

以CSMA/CA協定完整傳送IP封包至WDM環狀網路

國立高雄應用科技大學電機工程系

陳文平、黃文祥、李見春

Email : pen@mail.ee.kuas.edu.tw 、 wshwang@mail.ee.kuas.edu.tw

摘要—在本文中,我們提出一種將 IP 封包預先分類存放,使用媒介偵測多重擷取碰撞避免媒介存取控制協定機制,直接將 IP 封包上傳至 WDM 環狀網路,這種協定機制在不使用封包切割下能完整將 IP 封包傳送至 WDM 網路,並且避免 IP 封包發生碰撞,以提高 IP 封包傳送至全光大都會 MAN 環狀網路的傳輸率(throughput)。為了能增加區域網路的傳輸量,我們預先將區域網路的 IP 封包進入環狀網路的擷取點時,按照 IP 封包長度的大小分別存放在不同的 Queue 內,經程式模擬結果,此方式不但避免了 IP 封包的碰撞,亦能提高網路的傳輸率。

Abstract -- In this paper, a packet pre-classification MAC (Media Access Control) protocol based on Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) scheme has been investigated for supporting IP packet over the all-optical WDM ring networks. The intention of the protocol is to increase throughput of IP over optical networks in Metropolitan Area Network (MAN). This protocol avoids both packet collision and packet fragmentation [8]. In order to improve the utilization of network, the packets transmitted from Local Area Network (LAN) are pre-classified into various class queues of access point (AP) according their length. Simulations had been done to evaluate the performance of the protocol, and the simulation results show extraordinarily good network efficiency.

關鍵字 : WDM 環狀網路、媒介偵測多重擷取碰撞避免、封包預先分類

一、介紹

時至今日,由於網際網路(Internet)、電子商務(electronic commerce)、電腦網路(computer networks)、語音(voice)、資料(data)以及影像視訊(video)等蓬勃的發展,因此,網路頻寬的需求是與日俱增。所幸近年來WDM的發展,在半導體及光電技術的不斷提升下,每一個頻道(Wavelength)的傳輸率由1.0 Gb/s、2.5 Gb/s、10 Gb/s 至 40 Gb/s,未來甚至高達100 Gb/s 以上亦是指日可待;另外,據研究報告資料顯示,假如在L、S及C-band三個範圍的光譜均使用下,總頻道數將可到達1000個頻道,而且這數據還不是上限[4]。因此,一條光纖的總頻寬亦屢遭刷新紀錄,由2 Tbit/s (200x10Gbit/s)、2.4 Tbit/s (120x20 Gbit/s)、3 Tbit/s (300x11.6Gbit/s)至3.2 Tbps (80x40Gbit/s) [1-3]。由以上資料顯示,WDM的技術的確是解決頻寬需求的不二法門。

由於 IP 封包(packets)目前主要使用在資料網路的傳送,但由於目前 IP 封包的傳送(transmit)、交換(switch)均使用許多程序的複雜協定層(Protocols Layer),例如:IP/ATM/SONET/WDM、IP/ HDLC/SONET/WDM...等等。因此,如何將各種協定合併及簡化,以減少傳輸層的費用、複雜以及過多不必要的 overhead 頻寬浪費,這種問題都將形成很重要的研究課題 [5-7]。此外,目前已有許多的廣域網路(WANs)使用 WDM 技術來解決頻寬及通訊上的問題,而通訊資料傳送上的瓶頸是發生在由區域網路至骨幹網路(backbone networks)的傳送擷取點(access point)上,即如何將 IP 封包完整的傳送至 WDM 網路上。因此,目前已有許多的研究針對以 WDM 技術為骨幹的大都

