

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 寬頻光都會與接取網路之關鍵技術—子計劃三：

### 寬頻光都會與接取網路之強健系統與智慧網路之設計

#### 結案報告

計劃編號：

第一年：NSC-94-2213-E-032-005

第二年：NSC-95-2221-E-032-028

第三年：NSC-96-2221-E-032-016

執行期限：94年8月1日至97年7月31日

主持人：李揚漢教授 淡江大學 電機系

參與人員：李三良、許獻聰、趙亮琳、周永山、楊淳良、莊明學、曾

憲威

#### 一、 中文摘要

地球村的來臨，網路通訊成為人類生活中不可或缺的角色。視訊、網路電視、多媒體等，人們對通信頻寬與品質的要求與日俱增，過去以銅導線或微波做為通信網路之媒介(如乙太網路或衛星鏈路)，已漸漸不能滿足我

們對通信網路的需求，誠如中華電信光世代廣告中所言，使用光纖網路下載一部MLB球賽不用1分鐘，因此以光纖做為通信網路之主要架構漸漸成為未來發展趨勢(目前中華電信以5年600億於台灣架設光纖線路系統)。

在第一年裡，在光網路中，雷射的輸出波長容易受到溫度變化、元件

老化與電流漂移等因素而造成輸出波長的不穩定，針對此問題我們提出利用 PID controller 加入雷射等效模型迴路中並且提出其演算法，經過理論分析與數值分析後，可得到雷射輸出波長的動態誤差可以控制到零，而穩態誤差也可以控制在不錯的範圍內。另一方面，我們除了討論 PID 對雷射輸出波長穩定度的探討，另一方面也針對在可調式雷射(DBR)[16-22]中利用三個電極的電流來調整出不同的 ITU Channel，在同一個 ITU Channel 中可由許多組不同的電流組合來產生，但是在考慮跳換 ITU Channel 時哪一組電流組合能夠有最好的效能(Chirping 與 Switching Time)是我們所討論的重點，同時也評估與挑選好壞電流組合的方法。

在第二年裡，針對同步光分碼多工存取[6-10]系統架構做討論，為了讓系統模擬更符合實際上現象，考慮了接收端使用者的功率會隨著傳送距離遠近而有大小差異的條件，因此在傳統發射同步型的訊框格式下，當考慮使用者接收之功率不同時，會影響整體的系統效能。針對此問題我們提出了接收同步型的架構，藉由估測出距離相對之時間使每個使用者到達耦合器之時間相同，並將訊框格式加以改善，加強使用者間相互干擾的偵測[11-13]，提升系統效能。最後，我們利用模擬軟體，建構及模擬六組使用者之同步光分碼多工存取系統在發射同步型和接收同步型架構下的效能比較。

在第三年裡，我們使用一基本型的三段式 DBR 雷射，藉由調整其三個電極的輸入電流，以得到輸出符合國

際電訊聯盟 ( International Telecommunication Union, ITU)所制定之波長。由於每一個 ITU 波長能由不同的輸入電流組合產生，因此本篇論文將在某一設定輸入電流範圍內，找出所有輸出能符合 ITU 波長之電流組合，並且比較其模擬結果，分析哪一組電流能夠達到最短的切換時間。同時我們也將提出一個新的電流控制方法：在任意變換波長過程中，我們提出之架構能提供多組最佳的電流切換組合，並且從中找出一組能夠達到最短的切換時間，以改善傳統架構中一個通道只有一組固定電流的缺點，使切換時間能夠比傳統之方法快。

**關鍵詞：**光纖通信，波長穩定，半導體雷射，PID 控制器，光分碼多工存取，耦合器，分散式布拉格反射雷射、高密度分波多工技術。

## **Abstract**

As the earth village prevails, internet communication plays an indispensable role in human being lives. People are requested for more bandwidth and better communication quality in the video communication, internet television and multimedia communication etc. The communication by using copper wire and microwave such as ether network or satellite links etc. can not meet our communication requirements.

As the advertise claims in the Taiwan Telecommunication Optical Generation commercial that it only takes 1 minute to download a whole MLB baseball game and therefore it becomes a trend in the

future by using the optical fiber as the main communication architecture. The Taiwan Telecommunication has spent \$60 billions Taiwan dollars in five years in setting up optical network system.

In the first year, In the optical network, laser model easily influenced by temperature changes, device aging and current drift to effect wavelength instability. In the other hand, how faster to get the wavelength stability when change the wavelength in different channel that is very importance. We use theoretical analysis for PID controller to control the stable error to be equal to zero and to control the dynamic error to can accept range. PID controller has two advantages that are easily to implement and integrated.

In the other hand, DBR (Distributed Bragg Reflector) laser, it uses and adjusts driving currents in the tri-electrode to provide various ITU channels. It can have many different current combinations to generate the ITU channels. But when we take system performance into consideration, such as the chirp and transient time status when we switch channels between ITU channels, certain current combinations will generate better system performance than the others.

We will develop the principle of how to select current combinations to get better system performance and also discuss the method to evaluate their system performance when various current combinations are considered.

In the second year, In this project we consider the architecture of a synchronous optical code-division multiplexing system. In order to have the system to mimic the practical situation that the receiving powers at the receiver terminal will have different levels because of various transmission distances. Consequently the system performance will be degraded when we still use at the transmitting side the traditional synchronous frame format and taking into the consideration that every user has different receiving power level. We propose at the receiver a synchronous architecture to encounter this kind of problem by first to estimate the propagation time from each user's distance so that each user's information will arrive at the coupler at the same time, we then modify the frame format and improve the interferences detection among users to improve the system performance. Finally we utilize simulation software to set up a synchronous optical division multiplexing system that consists of six users to compare the system performance under the architectures of synchronous transmitter and synchronous receiver.

In the third year, we use a basic DBR laser by adjusting its input currents of three electrodes to generate a DBR laser with a wavelength meeting the standard and requirement set up by the International Union (ITU)

Since every ITU wavelength can be generated from certain combination of input currents, in the project we consider the restriction of the input current in certain range and then find all possible currents combinations that will generate laser wavelengths meeting the ITU standards. Meanwhile through simulations we analyze and determine which combination of currents will generate the laser with minimum switch time. We also design a new current control method for the wavelength switching process in the architecture we proposed that it can generate many sets of ‘optimal’ current combinations; and from these current sets to select one set of currents combination to generate the shortest switching time. With this new architecture it amends and modifies the demerit of the classical architecture that for each channel it has only one fixed set of currents combination can generate this channel wavelength.

**Keywords:** Distributed Bragg Reflector Laser (DBR Laser), Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM), optical communication, wavelength stabilizer; semiconductor lasers, proportional integral derivative (PID) controller, Optical Code-Division Multiple Access (OCDMA), Coupler.

