

## 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

### 子計畫二:智慧型光網路研究與模擬測試平台之建立(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2213-E-032-023-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：淡江大學電機工程學系(所)

計畫主持人：李揚漢

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 14 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告  
高速光通信系統及元件之研究(1/3)－子計劃二：  
智慧型光網路研究與模擬測試平台之建立

計畫編號：NSC-91-2213-E-032-023

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：李揚漢 淡江大學電機系

一、 中文摘要

利用分碼多工技術可大量提昇光纖通信之傳輸容量。本計劃針對光纖分碼多工系統之特性，提出共用零碼的系統架構。各通道傳送位元 1 時，以目的地之展頻碼進行編碼，而傳送位元 0 時則使用零碼進行編碼。不同的目的地，可使用共同的零碼以節省展頻碼的需求量。此架構可讓各通道間相互的干擾量保持固定，使各接收器得以利用簡單且快速的判斷結構以決定接收位元。分析結果顯示，本架構不僅比一般的 on-off-keying (OOK) 傳輸架構簡單，而且還能提供更優越的性能。

關鍵詞：光纖通信，光分碼多工 (OCDM)。

**Abstract**

A special architecture using balance encoder and on-off-keying (OOK) decoder is proposed for optical code-division multiplexing system.

Different channels can use a common code to encode the zero bits. The constant interference of the system makes the decoder simpler and faster. The performance of the proposed system is proved superior to that of the pure OOK system.

**Keywords:** fiber-optic communication, optical code-division multiplexing (OCDM).

二、 緣由與目的

由於光纖的頻寬遠大於目前電子系統所能達到的頻寬，所以如何充分利用光纖的頻寬乃是建立高速光纖網路的一大重要課題。目前除了分波多工 (Wavelength-division multiplexing, WDM) 技術之外，光分碼多工 (Optical code-division multiplexing, OCDM) 技術亦是漸獲重視的一個方向 [1-9]。一般光分碼多工系統中所採用的是 on-off-keying (OOK) 的編碼方式 [1-9]，也就是只有位元 1 時才進行編

碼及傳送，而位元 0 則不傳送。這種編碼方式雖然可降低平均的干擾量，但是卻使得各通道間的相互干擾量隨時在變動。因此，若要達到較佳的性能，OOK 解碼器必須加入動態的干擾量評估單元以決定臨界(threshold)電路的臨界值[6,7]。不同於 OOK 的編碼方式，本計劃改用平衡式編碼方式，亦即位元 1 和 0 各以不同的展頻碼進行編碼及傳送，其目的是為了維持固定的通道互干擾量。另外，在接收端我們則使用最原始的 OOK 解碼架構，也就是只針對位元 1 進行解碼，其目的是讓各通道可用相同的展頻碼對位元 0 編碼，因此本系統只需額外增加極少數的共用零碼，甚至不須額外增加零碼而利用原本被保留用來評估干擾量的展頻碼作為零碼即可。

在性能方面，由於新系統的互干擾量固定，使得接收器不再需要複雜的干擾評估單元，也降低了因評估錯誤造成的位元錯誤率。因此，新架構可望是暨簡單快速又性能優越的光分碼多工系統。

### 三、 結果與討論

#### 1.系統架構

本計劃所探討的光分碼多工系統架構如圖 1 所示。其中各通道的編碼器和解碼器架構分別如圖 2、3 所示。在圖 2 的編碼器中，我們使用平衡式編碼，當傳送位元  $b=1$  時，由下路根據目的地展頻碼進行編碼，而當傳送位元  $b=0$  時，則由上路根據目的地零碼進行編碼。在圖 3 的解碼器中，只需一個固定式的光相關器 (optic

correlator) 針對位元 1 的展頻碼進行光解碼，然後再透過光接收器轉換成電子信號，最後再以電子式的臨界電路決定出接收到的位元是 1 還是 0。由於通道間的互干擾量固定，在圖 3 的架構中，並不須要任何的干擾評估單元，因此無須額外的延遲以等待干擾評估之結果，也不須動態的臨界值調整。

