

## 標籤交換網路下具有服務品質路由安排之研究

### Study of QoS Path Arrangement in MPLS Networks

黃建欽 陳彥文

國立中央大學通訊工程研究所

[ywchen@ee.ncu.edu.tw](mailto:ywchen@ee.ncu.edu.tw)

Jian-Chin Huang, Yen-Wen Chen

Dept. of Communication Engineering

National Central University

ywchen@ee.ncu.edu.tw

#### 摘要

網際網路標準制定組織(Internet Engineering Task Force, IETF)所提出的多重協定標籤交換技術(Multi-protocol Label Switching, MPLS)整合各種 IP 交換技術的優點,引入標籤(Label)的觀念,來提升整體網路的運作效率,加上其明確路由安排機制可使整體網路資源利用達理想化,並可提供較佳的服務品質(QoS)支援。本論文的主要研究重點在探討 MPLS 網路的標籤交換路徑的安排(LSP Assignment),並考量不同服務等級路徑特性,將資源作有效的分配,以期達到不同連線服務之需求。LSP 路由演算法於本論文中列舉 Best-fit Shortest Path Algorithm (BSP)以及 Worst-shortest Path Algorithm (WSP)兩種演算法,並針對不同等級的服務分別來做路徑選擇模擬之比較。經由考慮優先權安排 LSP,希望可以達到服務品質之保障。而為讓網路中的鏈結(Link)頻寬的分配更具效率,在論文中亦提出伸縮限制頻寬(Elastic Constrained Bandwidth)的配置方式,由模擬結果得知,此配置方式可有效紓解高優先權路徑過於集中之缺點。

關鍵詞：標籤交換、選徑、服務品質保證

#### Abstract

Internet Engineering Task Force (IETF) has proposed the Multi-Protocol Label Switch (MPLS) to integrate various IP technologies. By using the label concept, MPLS provides the explicit routing mechanism to increase the overall performance and to support a better quality of services (QoS). This paper focuses on the assignment of label switch path (LSP) over MPLS networks. Network resources are effectively allocated for label switch paths according to their different service level requirements. In this paper, the best-fit Shortest Path Algorithm (BSP) and the worst-shortest Path Algorithm (WSP) are proposed for the selection of path routes. And the priority is also considered during the path selection. We also proposed the

elastic constrained bandwidth scheme to disperse the high priority and low priority paths. The simulation results show that the proposed scheme demonstrates a quite good performance for the assignment of label switch paths.

**Keywords:** Label Switch, Routing, Quality of Services

## 一、導論

近幾年，網際網路(Internet)的迅速發展及使用人數的遞增，頻寬不足將是往後網際網路所面臨到的一個重要問題，頻寬的競爭和衝突嚴重危害了整體網路的傳輸效能，突發性資料量往往導致網路上壅塞等問題，造成網路交通量變得緩慢而遲鈍，進而直接衝擊到網路整體的效能。並隨著人們對語音與視訊等高頻寬服務需求的提高，網路品質服務勢必尋求更高更好，來達到符合網路使用者的需求。盡力式服務(Best-effort service)是傳統網際網路架構下提供的最基本傳送服務模式，沒有辦法提供即時性以及頻寬保證，所以對於特殊型態服務則無法提供其完整需求。換句話說，即是無法確切地保證其服務品質(Quality of Service, 簡稱 QoS)[1,12]。由於標籤交換技術的發展，許多優點因素證明其將發展為未來網路技術的主流，尤其以 IETF 著重的多重協定標籤交換技術(Multiprotocol Label Switch, 簡稱 MPLS)，整合了目前各種交換式路由器技術的優點，其結合了非同步傳送模式(Asynchronous Transfer Mode, 簡稱 ATM)快速化、簡單傳輸的優點，以及傳統 IP 的普遍性(ubiquity)、延展性(scalability)及彈性度(flexibility)優點，不僅使路由器變得更快、更便宜，所增進的新功能更容易實現於原有的 IP 路由技術上。MPLS 由於標籤(Label)概念的引入，提昇了網路明確路由(Explicit Route)、負載共享(Load Sharing)、多重路徑(Multipath)等功能的效率，進而加速整個網路運作[3,4,5]。傳統網路以最短路由計算資料傳送路徑，容易造成最短路徑重疊於某些特定的鏈結，導致壅塞情形發生，但在 MPLS 網路中，其明確路由的功能改善了現今網路採最短路由計算所造成的缺點。藉由控制入口點到出口點之間所安排的路徑，達到整體網路資源利用最佳化，並增進網路效能。MPLS 明確路由更可提供網路有較佳的服務品質(QoS)，可依使用者需求安排保留其資源路徑，讓不同需求的使用者能有不同的服務需求。而且依照不同的服務類型的訊務量給定其特定的標籤交換路徑，可保證高優先權服務(如:Guaranteed service)的應用，提供有效的 QoS 以區別傳統網路只能提供盡其所能的運作架構，達到訊務控制與動態資源分配，並保障使用者的服務品質需求[6]。

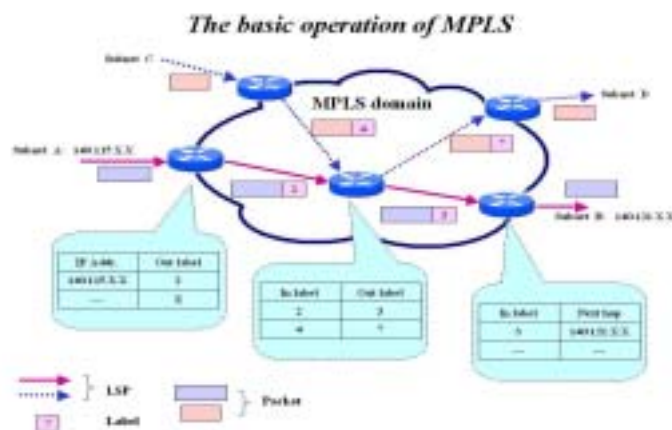
在 MPLS 網路標籤交換路徑的安排是本文主要探討重點，藉由路由演算法的計算安排設定有頻寬保證的 LSP，並考量鏈結共享分配概念，將頻寬區分給不同類型服務，以期達到服務所需。在第二章，將簡單敘述 MPLS 相關的基本觀念，並討論現今服務區分狀況，以及服務品質實現。第三章，將介紹如何安排有服務

