

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：其他)

赴美國參加 MPLS2001 多協定標籤交換技術國際研討會
出國報告

服務機關：中華電信研究所

出國人 職 稱：助理研究員

姓 名：李運欽

出國地點：美國華府

出國期間：90 年 10 月 6 日至 90 年 10 月 11 日

報告日期：90 年 12 月 12 日

赴美國參加 MPLS2001 多協定標籤交換技術國際研討會 出國報告

目 錄

摘要	iii
1.目的	1
2.過程	2

	3.大會議程	3
	4. MPLS/GMPLS 技術	8
8	4.1 MPLS/GMPLS 出現的時代背景	
	4.2 MPLS 技術簡介	11
	4.3 GMPLS 技術的延伸	15
18	4.4 MPLS/GMPLS 的應用	
26	4.5 MPLS/GMPLS 都會型區域網路	
	5. 心得與建議	27

摘要

MPLS 2001 國際研討會是關於 MPLS 發展一年一次的盛會，主要目的在介紹 MPLS 的最新技術與產品，讓參加的成員了解到最新的 MPLS 發展，我所參加的這

一次為第四屆 大會的主辦單位為George Mason大學的高等網際網路實驗室(AIL)與 UUNET Worldcomm 公司；參與的人員則包羅萬象，從各個國際知名的設備大廠(如 Cisco/Nortel/Avici 等)、著名大學實驗室到電信服務的提供者(如德意志電信、AT&T、UUNET)都有人員出席，幾個大的標準組織如 IETF、OIF、ITU-T 等也都有人來出席，所討論的議題從 MPLS/GMPLS 最新技術的發展、最新設備的展示到現有的營運及現場試用經驗，全部都包含了進來，內容包羅萬象，相當完整。

整個研討會分成三個階段。第一階段為 Tutorial Session，介紹 MPLS 及 GMPLS 整個的架構及其基礎知識；第二階段為 Technical Session，主要是由各個參與機構介紹 MPLS/GMPLS 上的最新技術發展及其應用上的發展情形，可以看到規格的发展情形，可以吸收到最新設備發展現況的知識，可以看到新的發展方向，也可以看到 MPLS/GMPLS 在歐美試用現況的報告；第三階段則為互連測試的階段，由設備製造者提供設備並報名參加互連測試的廠家所參與，地點是在 George Mason 大學的高等網際網路實驗室(AIL)裡，並不屬於一般參加研討會者參加的範圍。

各個 Tutorial Session 及 Technical Session 的報告人不是該標準的最大貢獻者就是該方面的傑出專家，皆是難得的一時之選，整個研討會全程參與下來，收穫非常的多，我這次所參加的是前面的兩個階段。

這篇出國報告就是針對這次出國參加 MPLS 2001 國際研討會，我所學習到及所看到新技術、新產品的報告及心得。

1、 目的

本次出國是到美國的華府參加 MPLS2001 國際研討會，其目的有下面幾項：

- 1、 透過大會第一階段的 Tutorial Session，學習到 MPLS/GMPLS 的整體架構及

- 應用趨勢；
- 2、 透過第二階段的 Technical Session，了解最新技術的發展趨勢，最新的現場應用狀況；
 - 3、 由現場各大設備廠商的最新設備展出，清楚了解目前整個 MPLS/GMPLS 設備的發展狀況，並找出 IA 研究室所發展的產品切入點。
 - 4、 了解 MPLS/GMPLS 在互運測試上的發展，並藉此學習到 IA 研究室的 MPLS 產品在此方面應注意的事項。

2、 過程

本次出國的期間為 90 年 10 月 6 日至 10 月 11 日共 6 天，整個過程如下：

- 1、 90 年 10 月 6 日：由桃園中正國際機場出發，途經舊金山、費城抵達華府之

- 巴爾的摩國際機場，再搭火車前往華府，晚上住華府的 Churchill Hotel。
- 2、90 年 10 月 7 日：至會場報到並領取講義，隨後參加 Tutorial 之 **MPLS Overview, Implementation and Deployment** 及 **GMPLS Architecture and Ext. for Signaling and Routing** 兩場報告，了解 MPLS 現況及最新的 GMPLS 技術。
 - 3、90 年 10 月 8 日~90 年 10 月 9 日：參加大會所主辦的所有 Technical Session，每天由 9:00 到下午 6:00，中間並利用休息時間參觀個設備廠商之攤位，詢問最新設備狀況。
 - 4、90 年 10 月 10 日~90 年 10 月 11 日：由華府之國家機場出發，途經芝加哥、舊金山返回桃園中正國際機場。

3、大會議程

Tutorial Session 議程：

Tutorials

Sunday, October 7, 2001

11:30 am - 1:30 pm

Tutorial Registration

On-Site Registration

1:30 - 3:30 pm

Parallel Tutorial Sessions

Session 1A

MPLS Overview, Implementation and Deployment

Eric Osborne and Ajay Simha

Cisco Systems

Session 1B

Optical User-Network Interface (UNI)

Bala Rajagopalan, Tellium

3:30 - 4:00 pm

Coffee Break

4:00 - 6:00 pm

Parallel Tutorial Sessions

Session 2A

Virtual Private Networks (IP, MPLS and Optical VPNs)

Marco Carugi, France Telecom

Hamid Ould-Brahim, Nortel Networks

Kireeti Kompella, Juniper Networks

Session 2B

GMPLS Architecture and Ext. for Signaling and Routing

Lou Berger, Adrian Farrel and

Igor Bryskin, Movaz Networks

Technical Sessions 議程

Sunday, October 7, 2001	
1:30 - 6:00 pm Parallel Tutorial Sessions.	Please click on the " Tutorial " button to see the tutorial program
Monday, October 8, 2001	
7:30 - 8:55 am Conference Registration	On-Site Registration
9:00 - 9:20 am Conference Opening	MPLS/GMPLS and Evolving Networks Bijan Jabbari, George Mason Univ. Technical Program Chair
9:20 - 10:00 am Keynote Address	The Future of the Internet Vinton G. Cerf, WorldCom Honorary Conference Chair

10:00 - 10:30 am	An IP point of view of configurable sub-IP networks: The IETF Sub-IP Area Scott Bradner, IETF Sub-IP Area Director
10:30 - 11:00 am	Coffee Break
11:00 am- 12:30 pm Evolution of MPLS to GMPLS	BGP/GMPLS-based Optical VPNs Yakov Rekhter, Juniper Networks The Evolution from MPLS Traffic Engineering to GMPLS George Swallow, Cisco Systems The Evolving Optical Control Plane: From Management Systems to GMPLS Greg Bernstein, CIENA The Optical Future of GMPLS Adam Dunstan, Avici Systems President, Optical Internetworking Forum (OIF)
2:00 - 3:30 pm Traffic Engineering and Quality of Service	Diff-Serv Aware Traffic Engineering and its Applications Francois Le Faucheur, Cisco Systems MPLS Traffic Engineering and QoS Don Fedyk, Nortel Networks Routing from PSTN to MPLS Jerry Ash, AT&T Labs Inter-Area MPLS TE Architecture and Protocol Extensions Senthil Venkatachalam, Alcatel
3:30 - 4:00 pm	Coffee Break
4:00 - 5:30 pm Virtual Private Networks	VPN Update Bilel Jamoussi, Nortel Networks Scalable MPLS VPN Services compared to Traditional Layer 2 VPN Services Christopher Chase, AT&T MPLS - A Common Control for IP-VPN, Ethernet, TDM, and Lightpath Services Li Mo and Ron Nag, Metera Networks Tackling the Challenges of MPLS VPN Testing Ananda Sen Gupta, Agilent Technologies
6:00 - 7:30 pm	Reception
7:30 - 10:00 pm Banquet	Banquet is complimentary to Conference Attendees only
8:30 am - 6:30 pm Conference Exhibits	List of sponsors available under the sponsor section of this site
Tuesday, October 9, 2001	
7:30 - 8:45 am Conference Registration	On-Site Registration

<p>8:45 - 9:40 am Keynote and IETF Update</p>	<p>Keynote Talk Peter Wexler, Juniper Networks</p> <p>IETF Standards Update Rob Coltun, Redback Networks</p>
<p>9:40 - 10:40 am Protection and Restoration</p>	<p>Fast Reroute Mechanism for MPLS-Enabled Networks Alia Atlas, Avici Systems</p> <p>GMPLS Recovery Ayan Banerjee, Calient Networks</p>
<p>10:40 - 11:00 am</p>	<p>Coffee Break</p>
<p>11:00 am- 12:30 pm Optical Control Plane</p>	<p>GMPLS and Economics of All-Optical Metro and Regional Networks Daniel Awduche, Movaz Networks</p> <p>Transitioning to GMPLS-Driven Optical Architectures Karen Sage, Cisco Systems</p> <p>Considerations in Applying GMPLS for Optical Access Networks Ron Fang, Ocular Networks</p> <p>Carriers' Perspective: IP + Optical Integration using MPLS as a Control Plane Yong Xue, Worldcom</p>
<p>1:45 - 3:00 pm Service Provider's Experience with MPLS Deployment</p>	<p>Design Issues for Global MPLS-Enabled Networks Chris Liljenstolpe, Cable & Wireless</p> <p>Implication of MPLS Ubiquity (or lack thereof) on MPLS-Based Services Dave McDysan, WorldCom</p> <p>Deutsche Telekom's Global MPLS-VPNs deployment and QoS enabled Networks Design and Implementation Hajo Wiltfang, Deutsche Telekom</p>
<p>3:00 - 3:15 pm</p>	<p>Coffee Break</p>
<p>3:15 - 5:30 pm MPLS Applications and Services</p>	<p>Layer 2 Transport over MPLS Azhar Sayeed, Cisco Systems</p> <p>QoS and Operational Challenges with Multi-Service Convergence Over MPLS Andrew G. Malis, Vivace Networks</p> <p>Building Layer 2 MPLS VPNs using LDP Jeremy Brayley, Laurel Networks</p> <p>Multi-Service Coverage and MPLS Chad Dunn, WaveSmith Networks</p> <p>Techniques for Building Large-Scale BGP MPLS VPNs Bruno Rijsman, Unisphere Networks</p>