會網路與區域網路間之 IP 封包直接傳送的研究報告提出[4-8]，在此舉例幾項研究報告說明之：

1. Cai 等人曾提出一種 MTIT access protocol 主要是針對可變長度的封包直接傳送至 WDM 環狀網路，這種網路架構有一固定(fixed)頻道的傳輸器(transmitters)以及相對應頻道的固定接受器(receivers)(FTs-FRs)網路架構[8]，並且採用傳送端節點(source node)移除原先所傳送至其他節點的 IP 封包[6]，以防止 IP 封包在網路上無止盡的傳送浪費頻寬。
2. Shrikhande 等人在美國史丹佛大學發展了一套 HORNET 網路測試平台，這種網路採取一個可調的傳送器及一個固定頻道的接收器，能直接提供 IP 封包傳送至 WDM 環狀網路[7]，並使用目的地節點(destination node)移除傳送端節點所傳送的 IP 封包，來防止 IP 封包在網路上無止盡的傳送浪費頻寬。HORNET 使用光轉電及電轉光轉換技術來達到 IP 封包傳送至 WDM 環狀網路的方式，每一個 node 的擷取點均裝置一小段的延遲線，當擷取點發現區域網路上傳至 WDM 頻道的 IP 封包將與 WDM 頻道上的 IP 封包發生碰撞時，則放棄區域網路 IP 封包傳送，讓 WDM 上的 IP 封包先行通過。然而，此種協定機制勢必造成頻寬的浪費。
3. Marsan 等人提出一種利用 TDM 技巧配合 SRR 機制,創造出幾近完美達%97 的高傳輸率之媒介存取控制協定(MAC protocol)針對全光 WDM 環狀網路，其網路架構在每一個節點都使用一個可調的(tunable)傳送器及 N 個固定的接受器(TT-FR) [8]。此種協定機制使用 TDM 技術雖可提高網路傳輸率，但勢必造成 IP 封包嚴重的切割以及機制的複雜化。
4. 王文楓等人提出一種 CSMA/CP 的 IP over WDM 技巧[9]，其方式是區域網路上傳至 WDM 環狀網路的 IP 封包，當將發生碰撞時，立即將上傳之 IP 封包切割，讓 WDM 環狀網路的 IP 封包先行通過，切割所剩之 IP 封包再找尋下一個可供傳送的空頻道傳送，此方式雖可避免了封包

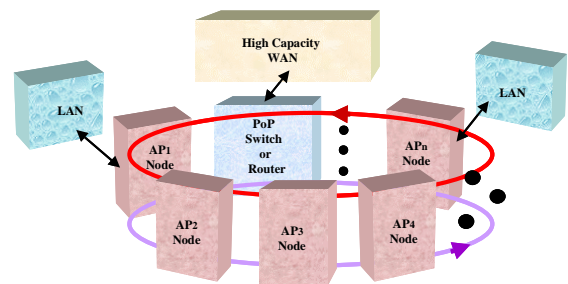
發生碰撞提高網路的頻寬利用率，但卻造成 IP 封包大量的切割，不但違背 IP 封包原封不動直接上傳至 WDM 網路原意，且因使用切割機制，增加了協定機制的複雜度。

在本篇文章中，我們提出一種如何將區域網路 IP 封包直接上傳至全光 WDM 環狀網路時，在不經切割 IP 封包下，能直接將 IP 封包完整上傳，並避免 IP 封包產生碰撞，提高網路頻寬的利用率。其網路協定方法，首先是以三種不同大小的 Queues 將區域網路上傳至 MAN 的擷取點之 IP 封包依其長度大小預先分類存放，並且在 MAN 的擷取點上裝置一剛好等於區域網路最大封包長度之延長線(delay Line)來偵測各頻道可利用的長度以決定傳送何種 Queue 的 IP 封包，達到 IP 封包直接傳送至 WDM 環狀網路，避免 IP 封包的碰撞及有效利用 WDM 網路頻寬。

