

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

在部分光交換機具有光分割功能的 WDM 網路環境下，動態群播路由方法之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2213-E-216-026-

執行期間：93 年 08 月 01 日至 94 年 07 月 31 日

執行單位：中華大學資訊工程學系

計畫主持人：王俊鑫

計畫參與人員：陳昱光 王士鳴

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 15 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告

在部分光交換機具有光分割功能的WDM 網路環境下，動態群播路由方法之研究

計畫類別： 個別型計畫

計畫編號：NSC 93-2213-E-216-026

執行期間：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

計畫主持人：王俊鑫

計畫參與人員：陳昱光，王士鳴

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

處理方式：本計畫可立即公開查詢

執行單位：中華大學資訊工程學系

中 華 民 國 94 年 10 月 14 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

在部分光交換機具有光分割功能的WDM 網路環境下，動態群播路由方法之

研究

計畫編號：NSC 93-2213-E-216-026

執行期限：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

主持人：王俊鑫助理教授 中華大學資訊工程學系

E-mail: chwang@chu.edu.tw

中文摘要

在 WDM 網路中，具有光分割複製功能的節點，其構成元件成本昂貴，因此在現實的網路環境，以成本考量，僅有少部分的節點具有光分割複製的功能。藉由具有光分割複製功能的節點，來建構群播服務，可以克服光電轉換處理速度的瓶頸。而本計劃主要目的，是在探討如何利用網路上少部分具有光分割複製功能的節點，發展有效的動態群播路由方法。

我們針對動態群播應用的特性，探討如何布建這些少部分具有光分割複製功能的節點，並提出有效的布建方法，發展以核心為基礎的動態群播路由方法，並建立系統模擬平台，對所發展的各種布建方法與動態群播路由方法，進行模擬作效能的評估。

Abstract

In the WDM networks, the network node with light split is very expensive due to the cost of its components. Therefore, there are only partial network nodes with light splitting under cost consideration. It can avoid the need for O/E/O conversion to provide multicast services by these network nodes with light splitting. In this proposal, the main object is to research and develop more efficient dynamic multicast routing protocols using partial network nodes with light splitting in the WDM networks.

We study and develop many efficient methods for deployment of network nodes with light splitting to provide dynamic multicast services. The core-based dynamic multicast routing protocols are proposed. The system simulation platform is setup. Extended simulations are performed to study the performance of the proposed methods..

關鍵字：WDM, light split, O/E/O, multicast

一、前言與研究目的

網際網路的群播[1]應用，如視訊會議、遠距教學、隨選視訊(Video On Demand)等逐漸的深入人們的日常生活中。在[2, 3]的文獻更指出，未來每一個使用者對頻寬的需求將高達 1Gbps。因此，網際網路對高頻寬的需求與日俱增，而如何在具有高頻寬的網路環境下，提供有效率的群播技術更是一重要的研究課題。

具有大量頻寬的光纖網路，成了新一代網路骨幹的最佳的選擇。藉由 WDM(Wavelength Division Multiplexing)的技術，可以將一個光纖的頻寬分割成的許多並行的高速通道 (High-Speed Channels)，每一個通道佔用一個光的波長(Wavelength)，而 DWDM (Dense WDM) 的技術[4, 5]，則企圖讓更多的可用的波長在同一光纖上運作，以

增加光纖可以承載的頻寬，以因應未來對網路大量頻寬的需求。

目前網際網路的群播路由通訊協定(Multicast Routing Protocols)，如 DVMRP[6]、MOSPF[7]及 PIM[8]及 CBT[9]等，藉由在網路層所維護的群播樹，傳送者將封包(data packet)，沿著群播樹的路徑傳送，封包只有在群播樹的分支節點，將資料複製，達群播的目的。但將這些現存的群播通訊協定[6-9]，應用在 WDM 的網路環境下，無法達到完全在光學下作群播(All-Optical Multicast)的傳輸，因為封包的複製須在電子的範疇(Electronic Domain)下完成，使得網路的傳輸速度與頻寬的利用，受限於光電間(O/E/O)的轉換速度，無法有效利用光纖具有大量頻寬的特性，相對的也造成路由器需光電間轉換的負擔。

在 WDM 的網路中，具有光分割複製功能的節點，我們稱之為 MC(Multicast Capable)節點，而不具有光分割複製的節點，稱為 MI(Multicast Incapable)節點[10]。為了避免資料處理時光電轉換的時間延遲問題，以 MC 節點作為群播樹中的分支節點，封包的傳送及複製可在光學中完成，以克服光電轉換之處理速度的瓶頸，但 MC 節點因設計複雜，組成元件成本過高，就目前而言仍非常昂貴。因此在現實網路中，以成本考量，僅有少部分的節點為 MC 節點，大部分為 MI 的節點，MC 節點的分佈自然就顯得稀疏。

