

附件一

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

## 總 計 畫

### 百億位元的乙太網路系統晶片設計

#### 子計畫(一)

#### 百億位元乙太網路之傳輸模型及系統架構設計

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC92-2220-E-002-009-

執行期間： 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：曹恆偉 教授

共同主持人：李三良 教授 (國立台灣科技大學電子系)

計畫參與人員：許文吉、王廷元、黃崇禧

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學電子工程學研究所

中 華 民 國 93 年 5 月 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫進度報告

總計畫：百億位元的乙太網路系統晶片設計

子計畫(一)：百億位元乙太網路之傳輸模型及系統架構設計

計畫編號：NSC92-2220-E-002-009-

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：曹恆偉教授

共同主持人：李三良教授(國立台灣科技大學電子系)

計畫參與人員：許文吉、王廷元、黃崇禧

## 中文摘要

本報告分為二大部分；第一部分主要是在百億位元乙太網路接收機中，研製接收機前端時脈資料回復電路之後的資料並列化電路以及實體編碼次層的信號傳輸介面電路。電路設計包含了二個部分：(1)一對十的序列-並列轉換器。訊號的並列化及同步字元的偵測在此處完成。(2)通道間的時脈資料校正電路。這個部分主要是將四個通道的訊號同步化，再透過實體編碼次層將資料傳輸至媒體存取控制層。

第二部分的研究重點則是針對使用低成本之非控溫、直調式雷射二極體的啁啾及光纖色散問題尋求解決之道。我們經由模擬證實適當地使用光濾波器可以有效地降低光纖色散所造成的信號品質劣化，延伸傳輸距離。

**關鍵詞：**百億位元乙太網路、序列-並列轉換器、同步字元偵測、通道時脈資料校正電路、直接式雷射、雷射啁啾、光纖色散

## Abstract-

In the first part of this report, the data deserializer after clock data recovery (CDR) and the PCS service interface in the receiver of 10G-LX4 Ethernet are presented. We divide the circuits into two parts: (1) 1:10 Deserializer. In the deserializer, the serial data (3.125Gb/s) is deserialized into 10-bit parallel data and the comma word is continuously detected. (2) Channel Deskew Circuit. This circuit is to align the data among four channels. After alignment, 32-bit data propagate to the MAC layer via the PCS service interface.

In the second part of this report, the simulation result of including an optical filter to reduce the fiber dispersion caused by frequency chirp of a direct modulated laser diode without cooling is presented. With appropriate bandwidth and center frequency, we have demonstrated that the transmission distance can indeed be extended at data rates up to 10Gbps.

**Key Words:** 10G-LX4 Ethernet, Deserializer, Comma word detection, Channel deskew, Direct modulated laser, Laser chirp, Fiber dispersion

## <第一部分>

### 一、前言

隨著網際網路(WWW)的快速發展與普及，人們對於區域網路(LAN)及都會網路

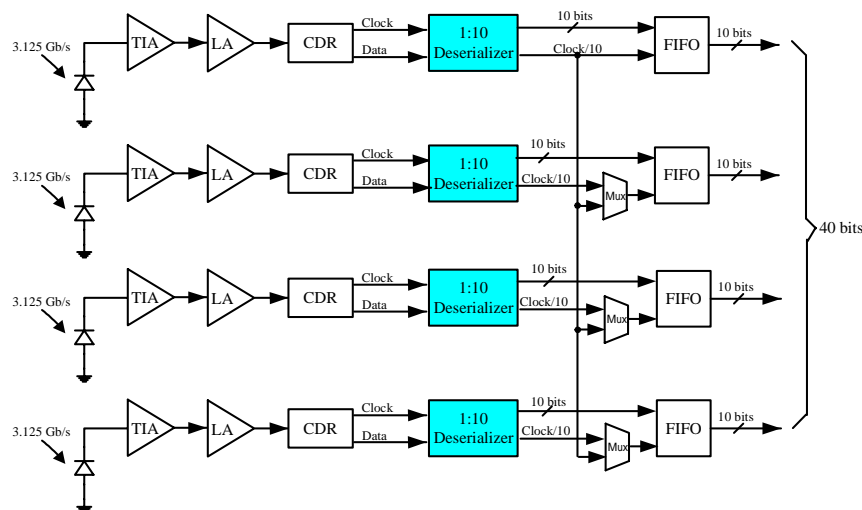
(WAN) 通信的頻寬需求急遽成長。過去十多年來，區域網路的頻寬從10/100 Mb/s 增加到1 Gb/s，並且也已在近幾年跨入10 Gb/s的新紀元。在國際電子電機工程師協會 (IEEE) 所制定的最新版 10Gb/s 乙太網路的規格 (IEEE 802.3ae ver3.3) 中[1]，我們可以發現10G-LX4的規格可以運用現有的1 Gb/s的乙太網路實體層技術 (如PCS層中的8B/10B編碼技術等)，所以具有低成本的利基。這部分的電路就是依據此規格來設計。

## 二、研究目的及文獻探討

我們依據百億位元乙太網路收發機系統之規格 (10G-LX4 Ethernet)，設計一個在接收機端的序列-並列轉換器，來作為一個資料型式轉換的介面。它可以將由時脈資料回復電路所得到位元同步(Bit Synchronized)的一條高速序列資料輸入，轉換為較低速的並列輸出。緊接著再利用通道間時脈資料校正電路，來取得接收端四條平行信號間的不同步。這些同步後的信號可供更上層之 MAC 控制電路作處理。所以設計此一電路，待晶片量測驗證之後，可成為一個單獨的矽智產 (Silicon Intellectual Property, SIP)，將來視需求整合進去收發機系統晶片 (System On Chip, SOC) 之中。