4、MPLS/GMPLS 技術

這次參加的這個研討會，所有的主題都是在討論 MPLS 和 GMPLS。從它的起源、它在 IP 網路上所扮演的角色、它在新 IP-Optical 主幹網路上的發展、它所能提供的各式各樣應用到最後的大一統標準 GMPLS 的發展，幾乎都是由該標準的原作者或是該技術上最頂尖的專家來報告，整個的內容深入淺出，非常的完整。

這一章就是要對此次參加會議所學習到技術做介紹，整個內容包含有 MPLS/GMPLS 出現的時代背景、MPLS 技術簡介、GMPLS 技術延伸、MPLS/ GMPLS 的應用及新的發展方向。

4-1、MPLS/GMPLS 出現的時代背景

IP、ATM、MPLS 及 GMPLS 代表的是不同時代的人們在解決他們當時代的網路應用問題時所提出的網路解決方案。

IP 協定的提出最早但卻在 90 年中期，因為網際網路商業化的關係，漸漸開

始成為使用最廣泛的通信協定。因為使用量大增的關係，使得傳統的 Internet 網路浮現了諸多問題。由於傳統的 IP 網路是以路由器互相連接起來所構成的，IP 封包的轉送就是靠這些路由器來完成的，這些路由器是以軟體方式檢查每個 IP 封包中的欄位(至少要檢查來源及目的位置，甚至是 port number)，再做出進一步處理的決定：像是要不要濾掉這個封包、要不要賦予優先權或是要不要轉送出去。由於是以軟體處理的方式完成這些工作，所以其 IP 封包的轉送能力就會受限於中央處理器之運算速度，無法以傳輸層傳送 IP 封包進來的速度處理 IP 封包的轉送，這會影響到連接路由器間的傳輸網路頻寬的使用效率。增加 IP 封包的轉送速度以提高對昂貴的骨幹網路傳輸頻寬的使用效率是 Internet 服務提供者在這個時期所期望的。

另一個屬於 Internet 的新問題是新服務型態的提供，傳統 Internet 以 Best Effort 的方式來提供其服務。Internet 的演進讓 IP 成為繼 ATM 後新的大一統協定 Everything over IP/IP over Everything 人們開始思考如何在 IP 上提供更多種型態的服務(如 VoIP、Video conference、VPN 及 Traffic Engineering 等)，這是一個大工程，不能夠擺脫掉原有 Internet 的包袱，而且要在一個使用了二、三十年且以 Best Effort 方式提供服務的 Internet 上提供這麼多新的服務型態是一件棘手的工作，不過這一代的網路工程師們現在正在盡他們最大的努力去面對及解決這些問題，隨時間的演進，MPLS 是實現 Multiservice IP 網路的第一步，它為 cell switch 及 packet switch 的世界帶來了 Multiservice IP 控制的觀念；GMPLS 則是 MPLS 的更進一步發展，為 Multiservice IP 與所有通訊技術的整合帶來了新觀念。

ATM 開始於 80 年末、90 年初期，在 Internet 風行起來之前它是最能吸引人們注意的一項新技術，“寬頻整體服務數位網路”是那時候喊的震天嘎響的口號，ATM 就是實現這個技術最佳的選擇，它的標準完全是由歐美日的電信機構所主導，完全沒有考慮到要和 IP 結合的問題。當 ATM 的主要標準制定完成之後，IP 才開始嶄露頭角，成為未來最有可能承載一切服務的傳送協定 (Everything over IP, IP over Everything)，能夠提供 IP 服務成了所有傳送技術最重要的要求條件。在此背景下，IP over ATM LAN Emulation 及 MPOA(Multiprotocol over ATM)在 ATM Forum 裡陸續的被提出來，希望 ATM 也能夠提供 IP 的服務。

這些標準的提出證明了在 ATM 上也可以提供 IP 的服務，但是卻在實際的使用上出了問題，以 ATM 來提供 IP 服務不但架構上複雜，其最大的難題就是擴充 (Scalability) 不易，畢竟 ATM 與 IP 是兩個性質完全不同的網路 (Connection-oriented vs Connectionless)，要將它們結合在一起還真是問題不少，再加上 ATM 主要是放置在骨幹網路上，要讓 IP 直接放在以 ATM 為主的骨幹網路上以提供 IP 服務，更是讓擴充性的問題雪上加霜，所以才有人開始思考如何讓 IP 與 ATM 更加緊密的結合而還可以保有 IP 擴充性的可能性。

MPLS 的前身 Ipsilon 的 IP Switch、Cisco Tag Switching、IBM ARIS、

Toshiba CSR 就是這樣一一被提出來的，其共通特性為將 ATM Forum 所訂之 Signaling 軟體拿掉，取消 ATM 的 address，再重新以 IP address 為中心，訂出一個較為簡單的連線建立協定及 IP flow 分級的協定，將 ATM 硬體交換機當做可以快速轉送 IP 封包的設備。至於 IP 層與 ATM 層 VPI/VCI 的連接則是透過簡單的連線建立協定對每一 IP flow 建立好虛擬連線(Virtual circuit or Cut-Through) 之後，再以 ATM 層的硬體快速轉送 IP 封包，這樣做既可保有 IP 層的擴充性也可以解決原來 IP 路由器以軟體方式轉送 IP 封包處理速度上的瓶頸(以下將此類設備統稱為交換式路由器)。

將以上各家公司所提出之交換式路由器整合起來，以提供一個可以供業界遵循的標準，來發展可以互相運作的相關設備成了通信業界的共識，於是 IETF 的 MPLS 工作小組因此成立。

基本上來說，一個 MPLS 網路區是由多個 LSR(Label Switch Router)及 LER(Label Edge Router)所相互連結組成的；其中，LER 位於 MPLS 網路的邊緣部份，LSR 則位於 MPLS 網路區的內部。LSR 及 LER 的功能與傳統路由器的功能相同，都是要將 IP 封包送到其目的地。但是傳統路由器是以軟體處理的方式來轉送 IP 封包到它的目的地；而 MPLS 技術則是引用與 ATM 交換技術類似之標籤(Label or VPI/VCI) 交換技術來轉送 IP 封包到它的目的地。當一個 IP 封包進入 MPLS 網路區時，LER 會先檢查進入 MPLS 網路的 IP 封包頭，再根據此 IP 封包頭找出其相對映服務等級之標籤，然後將此 IP 封包貼上此標籤後送入 MPLS 網路區內；位於 MPLS 網路內部的 LSR 收到貼上標籤後的 IP 封包時，該 LSR 可依據封包的標籤值 而非其 IP 封包頭的內容來以硬體轉送該封包至目的地。如此一來，MPLS 技術可以提昇整個網路之運作效率，對於新服務(如 QoS、VPN 及 Traffic Engineering)的提供也較傳統路由器更具彈性。

原先 MPLS 技術的出現是因為以 ATM 來提供 IP 服務時其架構上的複雜與不容易擴充(Scability)所導致的，業界原本是希望將之前由各廠商所提出之各種交換式路由器技術的優點兼容並蓄，以 IP 交換的觀點出發來提供更具彈性、擴充性以及效率更高的一種 IP 交換技術。不過隨著新的傳輸及封包交換技術推陳出新的發展，MPLS 已經不是被定位在僅提供 IP routing 與 ATM 硬體 forwarding 之間的整合方式而已，更多透過 MPLS 來提供服務的技術都一一開發出來，如 Traffic Engineering、BGP/MPLS VPN、Diffserv over MPLS 等，讓 IP-MPLS 技術所建構的網路成為一個可以提供 Multiservice 的 IP 網路。

這幾年在骨幹網路頻寬的需求上，更是成幾何級數式的成長，為了應付這些頻寬的需求，DWDM 的光纖網路技術被發展出來，以解決頻寬上的需求。但是使用在這些光網路上的維運管理技術，卻仍有待開發，再加上在 IP 成長之後的網路世界上，能夠快速的提供客戶需要的服務與頻寬成為 ISP 的競爭重點，因此將原有在 cell switch 世界上與 IP 整合很成功的 MPLS 技術觀念加以延伸，並配上光網路及電信網路的特性，而發展出依各大一統的 GMPLS 協定技術，作為 IP 與

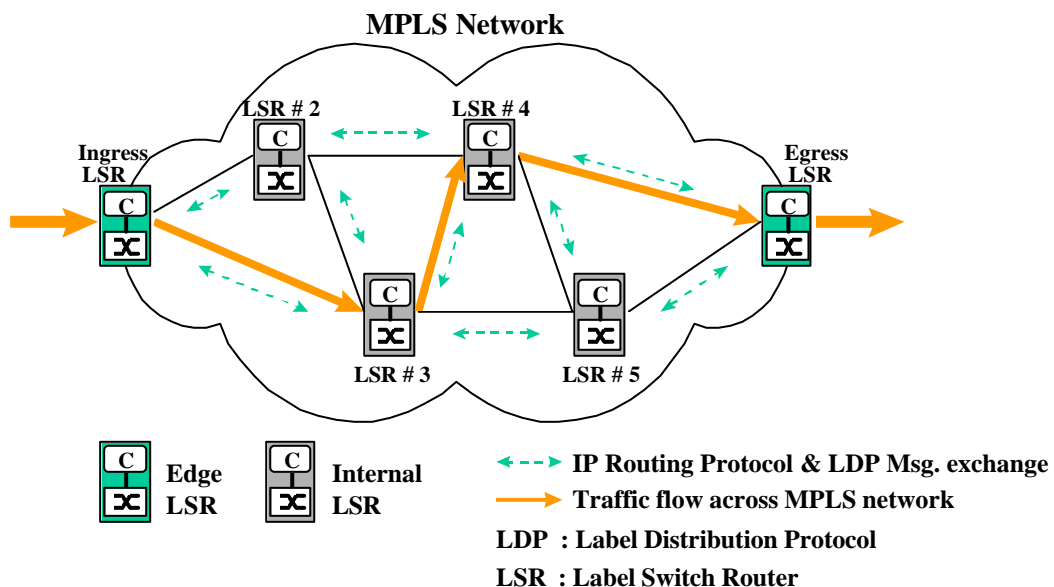
各種技術的整合方案，形成一個可提供各類服務的寬頻網際網路(Broadband Internet)。