本文的網路架構分析在第二章節，媒介存取控制協定分析在第三章節，網路模擬結果在第四章節，結論則在第五章節做討論。

二、網路架構

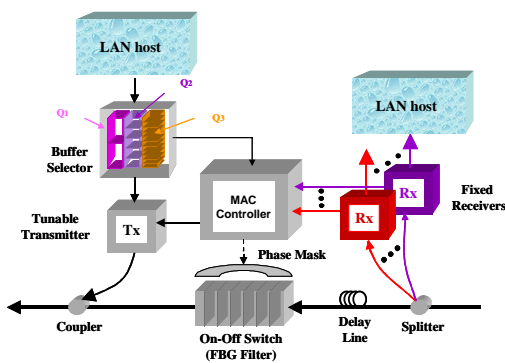
我們的網路架構是採用一條單一方向傳送全光 WDM 環狀網路，連接在這網路的節點共有 N 個，而傳送資料用的頻道有 W 個，其網路示意圖如圖一所示：



圖一、WDM 網路架構

網路各節點的架構則如圖二所示，每個 node 均裝置一可調的傳送器及 N 個固定的接受器(每個接受器固定只接受一個相對應的資料頻道)。對於光訊號的傳遞是採取 upstream nodes。分離器

(splitter)的功能是將環狀光纖網路一小部分的光能量分離到各個接收器中，每一個接收器則偵測所對應之頻道訊號的載波目的地地址，如目的地的地址就是自己，則接收器將頻道內的 IP 封包傳送至 LAN host。其間，媒介存取控制器(MAC control)將會傳送一訊息至 on-off switch(FBG Filter)將所對應傳送給自己 node 的頻道資料隔離掉，讓封包不再繼續傳送，達到目的地節點移除的方式，如果目的地不是自己的 node，則讓頻道資料傳遞至下一個 node，接收器接收的資料屬於無效資料，將之丟棄，並繼續偵測下一個進來的封包。



圖二、節點網路架構

三、媒介偵測多重擷取碰撞避免媒介存取控制協定 (CSMA/CA MAC Protocol)

在我們的網路架構中，所有的nodes均能利用各個頻道傳送IP封包以達到頻寬分享原則。其網路協定執行方式，首先，所有接收器接收各個頻道的內容，除偵測各IP封包的目的地是否就是自

己外，亦同時計算各個頻道可供傳送IP封包的有效長度大小告之MAC Controller，以便選擇合適的IP 封包傳送，避免IP封包發生碰撞，其詳細協定處理過程如下：

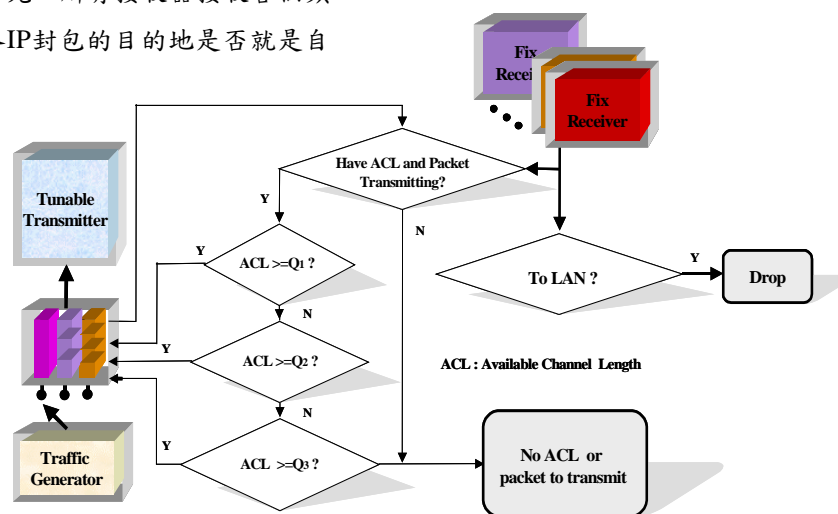
(1)首先，區域網路的IP封包上傳至WDM環狀網路的擷取點時，會依其IP封包長度大小分別預先分類存放在三種不同大小的Queue (Q1, Q2, and Q3，並採取Firs-in-First-out方式傳送)內，這三種Queue所存放的IP封包長度範圍分別是553 ~ 1500 bytes、.41 ~ 552 bytes及40 bytes等三類IP封包，並將這三種Queue的IP封包存放長度大小情形告之MAC controller。