### (1) 10G-LX4 接收機架構

一個 10G-LX4 接收機系統的架構大致如 (圖一) 所示，是由四條平行的資料通道所組成。這個接收機包含了 5 個主要的功能方塊，依序為：轉阻放大器 (TIA, Transimpedance Amplifier)、限幅放大器 (LA, Limiting Amplifier)、時脈資料回復電路 (CDR)、一對十序列-並列轉換器 (Deserializer) 及暫儲元件 FIFO 用來將 40 位元信號平行輸出。



圖一 10G-LX4 接收機架構圖

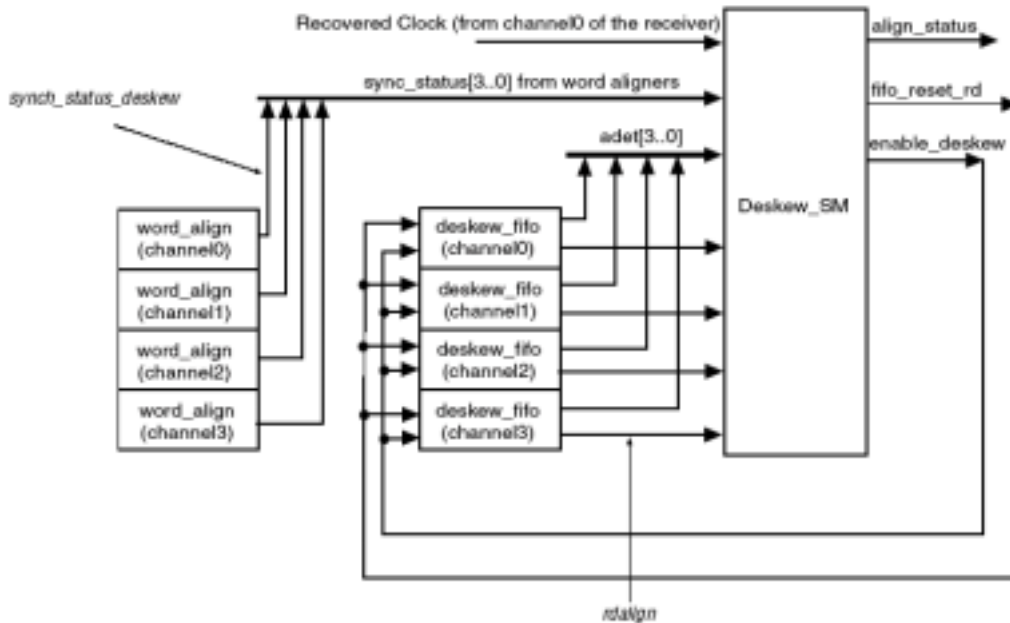
### (2) 接收機之同步機制

在 10G-LX4 接收機系統中，信號的同步可以分為三個層次：位元 (Bit)、位元組 (Byte) 及四個通道 (Channel) 間的同步。位元同步是在時脈資料回覆電路中完成、位元組同步是在序列-並列轉換器內達到，最後四個通道間的同步則通常靠四個 FIFO 儲存元件來完成。

其中位元組的同步原理是偵測 IEEE 802.3ae 規格書中制定的 K28.1、K28.5 及 K28.1 這三個字元，也就是所謂的 Comma 字元 (含有 0011111 或 1100000 的序列)。

### (3) 通道校正之目的

10G-LX4 系統，是由 4 個平行的接收機（資料量 3.125Gb/s）構成。每一接收機有各自的時脈資料回復電路，而且接收端資料抵達的時間點也會有些許的偏差。因此需要一個通道間的校正電路，使得四個通道的資料在傳送到下一層時可以是同步的。傳統上，校正電路包含了同步用字元(/A/)檢測(word\_align)及 FIFO 儲存元件(deskew\_fifo)，其架構如（圖二）所示。[2]