4-2、MPLS 技術簡介

傳統 IP 網路是由軟體路由器互連所構成的，IP 封包的轉送功能是由網際網路裡面的每一個路由器分別針對每一個 IP 封包來執行的，這個步驟相當的耗費路由器的記憶體空間及資料處理量，當然也就限制了路由器能夠處理封包轉送的總處理能力。

當每一個網路介面卡線上的速度增加的時候，轉送功能就成為整個路由器處理速度的瓶頸。所以使用更有效率的資料結構及演算法、更快的處理器及記憶體、或是專門用來加強這些處理的 ASIC，都可以被用來改進這些傳統路由器的轉送功能。

MPLS 技術則採取另外一種方式，它將第三層的 IP 位址與第二層的轉送硬體轉送用的標籤(Label)結合起來，以簡化了核心路由器(LSR)的轉送功能。在非接續式的 IP 網路裡引進了接續式的機制，直接利用交換式硬體以線上速度來轉送封包。因此 MPLS 技術可以大量的增加主幹網路上處理 IP 封包的轉送的能力。MPLS 技術的另一優點則是可以根据不同的服務需求以建立不同的標籤交換路徑(Label Switched Path-LSP)，所以可以利用交換式硬體提供處理不同的服務品質及不同頻寬的能力。對於那些具有標籤交換能力的路由器，我們稱其為標籤交換式路由器(Label Switch Router - LSR)。



圖一、MPLS 網路架構示意圖。LSR 將其執行 LDP 所得的 Label 資料儲存於 LIB。

圖一是一個典型的 MPLS 網路圖。從圖中可以看出交換式路由器因其在 MPLS 網路位置的不同，可以區分為：(1) 邊緣交換式路由器(Label Edge Router - LER)，及(2) 內部交換式路由器(Label Switch Router - LSR)。交換式路由器(LSR)

與交換式路由器(LSR)間可以利用 LDP 來交換其相互間所要使用的標籤(Label)資訊，以建立標籤交換路徑(LSP)。

在 MPLS 網路內，對於每一個路徑它都會先建立一條標籤交換路徑(LSP)。入口端的 LER 首先分析 IP 封包頭以決定所要使用的標籤交換路徑(LSP)，並將此標籤交換路徑(LSP)的識別碼加在封包上，最後轉送到下一站的 LSR。所有在標籤交換路徑(LSP)上的 LSR 僅僅是利用每個標籤封包(Labeled Packet)前的標籤轉送此封包至出口端的 LER，而不用再經過那些耗時及耗 CPU 處理的存取、比較及轉送的過程(Store and Forward)。所以 MPLS 所使用的接續式連接不儘增加了傳統路由器的轉送能力，也使得 ATM 及 Frame Relay 交換器可以拿來當作轉送設備。

一個 MPLS 網路其運作步驟在繞送路由的決定上，與傳統的路由器來比較，是沒有什麼不同的，都可以利用 IGP 的 RIP、OSPF，EGP 的 BGP 來決定其路由繞送表格(Routing Table)的內容。路由繞送表格(Routing Table)決定之後，MPLS 會對其所要繞送的目的位址做分類，以決定相對的轉送等級(Forwarding Equivalence Class - FEC)，然後 LSR 與 LER 再根據這些轉送等級建立其相對應的標籤交換路徑(LSP)，之後只要 IP 封包進入此 MPLS 網路後，再利用這些已經建立好的標籤交換路徑(LSP)轉送至出口端 LER，中間就簡化掉每一級的 Store and Forward 動作。

底下將對針對 MPLS 網路與傳統 IP 網路最大不同的的兩大核心動作：建立標籤交換路徑(LSP)，及轉送的原理做一介紹，然後再簡短的討論 MPLS 的運作方式

- 建立標籤交換路徑(LSP)

從圖一來看，每一條標籤交換路徑(LSP)上都會至少通過兩個以上的 LSR 或 LER，任兩個 LSR 或 LER 之間是以 LDP 來交換其所要使用的標籤(Label)的。每一個節點上的 LSR 或 LER 都會和其上游及下游的 LSR 或 LER 針對某一 FEC 交換其標籤資訊。一般是由入口端或是出口端的 LER 針對某一 FEC 分配一個標籤，然後告訴上、下游 LSR 或 LER 利用此一標籤來標籤化其相對映的 IP 封包。在 MPLS 裡面我們是利用 LDP 來達成這件事情 交換某一 FEC 所使用的標籤資訊，當整條路徑上的 LSR 或 LER 都建立起 FEC 與標籤資訊的對映之後，一個 FEC 完整的標籤交換路徑(LSP)即算建立完成。

因此每個 LSR 或 LER 都會建立一個標籤資訊表(Label Information Base)，此表記載了 FEC 與標籤交換路徑(LSP)間的關係。當轉送資訊表(Routing Table and Forwarding Information Base)的內容有變化時，MPLS 應用程式就會重新協調 FEC 的標籤，並將結果記錄在標籤資訊表內。

當一個結點與其上、下游 LSR 或 LER 溝通交換標籤時，輸出鏈路與輸入鏈路及 FEC 相對應的資訊也同時被儲存起來，因此在一個 MPLS 區域內部，每個 FEC 都有一組標籤交換路徑(LSP)與其相對，而且有很大的可能性此標籤交換路徑(LSP)是點對多點的类型。

標籤交換路徑(LSP)的建立是由於 Routing Topology 的結果。所有的封包都

會經由這些已建立好的標籤交換路徑(LSP)來轉送。這和MPOA在有流量傳送時才建立捷徑的做法是有所不同的。

- 轉送的原理

入口端(Ingress)的LER會根據進來IP封包頭內部終點位址的內容先以硬體搜尋其Forwarding information Base,將對映的MPLS標籤找出,之後將封包加上一個MPLS標籤送往下一個LSR或LER(Next Hop)。下游的LSR或LER會處理下列事項:

- 利用標籤來搜尋標籤資訊表以決定輸出鏈路(Output Link)及輸出標籤(Outgoing Label)。
- 置換(Swap)MPLS標籤的標籤。
- 轉送此封包。

這些動作的處理在LSR或LER裡都是以硬體來完成的,所以可以以傳輸線上送入IP封包的速度來轉送所有IP封包至輸出端。

- MPLS的組成及運作

由於MPLS技術希望將目前各種交換式路由器技術的優點兼容並蓄,以提供更具彈性、擴充性以及效率更高的一種交換式路由器技術。因此,其技術規格的複雜度遠較目前各種交換式路由器技術為高;但是MPLS技術的基本運作原理非常簡單。

MPLS引用與ATM Switch、Tag Switch等技術類似之標籤概念。藉由標籤的引入,可以提昇網路的Explicit Route、Load Sharing、Multipath等功能的效率,進而加速整個網路之運作。具體而言,標籤係用來識別一組可以使用第二層標籤來做交換的資料串(Stream);亦即,MPLS網路中的每一個LSR均建立起「資料串Label」之對應關係,以提供一種較簡捷的資料傳輸方式。此處所謂的資料串係指一條或多條資料流的統稱。

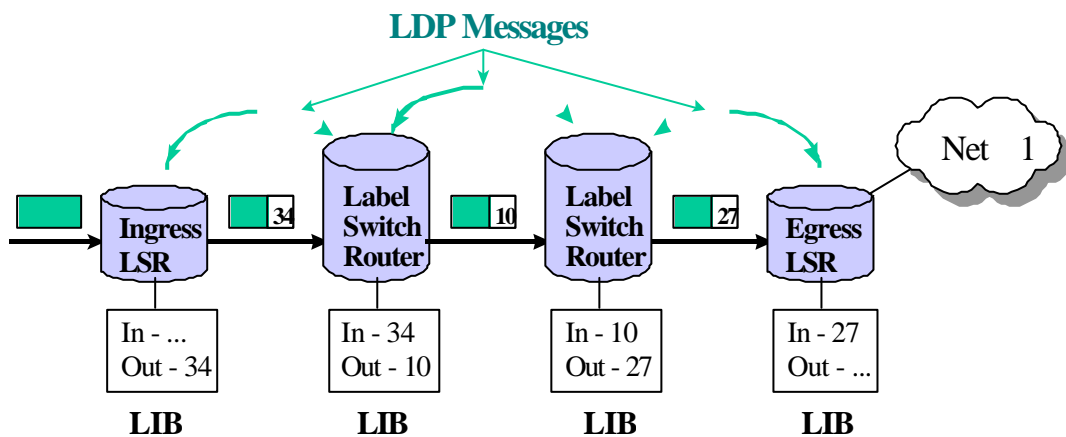
圖一為MPLS網路架構示意圖。如圖一所示,一個MPLS網路係由多個LSR所組成的;其中,LSR係一具有執行LDP通信協定及相關MPLS技術規格能力的路由器。基於模組化之設計原則,每一個LSR係由下列兩個基本模組所組成:

1. 轉送模組(Forwarding Component) — 負責轉送所收到的IP封包至輸出端。
2. 控制模組(Control Component) — 負責執行繞徑通信協定(Routing Protocol)、LDP及相關MPLS通信協定之運作,以建立起整個網路的基本路由資料。其中,LDP通信協定規範了如何處理Label的核心程序;此一核心程序的目的是做各種標籤的指定(Assignment)、對應(Mapping)與傳播(Distribution)工作。當LSR執行LDP通信協定以建立LSP來傳送資料時,LSR會將所得之Label相關資訊儲存於標籤訊息資料庫(Label Information Base, LIB)中,並依LDP通信協定之規定管理、維護此一LIB資料的正確性。LIB內的每一個Label代表一條單一路由或一組路由。由於Label具