(2)每一個node均在各個頻道上裝置一個接收器以及一個可調頻道的傳送器，使每一個node均能在任何可傳送的空頻道上傳送IP封包到目的地的node。除此之外，接收器兼具偵測各個頻道可供傳送IP封包的空頻道長度告之MAC Controller。

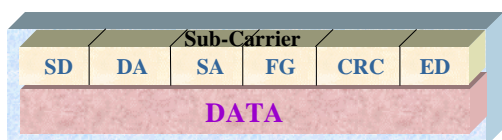
(3)MAC Controller根據(1)、(2)所得之訊息，經判斷後，告之傳送器傳送何種Queue的封包。

為了能讓最長的IP封包1500bytes能完整的傳送至WDM環狀網路，延長線(delay line)的長度需等於1500bytes，以避免IP封包傳送過程中與WDM環狀網路的IP封包發生碰撞。圖三顯示MAC controller模式流程圖。

為了能符合網路載波擷取的協定機制，其封包的格式如圖四所示：



圖三、節點網路架構



圖四、IP 封包格式

載波訊號的機制在光纖中是使用 sub-carrier signaling[10]做為傳送或接收的監控使用，每一個頻道都有一個相對應的 sub-carrier frequency，當每一個 node 欲傳送 IP 封包時，其多工器 (multiplexes) 會響應其對應的 sub-carrier frequency，這種 sub-carrier 技巧是應用射頻領域 (RF domain) 與資料並行傳送，因此，不致造成資料頻道的 overhead。此外，由於接收器能接收其相對應的資料頻道，偵測各個頻道內資料狀態，故接收器的組合就如同具有監視全光環狀網路狀態之輔助功能一般。

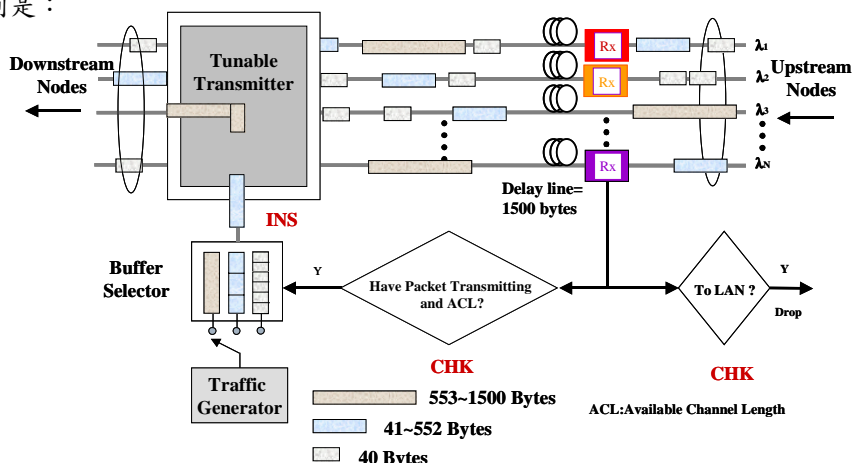
其 Sub-carrier 中各欄位的功能如表一所示：

表一

SD 欄位	IP 封包的開始。
ED 欄位	IP 封包的結束。
SA 欄位	傳送端的位址。
DA 欄位	目的地的位址。
CRC 欄位	為防止傳送過程中所可能發生的錯誤欄位偵測。
FG 欄位	保留未來欲增加其他協定功能時使用。

四、網路模擬

圖五為網路的模擬模型。圖中模擬區塊大致分為四大部份，分別是：



圖五、網路模擬模型

(1)Traffic Generator：用來模擬IP封包的產生，其封包長度為Poisson分佈(40 bytes~1500 bytes，平均封包長度512 bytes)。