如何在稀疏 MC 節點的環境下，提供有效的群播服務，成為重要的研究課題。有許多相關文獻[11-16]探討這個問題，但這些文獻皆以來源端為基礎的群播樹(Source-Based Tree)為主要方法來建構作為群播的光樹(Light-Tree [10])，未對動態群播的問題做深入的探討與研究。傳統的 IP 網路，許多技術文獻[17-20]，提出探索式的(heuristic)動態群播路由方法，但這些方法無法完全適合應用在稀疏 MC 節點的 WDM 網路環境。因為，在稀疏 MC 節點的 WDM 網路環境下，新的節點加入時，需考量是否藉由 MC 節點來加入已存在的群播會議(multicast session)，當群播的成員異動時，以來源端為基礎的群播樹須重建，才可適時的反應群播服務的效能，若重建群播樹的複雜度過高，並不適合應用在動態群播的環境。

在稀疏 MC 節點的 WDM 網路的環境下，少量的 MC 節點在網路的分佈情況，對動態群播服務的效能有絕對的影響。Maher Ali 等人在[21,22]中，提出當要建立許多靜態的群播會議時，以群播會議被阻隔機率(Blocking Probability)愈小愈好為目標，分析探討 MC 節點的布建方法，並以圖論證明此一問題為 NP-complete 的問題。當以動態群播應用為考量，對於網路中的任一的節點，希望可以且快速加入一個已經存在的群播會議，當一個節點離開群播會議的後，可以適當的釋放波長等資源，有助於下一個節點的加入，最終的目的在於對整個群播會議的期間，一序列的節點加入、離開的過程中，所佔用的波長數目、使用的 MC 節點的數目等資源為最少。上述這些問題與 MC 節點在網路的分佈情形息息相關，所以少量 MC 節點布建的問題，對動態群播為一重要問題與挑戰。

本計畫，我們研究在稀疏 MC 節點的 WDM 網路環境下，如何利用少量的 MC 節點，使得資料的傳輸過程避免光電的轉換(O/E/O)，針對動態群播應用的特性，研究 MC 節點布建的方法、建構以核心為基礎的群播演算法，並藉由模擬的方式來評估我們所提出的各種佈建方法與動態群播路由方法方法之效能。

二、文獻探討

Xijun Zhang 等人[11]，提出四種方法來建立 Light-Tree(或 Light-Forest)，其中兩種方法 Reroute-to-Source、Reroute-to-Any，以不考慮節點是否有群播的功能(Multicast Capability, MC)，先建立一群播樹，再依所建立的群播樹，進行 Light-Tree(或 Light-Forest)之建構。而另兩種方法 Member-First 和 Member-Only 都是以 Dijkstra's algorithm 為基礎，考慮 MC 節點的存在，在建立 Light-Tree(或 Light-Forest)時，避免分支節點位於不具有

光切割功能的節點上。

Auik Zsigri 等人[12]，提出一個以最短路徑為基礎的方法來建構群播的 Light-Tree(或 Light-Forest)，稱為 Shortest Path Based Forest Heuristic(SP)。Shortest Path Based Forest Heuristic 顧名思義就是由來源端對於每一個目的端，找一條最短路徑的光的路徑，找完所有光的路徑後，如兩條光的路徑的分支地方的節點為 MC，則合併成為一棵樹，直到不能再合併為止。

Wen-Yu Tsen 等人[13]，提出 All-Optical Multicast Heuristic (AOMH) 方法，其中 MI 的節點，只有接收光波功能或是只有轉送光波功能，如果要同時具有兩種功能則必須經過光電轉換才能做到。AOMH 首先將群播的成員所構成的群組 MG (Multicast Group)，將 $MG = \{S, D\}$ (S 代表來源端, D 代表目的端集合) 中節點依其是否具有光切割功能分成兩組 MIG (MI Group)、MCG (MC Group)，MIG 代表此群組皆為 MI 節點，MCG 代表此群組皆為 MC 節點，為了使群播成員的節點都能夠分配到被切割出來的波長可用，因此針對 MCG 裡的節點去計算出其共可分割出多少波長可使用，以 F_{MCG} 代表，如果 $F_{MCG} \geq |D|$ 則代表足夠，如果 $F_{MCG} < |D|$ ，則從網路節點中挑選一 MC 節點加入 MCG，稱為代理 MC (proxy MC)，再重新計算 F_{MCG} ，直到使 $F_{MCG} \geq |D|$ ；再利用現存的 Steiner tree 的探索式的演算法，建構包含 MCG 中所有節點的 Light-Tree。而 MIG 裡的節點則計算到 MCG 裡的任何一節點的距離，選擇離自己最近之 MCG 裡的一節點去加入，完成建構群播的 Light-Tree(或 Light-Forest)。

