

# 使用於光分碼多重接取網路之波長/時間矩陣碼的設計與效能分析

黃振發<sup>1\*</sup>, 楊朝欽<sup>2</sup>

<sup>1</sup>成功大學電機工程系 教授

<sup>2</sup>崑山科技大學電子工程系 助理教授

<sup>1</sup> huajf@ee.ncku.edu.tw; <sup>2</sup> ccyang@mail.ksu.edu.tw

- Chao-Chin Yang, Jen-Fa Huang, and Yi-Hseng Wang, "Comments on 'Design and Performance Analysis of Waveguide/Time (W/T) Matrix Codes for Optical CDMA'," IEEE J. Lightwave Technology, vol. 25, no. 10, p. 3210, October 2007.
- Chao-Chin Yang, Jen-Fa Huang, and Yi-Hseng Wang, "Multipulse-Per-Row Codes for High Speed Optical Wavelength/Time CDMA Networks," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 19, no. 21, pp. 1756-1758, November 2007.

**近**二十多年來分碼多重接取(code-division multiple-access, CDMA)技術在光網路的應用上已有相當多的研究。這些光分碼接取技術有許多優點，如允許眾多使用者可以非同步且秘密使用共同的通道，而且由於不需分派專屬的時槽或波長給使用者，因此即使在具突發性資料傳輸特性的環境下仍然具有相當高的統計多工增益。這些特性使得光分碼接取與其他光網路接取架構如分時多重接取(time-division multiple-access, TDMA)和分波多重接取(wavelength-division multiple-access, WDMA)有明顯的差別。在各式的光分碼多重接取架構中，最著名的就是非同調展時(time-spreading)光分碼接取架構，這種架構在實現上也是比較簡單的。在這種架構中，由於每一個傳送的訊息位元用 $M$ 個細片(chip)來傳送，因此當碼長很長時將大幅降低傳輸的位元率。由於使用單極性的光信號作傳輸，因此最初所發展的一維光正交碼(optical orthogonal codes)的碼長都很長，這是由於要減少其他使用者造成的多重存取干擾(multiple-access interference)並且增加存取碼的數目的結果。後來有許多人提出同時使用展時與波長編碼的二維碼來減輕碼長過長的問題，但為了進一步改善傳輸位元率的問題，具更短碼長之碼的提出的確有其必要性，因為傳輸位元率在高速傳輸中是一個很重要的參數。



Mendez等人的論文中提出了具短碼長的二維碼，而這種二維碼的產生方式是先折疊從葛魯尺(Golomb ruler)而得的單極性序碼後再於其後填入"0"細片。由於這種二維碼無法有理想的相關特性，因此我們提出了一種稱為折疊光正交碼(folded optical orthogonal codes, FOOCs)的二維碼來改善上述的碼長問題。這些折疊光正交碼可以由折疊具合適相關特性的一維光正交碼來產生。因此碼的建構不需要冗長的搜尋過程，而且得到的二維碼具有理想的相關特性和最佳的碼數。以下舉一例子說明：首先，列舉兩個長度為16的一維光正交碼如下：