(2)Rx：模擬node各頻道的接收器，偵測由上一個node所傳送進來IP封包是否目的地node就是自己外，同時計算各個頻道可供傳送IP封包的空頻道長度。

(3)INS：模擬傳送器將IP封包傳送至各空頻道的情形。

(4)CHK：判斷各頻道可供傳送的空頻道長度以選擇傳送Q₁、Q₂或Q₃之IP封包。

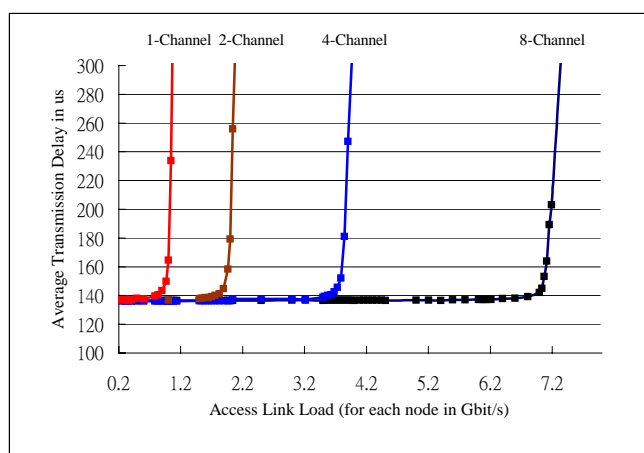
本文模擬程式撰寫是使用SIMSCRIPT II，模擬參數如表二所示：

表二

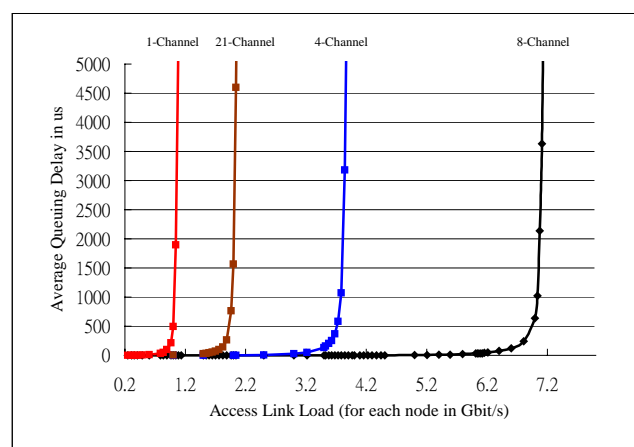
網路節點數	16 (相距 5 km)
頻道數	8,4,2,1
環狀網路長度	50km
頻道速率	10 Gbps (OC-192)
延長線長度	1500 bytes
IP 封包大小	40 bytes~1500 bytes
平均封包長度	512 bytes

圖六為node平均IP封包的接收率V.S網路傳送延遲時間關係圖，由圖中可發現當網路傳輸率為10Gbit/s時，node平均封包接收率可達7.0Gbit/s左右，雖然每個node均裝置一長度為1500bytes的延遲線，然而由圖中可發現整體平均IP封包傳送時間大約只有134 μs左右，因為，IP封包延遲時間是短暫可接受的，圖七則是node平均封包的接收率

V.S Queue傳送延遲時間關係圖，由圖中可發現當網路傳輸率未滿載時，其Queue中IP封包的平均延遲時間幾近為零。由模樣結果可發現，圖六所示頻道數為8，nodes數等於16為例，當每個頻道傳輸率為10Gbit/s時，總頻寬為 $8*10=80\text{Gbit/s}$ ，而nodes數=16，每個node分均接收率大約可達 7.0Gbit/s ，故總負載接收率為 $7.0*16=11.2\text{Gbit/s}$ 。因此，在平衡負載流量條件下 (under balance traffic condition)，頻寬的利用率約為總頻道輸利用率的1.4倍。這顯示頻寬的利用率是相當不錯的。