N. Sreenath 等人[14]，提出一新的架構可以加快建立群播 Light-Tree 的方法，其中同時具有光分割 (light splitting) 及波長轉換 (wavelength converter) 兩種功能的節點，稱為 Virtual Source (VS) 的節點，假設 VS 的數量有限且均勻的分佈於網路拓撲中，每一個 VS 對於其他所有的 VS 都預先建立 (保留) 一條通道，群播的成員的節點，只需加入到鄰近的 VS，藉此加快了建立群播 Light-Tree 的時間。

S. Yan 等人[15,16]，認為在稀疏的 MC 節點的環境下，若群播需建構一個 Light-Tree 以上，既 Light-Forest，則在來源端必須具備多個光傳送器 (transmitter) 才能夠一次將資料送給多個 Light-Tree，為避免此現象，作者利用 TaC (Tap-and-Continue)[21] 的元件，可以接收光波並繼續將光波轉送到下一個節點的功能，提出來源端只須單一傳送器，使用一個波長，以光波繞路 (Re-Route) 的方式來支援群播會議。當光波到達屬於 MI 的分支節點，則光波須先傳遞到其中一個下游節點且在繞回原分支點，以此方式將資料傳遞給所有的下游節點，達群播的目的，所以需較大的傳輸延遲時間。作者也提出 Tabu Search Heuristic (TS) 方法，來減少整個傳輸延遲時間。

上述的技術文獻，均以來源端為基礎的群播樹之原則下，建構 Light-Tree(或 Light-Forest)，以支援靜態群播的應用為主，因為當群播的成員動態改變，無法事先知道加入成員在網路上的位置，所以當重建群播用的 Light-Tree(或 Light-Forest) 複雜度過高時，就不適合支援動態群播。

三、研究方法與模擬結果

在這個章節，將分述我們所提出的 MC 節點的布建方法、以核心為基礎的動態群播路由方法及模擬結果。

I. MC 節點的布建方法

在本計畫中，我們首先探討 MC 節點的布建方法，基於 MC 節點的成本考量與問題的單純化，我們以不具波長轉換(wavelength conversion)功能的 MC 節點來考量布建的方法，我們提出四種建方法共有，分別稱為 Random、Maximum Degree、Maximum Path count 及 Maximum Tree Count。假設網路上有 N 個節點，將布建的 MC 節點有 M 個，布建的方法分述如下：

- A. **Random:** 利用隨機方式布建 MC 節點，亦即在 N 個節點中隨機的選出 M 個節點當作 MC 節點，此方法所需時間複雜度(Time Complexity)為 $O(M)$ 。
- B. **Maximum Degree:** 以節點連接邊的數量(degree)較多者做為 MC 節點的選擇對象，節點對外連接的邊越多，意謂成為群播會議中的分支節點的機率亦大。先計算出節點的 degree，再排序並依選出 M 個節點為 MC 節點，利用此方法所需時間複雜度(Time Complexity)為 $O(N \log N)$ 。
- C. **Maximum Path count:** 在此方法中，節點被所有可能最短路徑所經過的次數(不包含起始及目的端點)，定義為該節點的路徑經過數(Path Count)。我們先計算出每一個節點的 path count，再排序並依序選出 M 個節點為 MC 節點，利用此方法所需時間複雜度(Time Complexity)為 $O(N^3)$ 。
- D. **Maximum Tree Count:** 藉由網路上所有可能的群播樹，計數每一個節點被做為分支節點的次數，定義為該節點的 Tree Count。當節點的 Tree Count 愈高時，表示該節點成為群播樹的分支節點的機率愈高，所以此方法中，我們依據 Tree Count 來排序並依序選出 M 個節點為 MC 節點。此方法，雖然在事前需要花費大量的時間，去計算出所有節點的 Tree Count，時間複雜度為 $O(N \cdot 2^N)$ ，但模擬的結果顯示，優於較其它的三種方法。

II. 以核心為基礎的光樹之群播路由方法

群播的應用，如視訊會議，可能不止一個資料傳送的來源端，以建立核心為基礎共享樹(Core-Based Tree, CBT)的方法較為適合。在目前文獻中，尚未有討論如何在 WDM 網路中去建立群播共享樹的相關研究。所以在本計畫中，我們探討在只有少部分網路節點具有光分割複製功能的 WDM 網路環境下，如何去建立以核心為基礎的動態群播的光樹，使得群播光樹所需求的波長數目少，且有較低的群播會議阻隔率。

在本計畫中，我們採用具有 Tap-and-Continue(TaC) ([21])功能的節點，可在光範疇中同時接收光訊號並讓光訊號通過，所以即使 MI 節點，在群播應用中，亦能服務一個群播成員。目前波長之轉換技術亦可在光的範疇中完成[22,23]，不需光電的轉換，所以探討動態群播路由的方法，為了有效率的使用波長，我們假設具有光分割複製功能的節點均具備有波長轉換(wavelength conversion)功能，可以將波長轉換成不同的波長來傳遞資料，沒有波長連續的限制。

