

# 全光網路中不需標籤修改之標籤交換技術

楊旺財、高國峰

## 摘要

在本文裡，我們提出一個以光標籤交換的交換技術，使得光領域中之封包交換技術簡單化。其原理是為封包貼上光標籤(optical label)，使得封包的傳輸過程中交換節點不需要修改光標籤同時在處理標籤時亦不需要作光電轉換。光標籤是以光碼(optical code)存在，因此，光網路中的交換節點可直接在光領域中處理光標籤，且省去O/E 和E/O 轉換，可避免電子資料的處理限制了交換的速度。我們的方法不需要作任何標籤修改，因此上層即標籤交換層在光學網路中的運作是透通地。

**關鍵詞：** MPLS, Optical label switching, WDM, optical code.

# **A Photonic Label Switching Scheme without Label Swapping in All-Optical Networks**

Wang-Hsai Yang, Kuo-Fong Kao

## **Abstract**

In this paper, the optical label switching is proposed to simplify the packet forwarding process. By prefixing an optical label to a packet, the packet transmission can avoid both label swapping and optoelectronic (OE) conversions. The optical label is derived from optical codes. Hence, the label can be processed in optical domain. The O/E and E/O conversions are inevitable at each optical switch node. As a result, the electronic circuits limit the speed of data forwarding. Our method doesn't need any label swapping or header modification. Therefore, the upper layer, i.e., the label switching layer, can operate in optical networks transparently.

**Keywords:** MPLS, Optical label switching, WDM, optical code.

## 1. 介紹

由於新的應用技術實行於Internet包括VoIP、IPTV等，使得使用者對於高頻寬的需求與日遽增。然而，現今Internet網路是以實行IP技術為主但對於頻寬的大量需求則藉由分波多工技術(WDM)來提供。其架構為以路由器連接時間領域的多工系統(TDM-AMD)，如SONET、SDH等設備提供電路交換來連接兩端路由器。這樣的運行模式有其缺點，例如：WDM只用來做傳輸線，交換的技術還是靠電子式的交換來完成，因此在每個交換節點必須作E/O和O/E的轉換。而且有兩個主要的瓶頸發生在IP交換技術上，第一，在每個節點上，電子式路由器是以最長吻合來決定每個封包的交換。第二，封包必須經由儲存來等待路由解析。這些因素因此限制了交換的速度。為了改進此缺點，一個以IP技術為基礎的全光交換技術運行的網路必須被發展，也就是不只傳輸時以光訊號傳輸，在每個交換節點處理交換程序時也必須以光訊號處理。在一個以光封包交換的網路可以提高交換的速度及提高網路效能。為了達到此目的，必須發展新的交換技術適用於光網路上，不能直接把電子式的交換技術移植到光交換技術上，因為現在只有DRAM或SRAM，並沒有optical RAM來儲存光訊號以等待路由解析。現在有很多研究致力於適用於WDM網路上恰當的路由技術以展現其幾乎無頻寬限制

的能力[1-4]。

可行的方法包括，一、Optical packet switching架構[5,6,7]：此架構具有對一個光封包作routing和switching的能力。但是，設計有相當的困難度，包含packet synchronization、time recovery、packet header modification、packet routing...等等，其中以解析header為最耗時花費最昂貴。二、optical burst switching架構[7,8]：在此架構中，不需要作封包同步化，只需要解析control packet來控制burst的傳送，比較起前者分析header較為簡單。三、另一個可行的方法是多重協定標籤交換概念技術(MPLS-based)[9]，MPLS的特徵是把一個網路分成兩種節點---邊緣節點(edge)和核心節點(core)。每個邊緣節點(Edge node)負責替將要進入網路的封包解析找出一條最短的路徑，而每個核心節點負責以局部資訊即label所提供的資訊傳送封包。這個方法可分為三類技術，第一類，利用全域資訊作路由，也就是經過網路的每一條路徑被指定唯一且全域適用的標籤(label)，封包在傳送過程中其標籤是不需被改變的。其缺點是標籤的計算上及分配上是繁雜且費時的。第二類，其標籤攜帶所有的個別路由所需資訊，也就是推疊所有的標籤，然後在每個核心結點卸下已使用過個標籤。第三類，就是well-known MPLS label swapping，其主要功能是利用一個label swapping forwarding 演算法來完