## 二、 研究內容與討論

### 1. PID 控制器設計

#### (1). 系統描述

雷射等效模型是使用 [1-5] 中所提出的架構如圖 1 所示，在此架構中考

慮了外部溫度的效應與元件熱效應的等效模型，在 [1-5] 中也提出一個 Photodetector(VT-WSPD) 的架構並利用外部電壓(V)的微調來控制輸入波長( $\lambda$ )與輸出電流(I)之間的關係經由回授迴路進而減少雷射輸出波長的影響，在此架構需要一個穩定的外部電壓源提供給 Photodetector，在這我們在迴路中加入 PID 控制器的分析來增進整體的波長穩定性。[14][15]

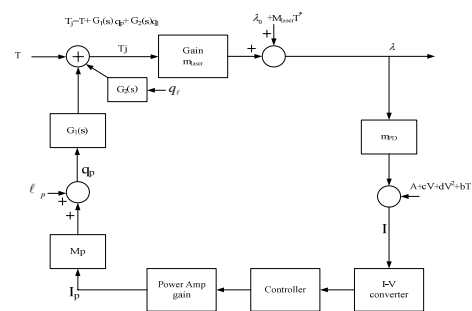


圖 1. 雷射模組的方塊圖。

#### (2). 系統之穩態與暫態分析

在設計 PID 控制器前，我們需要先將圖 1 轉換為所圖 2 以方便分析 PID 控制器，接著我們要將圖 2 中 Temperature、Thermal stage 與 Laser model 對於輸出波長的影響的轉移函數先求出，我們將對於輸出波長影響分為兩大部份第一部份為暫態分析，為室溫隨時間的變化( $\Delta T$ )對於輸出波長( $\Delta \lambda$ )的影響的轉移函數，如下所示：

$$\mathcal{L} [\Delta \lambda]_{\text{sinusoidal}} = [a] \mathcal{L} [\Delta T]$$

where

$$a = \frac{b \times k(s) \times m_p A \times G_1(s) \times m_{laser} + m_{laser}}{1 - k(s) \times m_p A \times G_1(s) \times m_{laser} \times (m_{PD}^* + \Delta_{MPD})}$$

由於 $\Delta T$ 是隨著時間變化所以此項轉移函數可得到當 $T$ 變化時對於輸出 $\Delta \lambda$ 的影響。

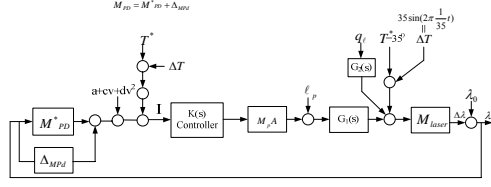


圖 2. 用於 PID 控制器分析之雷射模組方塊圖。

第二部份為穩態分析，其中包括 Photodetector(PD)、Thermal stage(TS)、Room Temperature 對於雷射輸出波長的影響其轉移函數，如下所示：

$$\mathcal{L} [\Delta \lambda]_{offset} = [b] \mathcal{L} [a + cv + dv^2 + bT^*]$$

$$+ \left[ \frac{G_1(s) \times m_{laser}}{1 - loop\_gain} \right] \mathcal{L} [\ell_p]$$

$$+ [c] [G_2(s) \times \mathcal{L} [q_l] + \mathcal{L} [T^*]]$$

where

$$b = \frac{k(s) \times m_p A \times G_1(s) \times m_{laser}}{1 - loop\_gain}$$

$$c = \frac{m_{laser}}{1 - loop\_gain}$$

最後我們將穩態與暫態對於 $\Delta \lambda$ 的總效應之轉移函數列出，如下所示：

$$\mathcal{L} [\Delta \lambda] = \mathcal{L} [\Delta \lambda]_{sinusoidal} + \mathcal{L} [\Delta \lambda]_{offset}$$

### (3). PID 控制器的演算法

我們要分析所需要的 PID 控制器，首先利用參數 $\lambda_0$ 、 $m_p A$ 、 $m_{laser}$ 、 $m_{PD}$ 、 $b$ 、 $(a + cv + dv^2)$ 、 $T^*$ 、 $A_T$ 與 $w^*$ 來設計一個一階回路轉移函數

$G_1(s) = \frac{1}{s - p}$  與一個 PID 控制器

$$K(s) = \frac{K_1(s)}{s} = \frac{as^2 + a_1s + a_0}{s}$$

接著根據所設計的 PID 控制器，我們得到波長的漂移量如下所示：

$$\Delta \lambda \Big|_{offset} = \frac{a + cv + dv^2 + bT^*}{m_{PD}} + \lambda_0$$

$$\Delta \lambda \Big|_{sinusoidal} = 0$$

由上面的結果可得到，此雷射等效模型加入 PID 控制器後可將溫度隨時間變化對於輸出波長的影響減少至 0，並且得到 Photodetector(PD)、Thermal stage(TS) 與 Room Temperature 對於輸出 $\Delta \lambda$ 的 offset 的影響。

## 2. DBR 雷射電流最佳組合分析

所選用的是常見的三個電極 DBR Laser，只使用單一邊光柵區與共振腔的縱模(Longitudinal Modes)與增益頻譜(Gain)的加乘效果，其中三個電極分別為 Phase 區、Grating 區、Active 區。在實際的應用上我們會將 Ia(Active)固定，利用 Ig(Grating)與 Ip(Phase)的調整的方式來對應出標準波長通道，在同一個標準波長通道中可由許多不同的電流組合所產生，通常在實驗或模擬中我們可以利用電流掃描的方式來找出所需要的 ITU-Band 與電流組合，如圖 3 所示，這是當 Ia 固定在 40mA 時 Ig 由 3mA 變化至 15mA 且 Ip 由 0mA 變化至 10mA。

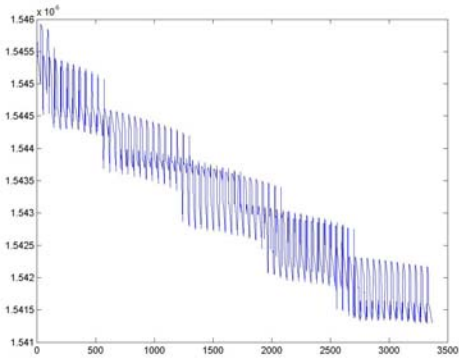


圖 3.  $I_a$  固定為 40mA、 $I_g$  由 2mA 變化至 15mA 每次變化 0.2mA、 $I_p$  由 0mA 變化至 15mA 變化 0.2mA，所觀察到之雷射輸出波形。

(1).系統模擬方塊圖

將雷射參數設定好後還需要建立所需要的模擬方塊圖，在模擬方塊圖方面分為兩個部份，第一個部份為 Sweep 的量測，如圖4所示(其中之 DBR 元件由右至左分別為 Active 區、Phase 區以及 Grating 區。)、第二部份各種電流組合 Chirping 與 Switching Time 的量測，如圖5所示。