備簡短、固定長度之性質，故 LSR 可快速地搜尋 LIB，使得 MPLS 網路運作起來比以傳統路由器構成的網路更有效率。

圖二為 MPLS 網路應用所建立的 LSP 來傳送資料的運作示意圖。如圖二所示，依據在 MPLS 網路內部所扮演角色的不同，LSR 可分成下列三種型式：

1. Ingress LSR：或稱 Ingress Label Edge Router (LER)，為 MPLS 網路接收不含 MPLS Label 之 IP Packet 的網路設備。Ingress LSR 依此 Packet 之 Layer-3 Header 之內容搜尋 FIB。若 FIB 內有此 Packet 之 Layer-3 Header 相對應的“Outgoing Label”，則該 LSR 負責於此 Packet 加入 Outgoing Label，然後將之傳送給 Next-Hop LSR；否則該 LSR 依照傳統 Router 之工作程序將之傳送給 Next-Hop Router。MPLS 技術文件將上述「LSR 於 Packet 加入 Outgoing Label」之動作稱為“Push”。
2. Intermediate LSR：為 MPLS 網路傳送含有 MPLS Label (稱為“Incoming Label”) 之 IP Packet 的中繼網路設備。Intermediate LSR 以所收 IP Packet 的 Label 搜尋 LIB。此時，LIB 內會有相對應的 Outgoing Label；於是該 Intermediate LSR 將此 Incoming Label 置換成 Outgoing Label，然後將之傳送給 Next-Hop LSR。MPLS 技術文件將上述「LSR 將 Incoming Label 置換成 Outgoing Label」之動作稱為“Swap”。
3. Egress LSR：或稱 Egress LER，為 MPLS 網路將含有 MPLS Label 之 IP Packet 送離 MPLS 網路的網路設備。Egress LSR 以所收 IP Packet 的 Label 搜尋 LIB。此時，LIB 內相對應的 Entry 無 Outgoing Label；於是該 Egress LSR 會先將此 IP Packet 之 Label 移除(Remove)，然後將之傳送給 Next-Hop Router。MPLS 技術文件將上述「LSR 將 Incoming Label 移除」之動作稱為“Pop”。



圖二、MPLS 網路應用 LSP 傳送資料串的運作示意圖。

接下來即以圖一及圖二為例，說明 MPLS 技術的基本運作原理如下：首先如圖一所示，MPLS 網路中的 LSR 以傳統第三層的 IP Routing Protocol (如 Open Shortest Path First (OSPF)、或是 Routing Information Protocol (RIP)等)

建立起整個網路的基本路由資料；根據這些路由資料，LSR 或 LER 會針對每一路由建立其相對映的 LSP，此時會啟動 LDP 通信程序以指定、對應與傳播各種 Label，並將其執行 LDP 所得的 Label 資料儲存於 LIB 內。

當 MPLS 網路中的每個 LSR 的 LIB 內容確定之後，LSR 即依照 LIB 之內容，開始進行傳送一個 Packet 到達目的地的流程。如圖五所示，每當 Ingress LSR 收到一個 Packet 時，該 Ingress LSR 將會依此 Packet 之 Layer-3 Header 之內容搜尋 LIB，並據以決定是否於此 Packet 加入 Outgoing Label。假設該 LSR 決定在此 Packet 中加入適當的 Outgoing Label，則該 LSR 依照 LIB 之內容，將此 Packet 傳送到 Next-Hop LSR。當 Intermediate LSR 收到一個 Packet 時，該 Intermediate LSR 依照 LIB 之內容，將此 Packet 之 Incoming Label 置換成 Outgoing Label，然後將之傳送到 Next-Hop LSR。每一個 Packet 就依上述規則一路地傳送到 Egress LSR。最後，Egress LSR 依照 LIB 之內容，移除此 Packet 的 Incoming Label，然後將之傳送到 Next-Hop Router；完成 MPLS 網路傳送一個 Packet 的流程。

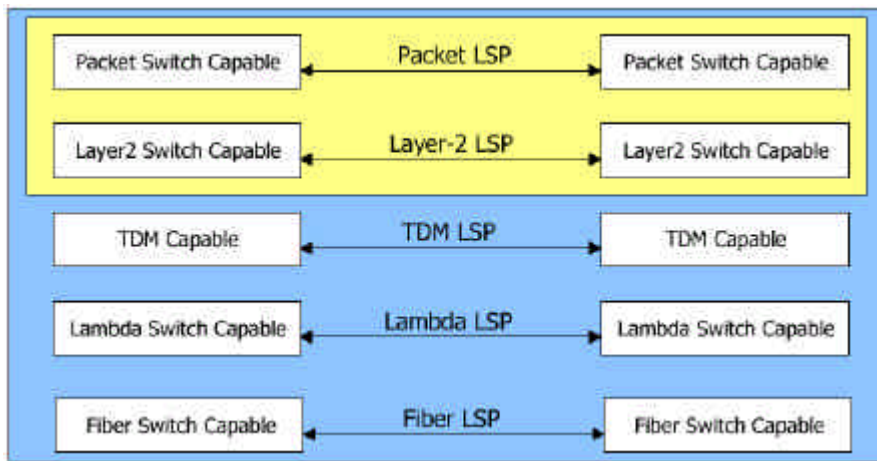
4-3、GMPLS 技術的延伸

原有的 MPLS 技術是建立在快速 Cell 交換或是封包交換的基礎上的，利用此技術所建構的網路也給新的 IP 網路帶來了新的生命，很多新的特色如 QoS、訊務管理(Traffic Engineering)及 VPN 等功能都已經可以透過這些技術來達成。在新的傳送技術出現(如 DWDM)時，想要以同樣一套的技術來管理這些網路，並讓其網路保有安全性、彈性與穩定性，於是擴充原有 MPLS 技術以支援這些新觀念與新技術的 GMPLS 技術就被提出來了。這個技術也是這次研討會裡，無論是講者或是聽講者最有興趣知道的技術，每個參加展出的廠商也都把其支援 GMPLS 的產品拿出來展示並大力推銷，可以看出來在 IP 越來越普及的情形下，未來的幾年擁有 GMPLS 功能的網路產品將會越來越普遍。

GMPLS 的主要功能有下面的這幾項：

1. 延伸狀態路由協定如 OSPF、ISIS 等，使其可以廣播每一個網路設備所使用的 TDM、波長及光纖資源。
2. 增加 LSP 建立要求訊息及 LDP 或 RSVP-TE 訊號協定的功能，使其可以在 FSC、LSC 或 TDM 介面上建立雙向點對點間的連線。
3. 允許任兩個網路設備間的訊號協定可以在分離的訊務通道上(如 IP 控制通道)交換。
4. 使用鏈結控制協定(Link Management Protocol -- LMP)控制 IP 控制通道、鏈結特色相關性、鏈結連線驗證及失誤管理。

下圖三所顯示的是 MPLS 和 GMPLS 的層次關係，從此圖可以看出，黃色部分是屬於原有 MPLS 協定的應用範圍，是由 MPLS 在 Cell Switch 及 Packet Switch 的整合上所組成的。下面的藍色部分則是 GMPLS 的範圍，它所控制的是 TDM、波長或光纖的部分。



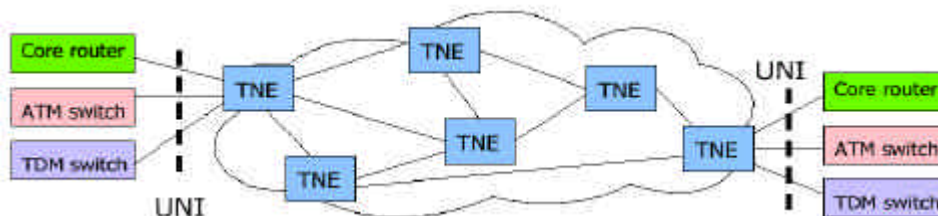
圖三、MPLS 與 GMPLS 架構層次圖(來源：Ocular Network 於 MPLS2001 研討會投影片)

GMPLS 是屬於網路的控制平面協定，由它與傳送網路的結合可以形成交換式的傳送網路，在整個網路的使用上，因與現有光網路結合運作的方式的不同，而有 Overlay 與 Peer 兩種模式。Overlay 模式的控制平面如 ODSI (Optical Domain Service Interconnect)所提的規格一般。在此模型下，客戶的服務與光網路的傳送層控制平面彼此獨立。光網路對邊緣的網路元件而言，只是作為負責動態或靜態地建立光路徑，以作為資料傳送的透通式的管道。邊緣的網路元件完全不知道光網路內部的網路結構。

而 Peer 模式則如目前 GMPLS 規範所規定的一般，邊緣端的網路元件可以提供經由光網路建立 ATM PVC、光路徑、路由器幹線與 SONET/SDH 鏈路等。在此模型中，服務邊緣端設備與光核心網路共享一個共通的控制平面，意指邊緣端設備必須要知道光核心網路的網路結構資訊。

Optical Internetworking Forum (OIF)所提出的光使用者網路界面(Optical User-Network Interface, O-UNI)是 GMPLS 的一個子集，它定義了在 Overlay 模式及 Peer 模式下的服務規格、通信協定、記帳和服務管理等規格。

下圖四所示即為一 Peer 模式的光網路運用，在這裡光網路所提供的就是連結用戶間設備的光通道，兩者之間是透過 OIF 的 O-UNI 介面來交換訊息的。



圖四、Peer 模式下利用 O-UNI 為訊務協定的光 GMPLS 網路(來源：Ocular Network 於 MPLS2001 研討會投影片)

對於 O-UNI 與 GMPLS 的差異處如下表所示：

O-UNI 與 GMPLS 的差異處

O-UNI	GMPLS
-------	-------

信號協定僅有資源發現能力，無路由通信協定	同時具有信號和路由的通信協定(類似 ATM PNNI)
介於光網路與光網路用戶間的界面	使用者與光網路彼此如伙伴關係
適用於有限的信任度之環境	適用於完全信賴的環境
只有一些有限的資訊傳送	具有完全的資訊傳送
使用 Policy 及認證技術	能較有效地使用資源
可用於 Autonomous Systems (AS)之間	使用於 AS 內
在 AS 之間使用時類似 BGP 協定	在 AS 內使用時類似 IGP 協定
IETF/OIF 制訂 UNI 為 GMPLS 的子集，可以作為 Unified Control Plane	
UNI 及 GMPLS 加在一起可以涵蓋電信公司想要的網路架構之範圍	
UNI 及 GMPLS 加在一起可以提供作為支援電信公司所要的 Business Model 之基礎建設	