品質需求的資料其路由的選擇方式，以及探討利用伸縮限制頻寬等路徑配置方式，並敘述介紹論文模擬架構環境。第四章，分析討論所實驗的結果及數據。並且將在第五章中作一結論，並說明後續研究發展方向。

## 二、 相關研究背景

### 2.1. 多重協定標籤交換技術 (MPLS) 之簡介

多重協定標籤交換技術是最早由 IETF 所提出的一個先進的傳送技術，著重於有關封包傳送以及路徑控制方面的路由[7]。MPLS 將目前各種交換式路由器技術的優點整合，基本概念是引用與 ATM 交換技術類似的標籤的觀念，來提升整體網路的運作效率，可說是一種極具彈性及擴充性的 IP 交換技術。在傳統 IP 網路中，IP 封包的 Layer 3 網路層包含著封包的路由信息，路由器將根據 Layer 3 的信息來獨立完成封包的路由(hop by hop routing)。傳統的 IP Forwarding 中，一般的路由器如果接收兩個封包具有相同的 address prefix，則路由器將認為它們是同屬於一個相同傳送等級(Forwarding Equivalence Class，簡稱 FEC)。FEC 指出同一類封包將會以相同的方式對待傳送。並且在傳統網路中，當封包經過網路每一路由器時，都將有被重新檢查及對應到特定的 FEC 的情況。然而在 MPLS 網路中，封包分配 FEC 只進行一次，映射到 FEC 的封包都被分配有一個固定長度數值的 Label。當數據封包傳送到下一節點或路由器時，這固定長度的 Label 將跟隨著封包一起傳送。因而在頻繁的資料傳送過程中，MPLS 網路中的路由器將不再分析各封包的 Layer 信息，而藉以根據封包上的 Label 來決定下一個傳送的節點。當封包傳送到達下一個節點時，Label 將被新的 Label 所取代，此過程稱為標籤轉換。每一個 MPLS 封包都有一個 32-bit 的標頭(Header)，我們將此標頭稱作 Label。Label 是一個簡短的、固定長度且只具有本地性意義的識別符(Identifier)。因此 Label 沒有紀錄任何在網路層標頭的資訊，換句話說，Label 不紀錄網路層的 Source/Destination addresses，它只用來識別相對傳送等級，然後各路由器之間根據此 FEC 建立其所對應的轉送路徑，如此即可讓 MPLS 網路每一節點簡易地藉由查詢 Label，得知封包其下一傳送節點(Next Hop)的資訊。Label 資訊將告知路徑上每個路由器與交換器，不用再耗費多餘時間在進行查詢路徑的動作，節省網路運算資源。



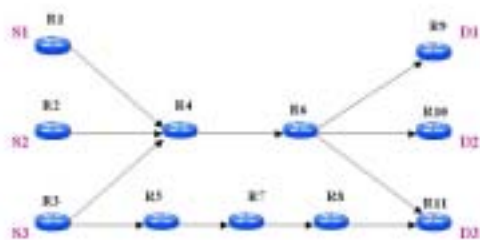
圖一中，所有支援 MPLS 技術的路由器都稱作為標籤交換路由器(Label Switching Router，簡稱 LSR)，LSR 主要負責檢測 Label 並且查詢其 LSR 本身的 forwarding table，然後再進行 Label 傳送，以轉換到下一個節點。當 IP 封包進入到 MPLS 網路時，會在入口的 LSR 處進行分類且設定其 Label 作為往後路由的資訊，此時的每個 IP 封包都將被加上 MPLS 的標頭，然後繼續轉送到下一個 LSR。位於 MPLS 網路中間的 LSR 只需檢查進來封包的 Label 以當作 Incoming label 的資訊，緊接著查詢其路徑表，並決定 Outgoing label 來置換之，進而封包繼續轉換傳送至下一個 LSR。基於這種傳送操作原則，封包的 Label 不停地在於各個 LSR 之間作轉換，此轉換過程類似於 ATM 的 VCI/VPI 欄位轉換的情形。當 IP 封包要離開 MPLS 網路或抵達出口的 LSR(egress LSR)時，其 Label 也將被移除掉。這些由入口的 LSRs 到出口的 LSRs 之間封包所行進的路線，統稱作標籤交換路徑(Label Switching Paths，LSPs)。在 MPLS 網路中，通常使用一些訊號通訊協定，如資源保留協定(Resource Reservation Protocol，RSVP)、以及標籤分佈協定(Label Distribution Protocol，LDP)[8]等，來安排設定標籤交換路徑。

## 2.2. 服務品質保證之探討

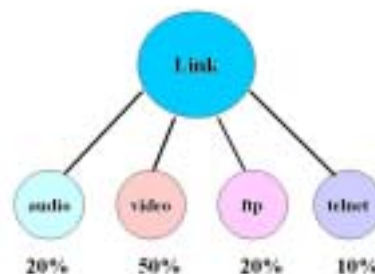
為了達到對網路服務品質的保證，首要條件是網路必須提供一能嚴謹地量測及計算的允入控制(admission control)，在藉由網路節點的監控(policing)、排程(scheduling)機制等，來對資料流進行管理。網路資源的不足或不可預知的突發性資料量，都是導致網路壅塞和促使網路交通量變得緩慢遲鈍的主要原因，而且此影響也將直接衝擊到網路整體的效能。如何有效率的管理整體網路資源及路由，改善壅塞和頻寬衝突的發生，解決問題所在，則是本章節將探討要點。