**Sweep**

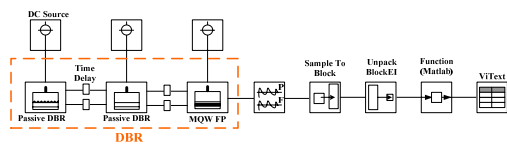


圖4. Sweep 模擬方塊圖。

**Chirp**

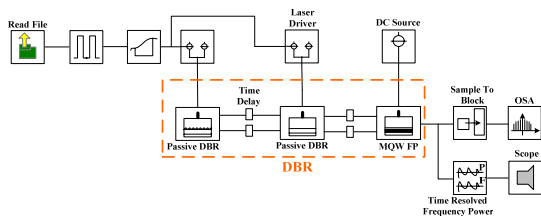


圖5. Chirping 與 Transient time 模擬方塊圖。

Sweep 量測試用來找出所有可能的電流組合，並將所有的組合紀錄用來做分析用，Chirp 與 Switching Time 的量測用來觀察各種電流組合，所造成的 Chirp 與 Switching Time 的大小。

(2).模擬的方法

a. 模擬參數設定(Simulation Parameter Setup)

Active 區所提供的電流  $I_a$  固定為 40mA、Grating 區所提供的電流  $I_g$  由 2mA 變化至 15mA 每次變化 0.2mA、Phase 區所提供的電流  $I_p$  由 0mA 變化至 15mA 每次變化 0.2mA，所設定的 ITU-Band 在 1544.53nm、1543.73nm、1542.94nm 與 1542.14nm 四個 Channel。

b. Sweep 模擬(找出對映至 ITU Band 的所有電流組合)

我們需先找出符合 ITU-Band 的所有電流組合，將 Active 區之電流設為固定的 40mA 之後，將 Grating 區以及 Phase 區的電流設定在範圍內使用 Sweep、電流遞增之方式(當  $I_g$  的電流每增加 0.2mA， $I_p$  的電流由 0mA 變化至 15mA 每次變化 0.2mA)，找出符合 ITU-Band 的電流組合，並從中挑選出較合適的電流組合(合適的定義為，產生 ITU-Band 均在平坦的區域並非跳動的瞬間所取樣到的值)。

如表 1 為挑選出符合 ITU-Band 的電流組合，為了分析容易我們只挑選符合 ITU-Band 的其中五組電流組合，用來做 Chirp 與 Switching Time 的量測。

c. Chirping 與 Switching Time 的模擬(模擬 ITU Band 的所有電流組合所產生的 Chirp 與 Switching Time)

Chirp 與 Switching Time 的量測是利

表1. DBR Laser 符合ITU-Band之電流組合。

符合 ITU Band@1544.53nm 之電流組合				符合 ITU Band@1543.73nm 之電流組合			
組別	Ig(mA)	Ip(mA)	Wavelength(nm)	組別	Ig(mA)	Ip(mA)	Wavelength(nm)
A1	2.6	6.2	1544.5352437	A2	5	9.6	1543.7344188
B1	3	6.2	1544.5366977	B2	6	8.8	1543.7363370
C1	4	5.2	1544.5355090	C2	7	7	1543.7348757
D1	4.4	4.6	1544.5333676	D2	7.2	5.6	1543.7365426
E1	4.8	3.6	1544.5362242	E2	7.2	6.2	1543.7364454
符合 ITU Band@1542.94nm 之電流組合				符合 ITU Band@1542.14nm 之電流組合			
組別	Ig(mA)	Ip(mA)	Wavelength(nm)	組別	Ig(mA)	Ip(mA)	Wavelength(nm)
A3	8.2	3	1542.9453116	A4	11	5.4	1542.1445951
B3	9.8	2.2	1542.9452452	B4	13	4.4	1542.1455595
C3	9.8	8.8	1542.9460317	C4	13.6	4	1542.1446068
D3	9.8	10	1542.9461867	D4	14.6	3.2	1542.1437565
E3	11	1.2	1542.9458734	E4	14.8	3	1542.1430111

用不同的 Channel 的跳動與不同的 Ip 與 Ig 組合所做的模擬，我們是利用一個非理想的方波(rising time and falling time)來產生 Ig 與 Ip 跳動之輸入訊號，利用這訊號來使 DBR Laser 在不同的兩個 ITU Band 跳動。我們將 CH1 $\leftrightarrow$ CH2、CH1 $\leftrightarrow$ CH3、CH1 $\leftrightarrow$ CH4、CH2 $\leftrightarrow$ CH3、CH2 $\leftrightarrow$ CH4 與 CH3 $\leftrightarrow$ CH4 各種組合都測出來，並利用量測出來的數值做分析與探討。

### 3. 接收同步式 OCDMA

多個使用者連接到星形耦合器所組成的星形網路，如圖 6 所示，各使用者與耦合器間之距離都不相同，使得各使用者傳送之信號會在不同的時間點到達耦合器，造成在多重使用者干擾(MUI)估算困難，所以提出接收同步式架構，主要藉由傳送前先量測出

各使用者至耦合器之間的距離，並將使用者所傳送之信號利用延遲時間之方式使信號同時到達耦合器，以加強多重使用者干擾之估算。

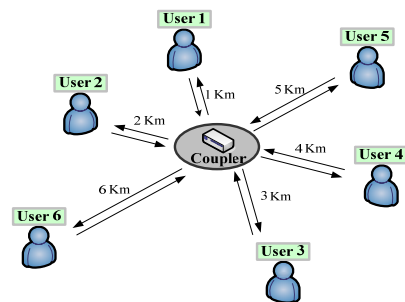


圖 6. 使用者連接到星形耦合器所組成之星狀網路

#### 3.1 系統描述

由圖 6 所示，各個使用者與耦合器之間的距離不盡相同，所以首先量測出每個使用者傳送信號至耦合器所耗費的時間，例如：使用者 1 傳送資

料耗費的時間為  $T_{t1}$ 、使用者 6 傳送信號耗費的時間為  $T_{t6}$ ；接著將使用者 1 端加入延遲時間  $T_{d1}$  之方式並以此類推，讓每個使用者的信號經由延遲後再開始傳輸，使各個使用者的信號同時到達耦合器，如圖 7 所示。

我們利用使用者 1 與使用者 6 來說明；如式子 (1) 所示， $n$  代表光纖之群折射率為 1.4795 (雷射光波長為 1310 nm 時的最佳量測狀況)， $c$  代表光速  $3 \times 10^8$  m/sec，計算可得介質中群速度  $V$ ；如式子 (2) 所示， $D$  代表使用者與耦合器之距離，計算可得使用者傳送到耦合器之間的時間。經過計算後可知，使用者 6 需要 29.58  $\mu$ s 信號才能到達耦合器，使用者 1 需要 4.93  $\mu$ s 信號才能到達，為了讓使用者的信號能同時到達耦合器，我們將兩者時間差距算出後，將使用者 1 經過延遲 24.65  $\mu$ s ( $29.58 \mu\text{s} - 4.93 \mu\text{s} = 24.65 \mu\text{s}$ ) 後再送出訊號，則可讓兩者之信號同時到達耦合器。在傳送至接收的能量損耗的方面，我們經由模擬得到 1 Km 大約損耗 0.2 dB，距離 6 Km 損耗約為 1.2 dB。

$$V = \frac{c}{n} \quad (1)$$

$$\text{傳送時間} = \frac{D}{V} \quad (2)$$

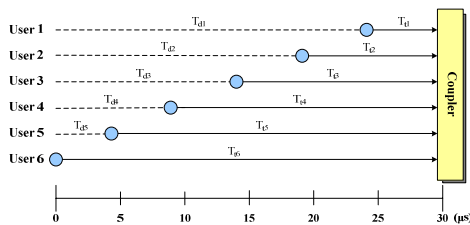


圖 7. 各使用者傳送至耦合器時間之示意圖

### 3.2 訊框格式

由於在光分碼多工存取系統中，每個使用者傳輸至耦合器的距離不同使得接收到信號的時間也不同，而為了達到多工存取的機制，必須定義出每個使用者的訊框格式，我們將使用發射同步型系統架構下的訊框格式如圖 8 所示和我們提出的接收同步型架構下的訊框格式互相比較，找出適當的訊框來提升系統效能。