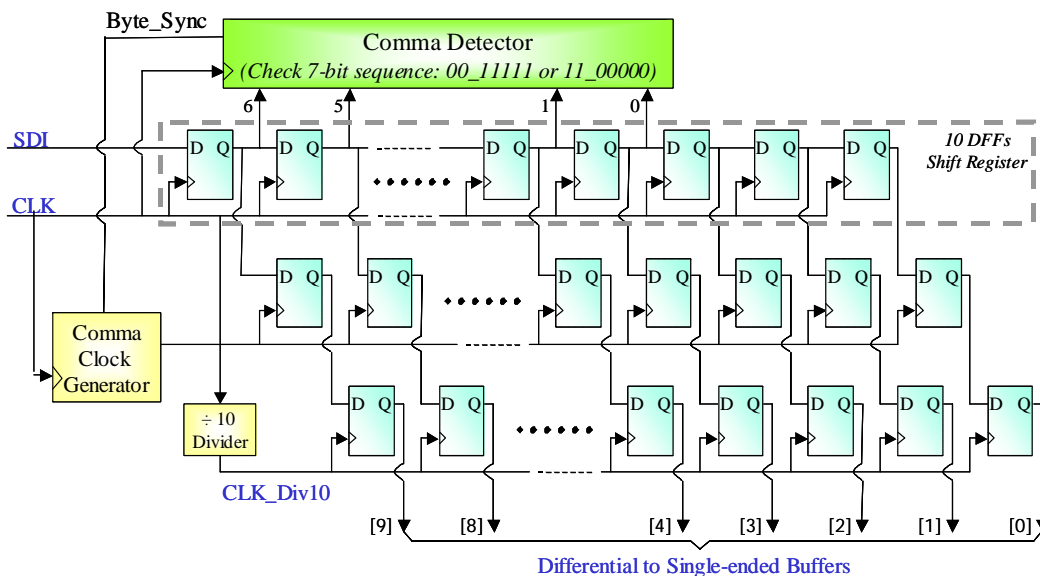


圖二 一種常見之通道校正架構圖

## 三、研究方法 [3][4]

### (1) 一對十序列 - 並列轉換器的電路架構

一個序列-並列轉換器主要包含了三個方塊：接收暫存器、解串行器、Comma 偵測電路／同步器，因此我們所提出的電路架構如（圖三）所示。

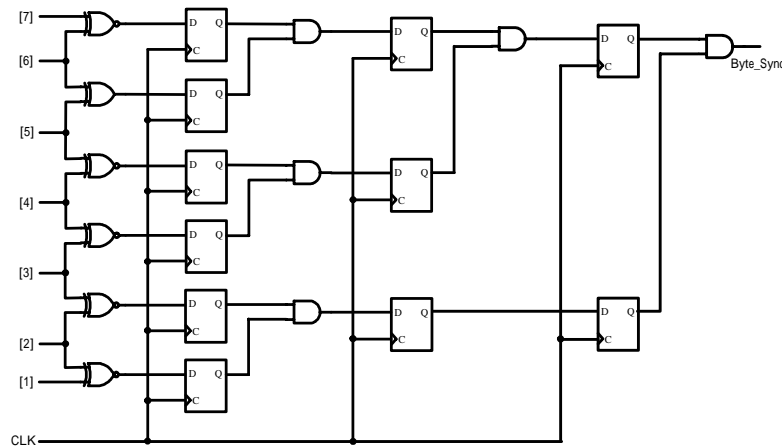


圖三 序列-並列轉換器之電路架構

首先從時脈資料回復電路中得到的是已經同步的 1 位元資料和時脈。第一級利用一組 10 位元的移位暫存器 (Shift Register) 將輸入的序列資料依序移位儲存。第二級則是另一組 10 位元的暫存器，在系統重新取得位元同步時 (及之後)，將第一級移位暫存器中的資料先取樣暫時儲存起來。第三級則是以系統時脈十分之一 (即  $3.125 \text{ GHz} / 10 = 312.5 \text{ MHz}$ ) 的速度，固定將 10 位元的資料輸出。

## (2) Comma 偵測電路的架構

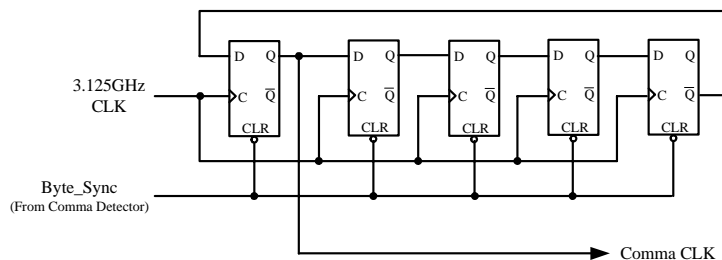
這個偵測電路所要偵測的就是發射端所送出的同步用的字元，亦即含有 0011111 或 1100000 這兩種序列。利用邏輯電路可以識別輸入的序列。例如將連續的兩個位元輸入互斥或閘 (XOR Gate)，若輸出為高態 (High)，則表示兩個位元相異；反之若為低態 (Low)，則表示兩個位元相同。電路圖如 (圖四) 所示。



圖四 Comma 偵測電路架構

## (3) Comma 時脈產生電路架構

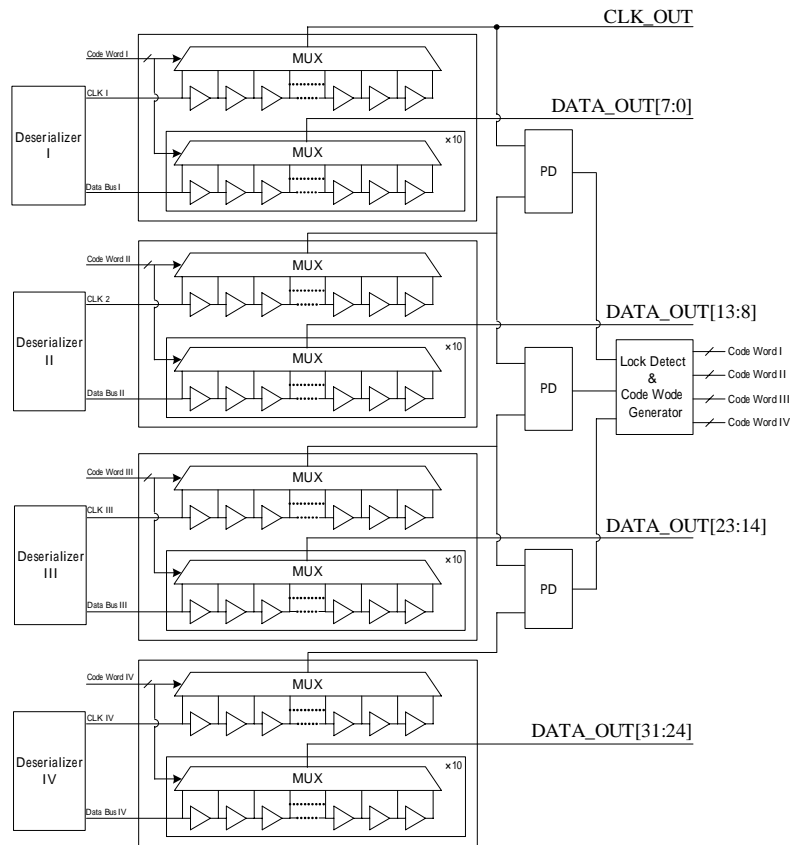
Comma 時脈產生電路除將時脈資料回復電路所提供的時脈頻率除 10 外，當遇到有同位字元被偵測到，其輸出時脈的相位會被重置歸零。故採用具有重置功能的正反器 (DFF)，電路架構如 (圖五) 所示。