訊務資料量不平均的分佈在網際網路的原因，大部分是由於現今的動態路由通訊協定所造成的，如: RIP、OSPF 等。因為這些路由通訊協定大多採最短路徑所計算的路由來傳遞資料，所以往往造成某些鏈結將重複被最短路徑所計算而使用，進而造成這些鏈結發生頻寬的爭搶、壅塞的情形。然而，反觀其他較長較遠

的路徑卻因很少被計算使用，而且尚殘餘足夠資源沒有被利用。圖二為一範例說明最短路由計算將造成的影響，假設有(S1, D1)、(S2, D2)、(S3, D3)三組來源端到目的端的資料流其需求頻寬為 1 個單位頻寬，且假設網路所有鏈結都只剩下 1 個單位容量，當(S3, D3)這組資料首先要求時，根據最短路徑計算，必定選擇 R3-R4-R6-R11 這條路徑。而當往後其他兩組(S1, D1)、(S2, D2)資料要求將因壅塞而被拒絕。此例最佳情形是(S3, D3)選擇 R3-R5-R7-R8-R11 這條較長的路徑，避免減少壅塞。



圖二：網路範例



圖三：鏈結共享範例

在文獻[9,10]，亦在研究探討此類問題，並提出相關方法作改善。文獻[9]中，提出“Minimum Interference Routing”的概念，主要利用了 MPLS 網路能明確安排 LSP 的功能，計算安排動態路由來避開或減少使用網路中較關鍵(critical)的鏈結，減少壅塞產生。在本論文中引用其觀念並利用最小切割演算預先計算可能造成壅塞的關鍵鏈結，並於路徑選路時，避免或減少使用之。而文獻[10]，則提出 Load-balancing 演算法，也是探討如何將明確的 LSP 妥善對應到網路資源，以達到網路整體負載平衡，減少壅塞，更增進網路使用情形。

LSP 路由選擇的分配決定了資料傳輸路徑，可確切避免封包傳送集中於某鏈結，所造成的網路壅塞及降低傳輸速度。假如再結合動態資源分配，計算網路容量，妥當分配網路資源，則得以確保端對端服務品質之應用實現。學者 Sally Floyd 於文獻[11]中提出鏈結共享(Link-Sharing)及資源管理機制，主要目的是將鏈結資源頻寬共享分配給多種應用，使得每一種應用需求在網路壅塞時還能獲得其最低鏈結資源的保證，如此鏈結就可以同時分享頻寬給各種不同類型的應用，例如圖三所示一鏈結可分享給 telnet、ftp、audio 和 video。其文章亦提及優先權保障，可以利用一些封包排程演算法來管理，並保障有較高優先權服務的應用。另外，在於文獻[13]中，雖然文章主要討論無線網路環境的資源利用及安排，但此文章最後簡單提到動態資源安排方式可以採優先權制度，如就 IntServ 架構來說，GS 資料流優先等級為最高，CLS 次之，BES 為最低，換句話說，GS 所欲建立的通道(或 LSP)的頻寬需求，則較為其他兩者優先。所以當網路壅塞或頻寬不足情形發生時，我們可考慮將 GS 資料流所欲建立的通道需求視為第一優先，其他如 BES 使用的通道則可能要釋放出其頻寬給 GS 優先使用。假如是 CLS 的

通道建立請求時，CLS 則可優先於 BES 使用，但卻不能影響原本使用中的 GS 服務資料流。根據這樣模式，我們可以保證 Guaranteed service 的應用，及提供有效的服務品質以區別傳統網路 Best-effort 的運作架構，訊務控制與動態資源分配，來確保使用者的服務品質可以獲得保障。

### 三、演算法及模擬架構

#### 3.1. LSP 路由安排演算法

在本章中希望藉由對 MPLS 網路明確 LSP 安排機制的實現，透過適當的路徑配置以改善及增進網路效能。本章節將介紹如何安排有服務品質需求的資料其路由的選擇方式，下面列舉兩項：一、為 Best-fit shortest path algorithm (BSP)，二、為 Worst-shortest path algorithm (WSP)。

##### 3.1.1. Best-fit shortest path algorithm (BSP)

Best-fit shortest path algorithm 乃是由 Dijkstra's shortest path algorithm 演變而來，將最短路徑距離權數考慮成鏈結頻寬權數，來計算安排某一來源端(source)到目的端(destination)之間標籤交換路徑，LSP(s, d)，而此 LSP(s, d)路徑所選擇的路徑，是為欲配置的 LSP 路徑所行經鏈結頻寬剩餘總和為最小者。

##### ● 相關符號定義與註解：

$G(N, L, C)$	圖形 G 具有 N 個節點及 L 個鏈結
N	網路節點數的集合
L	任兩節點間鏈結(Link)的集合
C	網路所有鏈結頻寬權數的集合
s	欲安排 LSP 起點 (來源端)
t	欲安排 LSP 終點 (目的端)
b	欲安排 LSP 所需頻寬權數
S	N 集合中的部分集合
$D_u$	s 點到 u 點的頻寬權數
$d_{uv}$	u 點到 v 點之間鏈結的頻寬權數
$d_{uv}^*$	u 點到 v 點之間鏈結減去 b 後的頻寬權數
$G'$	$G(N, L)$ 所有鏈結減去 b 所形成的網路圖形

- BSP 實行步驟簡述:

Step 1: 網路所有鏈結頻寬減去要配置給此 LSP (s, d)的頻寬 b ; 即  $G'(N, L, C-b)$

Step 2: 在  $G'(N, L, C-b)$ 中, 利用 Dijkstra's algorithm 計算安排一最短路徑給 LSP(s, d) , 此路徑所選擇經過的所有鏈結頻寬剩餘總和為最小者;