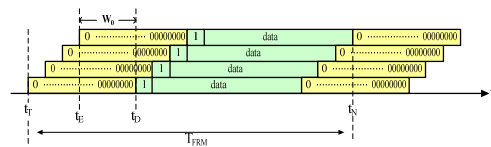


圖 8. 發射同步型訊框

比較接收同步型訊框與發射同步型訊框之差異，主要在於前者已經先依據各使用者和耦合器的距離調整過時間差，使每個使用者傳送的信號同時到達耦合器，如圖 9 所示。我們藉由此特性，在前置信號區放入長度為  $W_0$  信號 0 和長度為  $W_1$  信號 1，用來估測使用者之間相互的干擾量，且可有效的利用信號的多寡來增加估測使用者相互干擾量的精準度。

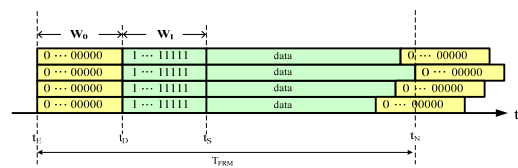


圖 9. 接收同步型訊框

### 3.3 模擬結果與分析

參照前一節所提出的發射同步型與接收同步型兩種型式，建構出了六組使用者做為系統模擬之依據。首先對發射同步型與接收同步型訊框的門



檻電流界定方式做詳細說明，接著再按照接收功率大小不同之訊號對系統傳輸的誤碼率比較。

(1). 系統模擬方塊圖

圖 10 為傳送端的模擬架構圖。在雷射端供給 60 mA 來驅動單模雷射，此雷射的輸出波段為 1552.52 nm，接著我們採用振幅調變做為外部調變之方式，在信號輸入方面，則是將各個使用者傳送的訊框載入，利用光延遲線將信號延遲，產生出各使用者的展頻碼，最後將信號結合做為輸出。

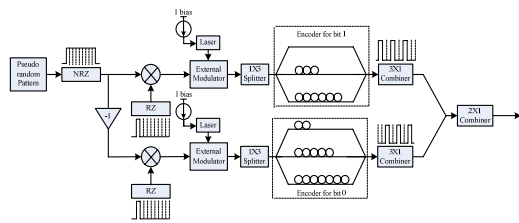


圖 10. OCDMA 傳送端模擬架構圖

圖 11 為接收端的模擬架構圖，此接收端主要是先將光經過延遲線產生光相關函數的方式來進行解碼，接著信號經由 APD 檢光器將光信號轉換為電信號，藉由信號取樣找出適當之門檻電流，最後則可依照門檻電流的判斷解出原始的信號。

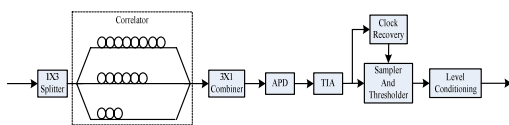


圖 11. OCDMA 接收端模擬架構圖

(2). 門檻電流

根據兩種訊框格式，分別敘述其

門檻電流定義。發射同步型訊框格式，利用  $t_E$  到  $t_D$  時間裡的 10 個信號 0 來做門檻電流的估測，即是在  $W0 = 10$  的條件下進行分析。

接收同步型訊框格式，與發射同步訊框相同都在  $t_E$  到  $t_D$  時間裡傳送 10 個信號 0，除此之外  $t_E$  到  $t_S$  之間又傳送 10 個信號 1 來做門檻電流的估測，即是在  $W0 = 10$ 、 $W1 = 10$  的條件下進行分析。

4. DBR雷射波長切換最佳化

根據在第一年中我們在每個通道中挑選出一組固定之電流組(Ig與Ip)供通道使用，但我們卻從中發現一個問題：如圖 12，我們挑選出由CH1切換到CH4的最佳電流組(Ig與Ip)為A1切換到D1，但由A1切換到CH3之電流組時，我們以傳統方法所挑選之電流組並不一定為CH1切換到CH3之最佳電流組，即CH1切換到CH3之最佳電流組並不一定為A1切換到C1(例如可能是A2切換到C2)；同理由CH4切換到CH2電流組時，最佳電流組也不一定為D1切換到B1(例如可能是D2切換到B2)。

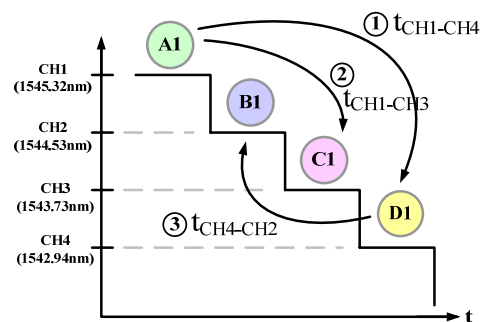


圖 12. 傳統挑選波長間切換電流組合的方法示意圖

#### 4.1 使波長切換最佳化控制方法

同前述之道理我們可知：假設由CH1 切換到 CH2 的最佳電流組為 A1 切換到 B1，但是當 CH2 切換回 CH1 時(即 B1 電流組切換到 A1 電流組)，此電流組並非為最佳電流組。因此我們在一通道中增加電流組合的數量，並藉由電流的控制以達到有效減少切換時間之可能性。

現在於每個通道分別挑選5組電流(如表2)以方便我們下述之說明與使用。我們以CH1和CH2間轉換為例，找出兩通道間來回切換所需的最短時間電流組合。傳統方法中(如圖13)，CH1和CH2間來回切換最短時間電流組合為A3和B3，A3到B3時間為11.3236ns，

B3到A3時間為15.0344ns，其時間總和為26.3580ns；接著我們前述之方法來找最短時間轉換之電流組合(如圖14)：CH1切換到CH2最短時間電流組合為A3到B3，時間是11.3236ns，由CH2切換回CH1最短時間電流組合為B4到A1，時間為8.9672ns，而A1換到A3時間及B3切換到B4時間皆為為0ns，所以我們可以得到以A3為起始電流，由CH1切換到CH2，再由CH2切換回CH1，並且切換回到電流A3所需時間為20.2708ns，轉換時間比傳統單一電流組快6.0872ns，因此可以證實在通道中增加電流組合，可以使波長切換最佳化。