以核心為基礎之群播服務，群播的成員藉由維護的群播樹來傳送與接收資料，資料往核心節點的路徑傳送，核心點須具有資料複製並轉送給其他的成員的功能；在 WDM 網路環境下，為達全光學的群播，核心節點須為 MC 節點，所以在 MC 節點布建時，核心節點優先升級為 MC 節點為首要的考量。因此，我們假設核心節點均具有光分割複製功能的 MC 節點。

基於上述的 WDM 網路環境，我們首先介紹所提出兩個以核心為基礎的群播路由方法: **Reroute-to-core** 及 **Pre-computing virtual tree**，最後介紹群播成員的加入、離開及波長的配置的方法。

A. Reroute-to-core (RTC)

以原本 CBT 通訊協定[9]，在 WDM 網路下建立群播樹，則可能造成群播樹的分支處位於 MI 節點上。Reroute to Core (RTC)方法主要就是修改原本 CBT 通訊協定，使它適合於 WDM 網路環境下。

在 CBT 通訊協定中，當網路上一節點要加入某一組時，會送出一訊息給該組之核心節點，此訊息在往核心節點的路徑上如遇到已在此群播樹上的節點，我們稱為 On-tree Router，On-tree Router 會回覆此訊息，藉由 On-tree Router 的延伸可以將資料傳送給欲加入的節點，因此 On-tree Router 可能成為群播樹的分支節點，所以必須處理封包複製之動作，然而在 WDM 群播中，如果此 On-tree 為下列其中一點才可以回覆訊息：

- (1) On-tree Router 為 MC 節點。
- (2) On-tree Router 為群播樹的葉子節點(leaf node)，因為利用 TaC 的功能便能將資料擷取並通過光訊號給一個下游成員。

節點離開群播會議的方法較為單純，當節點離開時，我們必須檢視是否還有其他的群播成員藉此節點連結在目前的群播樹上，若沒有其他節點藉此節點來連結，就可以將該節點從群播樹上移除，釋放波長的資源。

RTC 的方法，所有成員都往核心節點的方向去尋找 MC 節點，容易造成核心節點附近周圍光纖所要負載的波長過多。但光纖上可用的波長個數是有限的，所以當光纖所要負載的波長過多，就容易使得建構群播會議的阻隔機率提升。

B. Pre-computing virtual tree (PVT)

為了改進 RTC 方法易造成核心節點周邊的光纖波長需求負載過大，我們提出利用網路上的 MC 節點來分散核心節點周邊的光纖上波長負載，每一個節點預先計算，維護一個包含網路上所有的 MC 節點（包含核心節點）的樹，我們稱為 PVT 虛擬樹 (Pre-computing virtual tree)。當有節點要加入一組時，只需在 PVT 虛擬樹上，找到自己所在位置最近可供連結的節點(MC or 葉子節點)即可，不再需要往核心路由方向去找尋，以分散負載，降低建構群播會議的阻隔率。

我們利用兩方法去建立 PVT 虛擬樹：(1)利用 KMB[24]來建置一個總成本最小的 PVT 虛擬樹，(2)利用最短路徑建置的 PVT 虛擬樹。

B.1 PVT-KMB 虛擬樹

建置成本為最小的生成樹(Minimum Steiner Tree, MST)的，已被證明為 NP-hard[27]的問題，因此有很多探索氏的方法紛紛被提出來；其中 KMB 的演算法，生成樹的成本為最佳解 1.5 倍或是更小，而且在最差的情況下也不會超過 $2(1-1/l)$ 倍， l 為群播樹的葉子節點的個數。利用 KMB 的演算法，來建置 PVT 虛擬樹，PV-KMB 演算法如下：

- 步驟 1：對於所有的 MC(包含核心節點)，利用最短路徑，建置一完全全圖(complete graph)，稱為 G_1
- 步驟 2：對 G_1 找最小生成樹，稱為 T_1
- 步驟 3：將 T_1 所有的邊還原成原本網路拓撲兩點間最短路徑所對應的邊，稱還原之圖形為 G_s
- 步驟 4：為了避免 G_s 產生迴路，再對 G_s 找最小生成樹， T_s
- 步驟 5：針對於 T_s 移除不需要的節點及邊

B.2 PVT-SP 虛擬樹

第二種建 PVT 的方法稱為最短路徑虛擬樹，由核心對於每一個 MC 節點，利用 Dijkstra's algorithm 找一條最短路徑的光路徑(Light-path)，找完所有光路徑後，如兩條光路徑的分支地方的節點為 MC，則合併成為一棵樹，直到不能在合併為止。