圖六、平均負載接收率 V.S 傳輸延遲時間



圖七. 平均負載接收率 V.S Queue 延遲時間

五、結論

我們提出一種新的MAC protocol應用於全光WDM環狀網路，這種協定能支援區域網路的IP封

包直接上傳至WDM環狀網路，在不需對IP封包做任何的切割下，讓長度不一的IP封包直接傳送至WDM環狀網路上，並且能避免IP封包發生碰撞，達到有效的利用WDM網路頻寬。另外，由於本文的協定採用預先將IP封包分類選擇傳送的方式，因此，此方法亦可應用於具有優先等級或QoS傳送的機制使用。

感謝

感謝國科會計畫支援，計畫編號：NSC 90-2213-E-151-014。

參考資料

1. Y.Yamada, S.I. Nakagawa, Y. Kurosawa, T. Kawazawa, H. Taga and K. Goto "2 Tbit/s (200x 10 Gbit/s) over 9240km transmission experiment with 0.15nm channel spacing using VSB format", IEEE Electronics Letters, vol. 38 No, 7, pp 328-330, March 2002.
2. Shimojoh, N.; Naito, T.; Tanaka, T.; Nakamoto, H.; Ueki, T.; Sugiyama, A.; Torii, K.; Suyama, M, "2.4-Tbit/s WDM transmission over 7400 km using all raman amplifier repeaters with 74-nm continuous single band", Optical Communication, 2001. ECOC '01. 27th European Conference on, pp8 -9, vol. 6 , 2001.
3. Bissessur, H.; Charlet, G.; Idler, W.; Simonneau, C.; Borne, S.; Pierre, L.; Dischler, R.; De Barros, C.; Tran, P. "3.2 Tbit/s (80 /spl times/ 40 Gbit/s) phase-shaped binary transmission over 3 /spl times/ 100 km with 0.8 bit/s/Hz efficiency", Electronics Letters , vol. 38 Issue: 8 , pp 377 -379 11 April 2002.
4. Kartalopoulos, S.V. " Elastic bandwidth [optical-fiber communication]", IEEE Circuits

- and Devices Magazine , vol. 18 ,pp 8 –1 ,Issue: 1 ,
Jan. 2002.
5. N. Ghani, S. Dixit, T.S. Wang, “On IP-over-WDM Integration”, IEEE Comm. Magazine, vol.38, no.3, pp. 72-84, Mar. 2000.
 6. J. Cai, A. Fumaaglli, I. Chlamtac, “The multitoken interarrival time (MTIT) access protocol for supporting variable size packets over WDM ring network”, IEEE Journal on Selected Areas in Comm., vol.18, no.10, pp. 2094-2104, Oct. 2000.
 7. K.V. Shrikhande, et al., “HORNET: a packet-over-WDM multiple access metropolitan area ring network”, IEEE Journal on Selected Areas in Comm., vol.18, no.10, pp. 2004-2016, Oct. 2000.
 8. Marsan, M.A.; Bianco, A.; Leonardi, E.; Neri, F.; Toniolo, S, “An almost optimal MAC protocol for all-optical WDM multi-rings with tunable transmitters and fixed receivers”, Communications, 1997. ICC '97 Montreal, Towards the Knowledge Millennium. 1997 IEEE International Conference on , vol.1, pp. 437 -442, 1997.
 9. Wen-Shyang Hwang, Wen-Fong Wang, Jun-Yao Wang, Chien-Chun Li, “A Carrier Preemption Access Control Protocol for Supporting IP Packets over WDM Ring Networks”, ISCOM 2001M.A. Marsan, et al., “On the performance of topologies and access protocols for high-speed LANs and MANs”, Computer Networks and ISDN Systems 26 (1994), pp. 873-893.9.1
 10. Rongqing Hui; Benyuan Zhu; Renxiang Huang; Allen, C.T.; Demarest, K.R.; Richards, D. “Subcarrier multiplexing for high-speed optical transmission “, IEEE Lightwave Technology, Journal , vol 20 Issue: 3 , March 2002, pp.417 -427