O-UNI界面的主要缺點是其所能夠提供服務的頻寬單位是以波長為單位，在光網路上也無法直接處理到每一個封包，所以無法針對個別的封包來提供QoS的服務。因此，其所能提供的服務是在光路徑內提供混合式的服務。在此同時，所提供的光通道必須要能夠由邊緣端到光核心網路間提供具有指出用戶需求的信號及端點對端點間的服務品質保證。

因為MPLS有可達成訊務設計功能的特性，適合作為光交換網路的控制平面，所以UUNET、Cisco及Fore System等公司首先於1999年提出了延伸MPLS而作為以光交接機為主的網路元件之自動交換式光傳送網路控制平面，稱為Multi-Protocol Lambda Switching (MPλS)。此為GMPLS的起源，後來將其控制範圍延伸至光纖及TDM time slot的控制而有了GMPLS。

所以MPLS Label的特點與自動交換式DWDM傳送網路波長的控制有些許類似的地方。MPλS的觀念就是基於DWDM網路中有關的波長訊息與Label、OXC與LSR的相似性及交換式DWDM傳送網路與MPLS網路有相似的輸入、出關係，及其所建立的光通道與LSP作為資料傳送的行為亦相似。另外交換式DWDM傳送網路利用光交接機作為重設的網路及作為自動交換傳輸路徑的建立所需的控制平面的需求與MPLS控制平面的需求相似。所以，MPLS似乎可以作為自動交換式傳送網路或IP over DWDM網路的控制平面。但實際上，OXC並不完全等於LSR，所以原MPLS有必要被延伸，因此，MPλS就誕生了。

MPλS提出後引起許多回應，許多人紛紛投入討論其在DWDM光傳送網路的應用，接下來有了詳細的信號協定如RSVP-TE、CRLDP等之制訂，網路模型的討論及保護與回復機制等種種議題的探討。MPλS控制平面的功能主要是根據訊務所需的路由來建立光路徑，以作為最佳的傳輸的通道，這點在觀念上與Traffic Engineering功用類似，但在提供這些光路徑時，由於其所提供的大量頻寬，所以對於這些光路徑的保護及其故障時的切換機制，都在這段期間有大量的思考。

於是，能夠同時動態控管現有電信網路上的資源，如SDH上的Time slot，及新出現的光網路上的資源，如波長及光纖，成為一種新的需求，在此同時還要能夠支援提供各種服務的彈性及光路由的保護及自動化路由決定的機制，乃有了

繼續擴充 MPLS 而成為 GMPLS 的出現。這也是目前全光網路的發展上最新出現的進展，當然在今天這個非常競爭化的電信市場環境之下，提供 GMPLS 協定的設備是我們有必要花心血去深入研究的。

4-4、MPLS/GMPLS 的應用

MPLS/GMPLS 既然是一個可以提供寬頻網際網路的技術，所以我們有必要對其所能夠提供的服務及應用做一個介紹，本小節的目的即在於此。底下我們分三個部分來分別介紹 MPLS 的應用：MPLS 對 QoS 的提供、MPLS 對 VPN 的提供及 MPLS 對 Traffic Engineering 的提供。

- 對 QoS 的提供

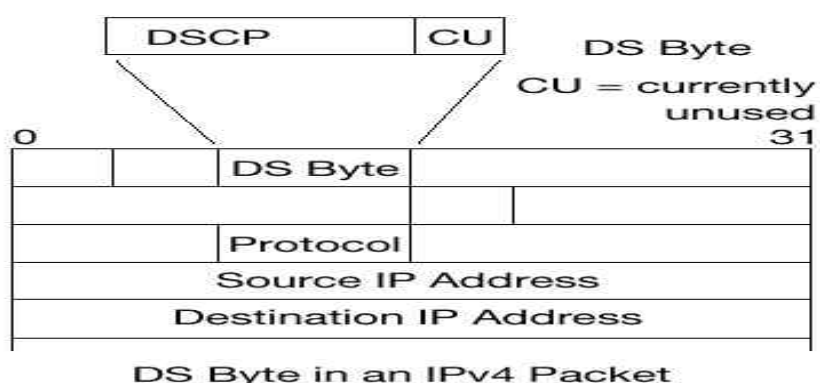
這幾年的網路發展造成對 IP 網路使用及需求上的改變，網際網路不再是政府機構及學術單位所使用的專屬品了，今天它已經成為商業活動上的溝通管道了。隨著企業在其上面的使用，新的需求也就跟著出現，不再只是 Best Effort 就可以了，網際網路有必要去支援服務等級的要求，它必須要能夠保障一個程度的服務需求及可靠度，而不管其他用戶的使用及個別網路設備的故障。

因此對服務品質能力的提供已經成為新一代提供多元服務整合型網路的基本能力，在 IP 網路上，已經有好幾個提供服務能力的模式被提出來了。兩個最主要的模式為整合服務(IntServ)及分類服務(DiffServ)。

整合服務主要是要提供非常強的端點對端點(end-to-end)服務品質能力，但是我們無法保障其擴充性。在整合服務裡，客戶會啟動一個它對網路應用的需求，然後將此應用的需求交由資源保留信號協定(RSVP)來建立路徑，所建立的這一路徑將能夠滿足客戶的頻寬及延遲要求。由於整合服務的模式大量使用 RSVP 建立每一個客戶的網路資源使用路徑，所以其擴充能力會受限於 RSVP soft-state 特性的限制，無法擴充到太大的網路上來使用，因此在使用上會將其規劃在接取端來使用整合服務模式，在通過核心網路時則將其集總起來使用分類服務的服務模式。

分類服務在另一方面來說，則是致力於提供 hop-by-hop 的相對服務品質而提供端點到端點之間的服務品質。在分類服務的架構裡，IETF 的規範建議了一組的建構單元，網路上的設備就是利用這組建構單元整合起來一起提供透過整個網路的點對點間的服務。分類服務所採取的方式與原來 IP TOS 的想法相似，但其目標是提供給今日的網路應用來使用。由於分類服務是對所有客戶的訊務作分類而不是針對每一個應用訊務流來分類，所以支援此類服務的路由器不需要紀錄每一個連線的細節資料，因此它擁有更好的擴充性。每一個流動於分類服務網路上的 IP 封包在通過此網路時都會帶有服務等級的資訊，網路上的每個路由器在處理這些 IP 封包時就會根據這些服務等級資訊，來以相應的服務品質處理這些封包。這些資訊紀錄在 DSCP 欄位裡，對這些欄位相對的處理方式稱為每一節點行為(Per-Hop Behavior -- PHB)。下圖五即為 DSCP 位元在 IP 封包頭的編碼情

形。



圖五、DS 位元及 DSCP 編碼在 IP 封包頭的位置(來源 :Ericsson White Paper)

因此，分類服務是另一種使用在骨幹網路上提供 QoS 的方法，它透過一組的建構單元互相配合運作來達成終端客戶的服務需求。它以 PHB 的觀念來定義一組的資料處理方式，這個方式被實作在網路上的每一部路由器上，根據封包內的 DSCP 編碼可以決定在路由器內封包被處理的方式。這個處理方式包含了路由器內所使用貯列的選擇、排程方式的選擇及擁塞控制方式的選擇。舉例來說，一個處理方式可以選擇一個貯列，它使用高優先權的排程演算法，但在擁塞控制上使用低門檻的擁塞控制，以及其擁塞管理機制。如果一個封包在通過網路上的每一個路由器時都受到相同的對待，那麼其端點到端點的品質就可以被確定下來。

從上面的圖可以看出來，IP 封包的處理方式是被標記在其 DS 位元裡，這個 DS 位元是取代 IP 封包內原有的 TOS 位元的。在 DS 位元裡，定義了六個位元當作 DSCP 位元，根據這六個 DSCP 位元，封包在網路內的處理方式可大略分為 Expedited Forwarding(EF)、Assured Forwarding(AF)及 Default Behavior(DE) 三個大類。

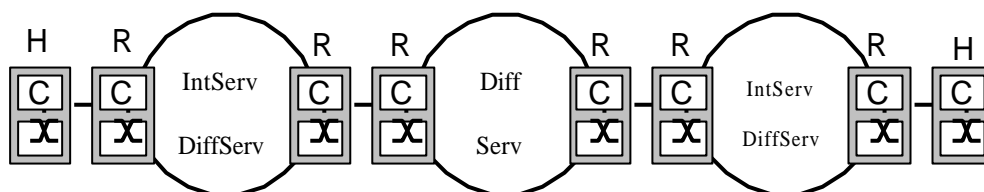
在 MPLS 裡面，它對服務品質的提供主要就是以 IETF 的整合服務及分類服務這兩種架構為基礎來考慮如何在其上提供有服務品質的服務。

在提供整合服務時，由於其以 Flow 為基礎的連接量會非常的大量，若將此擁有大量連線資料的設備配置在骨幹網路上將會影響到網路的擴展性，所以在整合服務的提供上，一般只將其配置在小範圍的網路上，再透過骨幹網路的邊緣設備(如 LER)與骨幹網路相連。

至於在骨幹網路部份，MPLS 是以採用分類服務來傳遞有優先順序的資料。但是此分類服務架構在骨幹網路的應用，如果在同一時間大家都指定同一等級(Class)的服務時，可能會有無法保證其端點對端點服務品質的情形發生，對於有些須要端點對端點服務品質的服務種類來說，則需要讓小部份整合服務的連線也能在骨幹網路上應用。

所以在整個網路的規劃上，MPLS 網路在提供服務品質時，是以整合服務與分類服務這兩種架構相輔相成配合起來一起運作的。其配合的架構可以概略的分成兩種：整合運作(Integrated operation)和平行運作(Parallel operation)。整合運作的架構如圖六所示，分類服務架構為整合服務架構的骨幹網路，而整合