C. 群播成員的加入、離開及波長的配置

當新節點要加入群播的群組時的方法，如下述：

步驟 1：首先判別是否已在群播樹上，如果為群播樹上的節點，則利用 TaC 功能將接收資料並繼續傳遞光訊號，如此即完成節點加入之動作，則執行步驟 6。

步驟 2：如果新加入節點在 PVT 上，則執行步驟 4。否則尋找距離本身節點最近的 MC 節點 (包含核心)或是目前群播樹上的葉子節點；如果距離本身節點最近的可連結節點為目前群播樹的葉子節點，則執行步驟 5。

步驟 3：檢查 MC 節點目前是否在群播樹上。

如果 MC 節點在群播樹上，則執行步驟 5。

步驟 4：沿 PVT 往核心節點的路徑去尋找，直到遇到下述其中之一的節點來加入。

(1)On-tree Router 為 MC 節點。

(2)On-tree Router 為群播樹的葉子節點(leaf node)，因為利用 TaC 功能可將資料擷取並通過光訊號給下游成員。

(3)此群組之核心節點。

步驟 5：分配波長。

步驟 6：結束節點加入之動作程序。

在節點離開方面則與 RTC 相同。在波長分配方面，當新加入的節點往核心方向送出加入要求訊息時，同時沿途收集所經過之路徑的雙方向的波長使用情形，由被連結的節點(核心節點或是 MC 節點)來分配雙向的波長，因此在回覆訊息時，沿著回覆訊息的路徑，沿途設定雙向所分配的波長。

III. 模擬結果

我們採用與[17,20]文獻相同的網路拓樸的模擬模組，以隨機方式產生 20 張的網路拓樸圖，每張網路拓樸圖有 50 個節點。每一條光纖可允許波長限制為 25 條波長；模擬時每張圖中產生 50 個群播會議，每一個會議存活時間內有 1000 個要求，會議的產生方式是以 Poisson 分佈，而會議的存活時間(holding time)是一個 exponential 分佈。

首先，我們觀察 MC 節點的布建方法，群播會議的阻塞機率(blocking probability)；在群播成員比例不同的情況下，測量群播會議因無可用的波長，造成無法建立的阻塞機率。Fig.1 顯示在 MC 節點對所有節點的比例(MC ratio)為 0.3 時，以 Maximum Tree Count 的布建方法較其它三種方法有較少的群播會議的阻塞機率，且在 Fig.2 也顯示平均一個群播會議波長使用量亦較其它的布建方法為少。

再者，我們評估所提出的動態群播路由方法，候選核心集合使用文獻[25]提出的“k-maximum path count method”來挑選，而 MC 節點採用隨機方式來放置每一個會議的核心從候選核心集合中以隨機方式來挑選；每一個會議的來源端和目的端也是以隨機方式來挑選。

我們觀察波長使用量；在群播成員對所有節點的比例(group member ratio)不同的情況下，量測群播會議平均使用的波長數目；Fig.3 及 Fig.4，顯示在 MC 節點對所有節點的比

例(MC ratio)分別為 0.1 及 0.4 時的模擬結果。由 Fig.3 及 Fig.4，得知 RTC 方法所使用的波長數目要較 PVT 的多，這是因為 RTC 方法，成員會一直往核心方向去連結，容易造成核心節點附近光纖的波長負載過大，而 PVT 方法分散了核心節點周圍光纖的波長負載。

Fig.5 及 Fig.6，顯示在 MC 節點比例分別為 0.1 及 0.4 時的模擬結果。由 Fig.5 可看出在 MC 節點稀疏且群播成員的比例大於 0.15 以上時，PVT 方法的阻塞機率較 RTC 方法的阻塞機率低，這是因為 RTC 方法，容易使的核心節點附近光纖的波長負載過大。而由 Fig.6，當群播成員比例小，也就是說群播成員個數少，採用 RTC 的方法，當 MC 節點比例增加為 0.4 的情況下，對於核心節點附近光纖的波長用量不至於造成負擔，反而以 PVT 方法，核心節點到群播成員的路徑較長，導致消耗路徑上每一邊(link)的波長用量，造成阻塞機率較高。但當群播成員個數逐漸增加時(大於 0.4)，採用 RTC 的方法，核心節點附近光纖的波長負載過大的效應逐漸明顯，PVT 方法展現分散核心節點附近光纖的波長負載的效果，使得阻隔率較 RTC 方法低。

最後，我們觀察延遲時間，計算群播會議任兩點成員之間經過核心節點的最大距離。Fig.7 及 Fig.8，顯示在 MC 節點比例分別為 0.1 及 0.4 時的模擬結果。雖然 PVT 方法的波長使用量及阻塞機率要較 RTC 方法有較佳的表現，但是在最大延遲時間方面由 Fig.7 可知，以 RTC 方法最短，因為 RTC 方法，群播成員到核心節點為最短路徑，因此最大延遲時間短，而 PVT 方法，因節點的加入為連結到附近的 MC 節點，成員到核心節點的距離較長，所以延遲時間就相對提高。由 Fig.8 可觀察，當 MC 的比例高時，PVT-SP 方法的曲線就越靠近 RTC 方法的曲線，這是因為 PVT-SP 建立 PVT 是以最短路徑來建置。