表 2 符合 ITU 波長的電流組合

組別	Ig (mA)	Ip (mA)	Wavelength(nm)	組別	Ig (mA)	Ip (mA)	Wavelength(nm)
<b>CH1(1545.32nm)</b>				<b>CH3(1543.73nm)</b>			
A1	2.6	5.2	1545.32569	C1	8.2	9.4	1543.73301
A2	2.8	2.4	1545.32798	C2	11	5	1543.73192
A3	3	5.2	1545.32205	C3	12	4.8	1543.73639
A4	3.6	5	1545.32604	C4	12.2	4.8	1543.73181
A5	4.4	8.6	1545.32133	C5	13	4.6	1543.73809
<b>CH2(1544.53nm)</b>				<b>CH4(1542.94nm)</b>			
B1	4.8	5.4	1544.53517	D1	14	2.2	1542.94834
B2	5	5.4	1544.53461	D2	15.2	8.4	1542.94918
B3	5.2	5.4	1544.53215	D3	18.2	4.4	1542.94711
B4	6	5.2	1544.53769	D4	18.4	4.4	1542.94233
B5	6.2	5.2	1544.53164	D5	18.4	7.8	1542.94811

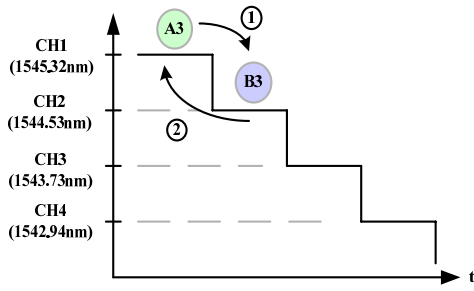


圖 13. 傳統波長切換之控制方法

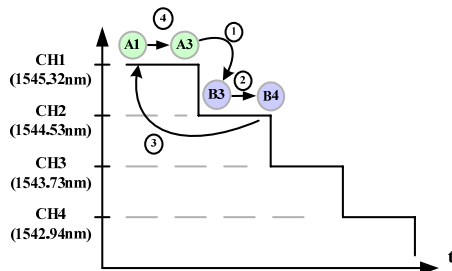


圖 14. 使波長切換最佳化之控制方法

### 三、 計劃成果自評

在此三年中，本計畫研究內容確實地完成了原計畫的進度，我們利用 PID 控制器來完成加強波長穩定的設計，又提出在不同的 Channel 之間跳動時，搭配不同的組合能找出使雷射輸出波長最穩定的解，另外也實現了接收同步型光分碼多工存取系統並提出簡單的 MAC 提升系統的效能。許多研究已發表於著名國際期刊或國際會議，成果相當豐碩。

### 四、 結論

#### 1. 第一年：

##### a. PID 控制器方面

在這我們要用數值分析的方式來分析 PID controller 加入我們的系統後的效能。因為系統加入 PID 控制器後， $\Delta\lambda \Big|_{\sin usoidal}$  項可以有效的控制到零，

所以我們只針對

$$\Delta\lambda \Big|_{offset} = \frac{a + cV + dV^2 + bT^*}{m_{PD}} + \lambda_0$$

來分析，我們分兩個部份來討論，首先先討論 PD 中的所提供的外部電壓源不穩定時所造成的雷射輸出波長不穩定，並且分析有加 PID controller 與沒有加 PID controller 之雷射輸出波長變化量如表 3 所示，我們可以看到沒有加入 PID 控制器時，當提供給 PD 之外部電壓源有 5% 的變異量時  $\Delta\lambda \Big|_{offset}$  為  $0.00255nm$  已經不符合 Spec. 的要求 ( $\Delta\lambda = 0.02nm$ )，當加入 PID 控制器後，當提供給 PD 之外部電壓源有 5% 的變異量時  $\Delta\lambda \Big|_{offset}$  為  $0.0047nm$ ，當提供給 PD 之外部電壓源有 10% 的變異量時  $\Delta\lambda \Big|_{offset}$  為  $0.0069nm$  皆能符合何 Spec. 的要求並且提供更可靠的輸出波長。

表 3 在  $V = -4.9359550 mV$  與  $\lambda_0 = 1548.44nm$  時，當 V 有 1% ~ 10% 之變化時，觀察有加與沒加 PID controller 之  $\Delta\lambda \Big|_{offset}$  變化量。

$V (mV)$	$\frac{\Delta V}{V} \%$	$\Delta\lambda \Big _{offset} (nm)$	$\Delta\lambda \Big _{offset} (nm)$
		with PID controller	without PID controller
-4.93595	0	0	0
-4.98531	1	0.0008	0.0042
-5.23458	5	0.0047	0.0247
-5.42955	10	0.0069	0.0424

第二部份當元件老化所造成輸出波長的影響，如表 4 所示，當 PD 的元

件參數( $m_{PD}$ )受到元老化造成有 $\Delta m_{PD}$ 的變化時，我們將 PID 控制器加入後在 $\Delta\lambda = 0.0103nm$ 的 Spec.下，我們可以忍受元件的元件最大變異量為 0.0013 %。

表 4 在  $V=-4.9359550 mV$  與  $\lambda_0=1548.44nm$  時，當元件老化變異量( $\Delta m_{PD}$ )有 0.0005% ~ 0.0013 % 之變化量時，觀察加入 PID 控制器後之 $\Delta\lambda|_{offset}$ 變化量。

$\Delta m_{PD}$	$\frac{\Delta m_{PD}}{m_{PD}}$ (%)	$\Delta\lambda _{offset}(nm)$ with PID controller	$\Delta\lambda _{offset}(nm)$ without PID controller
$2.043 \times 10^{-3}$	0.0005	0.00205	0.0057
$4.058 \times 10^{-3}$	0.001	0.00065	0.0148
$5.275 \times 10^{-3}$	0.0013	0.0103	0.021

最後根據上面兩部分的分析我們可以得到當雷射等效模型加入 PID 控制器後在電壓漂移所造成的波長的影響可以增進 76.5 %的效益另外對於元件老化對於波長的影響可以增進 48.5 %的效益。

#### b. DBR 雷射電流最佳組合方面

我們將所量測到的結果整理後，如圖 15 所示，橫軸為 initial channel 分別為 Channel 1~Channel 4，Final Channel 也分別為 Channel 1~Channel 4，每個 Channel 內再分為五小格，分別為 A~F，分別將表三中 ITU-Band 的電流組合由低排到高，並且填入顏色當 Switching Time 越短時顏色越淺，反之越深。由圖 15 我們可以整理出第一個結果由低的 Channel 跳到高的

Channel(長波長跳到短波長)不同組的電流所造成的 Switching time 只會有些微的差距，當由高的 Channel 跳到低的 Channel(短波長跳到長波長)時不同組的電流所造成的 Switching time 就會有很大的差距，所以當我們要挑選電流時首要的考量反而是考慮高的 Channel 跳到低的 Channel(短波長跳到長波長)時的情況，並且挑選兩組 Channel 間  $I_g$  與  $I_p$  差值較小的組合。另一個模擬結果如圖 16 所示，是以 Channel 1 跳到 Channel 3 為說明由兩組電流之  $I_p$  差值大小，可以看出當不同組之電流組合所造成的 Chirping。當 Channel 1 與 Channel 3 之  $I_p$  電流差值很大時相對的所造成的 Chirping 也會很大，與  $I_p$  差值大小成正比，所以當考量 Chirping 大小時我們在許多的電流組合中會挑選  $I_p$  差值較小的組合。