$$C_0 = [1100100000000000]$$

和

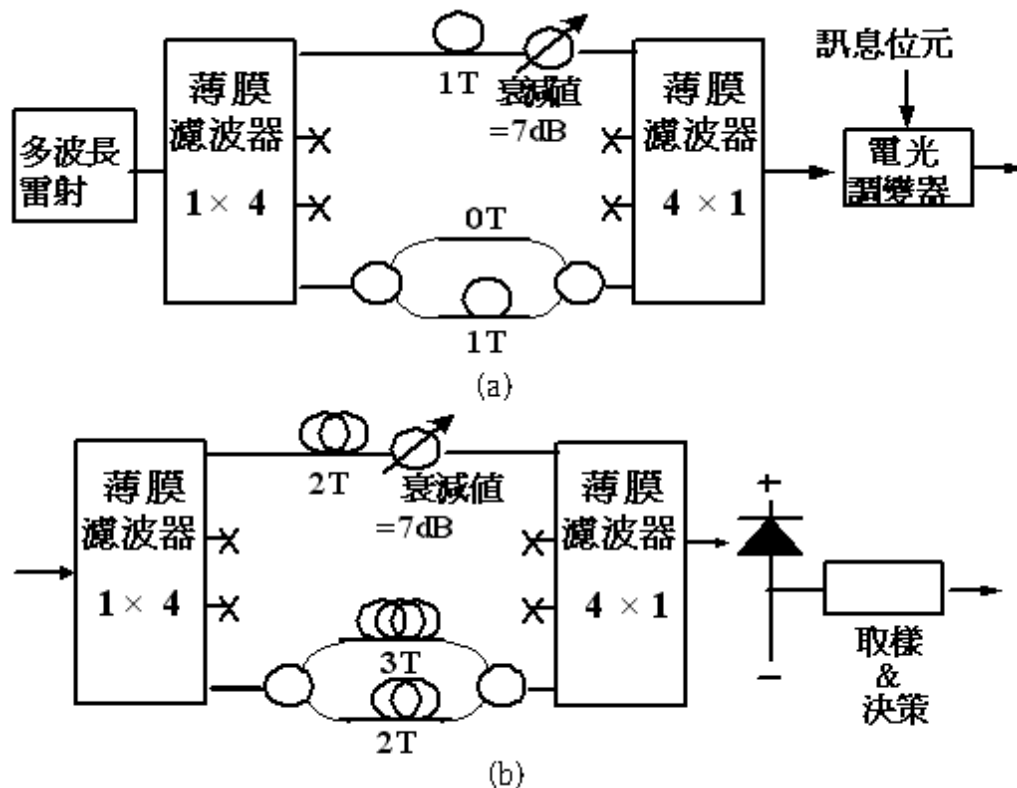
$$C_1 = [1010000100000000],$$

然後將這兩個光正交碼以行方式(column-wise)折疊後再加以移動，便可以得到下面列出的八個 $4 \times 4$ 二維碼矩陣：

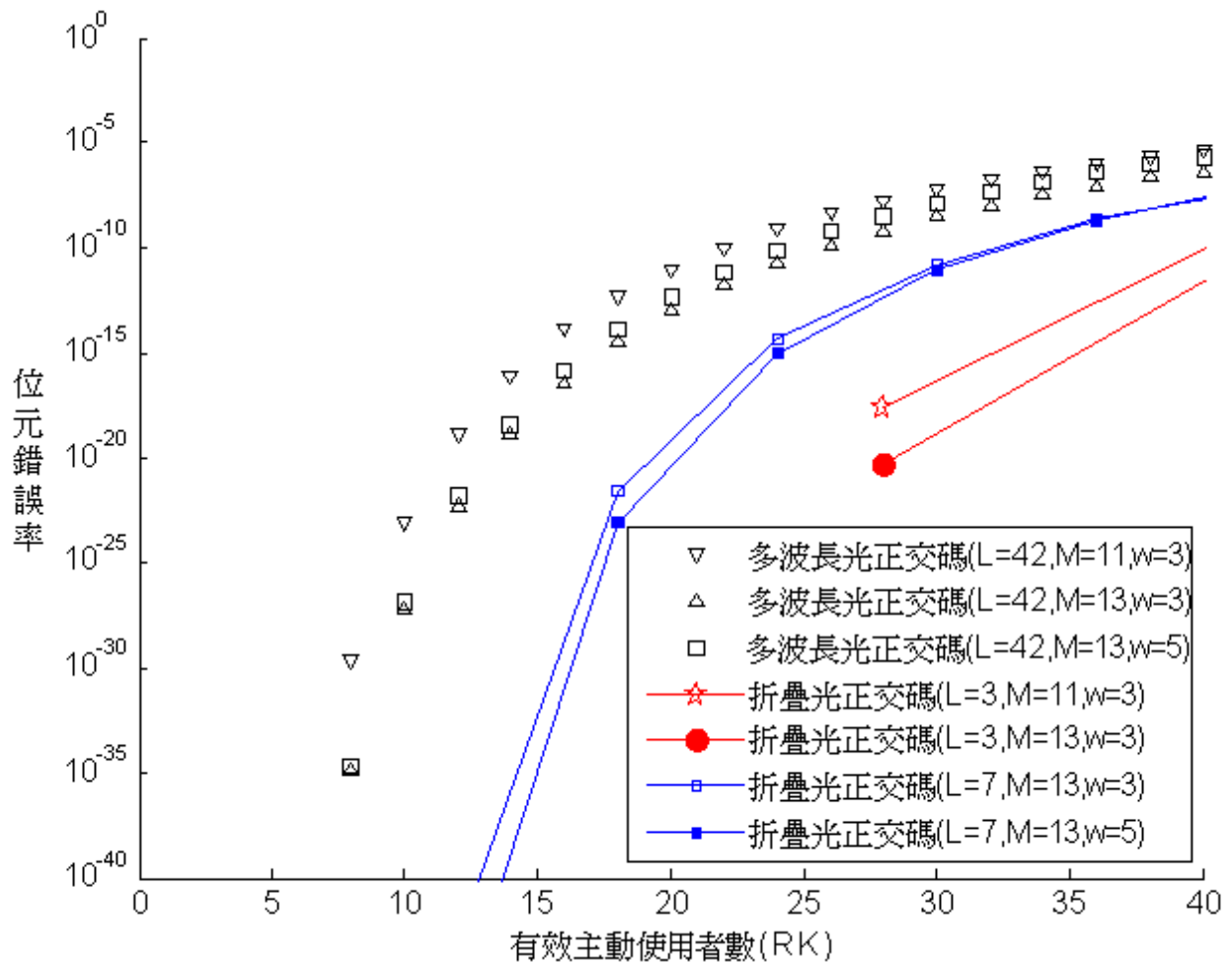
$$\begin{aligned}
 A_{0,0} &= \begin{bmatrix} 1100 \\ 1000 \\ 0000 \\ 0000 \end{bmatrix} & A_{0,1} &= \begin{bmatrix} 0000 \\ 1100 \\ 1000 \\ 0000 \end{bmatrix} & A_{0,2} &= \begin{bmatrix} 0000 \\ 0000 \\ 1100 \\ 1000 \end{bmatrix} & A_{0,3} &= \begin{bmatrix} 0100 \\ 0000 \\ 0000 \\ 1100 \end{bmatrix} \\
 A_{1,0} &= \begin{bmatrix} 1000 \\ 0000 \\ 1000 \\ 0100 \end{bmatrix} & A_{1,1} &= \begin{bmatrix} 0010 \\ 1000 \\ 0000 \\ 1000 \end{bmatrix} & A_{1,2} &= \begin{bmatrix} 0100 \\ 0010 \\ 1000 \\ 0000 \end{bmatrix} & A_{1,3} &= \begin{bmatrix} 0000 \\ 0100 \\ 0010 \\ 1000 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