成高速封包交換能力，但是在每一個核心節點都必須為即將傳送封包替換新的標籤。雖然以MPLS為主軸的optical label switch是可行的方法，不過卻需要一些類似label distribution protocol來建立label 轉換及封包routing的機制。

從文獻[10]中，作者提出” the configuration of all-optical code division multiplexing switching network based on self-routing principles” ，其利用可變長度之標籤 (tag)來包含完整的 routing information，也就是，包含所有路由經過節點之 output port numbers。為了簡單設計，其利用一個bit來對應於每一個連接到switch的 output channel，例如，想要傳輸的output channel其對應的bit設為” 1” ，其他bit則都設定為” 0” 。當packet被傳送出去前，在tag前方已使用過的資訊會被刪除。

從文獻[11]中，作者提出 photonic label switching 的方法，可以稱為 photonic MPLS。也就是其運作原理是以MPLS為基礎，但是label是以optical code來表示，其label 的處理是以optical code correlation。因此optical code在每個交換節點被取出、處理、置換。亦即，這個photonic 標籤在每一個交換節點還是需要標籤交換。

從文獻[12]中，提到一個新穎的方法簡稱KIS，其利用中國餘數定理將在光領域 (optical domain) 中的封包前頭加上一個label，使得在傳送中交換節點處理封包交

換時不需要作label swapping，因此不需要任何的 label distribution protocol，因此造成了光領域中的交換設備 (switch) 設計簡化許多，轉送封包的速度也快了許多。但是，此方式仍然必須將label從光的訊號轉換成電的訊號，再來作除法運算，將 output port 算出，再轉換成光的訊號，也就是O/E/O的程序；在光的領域中，O/E/O的過程是複雜且代價昂貴的。

在論文[13]中，我們提出一個新的方法稱為OCDM，利用現成的Optical CDM的編碼方式，如：PC, EPC, QC, 和EQC，將label重新編碼成optical label，以達到如[12]同樣的目的，也就是不需要作label swapping並且在每個被路由核心節點不需實行O/E/O程序。但需有 optical correlator來實行訊號比對取代位址查表動作，當一光封包進入光網路核心節點，其label會被取出塞進入optical correlator和此核心節點所設定的code sequence來進行correlation運作，所得出的結果則為控制此光封包走向正確的output port的控制信號，其運作原理類似 Source Routing。但是其缺點是label長度太長，如當核心網路有30個節點時，需要30組碼，以上面所提四種編碼技術時，取 $p = 31$ ，則code 2的長度 $N_{QC} = 961$  chips和 $N_{EQC} = 1,891$  chips。假設optical pulse產生器是10G Hz，則 $\tau = 1/10G$ ，則完成3個bit的correlation需時 $3 * 1k/10G = 0.3 \mu s$ ，及 $3 * 2k/10G = 0.6 \mu s$ 。因此，我們以既

有的基礎提出新的技術為此篇論文討論之重點。

表1是將以上所述的系統架構作個簡單的比較，我們可以發現到前3者都需要O/E/O程序及label swapping/header modification，只是在解析有程度上的差別而已。而KIS機制雖然不需要第二項，但是也必須將技術成本花費在O/E/O程序上，只有OCDM是用編碼方式來傳送資料，因而都不會耗費成本在這兩項上，使得光封包可快速的被路由經過光網路。這就是我們想用optical code來編碼傳送封包時所需之路由資訊的原因。

表 1.六種通訊架構的比較

	OPS	OBS	OLS	KIS	Photonic-MPLS	OCDM
O/E/O procedure	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Label swapping	Yes*	Yes	Yes	No	Yes	No

\*OPS: header modification

## 2. 系統架構

在此章我們將介紹optical code label switching system 如圖1所示，其中的optical network 包含邊緣連接光網路及傳統網路的節點(ingress edge nodes)和核心節點(core nodes)。每個邊緣節點負責替將要進入光網路的封包找出一條最短的路徑(shortest path)並且產生一個optical label置於此封包的最前頭，而每個核心節點被設定擁有一

組code sequence，當封包到達某個核心節點時，此組code sequence就是用來和label作correlation程序，其結果便是此封包所要往下個節點傳送的output port。

除此之外，我們為封包所決定的output port是在光領域中作correlation程序，而且在傳送封包的過程中，label並沒有被修改或轉變。因此，這樣的一個系統不需要處理O/E/O procedure也不需要label swapping的動作。