由以上的分析可以得知若要選擇 Switching time 較小的組合則挑選由短波長跳到長波長時與兩個 Channel 差距較小的  $I_p$  與  $I_g$  來決定，若要選擇 Chirping 較小時是由兩個 Channel 之  $I_p$  差距較小的組合決定，因為每個 Laser 的特性均不同所以我們只列出經驗法則來協助使用著在挑選電流組合時能更有依據。

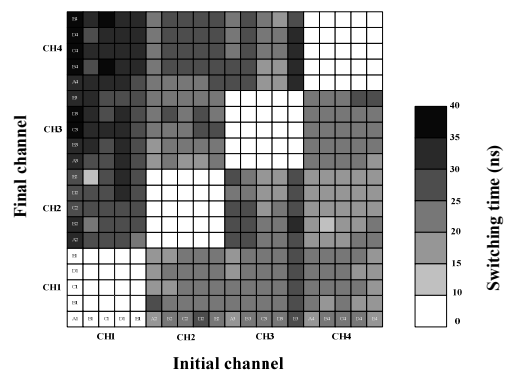


圖 15. Channel 1~Channel 4 之不同電流組所造成之 Switching time

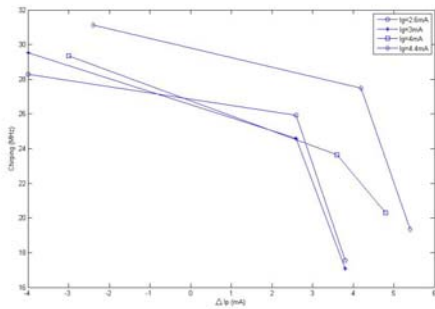


圖 16. 不同的電流組合由 Channel 1 跳到 Channel 3 所產生之 Chirping 的大小

## 2. 第二年：

發射同步型系統與接收同步型系統架構在不同訊框下做效能分析。藉由圖6各個使用者傳送至耦合器距離不同，我們選擇使用者 1（距離耦合器最近）和使用者 6（距離耦合器最遠）來做接收端功率大小對誤碼率之比較。在發射同步型訊框  $W0 = 10$  和接收同步型訊框  $W0 = 10, W1 = 10$  來比較效能之差異。圖17 則為模擬結果，從結果可明顯的看出，接收同步型訊框下的系統效能不論是在使用者距離遠近下都較先前發射同步型訊框的誤碼率低。

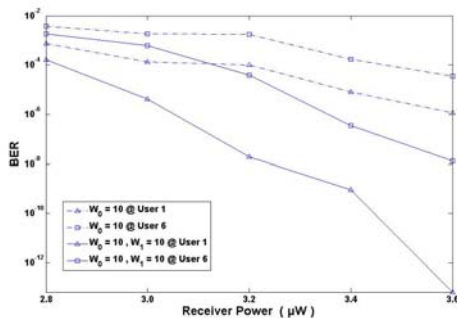


圖 17. BER vs. Power

藉由模擬驗證我們提出的接收同步型OCDMA系統的設計以及在訊框格式的制定，當接收端功率為2.8  $\mu\text{W}$  時，使用者1和使用者6在接收同步系

統與發射同步系統中的錯誤率約略都在  $10^{-2}$  到  $10^{-4}$  之間，隨著接收到的信號功率上升，各系統之錯誤率快速下降。當接收端功率到達3.6  $\mu\text{W}$  時，使用者1在接收同步系統的錯誤率小於  $10^{-12}$ ，而在發射同步系統的錯誤率約為  $10^{-6}$ ；使用者六在接收同步系統的錯誤率約為  $10^{-8}$ ，而在發射同步系統的錯誤率約為  $10^{-5}$ ，從模擬的結果發現接收同步系統的錯誤率小於發射同步系統，證明文中提出的接收同步系統具有較好之性能。未來將分析接收同步系統前置信號與門檻電流之關係，探討訊框中  $W0 = 10$  與  $W1 = 10$  數目多寡與訂定門檻電流精確性，找出適當前置信號長度，以降低系統錯誤率及提升系統效能。

## 3. 第三年：

由第三年的研究結果我們可知，在同一通道中，增加通道中電流組合數目可以使通道間切換時間較傳統單一通道只有單一電流組合快，但我們如果各別找出任兩通道間來回切換最佳電流組後，欲把這些電流組合結合在一起時，會發現彼此間同通道部分切換又必須浪費時間，如圖18所示，而且此問題會隨著通道數的增加，變得越來越繁瑣。

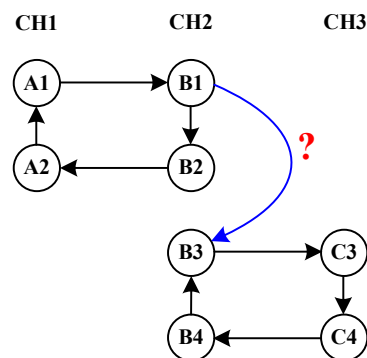


圖18. 從2通道增加至3通道時之問題

因此我們在找出所有通道切換之最佳電流組前，先找出同通道間互相切換時間為0ns之電流組，接著再從這些電流組中，各別找出任兩通道間來回切換最佳電流組，其結果如圖19所示。我們在CH1中使用A1和A3電流，CH2中使用B1、B2、B3、B4、B5電流，CH3中使用C3、C4、C5電流，CH4中使用D3和D4電流，其各通道間切換時間與第二年結果所述切換時間方法比較如表5所示，表中所示之時間兩通道間的來回切換時間，因此我們可以計算出最佳化後由CHA切換至CHB平均時間為8.4680ns，而傳統方法中由CHA切換至CHB平均時間為15.4321ns，最佳化後波長切換時間比傳統方法快了7.9641ns。

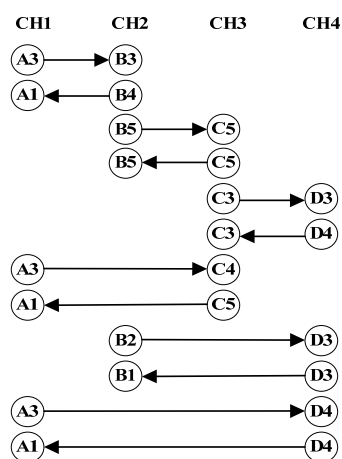


圖 19. 最短時間切換之電流組合

表 5. 各通道間，電流來回切換時間

通道	最佳化	傳統方法
CH1-CH2	20.2708ns	33.0084ns
CH2-CH3	14.6009ns	31.1872ns
CH3-CH4	9.0109ns	39.9935ns
CH1-CH3	23.8069ns	29.7208ns
CH2-CH4	11.6205ns	22.7283ns
CH1-CH4	22.30654ns	28.5472ns