#### 2. 性能分析

以下我們以修正式質數碼(modified prime codes, MPC)為例，對所提出的光分碼多工系統進行分析。質數  $p$  的 MPC 共有  $p^2$  個，可分為  $p$  組，同組內的 MPC 之互相關量為 0，而不同組的 MPC 之互相關量為 1。若以  $N$  代表總通道數，且各通道傳送位元 1 所使用的展頻碼均勻地分佈於各組中，則屬同一組的通道數可寫為

$$N_i = \begin{cases} 1, & \text{if } N < p \\ N/p, & \text{if } N \geq p \text{ and } (N/p) \text{ is an integer} \\ \lfloor N/p \rfloor + 1 \text{ or } \lfloor N/p \rfloor, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

其中  $\lfloor x \rfloor$  代表小於等於  $x$  的最大整數。另外，每一群組中保留一個 MPC 做為共同的零碼。因此，每一通道受到的干擾量可表示成  $I_i = N - N_i$ 。當傳送的位元是 1 的時候，臨界電路的輸入可近似為 Poisson 隨機變數，且其平均值為  $\bar{\gamma}_1 = \gamma(I_i + p)P_R T_c / hfp$ ；反之，當傳送的位元是 0 的時候，臨界電路的輸入平均值為  $\bar{\gamma}_0 = \gamma I_i P_R T_c / hfp$ 。前二式中的  $\gamma$ 、 $P_R$ 、 $T_c$ 、 $h$  和  $f$  分別是光二極體的光轉換效率(quantum efficiency)、接收到的每

個片元(chip)的光功率、片元期間(chip duration)、Plank 常數和光波頻率。

根據最大相似準則 (maximum likely-hood criterion), 我們可推出臨界電路的最佳臨界值為

$$\eta = \frac{\tilde{\gamma}_1 - \tilde{\gamma}_0}{\ln \tilde{\gamma}_1 - \ln \tilde{\gamma}_0} \quad (2)$$

最後, 我們可推導出平均位元錯誤率(bit error rate, BER)如下:

$$\begin{aligned} BER &= \Pr\{err | b=0\} \cdot \Pr\{b=0\} + \Pr\{err | b=1\} \cdot \Pr\{b=1\} \\ &= \frac{1}{2} \left[ \sum_{k=\lceil \eta \rceil}^{\infty} \frac{e^{-\tilde{\gamma}_0} \tilde{\gamma}_0^k}{k!} + \sum_{k=0}^{\lfloor \eta \rfloor} \frac{e^{-\tilde{\gamma}_1} \tilde{\gamma}_1^k}{k!} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[ 1 + \sum_{k=0}^{\lfloor \eta \rfloor} \frac{e^{-\tilde{\gamma}_1} \tilde{\gamma}_1^k - e^{-\tilde{\gamma}_0} \tilde{\gamma}_0^k}{k!} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

### 3. 數值結果與討論

在圖 4 中, 我們以  $\rho=5$ 、 $\gamma=0.6$ 、 $P_R=1$  W、 $T_c=0.1$  ns 和波長  $\lambda=1300$  nm 為參數畫出了共用零碼系統 common-zero-code (CZC)與 OOK 系統的平均錯誤率。圖 4 中所評估的 OOK 系統使用的是具有干擾評估單元的 OOK 解碼器[6], 其架構如圖 5 所示。在該系統中, 每一群組內仍須保留一個 MPC 供解碼器評估干擾量使用。所以, 兩種系統所需的展頻碼數目是相同的。圖 4 中, 每一種系統之所以會有兩條曲線的原因是系統內有兩種可能的干擾量, 有的通道受到的干擾量較大, 其錯誤率曲線位置較高, 其餘的通道受到的干擾量較小, 其錯誤率曲線位置較低。比較兩種架構的錯誤率可明顯地看出新架構比原 OOK 架構具有更低的錯誤率。這是因

為新系統無須分出部分功率去估測干擾量, 所以擁有較高的信號雜訊比, 而且它不會因為干擾量估測錯誤而導致誤判。換另一種觀點, 若我們將錯誤率限制在  $10^{-8}$  以下, 兩種系統所能達到的最大通道數將如圖 6 曲線所示。由圖 6 的曲線可看出, 若給定一個需求的通道數, 新系統需求的功率較小; 或者說在相同的功率下, 新系統能提供較多的通道。

### 四、已完成之具體成果

1. Y. H. Lee and M. H. Chen, "Multi-priority code set selection using genetic algorithm for FO-CDMA networks," Submitted to Microwave and Optical Technology Letters
2. Y. H. Lee, "Design of quasi-synchronous parallel prime code," Submitted to Microwave and Optical Technology Letters
3. Y. H. Lee and R. H. Wu, "Smart optical multiplexer for multimedia CDMA networks," Submitted to Microwave and Optical Technology Letters
4. L. L. Jau and Y. H. Lee, "Optical code-division multiplexing systems using common zero code" Submitted to Microwave and Optical Technology Letters