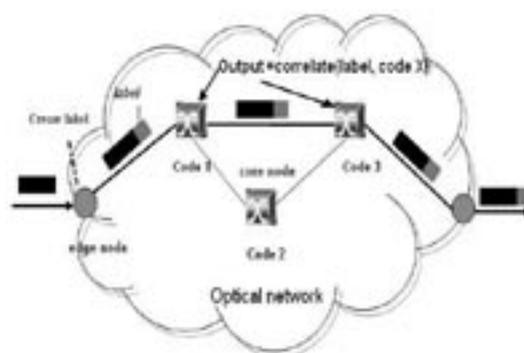


圖 1. Optical Code label switching system

### 2.1 Optical Packet架構

在論文[12]中的圖 7顯示出當核心節點在50個的情況下，使用到route length為8 (即經過 8個節點)的頻率大致為2%，其使用頻率較高的route length 為3、4、5、6。因此在核心節點小於50個之內，其route length 平均使用頻率最高出現在3、4、5、6個節點處，如果一個網路是30個核心節點時，可預期圖中曲線會往左偏移，使得route length平均使用率較高的應

是在2~5之間。因此，在這個情境下，我們假設我們所提系統最大只支援路由長度為8 是合理的。如果一個邊緣節點在替一封包解析路由時，發現其路由長度超過8時，此時可採用兩階段路由，也就是，路由經過第三地，再由第三地路由至目的地。舉個例子，假設一封包由A傳送至C 被解析出會經過九個核心節點，此時可將路由AC 分成兩部分路由 AB和 BC ，即先路由至接近A的第三地B，再由B路由至C。這個路由規則可被加入路由協定裡，使得當有路由過長時可運用，這可解決底下我們將提出的封包結構可能會出現label 過長或label長度不固定問題。

圖2所示為此系統使用之光封包結構，其為將原始的封包做光訊號轉換後直接在其前頭封裝一個optical code label，並加上一-detection bit作為探知訊號和同步訊號。此時光訊號可用On-Off keying(OOK)的資料型態來表示，即bit 1產生一個pulse，bit 0則沒有pulse。如上討論，此時label長度可訂為8個optical code sequence之長度，此optical code sequence為提供某核心節點所需之路由資訊。當路由超過8個核心節點時採用上面所討論之兩階段路由方法處理，當不超過時，label中沒使用到的位置即可用零訊號（no pulse）來替代。

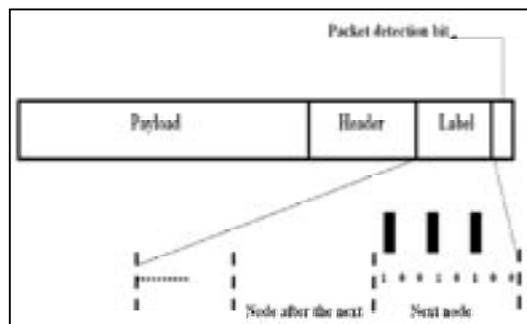


圖2.光封包結構

## 2.2 Optical label switching的節點架構

當一個從傳統網路的封包要進到光網路時，它本身是電氣信號，首先會到達光網路邊緣的節點(edge node)。邊緣節點包含label creator、optical cross-connect (OXC)，如圖3所示。其中傳統網路封包的header會交由label creator來分析，找出一條路徑來路由封包，並產生一個包含路由資訊的label；另一方面傳統網路的封包整個經由調變將信號轉為光訊號，假設為On-Off keying(OOK)的資料型態，即bit 1產生一個pulse，bit 0則沒有pulse。緊接著將所產生的label封裝於封包之前，然後往下一個核心節點傳送，如圖3所示。其中當header被解析時，label creator也會送出控制訊號control signal來設置optical cross-connect (OXC)，選擇正確的output port來傳送出光封包。