Step3 : 更新網路狀態 , 將原 G 減去 LSP (s, d)所分配的頻寬 , 即得網路所剩餘頻寬; 然後回 Step 1 , 安排下一條 LSP。

### BSP Algorithm

```

algorithm Best_Path(s, G, D, b)
  /*Initialize*/
  for each node u ∈ N
     $D_u := \infty; d_{uv}^* = d_{uv} - b;$ 
  end for
  S := {s}; D_s := 0;
  while S is not empty
    u ∈ S;
    for each v ∈ N - S do
      if each  $D_v > D_u + d_{uv}^*;$ 
        then  $D_v := D_u + d_{uv}^*$ 
      end if
    end for
  end while
end algorithm

```

#### 3.1.2. Worst-shortest path algorithm (WSP)

Worst-shortest path algorithm 所計算路由方式和 Best-fit shortest path algorithm 相似, 兩者最大差異在於前者所選 LSP 路徑其各 Link 所剩餘資源為較多者, 後者反之。

- 相關符號定義與註解:

$D_u^{hop}$       s 點到 u 點的頻寬權數

hop          為 s 點到 u 點所經的 hop 數

$d_{uv}$         u 點到 v 點之間鏈結的頻寬權數

$d_{uv}^{\#}$         u 點到 v 點之間鏈結減去 b 後的頻寬權數



- WSP 實行步驟簡述:

Step1: 網路所有 Links 頻寬減去要配置給(s, d)的頻寬 b; 即  $G'(N, L, C-b)$ 。

Step2: 在  $G'(N, L, C-b)$ 中,計算安排一行經 hop 數為最少的路徑給 LSP(s, d), 此路徑所選擇經過的所有鏈結頻寬總和, 在其他相同 hop 數的路徑當中, 其頻寬剩餘總和值為最大者。

Step3: 更新網路狀態, 將原 G 減去 LSP (s, d)所分配的頻寬, 即得網路所剩餘頻寬; 然後回 Step 1, 安排下一條 LSP。

### WSP Algorithm

```

algorithm Worst_shortest(s, G, D, b, hop)
  /*Initialize*/
  for each node  $u \in N$ 
     $D_u^0 := \infty$ ;  $d_u^0 = d_u - b$ ;
  end for
   $S := \{s\}$ ;  $D_s^{hop} := 0$ ;
  while S is not empty
     $u \in S$ ;
    for  $hop := 1$  to  $N-1$ 
      for each  $v \in N - S$  do
         $D_v^{hop} = \max(D_u^{hop-1} + d_{uv})$  except  $\infty$ 
      end for
    end for
    find  $L_s^{hop}$  which the minimum value of  $hop$ 
  end while
end algorithm

```

### 3.1.3 BSP 與 WSP 之探討

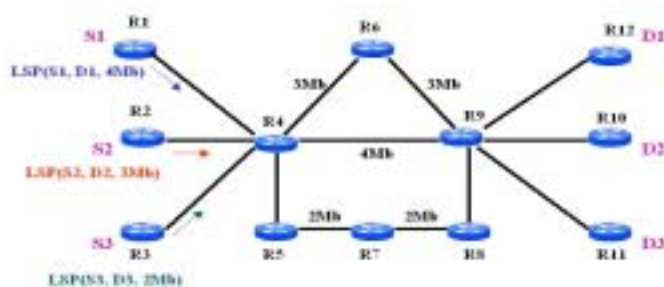
傳統網路因最短路由所造成壅塞的問題, 是由於其資料在作路徑選擇時, 沒有考慮到網路當時資源狀況來分配路徑, 前面列舉 BSP 和 WSP 則將考慮網路各鏈結頻寬來作路徑選擇。BSP 演算法所選擇 LSP 是所有鏈結剩餘頻寬和為最小者, 此意思是說由利用 BSP 演算法所選擇的路徑將會是最接近其頻寬需求的 LSP。主要採此方式的原因是考慮保留較大的剩餘頻寬給未來需求頻寬較大的 LSP 使用。例如 Figure 4 的網路拓撲有三條 LSP(S1, D1, 4Mb)、LSP(S2, D2, 3Mb) 以及 LSP(S3, D3, 2Mb)需建立。假如三條 LSP 建立需求順序為 LSP(S3, D3, 2Mb)→LSP(S2, D2, 3Mb)→LSP(S1, D1, 4Mb), 以最短路徑選擇的話, S3 到 D3 將先選 R3-R4-R9-R11、S2 到 D2 將選 R2-R4-R6-R9-R10、S1 到 D1 將被拒絕。但假如採 BSP 方式選路 S3 到 D3 將選擇更其頻寬需求最接近的 R3-R4-R5-R7-R8-R9-R11(2Mb)、S2 到 D2 選 R2-R4-R6-R9-R10(3Mb)、S1 到 D1 選 R1-R4-R9-R12(4Mb)。在這種情形下, 採 BSP 演算法選擇路徑可達較佳狀況。



但是 BSP 缺點是由於是選擇最接近其頻寬需求的路徑，所以沒有考慮到鏈結資源消耗的問題，如圖四，LSP(S3, D3, 2Mb)所選的路徑將行經過六個鏈結，然而其需求頻寬應用為 2Mb，便使用了整體網路 12Mb 的頻寬。

WSP 演算法選路原則是計算安排行經 hop 數為最少且所經鏈結頻寬剩餘總和值為最大的路徑。WSP 選擇路徑的考量因素是為了企圖達到網路負載平衡，也就是說，WSP 選擇路徑方式主要希望將網路資料流盡量分佈於網路之中，其採“行經 hop 數為最少”的原因是考慮鏈結資源消耗的問題。但是其缺點為可能造成往後較大頻寬容量需求的 LSP 無法配置情形發生。同樣以 Figure 4 為例，三條 LSP 建立需求順序為 LSP(S3, D3, 2Mb)→LSP(S2, D2, 3Mb)→LSP(S1, D1, 4Mb)，採 WSP 方式選路卻可能發生跟最短路由方式相同的情形，S3 到 D3 將先選 R3-R4-R9-R11、S2 到 D2 將選 R2-R4-R6-R9-R10、而 S1 到 D1 將被拒絕。