## 五、 參考文獻

1. P.R. Prucnal, M.A. Santoro, and T.R. Fan, Spread spectrum fiber-optic local area network using optical processing, *J. Lightwave Technol.*, LT-4, (1986), 547-554.
2. J.A. Salehi, Code division multiple-access techniques in optical fiber networks—Part I: Fundamental principles, *IEEE Trans. Commun.*, 37, (1989), 824-833.
3. T. Ohtsuki, K. Sato, I. Sasase, and S. Mori, Direct-detection optical synchronous CDMA systems with double optical hard-limiters using modified prime sequence codes, *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, 14, (1996), 1879-1887
4. T. Ohtsuki, Channel interference cancellation using electrooptic switch and optical hardlimiters for direct-detection optical CDMA systems, 16, (1998), 520-526
5. C.L. Lin and J. Wu, Channel interference reduction using random Manchester codes for both synchronous and asynchronous fiber-optic CDMA systems, 18, (2000), 26-33.
6. H.M.H. Shalaby, Synchronous fiber-optical CDMA systems with interference estimators, *J. Lightwave Technol.*, 17, (1999), 2268-2275.
7. C.S. Weng and J. Wu, Perfect difference codes for synchronous fiber-optic CDMA communication systems, *J. Lightwave Technol.*, 19, (2001), 186-194.
8. S. Zahedi and J.A. Salehi, Analytical comparison of various fiber-optic CDMA receiver structures, *J. Lightwave Technol.*, 18, (2000), 1718-1727.
9. W.C. Kwong, P.A. Perrier, and P.R. Prucnal, Performance comparison of asynchronous and synchronous code-division multiple-access techniques for fiberoptic local area networks, *IEEE Trans. Commn.*, 39, (1991), 1625-1634.