圖五 Comma 時脈產生器

## (4) 通道校正電路

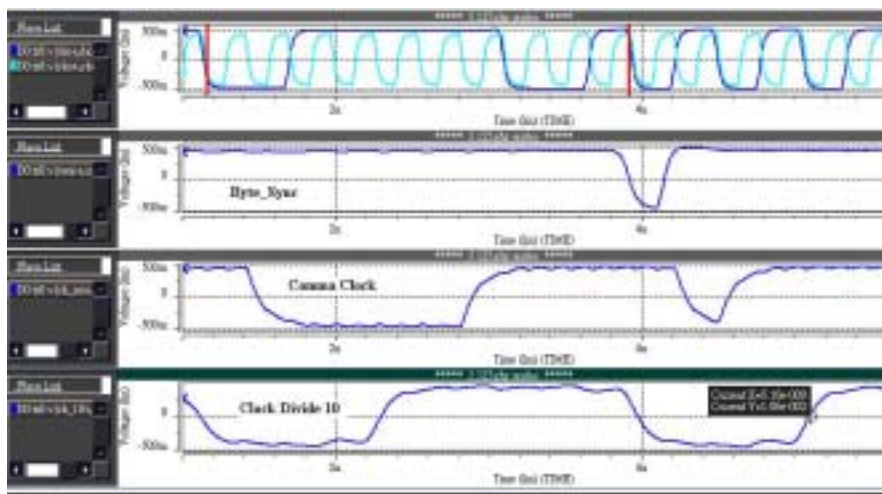
根據規格書中所制定，接收機應具備的最小校正能力為 41 單位時間 (Unit Interval,  $1 \text{ UI} = 320 \text{ ps}$ )。再參酌已商品化的相關 IC [5][6]，其通道校正能力約為 80 位元。故本次的電路設計，將以 80 位元為通道校正能力的規格。我們初步提出的通道校正電路如 (圖六) 所示，這種架構嘗試去降低傳統校正電路中 FIFO 儲存元件的面積，並且可以減少資料輸出的延遲時間 (Latency)。目前這個架構還在設計驗證之中。



圖六 通道校正電路初步概念圖

#### 四、模擬結果（並列轉換電路）

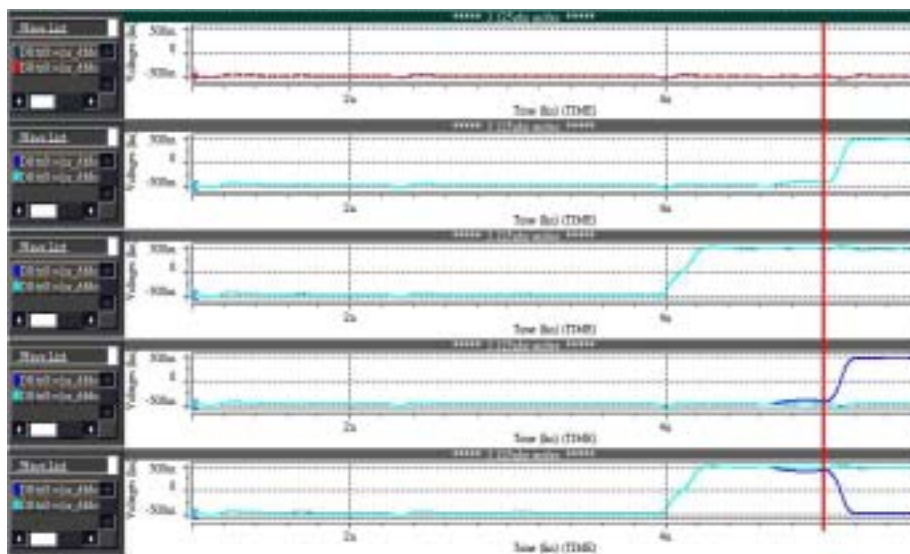
（圖七）為並列轉換電路之Comma字元偵測電路的模擬。第一個部分表示在3.125GHz的時脈下，輸入一串字元序列-0011111001。第二部分則表示，在這個序列輸入完畢後，字元檢測電路已經偵測到此序列而使得Byte-Sync信號發生變化。Comma時脈的相位因Byte-Sync信號而重置則顯示在第三部分。第四部份是固定除10時脈的輸出波形。



圖七 Comma偵測電路及其時脈重置效應模擬結果

當新的同步字元被偵測到後，新的字元組邊界於是產生。而在固定除10時脈的上升緣處（見（圖七）第四個部分中的標記處），會將此平行的10位元資料輸出。我們可以

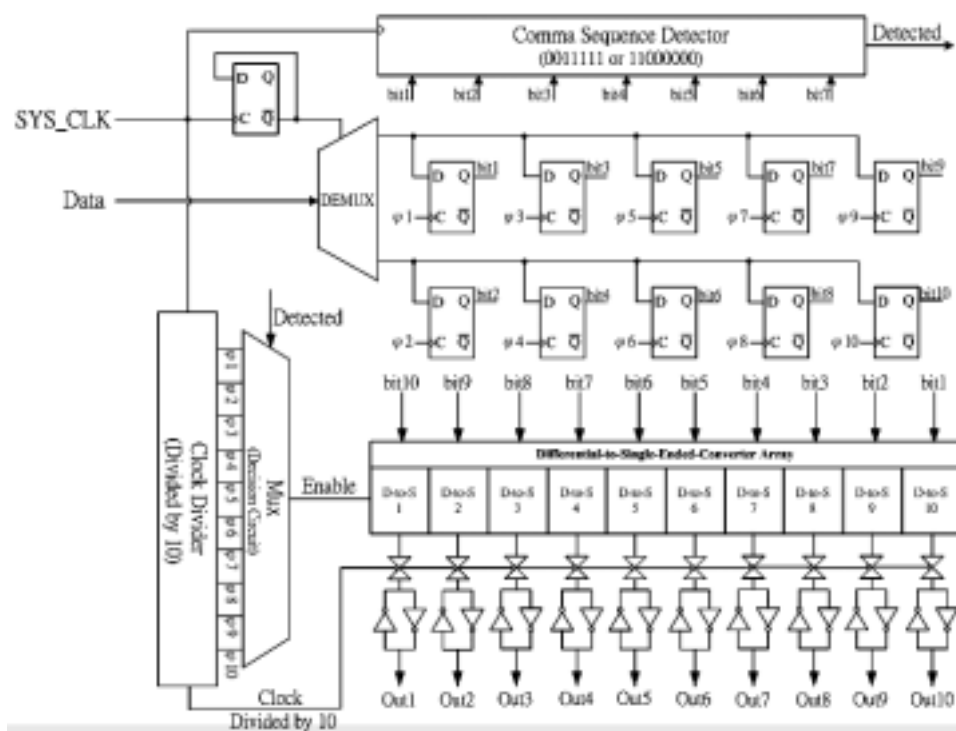
由（圖八）中讀出的平行輸出的10位元資料- 0011111001。此即為先前輸入端之同步偵測用序列資料，因此這個序列-並列轉換器的功能驗證無誤。