由於 BSP 和 WSP 演算法，各有其所考量因素及其缺點，故本論文將其分別應用於不同服務資料流當中，實驗兩者使用在 LSP 路由安排機制上情形，並將在往後章節作一探討其模擬結果。



圖四：網路頻寬安排範例

### 3.2. 伸縮限制頻寬之方法

為了讓網路中鏈結頻寬得以有效率地分配，本章節提出伸縮限制頻寬 (Elastic Constrained Bandwidth, ECB) 的配置方式。此配置方式的主要目的是為避免或紓解高優先權路徑，因過於集中某些鏈結，而造成這些鏈結無法彈性利用，及促使其他低優先權資料的需求，可能因此無法傳送而需等待。在伸縮限制頻寬之配置方式中，本研究中訂定一彈性參數  $E_f$  來作為調節高優先權及低優先權路

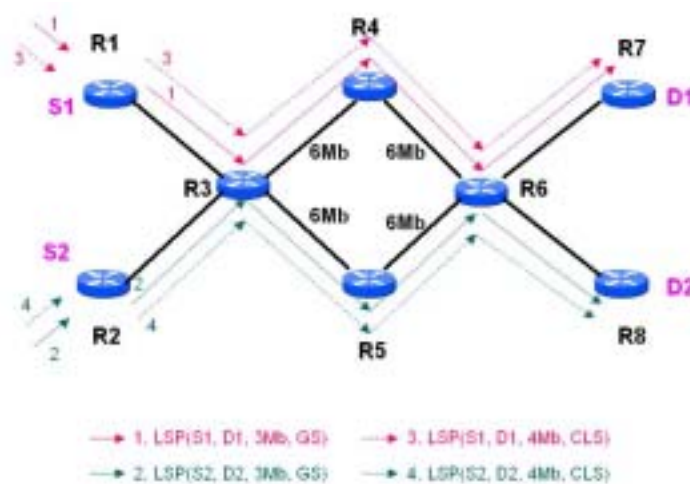
徑在使用鏈結時之使用率。我們將  $E_f$  的大小設定為介於 0~1 之間。當網路高優

先權資料在作路徑安排動作時，網路鏈結頻寬將根據彈性限制參數 ( $E_f$ ) 而受到某

程度的使用限制，致使高優先權路徑得以選擇其他鏈結，避免集中情形產生。對

低優先權類型服務，則考量其訊務特性，讓低優先權類型資料可有彈性彌補網路

安排的 LSP 的頻寬過多於實際傳送資料量使用的頻寬時，而造成的資源浪費，而大膽地將鏈結頻寬多分配比率給低優先權類型使用，以尋求改善。如採用伸縮限制頻寬方式來分配路徑，假設  $E_f$  值為 0.25，則表示在高優先權資料使用鏈結頻寬時，將保留總鏈結頻寬的 25%，作彈性調整。而低優先權資料使用鏈結頻寬時，將有以多於鏈結頻寬 25% 的頻寬，來作其彈性調整。例如圖五所示，假設(S1, D1)、(S2, D2)之間，各有兩不同服務類型資料(GS 及 CLS)需要傳送，傳送順序為高優先權資料(GS)優先，GS 類型所需頻寬為 3Mb、CLS 類型為 4Mb。假設所欲配置的 LSP(S1, D1, 3Mb, GS)經由 R1-R3-R4-R6-R7 路徑傳送時，根據伸縮限制頻寬方式選路的話，R3-R4-R6 路段將只剩餘 1.5Mb( $6 \times 0.25 - 3 = 1.5$ )的頻寬來提供 GS 類型資料流。所以另一 LSP(S2, D2, 3Mb, GS)則將選擇另一路徑 R2-R3-R5-R6-R8。如此依據伸縮限制頻寬方式選路，可避免其兩條 GS 類型 LSP 同時行經相同路段(R3-R4-R6)且佔盡其所有資源。然而，在 CLS 類型 LSP 安排上，雖然鏈結頻寬無法達到其所需頻寬，但根據彈性參數作其鏈結的彈性調整，即整條鏈結將可分配 7.5Mb ( $6 + 6 \times 0.25 = 7.5$ )頻寬，故兩 CLS 類型 LSP 將亦可以得到路徑分配。由此方式將兩高優先權資料流路徑分開，保留鏈結資源，對於將來使用亦可簡易調整或增大其所需頻寬，而減去作重新選路計算的動作。對於超額分配給低優先權服務的方式，則是主要考量網路整體資源能夠達到充分利用。對於伸縮彈性參數大小的選擇，將是未來研究所需探討的部分，在本文尚未深入研討。

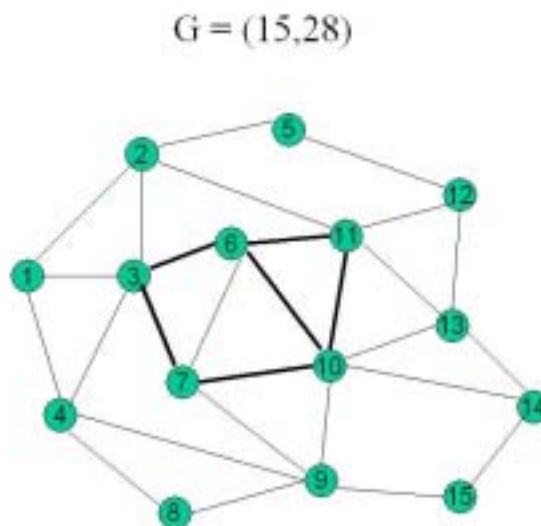


圖五：彈性頻寬配置

### 3.3. 模擬架構

本章節主要介紹論文模擬架構環境，以及一些假設和參數定義，圖六是本模擬假設的網路拓撲，參考自於文獻[9]，在模擬中的部分假設亦參考自此文獻[9]。圖六中的十五個節點皆可視為資料入口點(ingress node)或出口點(egress