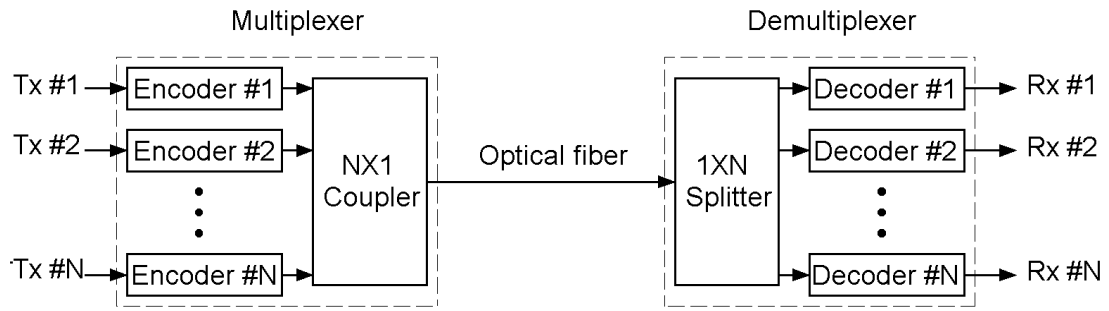


圖 1. 光分碼多工系統

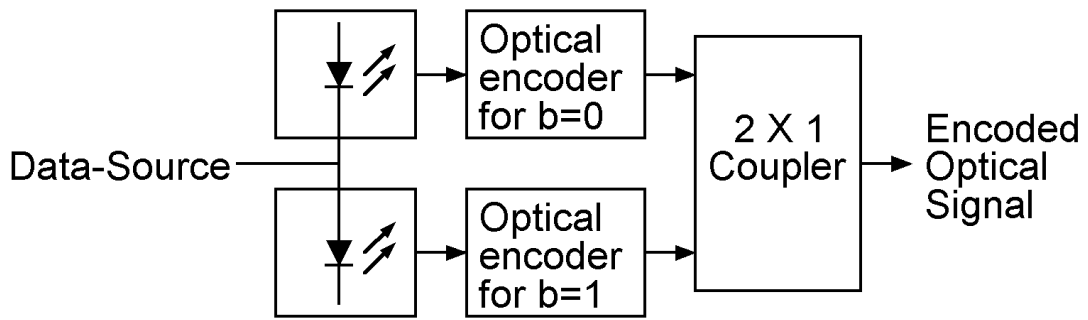


圖 2. 編碼器架構

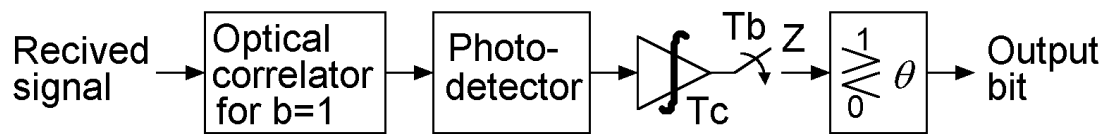


圖 3. 解碼器架構

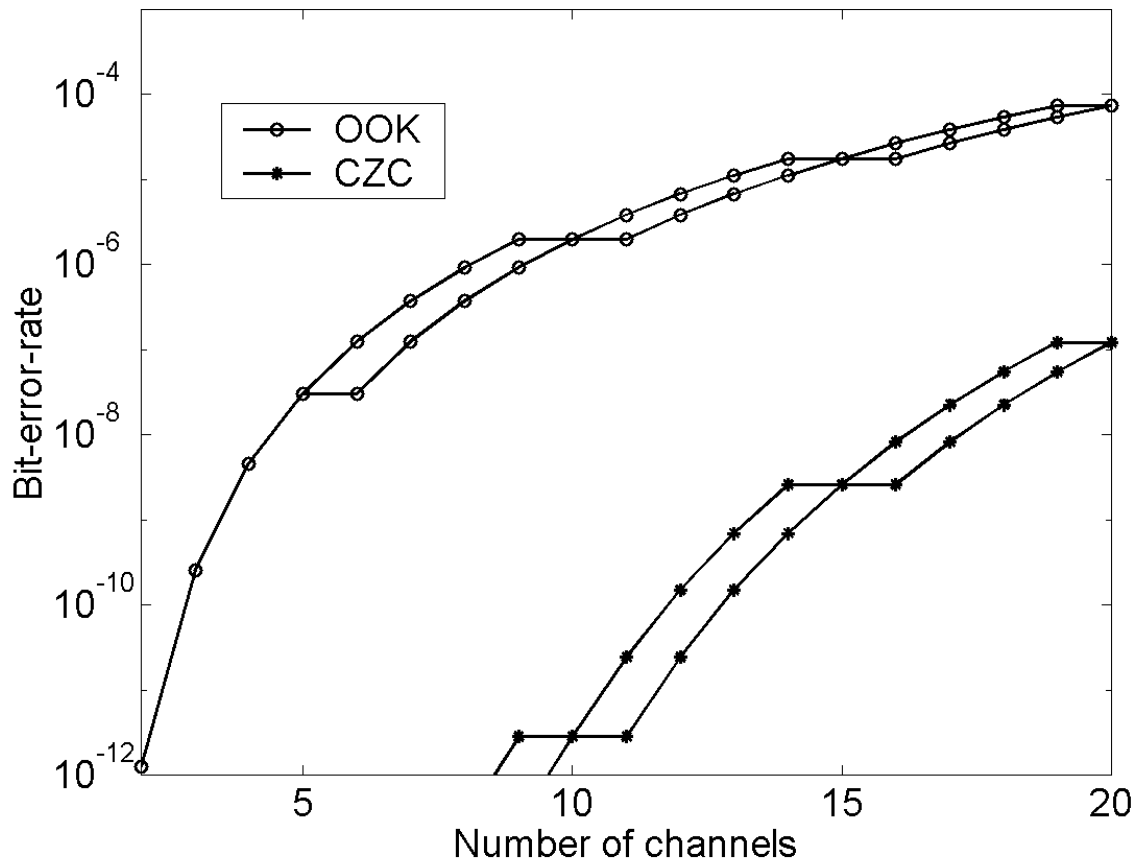