圖八 輸出端讀出的信號。

## 五、結論與討論

在第一次的序列-並列轉換器電路設計中，雖然達到了並列化轉換的功能，但是在過程中並未對功率的消耗及晶片面積等項目作一最佳化考量。於是我們提出另一架構可以相當程度降低功率的消耗，如（圖九）所示。所以未來的工作將繼續針對這上述的二個電路作功能最佳化改善。



圖九 低功率的序列-並列轉換器架構

## <第二部分>

### 一、前言

基於成本的要求，高速光區域網路的傳輸多必須使用直調式，無冷卻（或溫控）裝置之雷射二極體作為光源。但在此情況下雷射的啁啾（chirp）及中心波長飄移會使得來自於光纖的色散現象更嚴重，進而縮短了可用的傳輸距離。雖然光域色散補償技術已被探討了很多年，但在區域網路中仍須進一步尋求低成本且適合系統規格的方法，這個方向就是本部份報告的重點。

### 二、研究目的及文獻探討

目前都會網路(MAN)及區域網路(Local)傳輸距離在一兩百公里內，由於傳輸資料速率已朝向 10Gbps 以上的目標邁進，若要使用直調雷射和傳統單模光纖傳輸，雷射啁啾(Chirp)和光纖色散(Dispersion)的影響是相當嚴重。因此目前唯一替代方案就是使用外部調變雷射，但是價格昂貴，製程困難。而若使用非冷卻雷射，因波長漂移使得色散將隨環境狀況改變。因此，我們分成兩個部分來蒐集資料，一是直接調變雷射應用於都會型網路相關的論文[7]-[11]，另一方面是使用光纖光柵或是全通式濾波器(All pass filter)應用於色散補償技術相關的論文[12]-[16]。

### 三、研究方法及初步結果

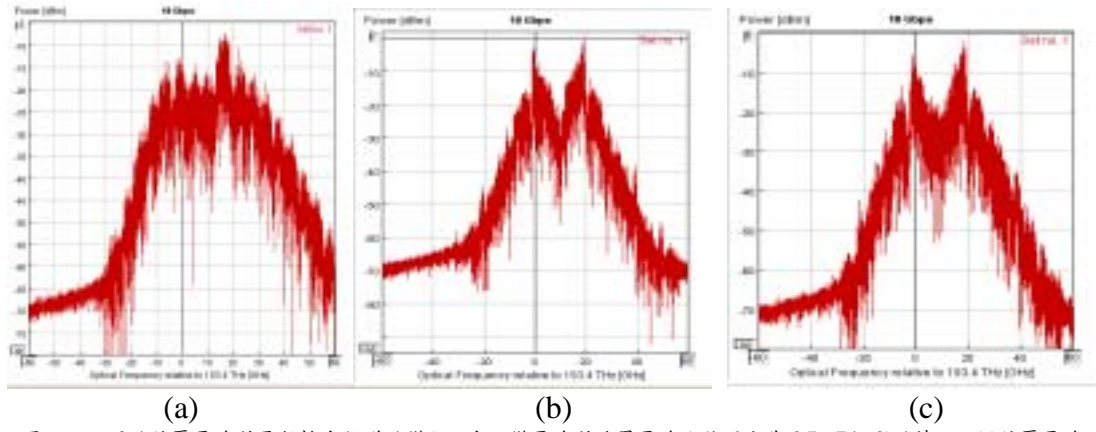
#### (1) 直接調變雷射應用於都會型網路

早期的論文在討論直接調變雷射產生的頻率啁啾(Chirp)效應抵制技術。此效應造成DFB 雷射傳輸距離上的限制，且與雷射本身的參數有關，理想的啁啾值(接近傳輸訊號頻寬)，必須仰賴降低線寬增強因子(linewidth enhancement factor)或是增加偏壓電流得到，利用這兩種參數最佳化可提昇傳輸距離。

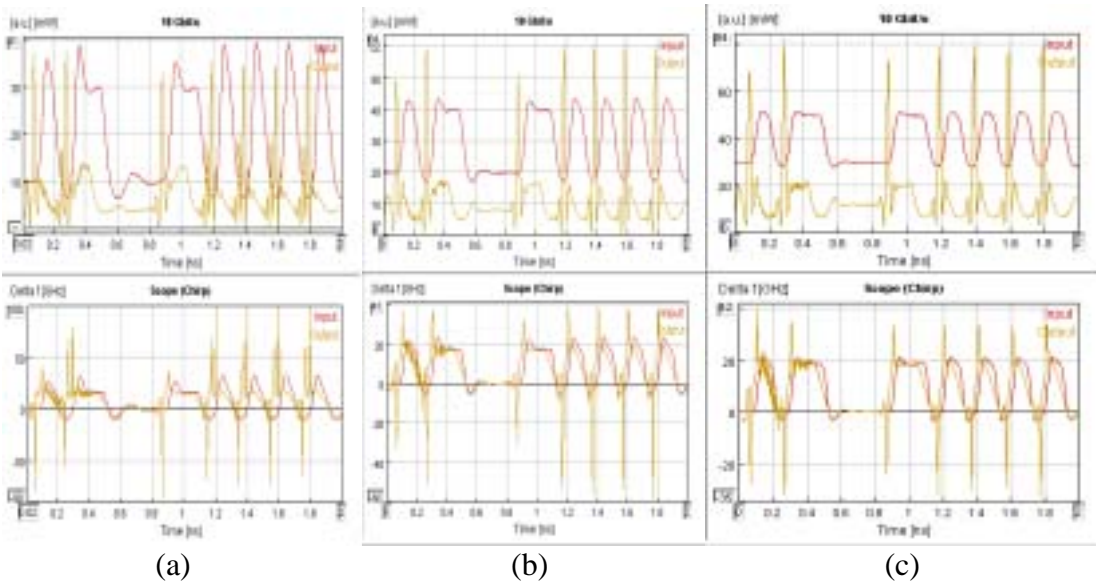
雷射在直接調變下，偏壓電流及調變電流的選擇，需在一適當的範圍內，以確保有最小頻率啁啾，最嚴重的啁啾現象發生在訊號"0"變成"1"及"1"變成"0"的暫態時間，尤其是在訊號"0"變成"1"的情況，從圖一的模擬結果就可以清楚地觀察到雷射頻譜在直接調變下，除線寬大大地增加外，還會有兩個峰值的出現，從模擬中發現頻譜不易隨著傳輸距離增加，而有所改變。