網路則為整體網路的接取網路，在整合網路與分類網路介接處的路由器將根據網路的負荷狀況以決定是否接受 RSVP 的請求。這樣的話就可以解決整合服務的擴充性問題並進一步的提供端點對端點的服務品質。另一方面，平行運作則是在同一網路上同時提供整合服務和分類服務，這個時候如果網路上的設備沒有支援信號規約的話，就必須要採用分類服務的架構來達到提供服務品質的功能，所以這種架構不會增加路由器的複雜度，反而會降低路由器的複雜度，對於那些連接時間長且資料傳送量大的服務，如視訊會議等服務，可以採用整合服務的方式，對於連接時間短的服務，如 FTP、e-mail 及 WWW 等服務，則可採用分類服務的方式，這樣的話可以達到簡化連接的複雜度。



圖六、整合服務與分類服務整合運作的架構。

- 對 Traffic Engineering 的提供

Traffic Engineering 的一個目標是要獲得一個資源使用更良好的網路，同時創造一個更容易管理的網路，另一個目標則是在區隔網路上不同的流量型態，並根據其訊務需求來分配網路上的資源以給予它們相對應的服務型態。一般來說，Traffic Engineering 是根據一組客戶及網路管理者的需求限制 (constrain)，選擇性的為它們在網路上挑選一個符合它們需求的路由，這些需求限制是使用來在那些處於變化的網路中選擇路由，根據其在實際上的使用方式可以分為直接路由選擇及間接路由 (Explicit Routing 及 Implicit Routing) 選擇兩大類。

直接路由選擇是一個為客戶訊務預先選定並指定其流經網路路徑的方式，它的好處是服務提供者直接決定客戶訊務所要流經網路的正確路徑，而不需透過動態路由協定來達成，因為目前的動態路由協定所決定出來的路由會造成所有訊務都流經最小花費的路徑 (minimum cost path)，而使得有些鏈路上的頻寬閒置在那裡。除此之外，網路的頻寬可以直接分配給那些指定直接路由的訊務以滿足其訊務需求，這樣就有了一個擁有訊務管理的網路了。對於此種直接路由指定的訊務管理的缺點就是其決定過程及設定程序都是一個人工指定的過程，這需要相當的工作來達成而且他本身也不是動態的。

另一方面來說，間接路由的方式則將訊務管理分為兩個不同的階段，第一個階段由管理人員將客戶的訊務需求如頻寬，直接指定在網路資源管理工作站上，接下來再由網路上的網路設備根據網路資源使用狀況及客戶需求，執行限制性的路由協定 (Constrained Routing Protocol) 來決定這個間接路由，再將此路由交給 MPLS 上的訊號協定如 LDP/CR-LDP/RSVP-TE 來建立此訊務所要經過的路徑，這樣就可以動態的決定出路由。此種方式將人工指定的過程減少到透過在網路資源管理工作站上直接指定客戶訊務的需求，至於路由的決定及建立則完全交由路

由協定計算及訊號協定的建立功能上，因此有了一個可動態提供路由的訊務管理功能。這兩種路由的決定方式在 MPLS Traffic Engineering 的提供上都是屬於 Constrain Based Routing 的訊務管理方式，在實際場合的使用上是兩者互相並互補在一起使用的。

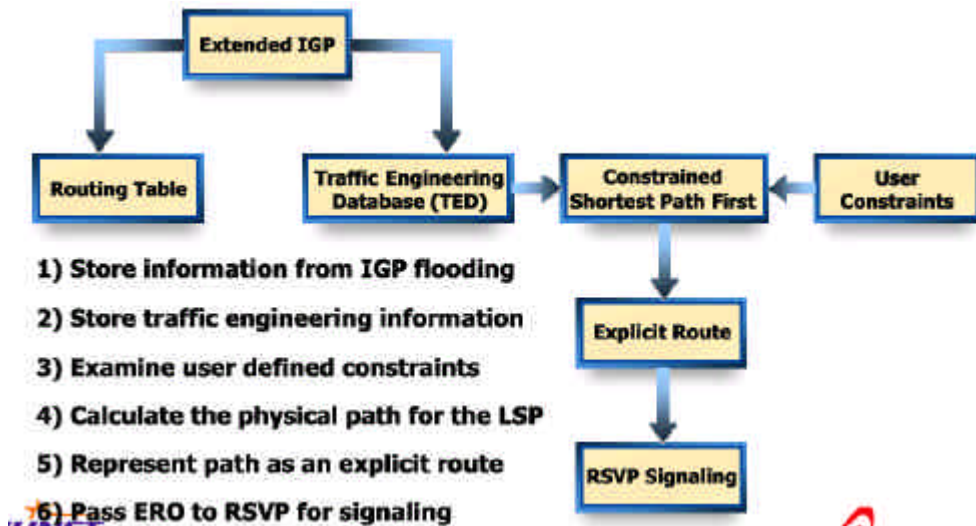
訊務管理在 IP-MPLS 網路上是一個非常重要的功能，很多的新 IP 網路的功能，如 VPN、QoS、及網路資源管理等，都可以透過這個功能來完成。當然對於整個網路資源的調度來說，Traffic Engineering 更是其中的一項核心功能。

傳統 IP 網路上 Best-Effort 的動態路由協定或是靜態路由方式，其所選擇的路徑在路由確定後，都是依據最短路徑或是靜態的路徑來選擇固定的路徑，無法因應網路實際上資源的使用情形而彈性的選擇路徑，此時若要改變路由除非是透過處理其距離尺度的方式(Metric manipulation)來達成，但此方法只是一種暫時性的方式，而且對於非以 topology driven 建立起來的較細緻的訊務分類來說就無法達成了。因此，當網路服務提供者想要提供新的服務的時候，傳統 IP 的路由方式就不足了。

對於網路操作者來說，屬於不同訊務流的資料封包能夠在網路上行走符合其訊務需求的路徑的控制功能是非常重要的一種基本需求。對此 MPLS 提出了直接指定路由的路由方式(Explicit Routing)，直接指定路由提供了一種引導資料行走非 Best-Effort IP 路由路徑的能力，我們可以利用這種能力來達成訊務管理的功能。

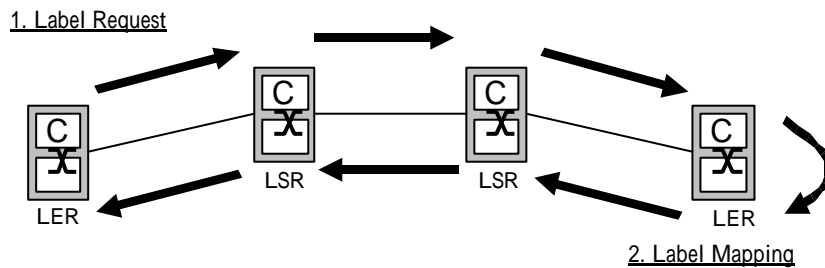
如何達成此種能力呢？這必須同時有幾方面的配合運作，整個做法如下圖七所示，其詳細部分說明如下：

- (1) 延伸原來的 IGP 路由協定，除了攜帶 Topology 資訊外，還要攜帶網路鏈結及設備使用狀況的資訊，支援 Traffic Engineering 的路由器在收到這些資訊後再將其收錄到 Traffic Engineering Data Base 裡。
- (2) 考量客戶的訊務需求並將其轉換為需求限制，直接由網路操作者在網路資源管理工作站輸入進來。
- (3) 加入新的路由演算法則 需求限制性的最短路徑優先法則 (Constrained Shortest Path First)，此演算法可根據需求限制及訊務管理資料庫來計算出 Explicit Route 來。
- (4) 新的訊號協定用來在網路上建立由需求限制性的最短路徑優先法則所決定出來的 Explicit Route。
- (5) 因應客戶不同的保護需求訂定各個不同需求的運作方式，以提供訊務保護(Traffic Protection)及快速繞路(Fast Reroute)的功能。

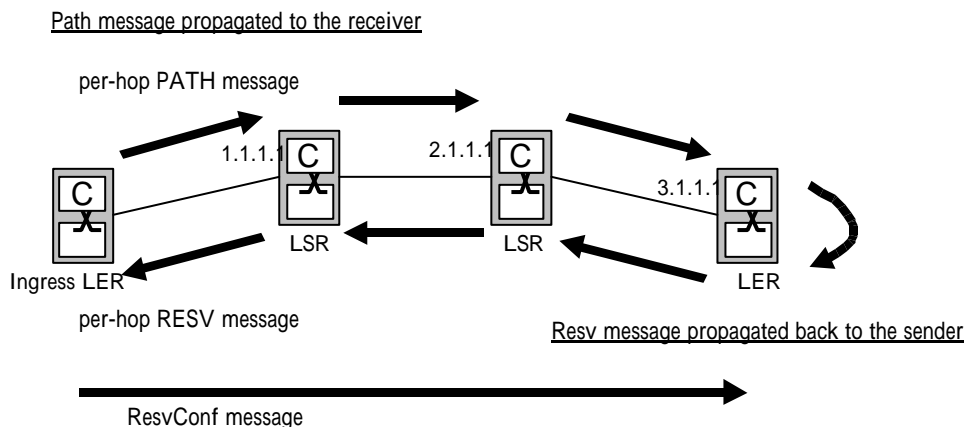


圖七、MPLS 提供 Traffic Engineering 功能架構圖(來源：Juniper Network 於 MPLS2001 研討會投影片)

目前有兩大方法來支援訊務管理上的訊號協定：(1)使用 CR-LDP 訊號協定來建立 Explicit Route；(2) 使用 RSVP-TE 訊號協定來建立 Explicit Route。我們可以利用在網路上建立各式各樣的 Explicitly routed LSP 來提供訊務管理的功能。我們可以把這樣的一條 LSP 想成是給某一應用(如 VPN)使用的一個專用的通道，對一個網路來說，會有很多不同需求的 LSP 建立起來傳送其所專屬的資料流。我們用圖八與圖九來解釋使用 CR-LDP 建立的訊務管理路由與使用 RSVP-TE 建立的訊務管理路由這兩種不同的方法。