## 五、發表之論文

### 1. Journal Papers:

- [P1]. **Yang-Han Lee**, Yih-Guang Jan, Yun-Hsih Chou, Hsien-Wei Tseng, Ming-Hsueh Chuang, Shiann-Tsong Sheu, Yue-Ru Chuang, Jei-Jung Shen, and Chun-Chieh Fan “The Hardware Design for a Genetic Algorithm Accelerator for Packet Scheduling Problems,” *Tamkang Journal of Science and Engineering*. Vol. 11, No. 2, pp. 165-174, June 2008. **(EI, Engineering)**
- [P2]. **Yang-Han Lee**, Chao-Chung Huang, Jiann-Jong Chen, and Yih G. Jan, “Chip Design of White LED Driver,” *Tamkang Journal of Science and Engineering*. (Accepted on May 20, 2008) **(EI, Engineering)**
- [P3]. Hsien-Wei Tseng, Yen-Hsih Chou, Ming-Hsueh Chuang, **Yang-Han Lee**, Shiann-Tsong Sheu, and Yih-Guang Jan, “Design and Implementation of Subchannelization Scheduler in IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Systems,” *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. (Accepted on May 12, 2008) **(SCI, EI, Engineering)**
- [P4]. Ching-Chang Wong, Yih-Guang Jan, **Yang-Han Lee**, Po-Jen Chuang, Shiann-Tsong Sheu, Wei-Tsong Lee, Huan-Chao Keh,

- Chih-Yung Chang, Kuei-Ping Shih, Timothy K. Shih, Hsien-Wei Tseng, Jheng-Yao Lin, and Nai-Kuei Wu, "A Smart Pre-Warning, Guide, Alarm, Recovery and Detection (GUARD) Network System for the Blind," *Tamkang Journal of Science and Engineering* . Vol. 11, No. 1, pp. 17-22, March 2008. **(EI, Engineering)**
- [P5]. **Yang-Han Lee**, Yung-Shan Chou, Ming-Hsueh Chuang, Chun-Liang Yang, and Hsien-Wei Tseng "PID Controller for Stabilizing Laser Wavelength," *Journal of Optical Communications*, Vol. 28, No. 3, pp. 168-171, November 2007. **(EI, Engineering)**
- [P6]. **Yang-Han Lee**, Yih-Guang Jan, Hsien-Wei Tseng, and Ming-Hsueh Chuang, "Performance Analysis and Architecture Design for a Smartly Generated Prime Code Multiplexing System," *Journal of Optical Communications*, Vol. 28, No. 3, pp. 216-220, November 2007. **(EI, Engineering)**
- [P7]. **Yang-Han Lee**, Chun-Liang Yang, Ming-Hsueh Chuang, Hsien-Wei Tseng, Yung-Shan Chou, Hen-Wai Tsao, and San-Liang Lee, "Analysis and Selection of Optimum Driving Current Combinations for Tunable Wavelength Laser," *Microwave and Optical Technology Letters*. Vol. 48, No. 7, pp. 1417-1423, July 2006. (SCI, EI, Engineering)
- [P8]. **Yang-Han Lee**, Yih-Guang Jan, Hsien-Wei Tseng, Ming-Hsueh Chuang, Chiung-Hsuan Peng, Wei-Tsong Lee, and Chih-Tsung Chen "A Novel Architecture for High Speed Viterbi Decoder," *Tamkang Journal of Science and Engineering* . Vol. 9, No. 4, pp. 343-352, December 2006. **(EI, Engineering)**
- [P9]. **Yang-Han Lee**, Fun Ye, Yun-Hsih Chou, Ming-Chieh Tsou, Yih-Guang Jan, Jheng-Yao Lin, Hsien-Wei Tseng and Ming-Hsueh Chuang, "The Design of a Linear Digital Pixel Sensors with Wide Dynamic Range and Logarithmic Response," *IEEE Sensors Journal for possible publication, ISJPP*. (Submitted on October 19, 2006). **(SCI, EI, Engineering)**
- 2. Conference Papers :**
- [P10]. Rong-Hou Wu, **Yang-Han Lee**, Hsien-Wei Tseng, Yih-Guang Jan, and Ming-Hsueh Chuang, "Study of Characteristics of RSSI Signal," *2008 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2008)*, Chengdu, China, April 21-24, 2008.
- [P11]. 莊明學, **李揚漢**, 曾憲威, 程士

- 豪, 蔡宗豪, “DBR 雷射波長切換最佳化之驅動電流組合之分析與控制方法,” 台灣光電科技研討會(Optical and Photonics, Taiwan 2007, November 30 - December 1, 2007.
- [P12]. 莊明學, 李揚漢, 李偉辰, 蔡宗豪, 程士豪, “同步光分碼多工存取系統使用平衡編碼之效能提升與分析,” 台灣光電科技研討會(Optical and Photonics, Taiwan 2007, November 30 - December 1, 2007.
- [P13]. Hsien-Wei Tseng, Ming-Hsueh Chuang, Yen-Hsih Chou, Yang-Han Lee, Yih-Guang Jan, Yung-Kuang Wang, and Chih-Wei Su, “Design of FFT Subchannelization Scheduling in OFDMA System,” *The 10th IASTED International Conference, Intelligent Systems and Control (ISC 2007)*, Cambridge, Massachusetts, USA, pp. 246-251, November 19-21 2007.
- [P14]. Ming-Hsueh Chuang, Hsien-Wei Tseng, Yen-Hsih Chou, Yang-Han Lee, Yih-Guang Jan, Yu-Shih Lee, and Chih-Wei Su, “Design of Smart Diversity System based on Optimal Hardware Algorithm,” *The 10th IASTED International Conference, Intelligent Systems and Control (ISC 2007)*, Cambridge, Massachusetts, USA, pp. 366-370, November 19-21 2007.
- [P15]. 李揚漢, 許獻聰, 郭一漁, 曾憲威, 李偉辰, “ZigBee 溫溼度監控系統,” 2007 Workshop on Consumer Electronics and Signal Processing (WCEsp 2007), November 2, 2007.
- [P16]. 李揚漢, 駱俊豪, 李偉辰, 洪羣祐, 曾憲威, “無線定位系統使用 ZigBee 技術之實現,” 2007 Workshop on Consumer Electronics and Signal Processing (WCEsp 2007), November 2, 2007.
- [P17]. Rong-Hou Wu, Yang-Han Lee, Ming-Hsueh Chuang, and Hsien-Wei Tseng, “Specification Study of Optical Transmission System for Commercial Airborne on Board Entertainment Applications,” 2006 Symposium of Photonic Devices and System Application (SPDSA'06), International Conference on High-speed and Broadband Networks (ICHBNT'06), Taipei, Taiwan, R.O.C., April 1-4, 2006.
- [P18]. 趙亮琳, 李揚漢, 溫敏如, 楊淳良, 莊明學, 彭瓊萱, 黃聖博, 董先育, “同步光分碼多工存取系統使用平衡編碼之效能提升與分析” 台灣光電科技研討會(Optical and Photonics, Taiwan 2006), December 15-16, 2006.
- [P19]. 楊淳良, 趙亮琳, 周永山, 李揚漢, 彭瓊萱, 詹益光, 莊明學, 溫敏如, 曾憲威, 董先育, 黃聖博, “DBR 雷射波長切換最佳



化之驅動電流組合控制方法,”  
2006 全國電信研討會 - 2006  
*National Symposium on  
Telecommunications*, December  
1-2, 2006.