從圖二的結果可得知，暫態的頻率啁啾效應會隨著偏壓電流增加而降低，雖相對地會降低系統的熄滅比(extinction ratio)，但是卻可以增加傳輸的距離，這點作用能從圖三得到驗證，偏壓電流及調變電流對臨界電流的比值分別為 4:2 ( $I_b/I_{th} : I_m/I_{th} = 4:2$ )時，可以得到一個光纖傳輸長度為 26 公里。

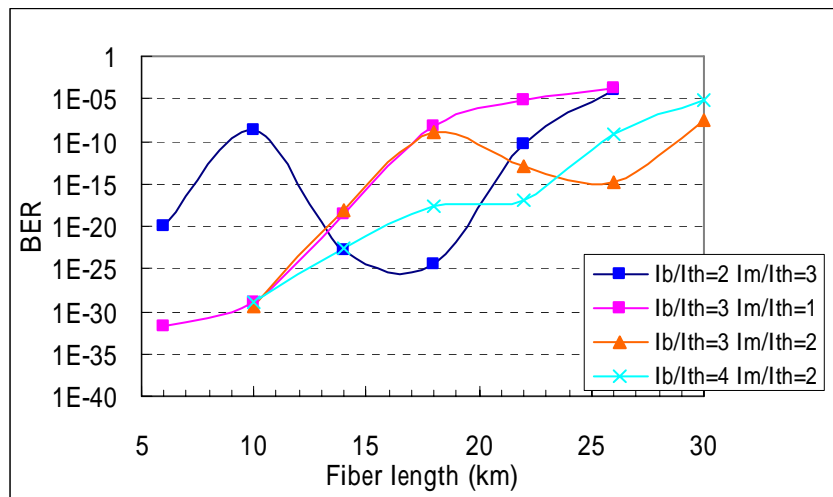
於是，當傳輸資料速率到達 10Gbps 時，雷射的頻率啁啾(Chirp)與光纖色散的加總效應，嚴重地侷限傳輸距離約在 20 公里左右[10]，目前提出較低廉、較方便的方法是在傳輸系統中加入一個光濾波器，可以是在傳送端或是在接收端，或是接收端加入電濾波器做訊號的處理。



圖一 不同的偏壓電流對雷射輸出頻譜的變化，在調變電流對臨界電流比值固定為2( $I_m/I_{th}=2$ )的情況。(a)偏壓電流對臨界電流比值為2( $I_b/I_{th}=2$ )，(b)偏壓電流對臨界電流比值為3( $I_b/I_{th}=3$ )，(c)偏壓電流對臨界電流比值為4( $I_b/I_{th}=4$ )。



圖二 相對應圖四中的條件得到的頻率之啾啾值，紅色代表光發射機輸出的光脈波，黃色代表傳輸 20 公里光纖後的光脈波。(a) Chirp =  $\pm 100$  GHz, (b) Chirp =  $\pm 40$  GHz, (c) Chirp =  $\pm 30$  GHz



圖三 在不同偏壓電流及調變電流下，傳輸不同光纖長度對應的系統資料誤碼率。

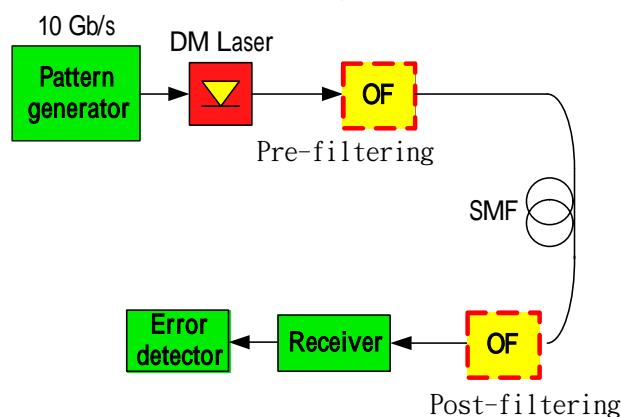
## (2) 使用光濾波器

在 10Gbps 的系統中，實際上使用一個窄頻寬的光濾波器就可以消除暫態的啾啾，但前提是雷射需有很短的訊號上升及下降時間暫態值，使得在一個位元時間內保持穩定

的操作波長，加入光濾波器的相關技術研究顯示[9]-[12]，目前只能增加傳輸的距離增加一倍左右，光濾波器的頻寬約為 20 ~ 40 GHz，濾波器的形式可分成幾項:光纖光柵式、FP 干涉式、Thin Film 等[11]-[16]，對於不同的傳輸資料格式如 RZ、NRZ，應該選擇不同的濾波器傳輸響應特性(Transmission response)，才會有最佳的改善效果[10]。

