星座圖最近的點。

步驟4：接收端減去  $a_{k1}$ ，結果將取代  $r_2$ ，這樣做是為了消除  $a_{k1}$  對別的天線的影響。

$$r_2 = r_1 - \hat{a}_{k1} (H)_{k1} \quad (11)$$

步驟5：由於公式(11)已經將  $a_{k1}$  減去，代表  $a_{k1}$  對接收端的影響已經完全消除，所以原來的通道響應H的第k1行也必須刪除，以  $H_{kl}$  表示，如公式(12)。

$$G_2 = H_{k1}^+ \quad (12)$$

重複上述的步驟將每一根天線的干擾一次一次的減去，最後求出所有的接收信號。

### 3.4 最大相似搜尋法

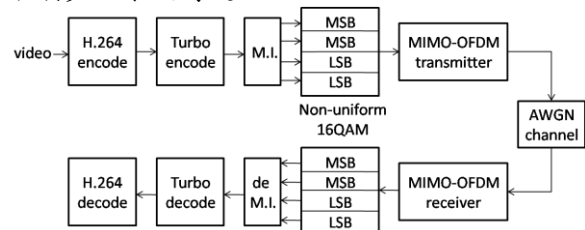
ML是目前效果最好的方法，依公式(13)。

$$\hat{S} = \arg \max_{s_j \in \{s_1, \dots, s_k\}} p(x | H, s_j) \quad (13)$$

可以得到看出他是與星座圖上的點做比較，然後再取最近的點。這方法雖然是最好，但要跟星座圖上所有的點比較在硬體實現上是非常困難，需要很龐大的硬體資源。

## 4. 系統架構

我們將H.264/AVC所編碼的資料經過渦輪編碼，接著將資料分別交錯輸入到非均勻16-QAM裡映射。非均勻16-QAM我們可以區分為兩種不同的保護能力分別為MSB和LSB；MSB代表在非均勻16-QAM上面有較低錯誤率的位元映射位置，LSB則為非均勻16-QAM上面擁有較高錯誤率的位元映射位置。利用非均勻16-QAM的特性，在最高位元與最低位元不同的錯誤率下，做交錯式的映射，藉此降低整體位元錯誤率。最後經過16-QAM映射完的資料使用MIMO-OFDM多重輸入多重輸出正交分頻多工系統傳送。



圖三 系統架構

## 5. 模擬結果及分析

我們使用的測試影像序列為 Foreman。Foreman 是屬於高動量的影像序列，而且動的區域不只人物主體的移動，還包括攝影機的 camera motion，因此其錯誤累積效應，比起靜態的視訊來說會較為嚴重，如圖四所示。其相關的編碼參數如表一所示。

表 1 H.264 視訊規格與編碼設定值

| parameter    | Value |
|--------------|-------|
| Frame Number | 100   |
| Frame Rate   | 30fps |

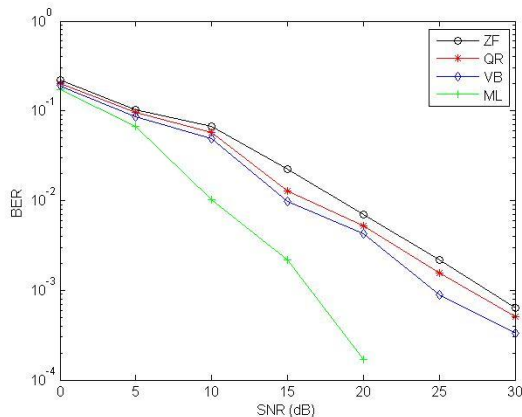


|                      |           |
|----------------------|-----------|
| Frame Size           | 176*144   |
| Period of I frame    | 5 (IPPPP) |
| Out File Mode        | RTP       |
| Num_slice_group      | 4         |
| Slice group map type | Dispersed |



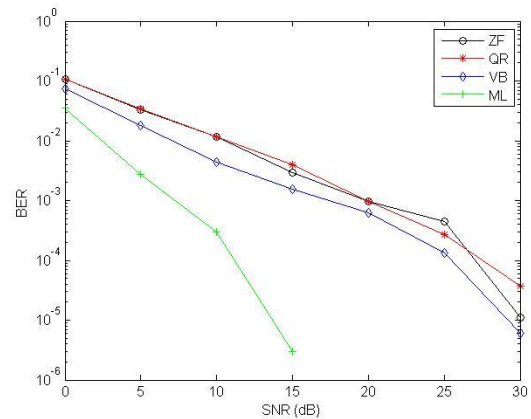
圖四 測試影像 Foreman

我們一開始先分析比較不相等錯誤保護在位元錯誤保護上的效能。圖五為一般未使用不相等錯誤保護的位元錯誤率圖，可以發現四種訊號偵測方法中ML的效果最好，其次為V-blast、QR-blast、再來是ZF。