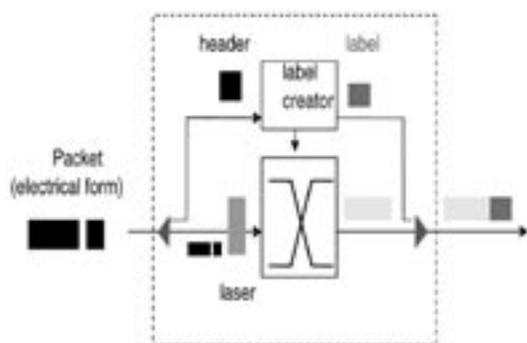


圖3.光網路之邊際節點(edge node)結構

核心節點如圖4所示，包含optical correlators、OXC、FDL。當光封包抵達第一個核心節點時，它最前頭的label則會進入optical correlator和此核心節點所設定的code sequence來作correlation程序，所得出的結果則為控制此光封包走往正確的output port的控制信號。另外要注意的是，在中心節點必需要具有fiber delay lines (FDLs)，以此用來作光訊號的暫存器，等待correlation程序的完成，FDL所需要的圈數則是和一個label的長度有關，假設，一組code sequence的長度 $N$ 為 $p$ ，核心節點有 $2^s$ 個port，則整個label的長度為 $s * N = s * p$ ，其correlation time則是 $T = s * N * \tau = sp \tau$ ，所需FDLs的圈數為 $sp$ 圈。

### 2.3 Optical Correlator的架構

接下來我們介紹optical correlator的架構，如圖5所示。Correlator的目的是要比對輸入訊號是否符合事先被設定在correlator內的值，亦即輸入訊號是否為

符合想要的訊號。如圖6所示，是一個簡單的correlator的作法，稱為optical fiber Tapped-Delay-Line Correlator [14]，例如在輸入端輸入一光訊號”10101”，且有5個slots，在slot 1, 3, 5各有一個pulse 其餘的slots則沒有pulse。這樣的correlator需要5 taps，每個tap需設定weight，當weight=1代表delay-line上的switch為關，反之為開。這樣一個光訊號會被power splitter分成三份，各自通過三組分別為延遲 $\tau = 0$ ， $\tau = 2$ ，和 $\tau = 4$  Tbit的FDLs，並且在power combiner處被重新組合，新的訊號也顯示在圖中，在適當的sampled time  $T_s$ 做訊號能量檢測來判定是否通過Detector上所設之threshold。可以發現到在中央處有個能量最大的pulse，而且只有這個pulse能夠使得 photo diode產生一個較大的電流，而此電流才能啟動threshold detector，送出一個”match”的訊號。

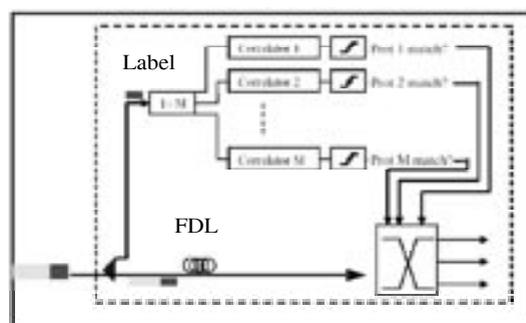


圖4. 光網路之核心節點(core node)結構

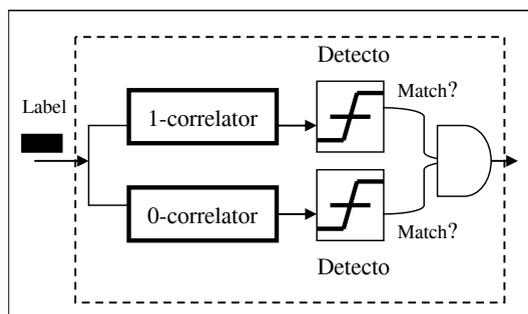


圖 5. Correlator 的架構

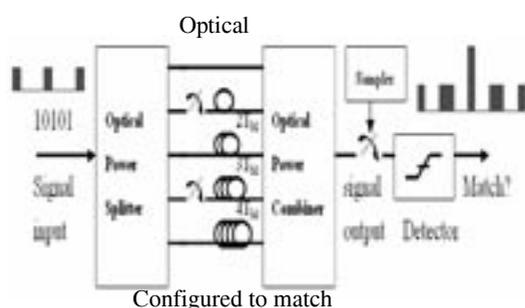


圖6. fiber tapped-delay-line correlator 架構

圖 6 所示的 correlator 稱爲” 1-correlator”，我們還需要” 0-correlator”，因爲在圖 6 中如輸入之光訊號爲” 11111”，在適當的取樣時間點檢測輸出訊號仍然會通過 Detector 的 threshold。因此如要真正檢測一輸入光訊號是否爲想要之光訊號，還需另外一” 0-correlator”。以圖 6 爲例，想要檢測之訊號爲” 10101” 此時” 0-correlator” 需設定爲” 01010”，並且在適當的 sampled time  $T_s$  做訊號能量檢測時，判定其能量是否爲” 0”。換句話說，” 1-correlator” 是爲了檢測訊號在某些 slot 的位置是否爲” 1”，” 0-correlator” 是爲了檢測訊號在剩餘的

slot 位置是否爲” 0”，因此，只要一光訊號通過” 1-correlator” 和” 0-correlator” 兩個 correlators 都符合 (match) 時，則其結果代表該訊號符合 (match)。