node), 鏈結部分的粗線代表此鏈結為 45 個單位容量(頻寬), 細線代表此鏈結為 12 個單位容量。本模擬主要研究探討在於不同服務類型資料傳送時, 其標籤交換路徑的安排與選擇, 考慮逐一安排資料量所需的通道路徑及作其頻寬保留保證, 我們考量每一條標籤交換路徑(LSP)定義含有四個參數,  $LSP_i(s_i, t_i, b_i, type_i)$ 。且每一條 LSP 所需求的頻寬權數介於一到三個單位容量之間, 服務型態類別主要概分兩種: Guaranteed service (GS) 和 Controlled-Load service (CLS)。



圖六：模擬網路拓樸[9]

探討一網路依照不同服務類型資料逐一分配安排有頻寬保證的標籤交換路徑, 不同服務類型資料考慮 GS 及 CLS 兩種, 並分別依照前面文章所敘述的兩種 LSP 路由安排演算法(BSP 及 WSP)來作路由選擇的安排。在方案一中, 隨機產生一連串 LSP 路由安排的建立需求, 分別以 25 條、50 條、75 條、100 條、125 條、150 條、200 條、以及 250 條 LSPs 數目的需求, 來安排於  $G(15, 28)$  的模擬網路之中, 考慮 Form 1 中四種情形, 比較 GS 及 CLS 兩種服務等級所連線建立情況, 以及觀測網路鏈結使用情況。方案二則標籤交換路徑安排方式採優先權制度, GS 資料有較高優先等級, CLS 則次之。方案三則將方案一採伸縮限制頻寬方式, 並假設彈性參數為 0.25, 即對 GS 將給於其一頻寬分配限制(故 GS 在本模擬分配上限為 75% 的鏈結頻寬), 而在 CLS 特性中, 因其資源保證的需求較次於 GS, 但於此模擬中卻以多出鏈結頻寬 25% 來安排路徑, 是設想希望能彌補 GS 所安排的 LSP 的頻寬過多於實際傳送資料量使用的頻寬時, 所造成的資源浪費。方案四將考量方案二採用伸縮限制頻寬的方法。然後在方案五中, 我們將試驗二十組隨機取得標籤交換路徑安排需求, 其 LSP 數目為 100 條, 並平均計算在  $G(15, 28)$  網路中, 所能安排各服務類型標籤交換路徑的數目及總數。分別依方案一、方案二、方案三、及方案四來計算各個方案 LSP 數目為 100 條時, 平均所能安排 LSP

情形。

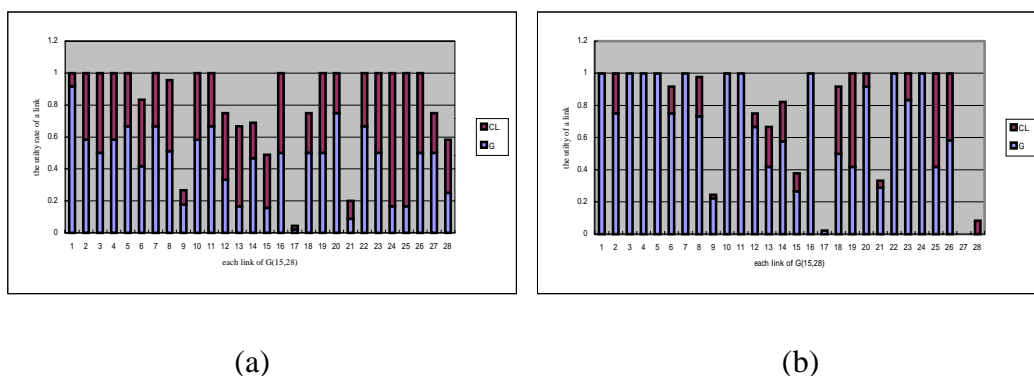
#### 四、 模擬結果與討論

首先，我們定義一參數  $\beta\_utility$ ，表示為某一服務型態資料流平均在每一鏈結的使用率，如下方程式表示，其中：在網路鏈結集合  $L$  中， $C_i$  表示第  $i$  條鏈結的總容量， $F_i$  則表示第  $i$  條鏈結上所分配使用的流量大小。