四、計畫自評

在本計畫中，我們探討在少量具有光分割複製能力節點的WDM網路環境下，如何有效的支援全光範疇下的動態群播應用。我們提出四種MC節點的布建方法，以Maximum Tree Count 方法優於其它三種方法，研究的結果發表在2005 OECC[26]研討會。再者，我們提出兩個可避免光電轉換的群播路由方法：(1) RTC (2) PVT。由實驗模擬結果可看出，採用RTC方法，易造成核心節點附近光纖的波長負載量過大，使得波長使用量較採用PVT方法多。且當群播成員較多，採用RTC方法使得群播會議阻塞機率較採用PVT方法為高，但在延遲時間方面，因為RTC方法，群播成員到核心節點為最短路徑，所以有較短的延遲時間。此群播路由方法的研究成果亦發表在2005 5中華理工學刊[27]。參與本計畫之研究人員，藉由規劃目標、執行過程、結果分析、延伸應用，培養出充滿理論創意與具備實作能力的科技人才，以落實前瞻產業技術建立及人才培育的目標。

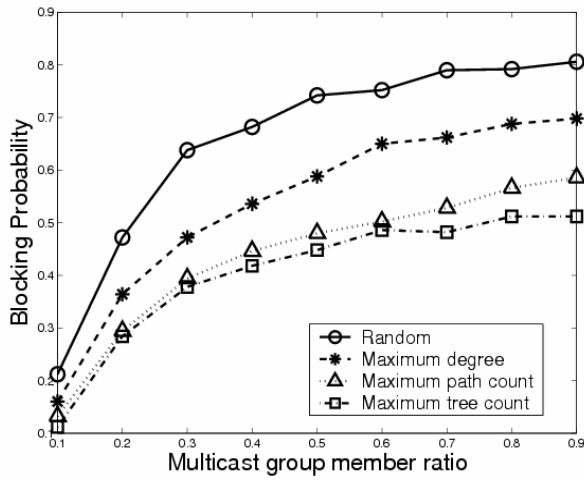


Fig 1. Blocking probability, MC ratio =0.3

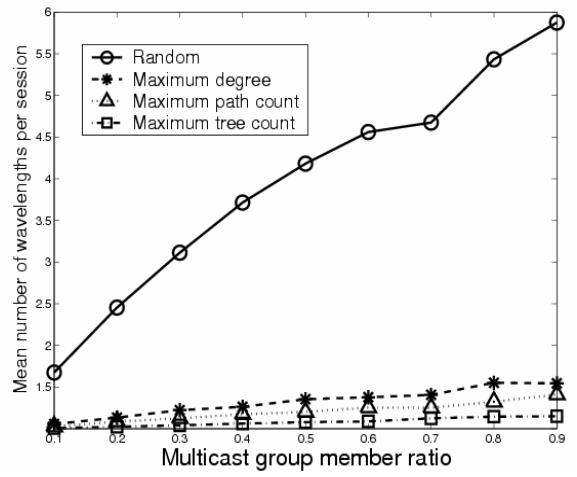


Fig 2 Mean number of wavelength per session, MC ratio =0.5

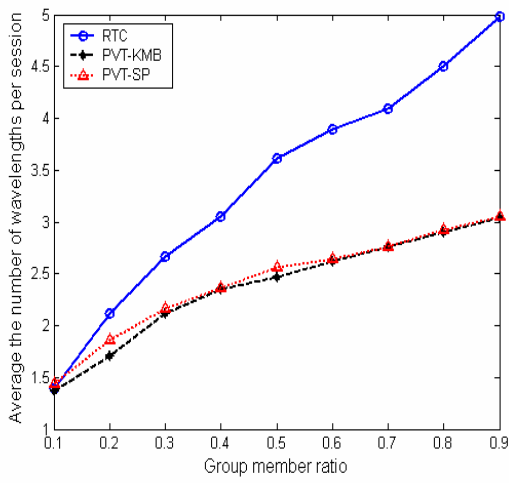


Fig. 3 MC ration=0.1

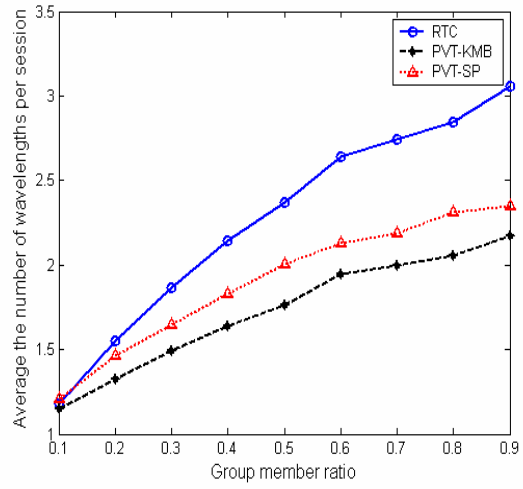


Fig. 4 MC ration=0.4

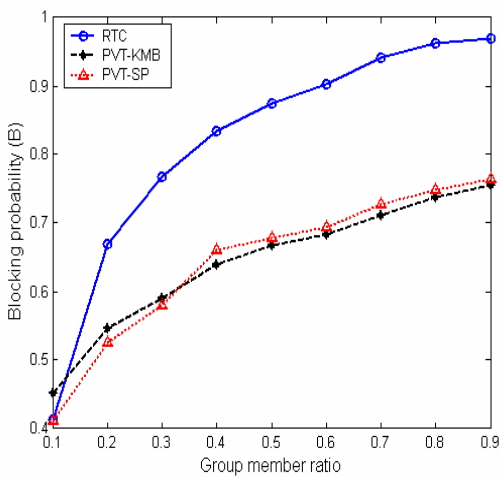


Fig. 5 Blocking probability with MC ratio = 0.1

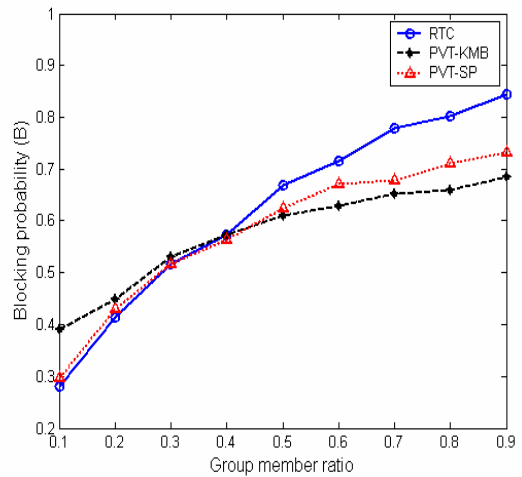


Fig. 6 Blocking probability with MC ratio = 0.4

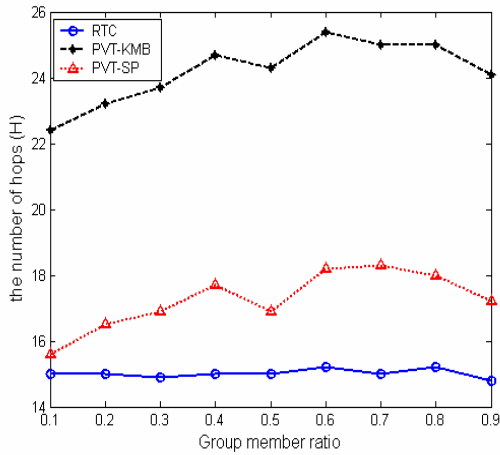


Fig. 7 Delay time with MC ratio = 0.1

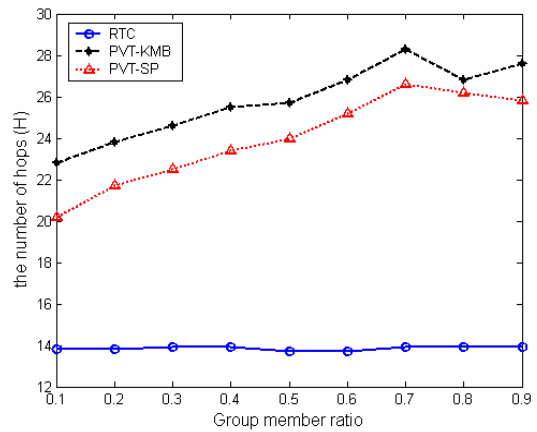


Fig. 8 Delay time with MC ratio = 0.4

参考文献

- [1] Diot C., Dabbous W., and Corwroft J., "Multipoint Communication : A Survey of Protocols, Functions, and Mechanisms", *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol.:15, Issue:3, April 1997.
- [2] M. N. Ransom and D. R. Spears, "Applications of public gigabit networks," *IEEE Networks*, pp. 30-40, Mar. 1992.
- [3] B. E. Carpenter, L. H. Landweber, and R. Tirler, "Where are we with gigabits?" *IEEE Networks*, pp. 10-13, Mar. 1992, Guest Editorial.
- [4] P. R. Trischitta and W. C. Marra, "Applying WDM technology to undersea cable networks," *IEEE Communication Magazine*, pp. 62-66, Feb. 1998.
- [5] B. T. Doshi, S. Dravida, P. Harshavardhana, O. Hauser, and Y. Wang, "Optical network design and restoration," *Bell Labs Tech. J.*, pp. 58-84, Jan.-Mar. 1999.
- [6] D. Waitzman, C. Partridge, and S. Deering(editors), "Distance Vector Multicast Routing Protocol", *RFC 1075*, BBN STC and Stanford University, November 1988.