### (3) 濾波器的位置

濾波器的位置放置於雷射的輸出端會比在光接收器的前端，更能使傳輸的光纖距離增加，放置在前端可以降低多個使用者系統的成本，在後端允許各個使用者根據他們的需求，對接收的訊號作最佳化處理。但對色散監視及動態色散補償系統而言，光濾波器放置在光接收機前端，比較容易取出色散變化值，做回授控制的處理。因此，我們利用圖四的設置圖，模擬與討論濾波器的位置的影響。

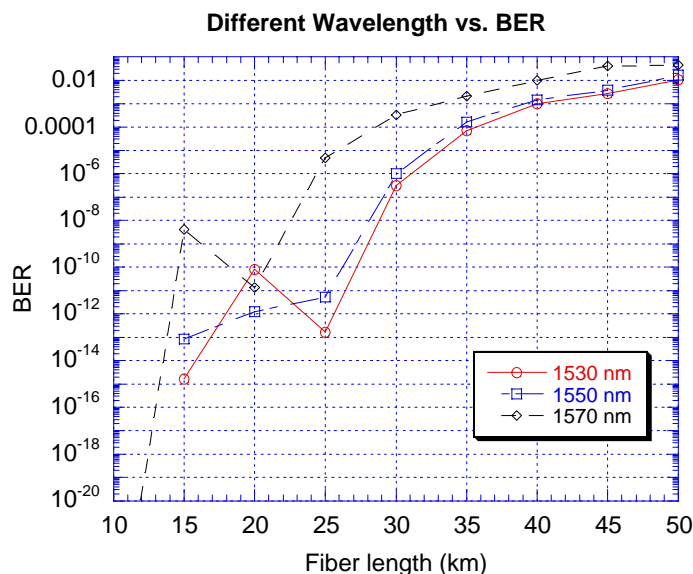


圖四 不同的濾波器位置(發射端或接收端)之系統設置圖。

### (4) 色散補償技術

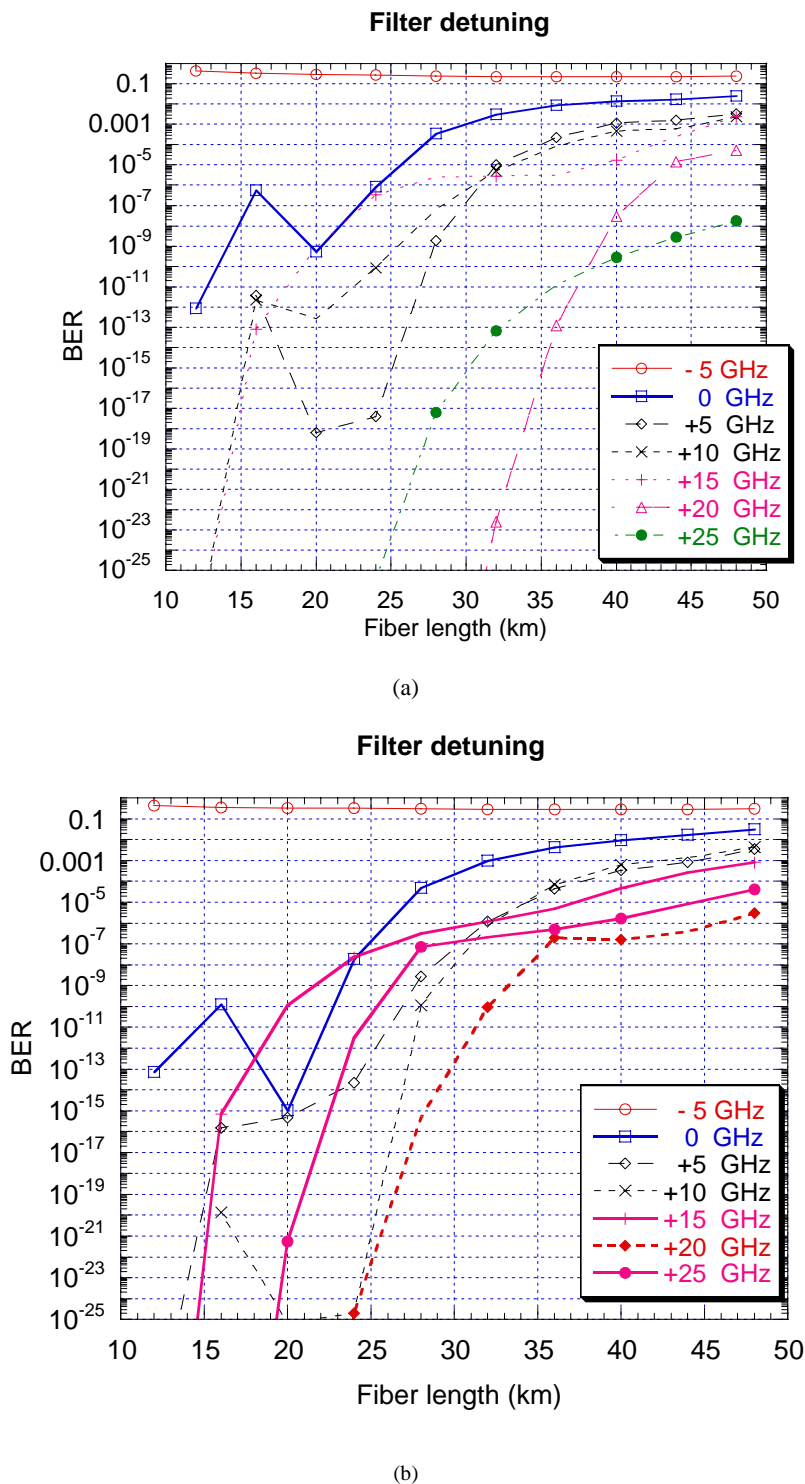
最常見的技術為光纖光柵(FBG)、色散補償及其他特殊光纖(DCF)、全通式濾波器(All-pass filter)等的使用。我們感到興趣的是在系統中加入一光濾波器，對色散補償是否有幫助，這與濾波器的位置的選擇有相當大的關係，本方向是值得探討的。