### 3. Network Implementation

爲了實行此 optical code label switching system，首先描述如何編碼 optical code label (OC-label)。OC-label 是一個 optical code，也就是說，是一序列的 optical pulses。一個 OC-label 可看作是附在封包上的一個識別子，其作用是當核心節點利用此 OC-label 做 correlation 運作時可提供路由資訊。首先假設光網路中包含  $N$  個節點。爲了編碼所需之 optical code，需要找一個整數  $M$ ，使得  $M > \ln N$ 。利用此數  $M$ ，可製造出  $2^M$  個 (0,1) sequence，將此  $2^M$  個 (0,1) sequence 分配給每個節點唯一的  $M$ -bits code sequence，稱爲 node-code sequence，且假設每一個核心節點有 8 個 output ports，所以我們需要 3 個 bits 來代表 2 進位的 0~7，稱爲 port-code sequence。以  $C_{node}$  來代表某節點之 node-code sequence， $P^{node}$  來代表某節點之 port-code sequence。

當一個封包來到光網路的邊緣節點 (ingress edge node)，邊緣節點會解析其 header 來爲封包找一路由至其目的地。當路由經過光網路被解析出時，可獲得兩個 arrays。OC-label 是以這兩 arrays 爲基礎製造出來的。這兩個 arrays 分別包含所有

此路由所經過的核心節點及核心節點上的 output 資訊。

這兩個arrays分別被記作 $\bar{C}$ 和 $\bar{P}$ 。假設一路由經過n個節點，這兩個arrays表示如下

$$\bar{C}=(C_i, C_j, \dots, C_n) \text{ 和 } \bar{P}=(P^i, P^j, \dots, P^n) \quad (1)$$

因此可利用(1)所示的arrays來製造 OC-label，array L用來代表OC-label，L的獲得如下所示

$$L=(C_i P^i, C_j P^j, \dots, C_n P^n) \quad (2)$$

即將每個核心節點的路由資，port-code sequence，排列至node-code sequence之後變成一個新code sequence。例如，如果一node-code sequence是“1001”而且port-code sequence是“101”，則新的code sequence是“1001101”。在每個被經過核心節點則利用如下之correlation關係來得到路由時所需之資訊

$$\text{Output\_port}(\text{node})=\text{correlator}(L), \text{ for all traversed node} \quad (3)$$

### 3.1 An Example

以下我們舉例來說明，以核心網路中有30個節點為例，則需要30組node-code sequences，因此取M=5，首先描述如何編碼label，假設每一個核心節點有8個output ports，所以我們需要3個bits來代表2進位的0~7。每一組node-code sequence，都是以6個bits來表示。因此以9個bits來代表某一節點的路由所需之output port資

訊。假設一個packet如圖7所示，由A經過核心網路需通過三個核心節點到達B。而每個核心節點被設定為code1=100001, code2=100010, and code3=100011且依序通過的output port分別為2、3、及4。因此在A時，此packet之OC-label是用 $\bar{C}=(100001, 100010, 100011)$ 及 $\bar{P}=(010, 011, 100)$ 所編碼而成的。此時OC-label為 $L=(100001010, 100010011, 10011100)$ 。當此labeled packet被傳送到code node時，OC-label會被取出、分歧、放大後送至每個port之”1-correlator”及”0-correlator”，只有對應的port之correlator在適當的sampled time  $T_s=9$  bit times做訊號能量檢測能通過Detector上所設之threshold。

圖8所示為分別為node1，node2，及node3上之output，port2，port3，port4的 correlators的處理結果，以圖8(a)為例，可以看出”1-correlator”及”0-correlator”只有在第一次sampled time  $T_s$ 時，同時符合threshold，其他的sampled times並不能同時符合threshold。