- [7] J. Moy. "Multicast Extension to OPSF", *Internet Draft*, September 1992.
- [8] S. Deering, D. Estrin, and et al., "Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Motivation and Architecture", draft-ietf-pim-arch-04.ps, October 1996.
- [9] A. Ballardie, P. Francis, and J. Crowcroft, "Core Based Trees: An Architecture for Scalable Inter-Domain Multicast Routing", *Proceedings of ACM SIGCOMM*, August 1993.
- [10] Laxman H. Sahasrabudde and Biswanath Mukherjee, "Light-Trees: Optical Multicasting for Improved Performance in Wavelength-Routed Networks", *IEEE Communications Magazine*, page(s):67-7, February 1999.
- [11] Xijun Zhang, John Y. Wei, and Chunming Qiao, "Constrained Multicast Routing in WDM Networks with Sparse Light Splitting", *Journal of Lightwave technology*, Vol.:18, Issue:12, Dec 2000, page(s):1917-1927
- [12] Auik Zsigri, Alexandre Guitton, and Miklos Molnar, "Construction of Light-Trees for WDM Multicasting under Capability Constraints", *10th International Conference on Telecommunications*, Vol.:1, Feb 23-Mar. 1, 2003.
- [13] Wen-Yu Tseng and Sy-Yen Kuo, "All-Optical Multicasting on Wavelength-Routed WDM Networks with Partial Replication", *15th International Conference on Information networking*, Jan. 31-Feb. 2, 2001
- [14] N. Sreenath, N. Krishna Mohan Reddy, G. Mohan, and C. Siva Ram Murthy, "Virtual Source Based Multicast Routing in WDM Networks with Sparse Light Splitting", *Workshop on High Performance Switch and Routing*, 2001.
- [15] Shuguang Yan, Jitender, S. Deogun, and Maher Ali, "Routing in Sparse Splitting Optical Networks with Multicast Traffic", *Computer Networks*, Elsevier Science, Vol. 40, No. 1,

- pp.89-114, January 2003.
- [16] S. Yan, M. Ali, and J. Deogun, "Route Optimization of Multicast Sessions in Sparse Light Splitting Optical Networks", *IEEE CLOBECOM '01*, Vol.4, 2001, pp2134-2138.