我們已知色散值會隨著傳輸操作的波長不同而有所差異，可以從圖五看出，短波長擁有較低的色散值，可以傳輸較長的距離。



圖五 當操作波長不同時，因不同的色散值對訊號品質及傳輸距離的影響

圖六(a)模擬光濾波器放置在光發射機後端，即雷射輸出端，原先在相同條件下 ( $I_b/I_{th}=3, I_m/I_{th}=2$ )，可以傳輸 18 公里的光纖，但加入濾波器，其中心位置選擇對準雷射的輸出波長有最大的輸出功率，卻反而使傳輸距離降至 14 公里，(參考圖中 0GHz 曲線，以  $BER = 1E-10$  為參考準位)，但是將濾波器中心位置移動+20GHz 時，傳輸距離增加至 38 公里。在圖六(b)中模擬光濾波器放置在光接收機前端，在相同條件下 ( $I_b/I_{th}=3, I_m/I_{th}=2$ )，可以傳輸 18 公里的光纖，在加入中心位置選擇對準雷射的輸出波長的光濾波器後，使傳輸距離稍微縮短至 16 公里(參考圖六(b)中 0GHz 曲線)，但是將濾波器中心位置移動+20GHz 時，傳輸距離增加至 34 公里。



圖六 微調光濾波器的位置，對傳輸距離的影響 (a) 光濾波器放置在雷射輸出端 (b) 光濾波器放置在接收機之前

## 四、結論與討論

我們已經由數值模擬證實了是當的光濾波器的確可以有效地提升直調，非冷卻的雷色二極體光信號在光纖中傳輸的距離。而近年來由於半導體元件操作速度大幅提升，因此在接收機的電路中包含等化器功能的研究成果也日漸增多，未來可預期在光，電雙領域補償(或等化)方法合併使用的情況下，當能更進一步提升低成本，高速光纖傳輸的品質，並使光纖傳輸在區域網路中的應用更普及化。

## 參考文獻

- [1] **“Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layer, and Management Parameter for 10Gb/s Operation,”** IEEE Draft P802.3ae, 2002
- [2] **“Implementing 10 Gigabit Ethernet XAUI in Stratix GX Devices ”** , Altera Corp. November 2002, ver. 1.0
- [3] Lu Jianhua *et al*, **“Design techniques of CMOS SCL circuits for Gb/s Applications,”** Proceedings. 4th International Conference on ASIC, Oct. 2001
- [4] B. Razavi, **“Design of Integrated Circuit for Optical Communications”**, McGraw-Hill, 2003
- [5] **“ORT82G51.0~3.125Gbps 8b/10b SERDES Data Sheet”**, Lattice Corp. Rev 1. Feb. 2004
- [6] **“TLK3114SA Data Sheet: 10-Gbps XAUI Transceiver Data Sheet,”** Texas Instruments Corp. May. 2002
- [7] Leonard J. Cimini JR., and Adel A. M. Saleh, **“Optical equalizer to combat the effects of laser chirp and fiber dispersion”**, Journal of lightwave technology, Vol. 8, May 1990.
- [8] S. Mohr diek, H. Burkhard, **“10-Gb/s Standard Fiber Transmission Using Directly Modulated 1.55-um Quantum-Well DFB Lasers”**, PTL, Vol. 7, No. 11, Nov. 1995
- [9] P.A Morton, G. E. Shtengel, L. D. Tzeng, and R. A. Logan, **“38.5km error free transmission at 10 Gbit/s in standard fiber using a low chirp, spectrally filtered, directly modulated 1.55um DFB laser”**, Electronics Letters, Vol. 33, Feb.1997.
- [10] L.-S. Yan, Y. Wang, B. Zhang, and A. E. Willner, **“Reach Extension in 10-Gb/s Directly Modulated System Using Narrow-Band Partial Optical Filtering”**, CLEO.
- [11] Sung-Bum Park; Chang-Hee Lee; **“Enhancement of system performance in directly modulated metro-WDM systems by a spectral filtering method”**, Electronics Letters ,Vol.38 ,Issue: 9 ,25 April 2002.
- [12] Chang-Hee Lee; Sang-Soo Lee; Hyang Kyun Kim; Jung-Hee Han;**“Transmission of directly modulated 2.5-Gb/s signals over 250-km of nondispersion-shifted fiber by using a spectral filtering method”**, PTL, Vol. 8, Issue: 12, Dec. 1996.
- [13] Pastor, D.; Capmany, J.; Ortega, D.; Tatay, V.; Marti, J.; **“Design of apodized linearly chirped fiber gratings for dispersion compensation”** Journal of lightwave technology, Vol. 14, Issue: 11, Nov. 1996
- [14] Cai, J.-X.; Feng, K.-M.; Willner, A.E.; Grubsky, V.; Starodubov, D.S.; Feinberg, J.; **“Sampled nonlinearly-chirped fiber-Bragg-grating for the tunable dispersion compensation of many WDM channels simultaneously”**, OFC/IOOC '99. Technical Digest, Vol.4, 21-26 Feb. 1999.
- [15] Niemi, T.; Uusimaa, M.; Tammela, S.; Heimala, P.; Kajava, T.; Kaivola, M.; Ludvigsen, H.; **“Tunable silicon etalon for simultaneous spectral filtering and wavelength monitoring of a DWDM transmitter”** Photonics Technology Letters, IEEE, Vol. 13, Issue 1, Jan. 2001.
- [16] Chao-Hsing Hsieh; Ruibo Wang; Wen, Z.J.; McMichael, I.; Yeh, P.; Chao-Wei Lee; Wood-Hi Cheng, **“Flat-top interleavers using two Gires-Tournois etalons as phase-dispersive mirrors in a Michelson interferometer”**, PTL, Vol.15, Issue: 2 , Feb. 2003