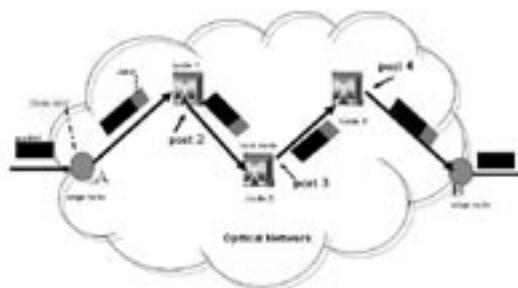


圖7.一個傳輸例子及顯示光封包分別經過之port number

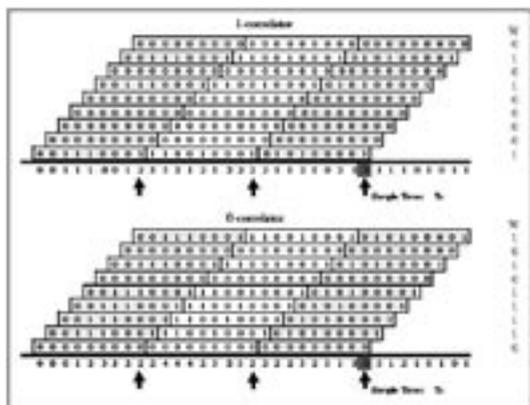


圖8(a). node1上port 2之”1-correlator”及”0-correlator”運作結果

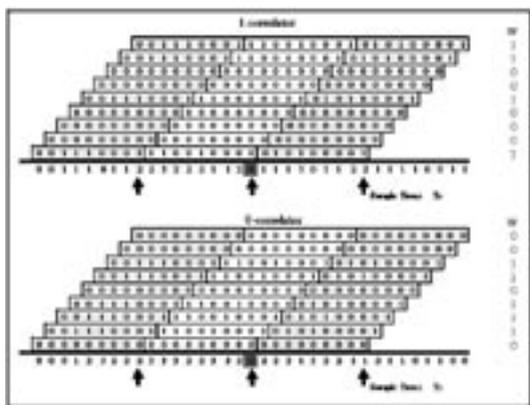


圖8(b). node2上port 3之”1-correlator”及”0-correlator”運作結果

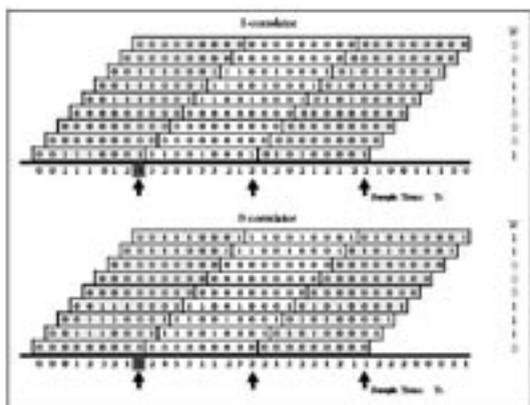


圖8(c).node3上port 4之”1-correlator”及”0-correlator”運作結果

### 3.2 Scalability

上面的討論所採用的optical code編碼是一個簡單的例子。在編碼optical code時，我們爲了考慮使接收端能夠很輕易地分辨正確的訊號，所以必須遵守以下的規則

- 1.任一組code sequence 的自我相關值要盡可能地大，也就是bit爲1的位置重合最多。
- 2.任意二組code sequence其交互相關值也要盡可能地小，也就是bit爲1的位置重合盡量地少。

在論文[13]，有討論四種編碼系統，Prime Code (PC), Extended Prime Code (EPC), Quadratic Congruence Code(QC), and Extended Quadratic Congruence Code(EQC)的架構。此論文中，其一個label的長度，最主要和中心網路的節點數有關。當中心網路愈大，節點數愈多，所需的code sequence數就愈多。如果以上面所提四種編碼系統來編碼所需之code sequences，則P的選取會變大，所以code sequence 的長度也會變長。不過，由[15]指出一個核心網路擁有10~30個核心節點就已經是很足夠的了，而在[16] European ACTS project OPEN也有相同論述。

因此，如果採用上面所提四種編碼系統來編碼，當核心網路有30個節點時，需要30組碼，取 $P = 31$ ，則 $N_{PC}$ 及 $N_{QC}$

= 961 bits和 $N_{EPC}$ 及 $N_{EQC} = 1,891$  bits。此時code sequence長度似乎過長，因此爲了使用長度較短的code sequence，改良well-known編碼系統或發展新的編碼系統勢在必行。