 - [17] J. M. S. Doar, "Multicasting in The Asynchronous Transfer Mode Environment," Computer Laboratory Technical Report, no. 298, University Cambridge, 1993. (Ph.D dissertation).
 - [18] M. Imase and B. M. Waxman, "Dynamic Steiner Tree Problem," *SIAM J. Disc. Math*, vol. 4, no. 3, 1991, pp. 369-384.
 - [19] J. Kadirire, "Minimizing Packet Copies in Multicast Routing by Expoliting Geographic Spread," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 24, 1994, pp. 47-63.
 - [20] B. M. Waxman, Routing of Multipoint connections," *IEEE Journal on Selected Area in Communications*, vol. 6, no. 9, 1988, pp. 1617-1622.
 - [21] Maher Ali and Jitender S. Deogun, "Cost-Effective Implementation of Multicasting in Wavelength Routed Networks," *IEEE Journal of lightwave technology*, Vol. 18, NO. 12, December 2000.
 - [22] Maher Ali, "Optimization of Splitting Node Placement in Wavelength-Routed Optical Networks," *IEEE Journal on Selected Area in Communications*, Vol. 20, No. 8, pp. 1571-1579, Oct. 2002.
 - [23] Maher Ali and Jitender Deogun, "Allocation of Splitting Nodes in All-Optical Wavelength-Routed Networks," *Kluwer Journal Photonic Network Communications*, Vol. 2, No. 3, pp. 247-265, Aug. 2000.
 - [24] L. Kou, G. Markowsky, and L. Berman, "A Fast Algorithm for Steiner Trees," *Acta Informatica*, Vol.:15, pp.141-145, 1981
 - [25] Hwa-Chun Lin, Zhe-Hong Lin, "Selection of candidate Cores for Core-Based Multicast Routing Architectures," *IEEE International Conference on Communications*, Volume:4, pp.2662-2666, 2002
 - [26] C. H. Wang, Chih-Jen Wu, and Hsin-Chou Hsieh, "Light Splitting Nodes Placement for Dynamic Multicast Routing in WDM Networks", *In the 10th OptoElectronics and Communications Conference OECC Technical Digest*, July, 2005, pp.124-125. (NSC 93-2213-E-216-026)
 - [27] C. H. Wang and C. J. Wu, "Core-Based Multicast Routing in WDM Networks with Sparse Light Splitting," *Chung Hua Journal of Science and Engineering Special Issue on Information Systems and Applications*, Vol. 3, No.1, January 2005, pp.137-145 (NSC 93-2213-E-216-026)