在檢查所有二維碼矩陣的可能移動方式後，可以發現一維碼的所有自相關和互相關值會與二維碼的所有自相關和互相關值呈現一對一的對應。既然 $C_0$ 的每一種可能的時間移動情形皆不會和 $C_0$ 本身有碰撞超過一次的機會，我們可以立即知道這些一維光正交碼所對應的二維折疊光正交碼間也不會有碰撞超過一次的機會。以此類推，可知折疊光正交碼的自相關函數除了在時間偏移為0處之外不會有超過1的值，且其互相關函數也不會有超過1的值，所以我們說折疊光正交碼有理想的相關特性。注意根據強森界限(Johnson bound)，折疊光正交碼具有最佳的碼數。

圖一(a)是用來產生 $4 \times 4$ 折疊光正交碼 $A_{0,3}$ 的編碼器。這個編碼器使用一個多波長雷射作為光源、一個電光調變器作為調變器，以及兩個薄膜濾波器用來對多波長雷射產生的光進行多工/解多工。連至薄膜濾波器各輸出埠之光延遲線的數目由 $A_{0,3}$ 對應之列的“1”細片數目決定。圖一(b)是用來配合上述之編碼器的解碼器，這個解碼器的主要部分中，除了光延遲線的延遲時間與編碼器中光延遲線的延遲時間“互補”之外，其他皆與圖一(a)的編碼器相同。



圖一、折疊光正交碼的 (a).光編碼器，與 (b).光解碼器。



圖二、位元錯誤率與有效主動使用者數的關係圖。

圖二是位元錯誤率的比較結果。因為另一個別的研究者所提出的多波長光正交碼也是為了縮短碼長而被提出，因此這裡將折疊光正交碼與多波長光正交碼的位元錯誤率作一比較。由於折疊光正交碼的碼長比多波長光正交碼還短，因此在效能分析中我們使用有效主動使用者數  $RK$  來代替一般使用的主動使用者數  $K$  作為比較參數，這裡  $R$  是多波長光正交碼碼長與折疊光正交碼碼長的比值。在相同的位元錯誤率下，折疊光正交碼的有效主動使用者數總是比多波長光正交碼的有效主動使用者數還要多，因此折疊光正交碼比其他的二維碼具有較佳的頻譜效益。

因此我們所提出的二維碼具有以下的優點：較佳的頻譜特性、理想的相關特性、碼長選擇有彈性、以及最佳的碼數。除此之外，由於折疊光正交碼的不規則碼型，他們也有較佳的保密性。