$$\beta\_utility = \frac{1}{L} \sum_{i \in L} \frac{F_i}{C_i} \quad (1)$$

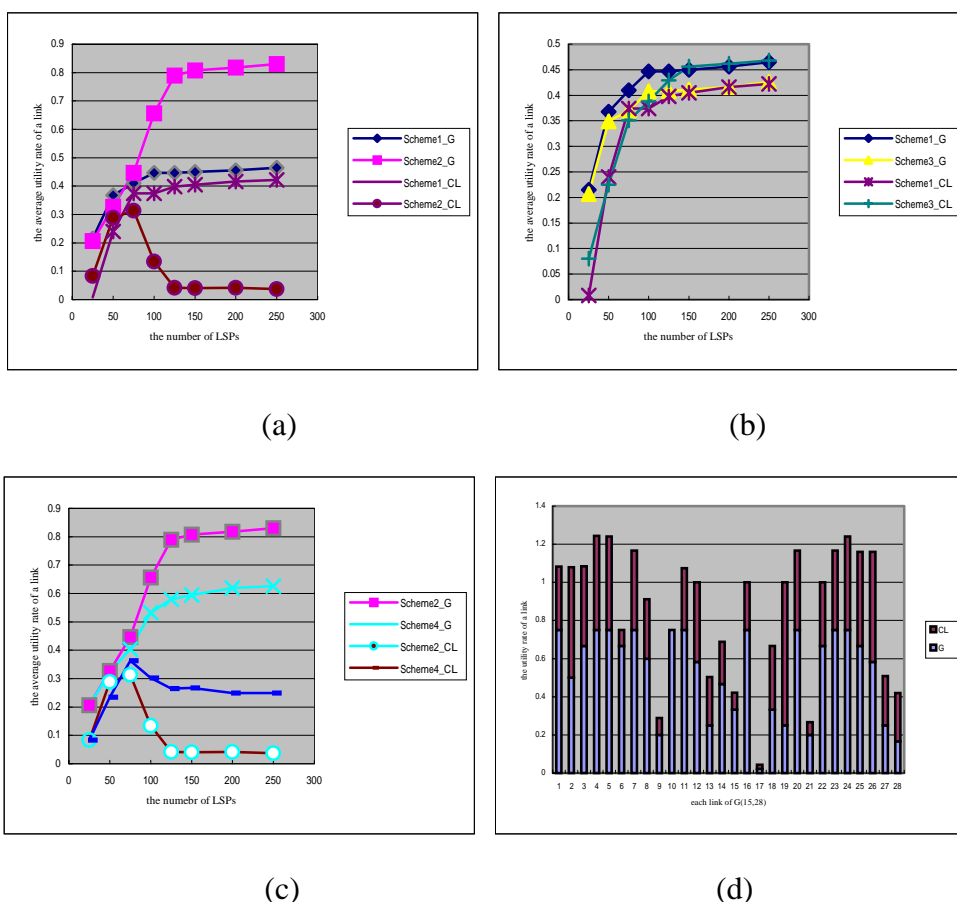
由實驗模擬中四種情形，可明顯看出服務型態以皆採 WSP 演算法計算得到的 LSP 數目，相較於皆採 BSP 演算法得到的 LSP 數為多。由圖七(a)(b)可比較出模擬方案二 GS 類型 LSP 優先安排後將鏈結大部分資源佔用的情形。而圖七(a)為比較方案一與方案二中 Case a 鏈結使用情形，都可看出 GS 類型的鏈結使用情形在方案二較高，而 CLS 類型則相反之。

考慮鏈結頻寬分配機制，為了怕模擬方案二的結果所形成的整個鏈結資源可能被某服務類型資料所佔用耗盡，導致其他服務無法傳送，所以在此對於 GS 資料的鏈結頻寬分配加以限制，且為讓 CLS 類型資料可有彈性地彌補因為網路安排的 LSP 的頻寬過多於實際傳送資料量使用的頻寬時，而造成的資源浪費，而大膽地將頻寬多分配給 CLS 類型，以期改善。方案三及方案四考慮伸縮限制頻寬之配置方式，此實驗的彈性參數定為 0.25，所以圖八(b)(c) 顯示兩方案對 GS 類型的鏈結使用情形因採伸縮限制頻寬方式而限制了其使用頻寬比率。GS 類型的 LSP 雖然優先安排，但由於使用伸縮限制頻寬之配置方式，彈性參數為 0.25 的情形下，可得到 GS 類型在每一鏈結頻寬最多使用到 75%，所以圖八(d)中，可得到 GS 在鏈結使用率最多只有到 0.75，而得以避免方案二的 GS 類型資料將鏈結全部佔用情形發生。



圖七: (a)模擬方案一(Case a)網路各鏈結使用情形(LSP=100)

(b)模擬方案二(Case a)網路各鏈結使用情形(LSP=100)



圖八： (a) 方案一與方案二 Case a 之鏈結使用率比較  
 (b) 方案一與方案三 Case a 之鏈結使用率比較  
 (c) 方案二與方案四 Case a 之鏈結使用率比較  
 (d) 模擬方案四(a)網路各鏈結使用情形(LSP=100)

方案五主要為計算模擬網路實際能提供安排的 LSP 數目，換句話說，由理論上計算出來的 LSP 數目，將會是本模擬結果的一個上限值，以下為其作一簡單定義，其中 H 為每條 LSP 平均經過的 hop 數、B 為平均每條 LSP 使用的頻寬、N 為可安排 LSP 數目、而 T 為網路所有鏈結頻寬(容量)總和。

$$N \leq \frac{T}{H \times B} \tag{2}$$

由(4.2)式，即可計算網路拓撲 G(15, 28)其所可以提供安排的 LSP 數目，網路 G(15, 28)的所有鏈結頻寬(容量)總和值為 534 (12× 22+6 ×45)。故可以製作表一(a)，表中最後一行是計算實際 100 條 LSP 安排要求的需求頻寬平均值，其 B 值為 1.9 個單位容量。表一(a)的意義表示在 G(15, 28)網路中，其 H 值、B 值以及 N 值的關係。假如平均每條 LSP 所行經的 hop 數為 4(即 H=4)，而平均每條 LSP 使用的頻寬為 1.5 單位(B = 1.5)，則 G(15,28)整個網路即可預測分配 89 條 LSP。而 B=2 時，則有 66 條。而 B=1.9(實際)，則有 70.2 條。表一(b)為模擬方



案五的結果數值，分別針對四種方案(Scheme 1~4)，採上述四種情形來配置 LSP 的數目。在平均計算二十次 LSP 數目為 100 條下，所得到 LSP 總連接數目最多的情況都是發生在各個方案的 Case a，即可從模擬結果可看出當皆使用 WSP 演算法選路時，比其他情形有更高的路徑成功配置比率，而且若其 hop 數低於 4 的情形下，WSP 演算法的成功配置比率將趨近於理想值。