#### 4. 結論

在本論文，提出一個optical code based routing scheme，利用optical code 編碼我們所需要的label，此label包含核心節點所需之路由資訊，用此label封裝在封包前頭來傳送。此方法在傳送過程各節點不需要O/E/O程序，不需label distribution protocol，也不會牽涉到header modification/label swapping的問題。雖然我們利用在光領域作correlation來決定output port來取代路由查表，也改進我們在論文[13]中所提出的方法，就是縮短了label的長度，可是相對的，卻必須使用到更多的correlator，會使得封包進入核心節點時，label必須被分歧成許多份label，造成label訊號能量變弱，使得correlator在處理label時，訊號能量不足，造成錯誤產生，這是減少label的長度，所需要付出的代價。

#### 參考文獻

- [1].N. Ghani, S. Dixit, and T.-S. Wang, "On IP-Over-WDM integration," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 72-84, Mar. 2000.
- [2].H. Sotobayashi and K. Kitayama, "Optical code based label swapping for photonic routing," *IEICE Trans. On Commun.*, Vol. E83-B, No. 10, pp.2341-2347, 2000.
- [3].N. Wada and K. Kitayama, "Photonic IP routing using optical codes: 10Gbits/s optical packet transfer experiment," *Optical Fiber Conference*, WM51, Baltimore, Mar. 2000.
- [4].R. Xu, Q. Gong, and P. Ye, "A novel IP with MPLS over WDM-based broadband wavelength switched IP network," *Journal Lightwave Technoogy.*, vol. 19, no. 5, pp. 596-602, 1999.
- [5].R. S. Tucker, and W. D. Zhong, "Photonic Packet Switching: An Overview", *IEICE Trans. Commun.* , vol. E82 B, no. 2, Feb. 1999.
- [6].S. Yao, B. Mukherjee, and S. Dixit, "Advances in Photonic Packet Switching: An Overview", *IEEE Communications Magazine*, Feb. 2000.
- [7].M. Klinkowski and M. Marciniak, "Development of IP/WDM optical networks," *Proc. IEEE LFNM 2001*, pp.84-87, 22-24 May 2001.
- [8].C. Qiao, "Labeled optical burst switching for IP-over-WDM integration," *IEEE Commun. Magazine*,vol.38, no.9, pp.104-114, Sept. 2000.
- [9].M. Murata and K. Kitayama, "A

- perspective on Photonic Multi- protocol Label switching,” *IEEE Network*, vol.15, no.4, pp.56–63, July-Aug 2001.
- [10].Saeki, S. Nishi and K. Murakami, “All-Optical Code Division Multiplexing Switching Network Based on Self-Routing Principle,” *IEICE Trans. On Electron.*, Vol. E82-C, No. 2, pp.187-193, Feb., 1999.
- [11].D. Z. Hsu, “A Novel Photonic Label Switching based on Optical Code Division Multiplexing,” *ICT 10th International Conference on Telecommunications*, vol.1, no.23, pp.634–640, Feb. 2003.
- [12].H. Wessing, H. Christiansen, T. Fjelde, and L. Dittmann, “Novel Scheme for Packet Forwarding Without Header Modifications in Optical Networks”, *Journal of Lightwave Technology*, vol.20, NO.8, August 2002.
- [13].W. H. Yang, and C. S. Wu, “Optical CDMA Label Encoding for Optical Packet Switching in All-Optical Networks,” *IEEE International Conference on Networks*, pp. 350-354. Sept., 2006.
- [14].M. C. Hauer, et. al, “Optically Assisted Internet Routing Using Arrays of Novel Dynamically Reconfigurable FBG-Based Correlators,” *Journal Lightwave Technology.*, vol. 21, no. 11, pp. 596-602, Nov, 2003.
- [15].M. Dodge. (2001) Maps of Internet Service Provider (ISP) and Inter Backbone Networks. Available:[http://www.cybergeography.org/atlas/isp\\_maps.html](http://www.cybergeography.org/atlas/isp_maps.html)
- [16].M. W. Chbat et al., “Toward wide-scale all-optical transparent networking: The ACTS Optical Pan-European Network (OPEN) project”, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 16, pp. 1226-1244, Sept. 1998.
-