圖八、利用 CR-LDP 來建立 ER-LSP 以提供訊務管理。



圖九、利用 RSVP 來建立 ER-LSP 以提供訊務管理。

- 對虛擬私有網路的提供

虛擬私有網路是 ISP 提供企業使用其網路如使用專線網路般的一種利器，其功能至少必須要和傳統的專線服務一樣，甚至還可以提供更多的功能。虛擬私有網路的服務讓 ISP 業者可以更有效率的使用其網路的資源，當然也增加了另外一項可以增加其收入的機會。

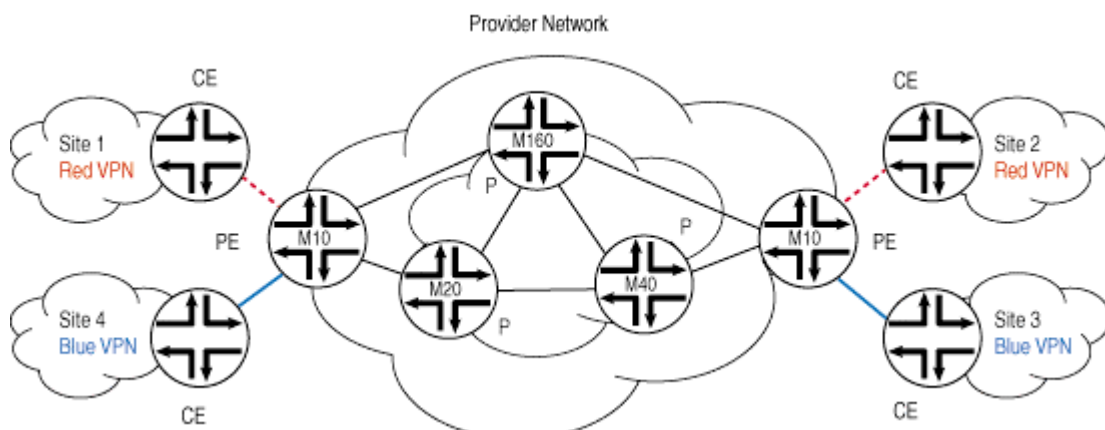
在 MPLS 裡面所發展出來的 VPN 技術是屬於為了服務提供者提供 VPN 服務所發展的技術，目前 IETF 在這方面的技術主要有 VR-based VPN(RFC2547bis)及 BGP/MPLS VPN(RFC2547)兩大類。

BGP/MPLS 的 VPN 服務模式提供了一個有彈性、可擴充及支援多類別服務的完全相互連接(full mesh)的 IP VPN 服務。一般的 BGP/MPLS VPN 是建立在服務提供者所提供的 IP 網路之上的，同時它還要求服務提供者網路上的路由器必須要執行幾個種類的路由協定及信號協定。

舉例來說，服務提供者的邊緣路由器(Provider Edge Router - PE)會執行 BGP、RIP 或 OSPF 協定來與客戶端的邊緣路由器(Customer Edge Router)來交換路由資訊；服務提供者的邊緣路由器同時也會使用 MP-iBGP 來與此服務提供者網路上的其他邊緣路由器交換 VPN 的路由資訊，然後再使用 MPLS 的 LDP/CR-LDP/RSVP-TE 信號協定來建立 LSP。

為了要提供 VPN 使用者在規劃其 VPN 網路的位址及路由結構時，可以獨立的規劃而不用考慮到服務提供者網路及其他 VPN 使用者的位址及路由規劃，所以對於客戶端送過來的 IPv4 封包必須要加上 Route Distinguisher(RD)來產生獨一無二的 VPI-IP 位址，同時在每一個邊緣端路由器，必須要針對每一個直接相連的 VPN 客戶維護一個其專屬的 VPN routing and forwarding table(VRF)。

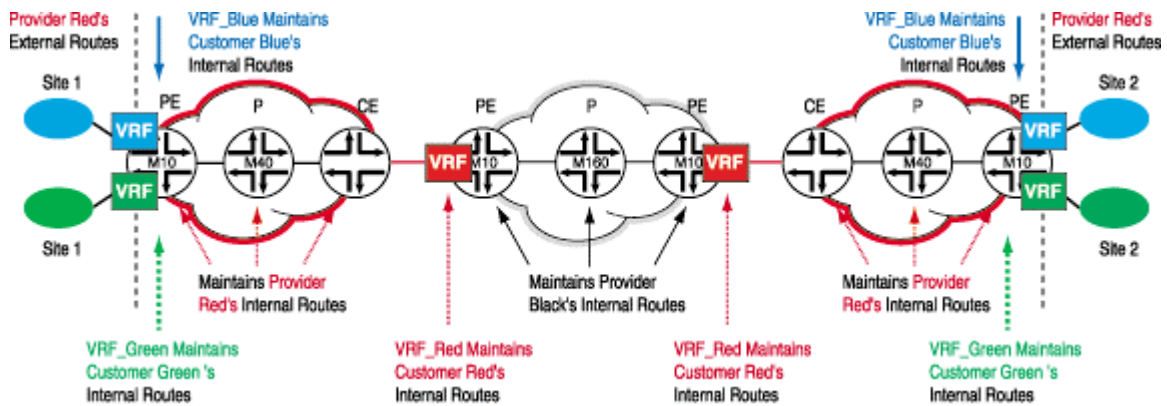
當一個 VPN 端的 IP 封包送到入口端的 PE 路由器時，此 PE 路由器必須要加入一個 MPLS Label 到此 IP 封包上並將其送入 BGP/MPLS 的網路上，當此封包抵達出口端的 PE 路由器時，此 PE 路由器需要將 MPLS Label 抽取出來，並根據其所屬的 VPN 來作正確的轉送行動來將其送至 VPN 網路上。



圖十、BGP/MPLS VPN 網路架構圖(來源：Juniper Network White Paper)

圖十即為一個 BGP/MPLS 網路的配置示意圖，在此圖中服務提供者的 BGP/MPLS VPN 網路是由 Juniper 公司所提供的 M 系列路由器所互相連結組成的，其

中邊緣端路由器是由 M10 路由器來實作，核心端的路由器則由 M20、M40 及 M160 路由器所構成的。兩個 VPN—RedVPN 及 BlueVPN 的 CE 路由器則是直接接上 M10 的 PE 路由器 在這裡執行 BGP/MPLS VPN協定的就是 Provider Network 上的路由器了，至於 CE 與 PE 間則是執行 BGP OSPF 或 RIP 來交換路由資訊，每個 M10 的 PE 路由器都會有完全分離的 VRF 來對應到不同的 VPN。

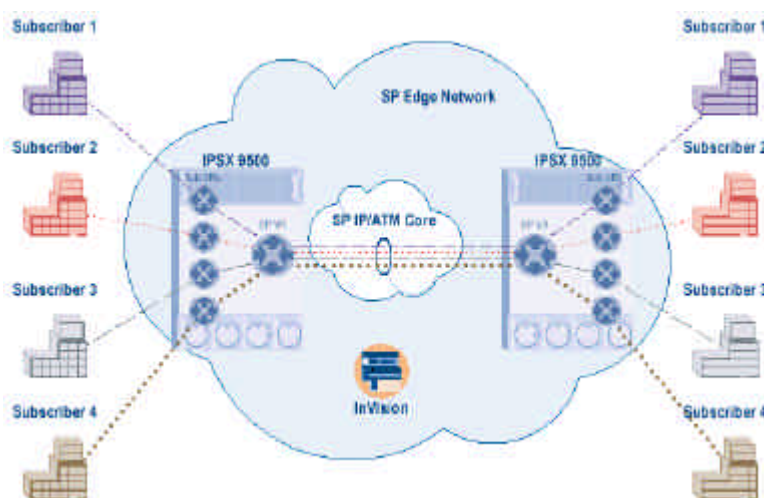


圖十一、 BGP/MPLS VPN 網路詳細架構圖(來源:Juniper Network White Paper)

圖十一是另一個擁有兩個 VPN 的例子，在這個個案上我們可以看出藍色及綠色 VPN 在 PE 的路由器上分別有其相對的 VRF。

對於 VR-Based VPN 來說，MPLS 提供的是 Traffic Engineering 及 QoS 服務於 IP 主幹網路上的轉換(Mapping)能力，在此基礎上形成一個虛擬的網路拓樸，很多的 IP-VPN 及階層式的增值服務就是由這個方式所提供的。VR 加上由 MPLS 所構成的虛擬網路就組成了客戶所要的 VPN 網路。在這裡 MPLS 所提供的鏈路相當於是將各個 VR 連結起來隧道(Tunnel)。

圖十二是一個使用 IP Cosine 所提供之 IPSX 9500 邊緣路由器之 VR 功能所提供的 VPN 架構圖，在這裡客戶所面對的是一個 VR，客戶可以根據其網路規劃來決定此 VR 路由器上要使用的是靜態路由、RIP、OSPF 或是 BGP，這個路由器等於是客戶專屬的路由器，此 VR 的基本設定功能也可以開放給客戶的網管系統來作基本的設定。

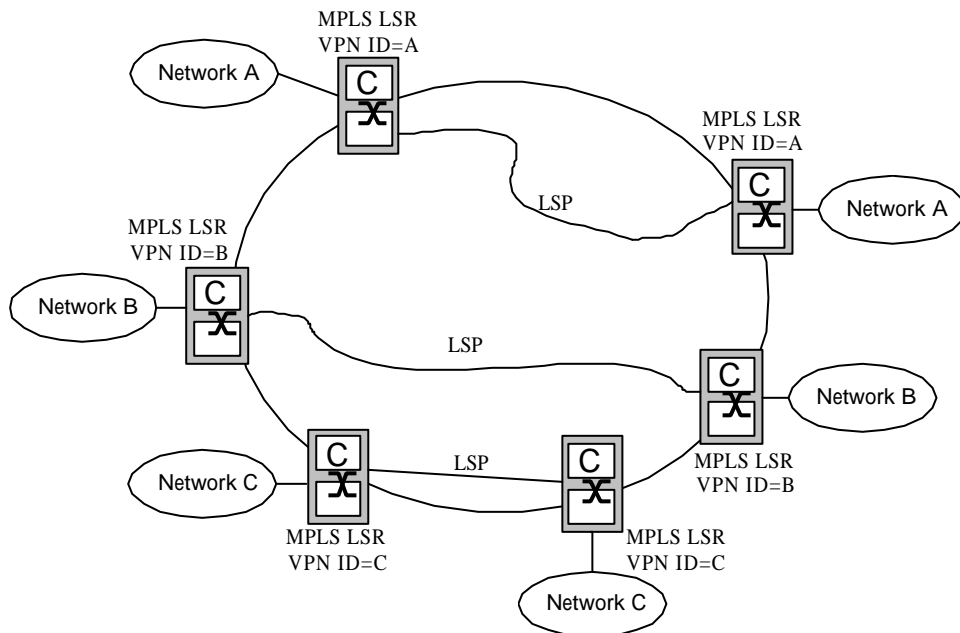


圖十二、VR-Based VPN 網路架構圖(來源：IP Cosine Network White Paper)