圖 4. 共用零碼(CZC)系統與 OOK 系統的錯誤率比較

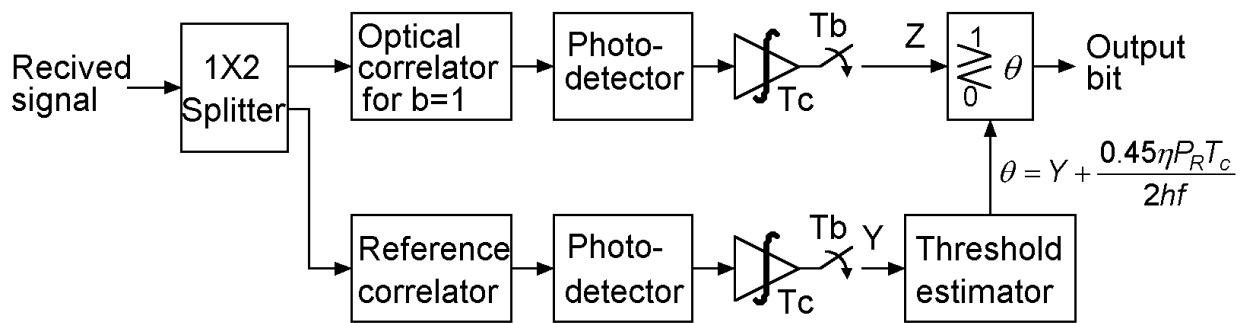


圖 5. 具干擾評估單元的 OOK 解碼器

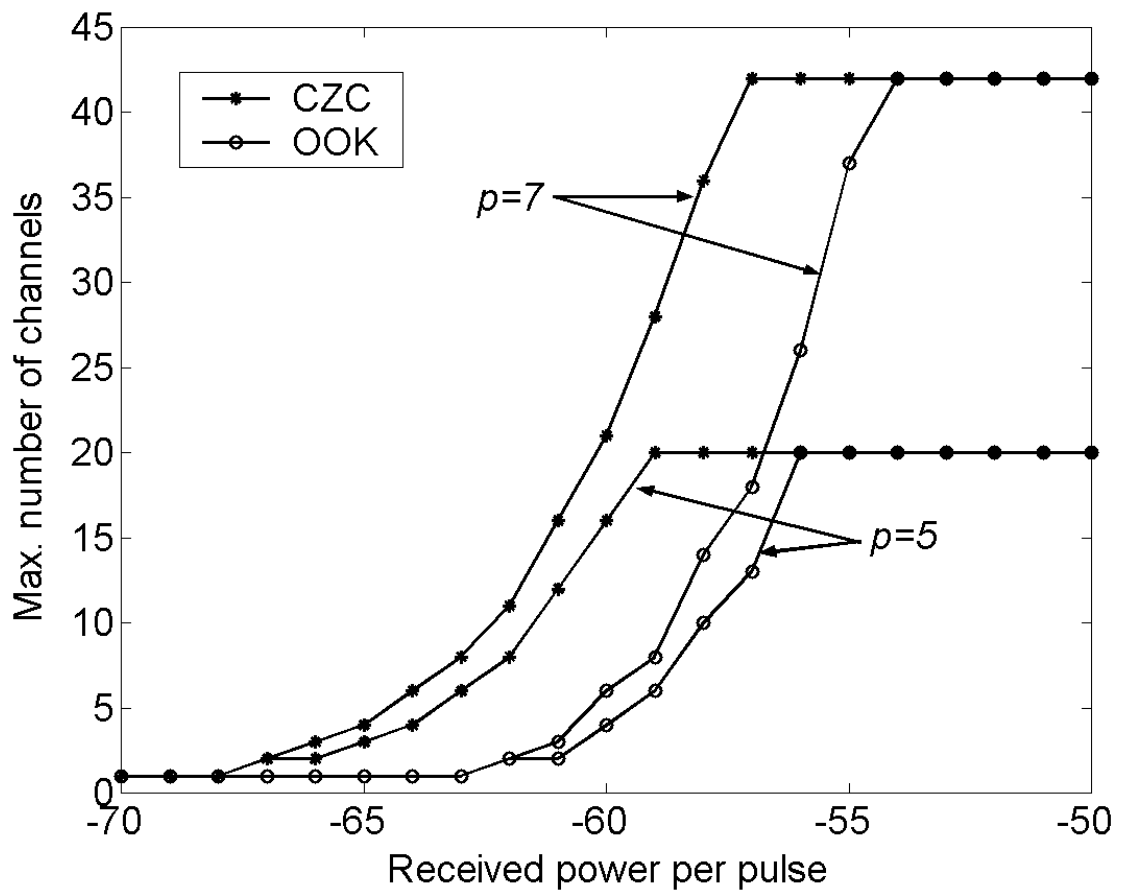


圖 6.  $BER \leq 10^{-8}$  條件下，CZC 系統和 OOK 系統的最大通道數