- [P20]. Rong-Hou Wu, **Yang-Han Lee**,  
Shiann-Tsong Sheu, Hsien-Wei  
Tseng, Ming-Hsueh Chuang, and  
Yung-Kuang Wang, “Application  
of Hardware Architecture of  
Genetic Algorithm for Optimal  
Packet Scheduling,” *11th  
International Conference on  
Fuzzy Theory and Technology  
(FTT 2006) in conjunction with  
9th Joint Conference on  
Information Sciences (JCIS 2006)*,  
Kaohsiung, Taiwan, R.O.C.,  
October 8-11, 2006. **(EI,  
Engineering)**
- [P21]. **李揚漢**, 楊淳良, 莊明學, 周永  
山, 曾憲威, 彭瓊萱, 溫敏如  
“DBR 雷射波長之驅動電流組  
合最佳化分析,” *台灣光電科技  
研討會 (OPT 2005)*, December  
9-10, 2005.

## 六、 參考文獻

- [1] Lorenzo Colace, Gianlorenzo  
Masini, and Gaetano Assanto,  
Wavelength Stabilizer for  
Telecommunication Lasers: Design  
and Optimization, *IEEE Journal of  
Lightwave Technol* 21 (2003),  
1749-1757.
- [2] Y. Sakai, S. Sudo, and T. Ikegami,  
Frequency stabilization of laser  
diodes using 1.51-1.55  $\mu$  m  
absorption line of  $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$  and  $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ ,  
*IEEE J Quantum Electron* 28 (1992),  
75-81.
- [3] Y. C. Chung and L. W. Stulz,  
Synchronized etalon filters for  
standardizing WDM transmitter  
laser wavelengths, *IEEE Photon  
Technol Lett* 5 (1993), 186-189.
- [4] J. C. Braasch and W. Holzapfel,  
Frequency stabilization of  
monomode semiconductor laser to  
birefringent resonators, *Electron  
Lett* 28 (1992), 849-851.
- [5] S. T. Winnall and A. C. Lindsay,  
DFB semiconductor diode laser  
frequency stabilization employing  
electronic feedback and Bragg  
grating Fabry-Perot interferometer,  
*IEEE Photon Technol Lett* 11  
(1999), 1357-1359.
- [6] P. R. Prucnal, M. A. Santoro, and T.  
R. Fan, “Spread spectrum fiber-optic  
local area network using optical  
processing,” *J. Lightwave Technol.*,  
vol. LT-4, pp. 547-554, May 1986.
- [7] J. A. Salehi, “Code division  
multiple-access techniques in  
optical fiber networks – Part I:  
Fundamental principles,” *IEEE  
Trans. Commun.*, vol. 37, pp.  
824-833, Aug. 1989.
- [8] L.-L. Jau and Y.-H. Lee, “Optical  
code-division multiplexing systems  
using Manchester Coded Walsh  
Codes,” *IEE Proc.-Optoelectron.*,  
vol. 151, pp. 81-86, Apr. 2004.

- [9] C.-S. Weng and J. Wu, "Perfect difference codes for synchronous fiber-optic CDMA communication systems," *J. Lightwave Technol.*, vol.19, pp. 186–194, Feb. 2001.
- [10] P. R. Prucnal, M. A. Santoro, and S. K. Sehgal, "Ultrafast all-optical synchronous multiple access fiber networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-4, pp. 1484–1492, Dec. 1986.
- [11] L.-L. Jau and Y.-H. Lee, "A synchronous optical CDMA system with constant multi-user interference," *Proceedings of the 2004 National Symposium on Telecommunications (NST 2004)*, Keelung, Taiwan, pp.120-125, Dec. 3-4, 2004.
- [12] L.-L. Jau and Y.-H. Lee, "Optical code-division multiplexing systems using common zero codes," *Microwave and Optical Techn. Lett.*, vol. 39-2, pp. 165–167, Oct. 2003.
- [13] L.-L. Jau and Y.-H. Lee, "Synchronous optical-CDMA systems using tunable hard limiters," *J. Optical Commun.* vol. 24, pp. 217–222, Dec. 2003.
- [14] Stamatios V. Kartalopoulos, *Introduction to DWDM technology*. New Jersey : IEEE Press, 2000.
- [15] Yang-Han Lee, Yung-Shan Chou, Yih-Guang Jan, Chun-Liang Yang, Ming-Hsueh Chuang and Shian-Wei Tzeng, "Applying Robust Controller for Wavelength Stabilizer in Optical Network," *2005 Symposium on Technology Fusion of Optoelectronics and Communications (STFOC '05)*, Taipei, Taiwan, R.O.C., Page 98-99, May 2005.
- [16] L. Coldren and S. Corzine, "Continuously-tunable single-frequency semiconductor lasers," *Quantum Electronics, IEEE Journal*, Volume 23, Issue 6, Page 903-908, Jun. 1987.
- [17] Pan Xing, H. Olesen and B. Tromborg, "A theoretical model of multielectrode DBR lasers," *Quantum Electronics, IEEE Journal*, Volume 24, Issue 12, Page 2423-2432, Dec. 1988.
- [18] Y. Kotaki, M. Matsuda, H. Ishikawa and H. Imai, "Tunable DBR laser with wide tuning range," *Electronics Letters*, Volume 24, Issue 8, Page 503 – 505, April 1988.
- [19] S. Murata, I. Mito and Kobayashi K., "Tuning ranges for 1.5  $\mu\text{m}$  wavelength tunable DBR lasers," *Electronics Letters*, Volume 24, Issue 10, Page 577 – 579, May 1988.
- [20] N.P. Caponio, M. Goano, I. Maio, M. Meliga, G.P. Bava, G. Destefanis and I. Montrosset, "Analysis and design criteria of three-section DBR tunable lasers," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal*, Volume 8, Issue 6, Page 1203 – 1213, Aug. 1990.
- [21] Jens Buus, Markus-Christian Amann and Daniel J. Blumenthal,

“ Tunable Laser Diodes and Related Optical Sources, ”(Second edition) Wiley inter-science.

- [22] Yang-Han Lee, Chun-Liang Yang, Ming-Hsueh Chuang, Hsien-Wei Tseng, Yung-Shan Chou, Hen-Wai Tsao and San-Liang Lee, “ Analysis and Selection of Optimum Driving Current Combinations for Tunable Wavelength Laser,” *Microwave and Optical Technology Letters*. Volume 48, No. 7, Page 1417-1423, July 2006.