從服務提供者的觀點來看這個網路，服務提供者在連接到客戶的邊緣處使用有提供 VR 功能的邊緣路由器，每一部邊緣路由器可以提供的 VR 數與其控制部分的處理能力有關，從參展廠商所提供出來的設備來看，服務提供者可以根據其所要提供用戶數的多寡來選擇不同廠家的此類產品以滿足其需求。使用此種 VR 技術所提供的 VPN 技術與上面所提 BGP/MPLS VPN 不同的是它將 VPN 功能的提供與 MPLS 網路分開來，MPLS 只是提供連結 VR 間的 Tunnel 鏈結，所以此種 VPN 技術也可以在其他網路上來使用(如 ATM/Frame Relay/IPSec 等)，但其缺點就是當 VPN 變得很大時要管理的 Tunnel 就會變得很多，而且對 VPN 網路的管理及下層網路的管理是分離開來的。

所以虛擬私有網路基本上來說是一個架構在公眾網路設備上的一個邏輯上的網路，利用 IP 網路來提供虛擬私有網路網路的傳送已經變的漸漸普及了。所有同一虛擬私有網路成員之間的相互連結是由一組專屬的通道(Tunnel)來達成的，如果是在 IP 的層面上來提供虛擬私有網路的功能，那麼在 IP 網路上這些虛擬私有網路內部的封包是利用可以被 IP 路由器繞送的 IP 封包封裝起來，直接以 IP 封包的格式就可以達成虛擬私有網路的功能。

另一方面來說，MPLS 也可以將任一的網路層實體(entity)與 LSP 相結合起來傳送屬於虛擬私有網路的封包，這種方式是直接使用到 Label 來提供虛擬私有網路的功能，我們利用 VPN ID 來辨識屬於不同虛擬私有網路的成員及其所屬封包。圖十三顯示的 MPLS 對虛擬私有網路的支援方式，不管它是 BGP/MPLS 或 VR-Based VPN 都是如此的。



圖十三、MPLS 對虛擬私有網路提供的方式。

4-5、MPLS/GMPLS 都會型區域網路

GMPLS 配合光纖 DWDM 網路在電信骨幹網路上的發展，由上面的描述，可以看出它們已經對原有長途電信傳輸網路的維運管理及服務提供方式帶來了革命性的改變，從原來以提供與音訊務為主的骨幹網路演進為可以提供各種寬頻及快速、多樣性的電信服務，成為一個有超巨大且調度靈活的傳輸幹線網路。

在這次的研討會上，除了 GMPLS 在骨幹網路的發展之外，尚看到了另一個趨勢，那就是 GMPLS 與城市區域光網路結合已經開始出現了，我看到了一家華人在紐澤西開設的 Ocular Network 公司，它們的產品在這次的展覽會場有展示，其 CTO 也在會長上報告其技術上的想法與 GMPLS 在城市區域光網路應用上的看法。

所以當光網路的應用開始普及之後，會往都會區與用戶的方向發展就成為下一個趨勢，而這個趨勢也是 TL 的 IA 研究室再發展新產品時在 CPN 上所可以考量的方向，目前 GMPLS 已經開始影響到都會型區域網路的架構了。

因為城市區域光網路在屬性上與骨幹的光網路是有所區別的，所以 GMPLS 的城市區域光網路會具有下面這些的特色：

1. 提供服務時在光區域上的透通性：城市區域光網路屬於全光網路傳輸的一環，由於其所連結的客戶端設備上的傳輸技術五花八門，所以必須要滿足透通性要求，才能夠讓 SDH、Gigabit Ethernet、ATM、IP 及 Frame Relay 均可在此網路上直接傳輸。
2. 動態提供服務的能力：城市區域光網路由於是與客戶相連接，所以必須有能力從通過的所有波長中，選擇性的將客戶的訊務由特定的通道塞入或取出。同時還可以透過 GMPLS 的控制介面變更其設定，如果有發生鏈結故障或路徑故障時，還必須能夠做到保護切換(switch over)或快速繞路(fast reroute)的功能。
3. 可以大量擴充的能力：由於城市區域光網路訊務量是一個成長最快速的區域，因此其設備必須能提供擴充介面卡或光纖內部的波長數的功能，以增加光設備的使用年限，並與市場需求同步。
4. 提供細緻的客戶頻寬需求能力：目前網路環境下的頻寬需求，只能波長或 SONET/SDH 或 DS3/DS1 等的頻寬需求為級距來提供客戶的頻寬需求，彈性不夠大。城市區域光網路希望能夠提供由客戶提出頻寬要求的頻寬數值的服務。
5. 完善的網路管理及控制功能：城市區域光網路設備必須要提供 in band 或 out of band 的網路管理及控制功能，以提供網路管理人員直接由網管控制中心遠端操控整個網路的能力。
6. 光監控功能：透過光區域監控的功能，網路管理人員或網管軟體可以即時知道網路的狀況，以確保城市區域光網路的正常運作。

GMPLS/DWDM 技術可以解決都會區網路頻寬迅速增加的問題，但因都會區網路的設備安裝數量遠大於骨幹網路，所以其價格將是一個重大因素。除此之

外，建置都會區 DWDM 網路的價格因素，尚需包含安裝成本及維護成本，但這些成本的總價格需低於骨幹的 DWDM 系統。

5、心得與建議

首先，非常的感謝 IA 研究室的吳吉原主任及中華電信研究所，讓我有這個機會在從事 MPLS 產品發展兩年多之後，有機會到國外去聽制訂這些標準技術的原作者們提及 MPLS/GMPLS 發展的種種，並學習到這方面最新技術及產品上的發展。

MPLS/GMPLS 技術在原有的網路發展上來說，是解決網際網路訊務不斷成長時的一個解決方案。但由於 IP 訊務不斷的增加，再加上管制型 IP 網路觀念的出現，讓 IP 網路從原本只是提供 Best Effort 服務，可以說沒有什麼服務品質的網路，加入各式各樣從原有電信網路所具有提供高品質、穩定性、可靠性與彈性的機制，目前它已經發展成為能夠提供多元服務的一個整合性網路 (Multi-service integrated network) 技術了。多年前由 ATM 所代表的寬頻整體服務數位網路的理想，現今由於市場接受度的關係，已經由此 MPLS/GMPLS 所架構出來的寬頻網際網路來達成。隨著光網路技術的不斷進步，再加上 MPLS/GMPLS 技術在規範與實際應用上的成熟，未來幾年 MPLS/GMPLS 技術在整個電信網路的滲透層面將更加的廣泛。

MPLS/GMPLS 所帶給當今電信網路的發展，除了技術面上的訊息之外，在市場面上的訊息才是我們這個目前面臨著國內幾個新固網公司強烈競爭所應該注意的。它的主要特色有下面這幾項：

1. 它擁有動態提供服務的功能 指能在最短時間內提供服務給客戶。

2. 可對網路資產做最有效率的使用。
3. 將提供服務的責任交由網路客服中心以分擔網管的責任。
4. 加入新型態的加值服務與光網路服務品質。
5. 各式各樣保護與切換機制的選擇。
6. 提供不同廠家、不同區域及不同服務提供者間設備互運的能力。
7. 最重要的是 MPLS/GMPLS 代表了新的網路架構，此架構提供了明確的網未來網路發展的架構。

這些特性是當前國際上一些競爭非常大的電信市場上的服務提供者在提供服務給客戶時所要求具備的功能，網路設備供應商在製造其設備時，就是根據這些為前提來設計其設備。所以以 MPLS/GMPLS 為技術所建造起來的網路，應可以在目前的市場上，給予服務提供者及客戶最大的服務選擇彈性。

舉一個實際的例子。記得今年的 11 月中，本公司一條南北的光纖幹線在苗栗被挖斷，結果造成南北間的網路大段訊達 6 到 7 個小時，我在猜想這應該一個仍然用傳統方式所設計的光網路，如果使用 MPLS Traffic Engineering 的保護與切換機制，最遲幾分鐘之內也應該就可以切換到備用路由或是新路由上了。這是 MPLS/GMPLS 所可以提供的快速保護與切換功能之一。

以現有技術來說，MPLS/GMPLS 所提供的是一個(1)能夠充份使用網路資源的技術；(2)能夠給服務提供者網路帶來最大彈性以提供各式各樣服務(如 VPN/QoS/Traffic Engineering 等)；(3)最有效整合光網路技術，以提供未來網路訊務的成長空間。所以它應該是一個最適合當前這個充滿競爭環境下的技術，對中華電信來說，花費時間與精力投入這一方面的網路維運與應用發展，充分掌握其技術，應該是值得投入的方向。

這次出國，剛好是在美國 911 陰影下的一個月後到美國華府開會的，臨行前老實說是帶著家人及身旁同伴的諸多祝福，懷著些許不安的心情搭機到美國的，甚至美國對阿富汗的進攻都是我還在華府期間發生的。在美國期間，除了機場上感受到的那種草木皆兵的緊張氣氛及華府夜半的警車鳴笛聲外，一切都尚稱順利。十月的美國秋景令人陶醉，但其早晚的寒冷卻也是令人難以消受，這一趟的美國取經 MPLS/GMPLS 畢竟其發源地是在美國，技術最進步的地方也是在美國

除了見識到美國 911 後臨危不亂的步調之外，也認真的學習到了這個電信與網路領域上最新的技術 MPLS/GMPLS。