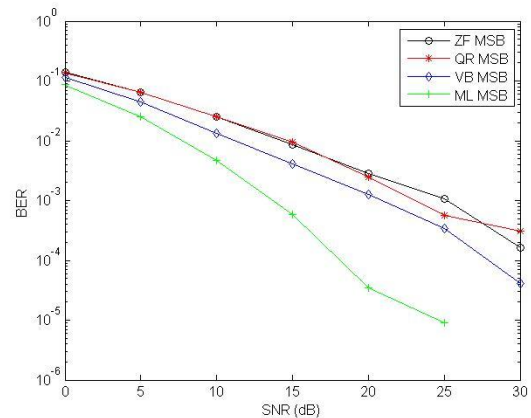
圖五 無交錯映射之錯誤率曲線圖

圖六為使用交錯映射的曲線圖，我們可以發現不管是哪一種偵測方式他的位元錯誤率都有下降，而QR-blast的效果不太理想。QR-blast與ZF會這麼靠近並沒有太令人意外，因為在接收端天線數量若不是很多時，他迭代求原始訊號的次數會不夠多，這樣下來他的效能會與ZF的效能相當接近。

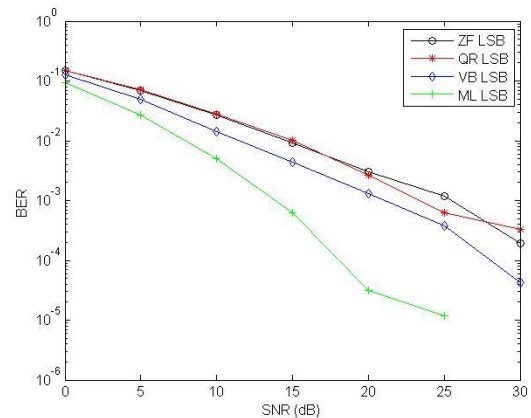


圖六 結合交錯映射之錯誤率曲線圖

我們在進一步分析更詳細的錯誤率，把MSB及LSB的錯誤率分開來比較，圖七為MSB的位元錯誤率曲線圖，圖八為LSB的位元錯誤率曲線圖。

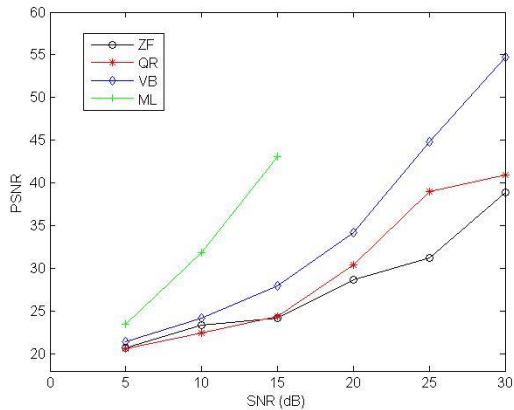


圖七 結合交錯映射之MSB錯誤率曲線圖



圖八 結合交錯映射之LSB錯誤率曲線圖

比較圖七與圖八，可以看到使用交錯映射將錯誤率平均分散，因此MSB與LSB的錯誤率十分相近。接著我們分析接收影像的PSNR，圖九為PSNR曲線圖。



圖九 結合交錯映射之PSNR曲線圖

圖十、圖十一、圖十二與圖十三為接收到的影像，我們取其雜訊最高的畫面。



圖十 Zero-Forcing於SNR25、30影像圖



圖十一 QR-blast於SNR25、30影像圖



圖十二 V-blast於SNR25、30影像圖



圖十三 ML於SNR15、20影像圖

## 6. 結論

本論文研究目的在於以 IDM 的編碼調變技術模擬疊加多播技術在實體層的架構，而在接收端上使用迭代偵測及迭代解碼的技術，經由接收機作迭代後所還原的影像 PSNR 值來進行分析與比較；其中發送端使用可延展性的疊加多播技術，會與電視頻道數量和電視頻道所需要的頻寬有關，所以為了更有效率的使用頻寬，我們將針對影像訊號以重要性作為分級實現不相等錯誤保護機制，傳送端系統利用 SCM 的架構將 H.264 編碼後的 I-frame 及 P-frame 分層傳輸，並且將 H.264 編碼後的 I-frame 資料設為較重要等級給予較高的功率，P-frames 資料為較次要等級給予較低的功率，以此區分配置功率來做為傳送影像訊號的模式。

從第五章的模擬結果顯示，我們可以看到接收機的迭代次數越多，在傳輸 H.264 壓縮後的影像資料其位元錯誤率及影像還原後的 PSNR 也越好，尤其是在第七次迭代之後。另外而模擬結果可以發現分析影像還原後的 PSNR 值時，當系統模式使用在 UEP 模式下且逐漸的加大調整功率參數時，我們可以發現在參數越大時其在每一次迭代上收斂的越快，這個結果讓我們有一種想法，當影像傳輸系統使用功率比例較大的 UEP 模式時，我們就不需要用太多的迭代次數就可以得到差不多的效能

## 參考文獻

- [1] Fei Zesong; Kuang Jingming; Yang Yu "Shaping gain by non-uniform QAM constellation with binary turbo coded modulation" Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2003. 14th IEEE Proceedings, Vol. 2, pp.1863 - 1867 Sept. 2003
- [2] 林桓民, "無線多媒體傳輸之不相等錯誤保護研究", 國立雲林科技大學, 碩士論文, 2007年。
- [3] M. Mahdi Ghandi; Mohammed Ghanbari, "Robust video transmission with an SNR scalable H.264 codec", High Speed Networks and Multimedia Communications, pp.932-940, 004