	B = 1.5	B = 2	B = 1.9 (實際 100 條)	模擬方案一									
				Case a	Case b	Case c	Case d	Case e	Case f	Case g	Case h		
H = 2	178	133.5	140.5	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25
H = 3	118.7	89	93.7	60.9	60.9	60.9	60.9	60.9	60.9	60.9	60.9	60.9	60.9
H = 4	89	66.75	70.2	59.25	59.25	59.25	59.25	59.25	59.25	59.25	59.25	59.25	59.25
H = 5	71.2	53.4	56.2	59.4	59.4	59.4	59.4	59.4	59.4	59.4	59.4	59.4	59.4

(a)

(b)

表一 (a) 考慮 G(15, 28) 所能提供安排的 LSP 數目之比較

(b) 模擬方案五模擬結果數據

## 五、 結論與未來研究

本論文實現的重點在於在 MPLS 網路標籤交換路徑的安排機制，藉由 MPLS 明確路由安排，管理控制網路入口處至出口處之間路徑資源，以期網路資源利用最佳化，並考量資料服務品質需求，配置有頻寬保證的路由，將頻寬妥當分配給不同類型服務，以期達到各服務所需之目的。傳統網路的最短路由計算衍生出部分路徑壅塞情形，和網路資源利用的不完全，故於論文中提及考量網路整體資源狀況來分配路徑的 LSP 路由演算法(BSP、WSP)，其路徑的選擇乃考慮所經路徑頻寬來配置，在實驗模擬結果中，尤以 WSP 演算法計算所得的結果為佳，WSP 選路計算促使資料流得以較平均分散的方式來使用網路整體資源，故 WSP 促成網路壅塞的情況發生較少。我們考慮不同服務類型資料的優先次序，來做路徑選擇安排之比較，並從模擬中，可得以保障高等級服務應用的實現，且實驗當中加入伸縮限制頻寬的配置方式，不僅可以提供大部分高優先權服務的應用，而且對於其他低優先權服務亦可以獲得實現，且同時能夠保障或達到使用者所要求服務的最低需求，換句話說，在高優先等級服務得以保障的同時，亦希望較低優先等級服務能得到其所需求的最低保障頻寬。關於網路最大流量問題，往往造成於某些鏈結或部分網路資源不足而流量無法即時疏通的因素，所以盡可能尋求造成壅塞的區段，並在作 LSP 路徑選擇時，避免減少壅塞區段使用，來提供更多資源

的利用。

在於後續研究發展部分，將可繼續研討彈性參數的大小選擇，而其值應可與訊務排程(Traffic Scheduling)相結合，並考慮在於不同服務時，可以分別訂定”縮”的參數以及”伸”的參數之大小(如:GS 類型壓縮 60% , CLS 則只增加 20%)，並探討其對路徑安排或資料傳送上的影響。在於動態資源分配方面，優先權較高的 GS 資料流可以當網路無法提供其服務時，提出要求較低優先權服務 LSP 釋放出完整或部分頻寬，以確保 GS 服務品質可以獲得保障。或者，當在安排 LSP 時，為考慮鏈結錯誤或路徑錯誤，則加上其備用路由的配置等機制，保護 LSP 路由的中斷錯誤。

### 【謝啟】

本研究承蒙國科會計畫(計畫編號：NSC-91-2219-E-008-003)、教育部卓越計畫(計畫編號：甲-91-H-FA07-1-4)、及交通部委託計畫(編號：MOTC-STAO-92-13)研究經費補助，在此特申謝忱。

### 參考文獻

- [1] Zheng Wang, "Internet QoS: Architectures and Mechanisms for Quality of Service", Morgan Kaufmann Publishers, 2001, ISBN 1-55860-608-4.
- [2] Davie, Bruce, Paul Doolan, and Yakov Rekhter, "Switching in IP Networks: IP Switching, Tag Switching and Related Technologies". San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998, ISBN 1-55860-505-3.
- [3] Bruce Davie, and Yakov Rekhter, "MPLS Technology and Applications", Morgan Kaufmann Publication, 2000, ISBN 1-55860-656-4.
- [4] E. Rosen, et al., " Multiprotocol Label Switching Architecture ", IETF RFC 3031, January 2001.
- [5] 傅昌五,李運欽, " MPLS 技術之研究 A Study on the MPLS Technology " 電信研究雙月刊第 29 卷第 5 期, Oct 1999.
- [6] Xipen Xiao and Lionel M. Ni. , "Internet QoS: the Big Picture". IEEE Network, March/April 1999, pp. 8 –18.
- [7] X. Xiao, A. Hannan, and B. Bailey, Lionel M. Ni, "Traffic Engineering with MPLS in the Internet," IEEE Network, Mar./Apr. 2000, pp.28-33.
- [8] Andersson et al., "LDP Specification", RFC 3036, January 2001.
- [9] Kodialam, M., and Lakshman, T. V., "Minimum Interference Routing with Applications to MPLS Traffic Engineering," In Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (IEEE Infocom 2000), New York, March 2000,pp.2566-2579.
- [10] Keping Long, Zhongshan Zhang, Shiduan Cheng, "Load balancing algorithms in MPLS traffic engineering," Beijing University of Posts and Telecommunications, China. High



- Performance Switching and Routing, 2001 IEEE Workshop on , 2001, pp.175-179.
- [11] S. Floyd, "Link-Sharing and Resource Management Models for Packet Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol.3, No.4, Aug. 1995, pp.356-386.
- [12] Yoram B. , "The Complementary Roles of RSVP and Differentiated Services in the Full-Service QoS Network," IEEE Communication Magazine, Feb. 2000, pp.154-162.
- [13] Bongkyo Moon and Hamid Aghvami, "RSVP Extensions for Real-time Service in Wireless Mobile Networks", IEEE Communication Magazine, vol12, Dec. 2001, pp.52-59.
- [14] M. Stoer and F. Wagner, "A simple mincut algorithm, " Proc. of ESA94, Lecture Notes in Computer Science, 855, pp.141-147, 1994.