

在 MPLS 網路流量工程上具有優先權的動態負載平衡演算法

學生：蒲聰喜

指導教授：魏哲和 教授 李程輝 教授

國立交通大學電機資訊學院 電子與光電學程（研究所）碩士班

摘 要

多重協定標籤交換技術(Multi-Protocol Label Switching, MPLS)除了保留傳統 IP 網路很好的連接性(connectivity),且加速了 IP 封包在路由器中的遞送(forwarding),尤其它具有很強的流量工程(traffic engineering)能力,可提高網路資源利用率(network resource utilization)以及服務品質(QoS)。本論文的主要研究重點在於利用 MPLS 之限制性路由標籤發送協定(Constraint-Based Routed Label Distribution Protocol, CR-LDP)技術,找尋一種演算法,可應用在資料流具有優先權(priority)的情況下,根據資料流的優先權,給予合理、公平的資源分配,並使網路資源有效的被運用。

在我們提出之具有優先權的動態負載平衡演算法(Dynamic Load Balance Algorithm with Priority, DLBP)機制裡,當入口標籤交換路由器(Ingress LSR)收到一個新的資料流(traffic flow)時,我們會替它在 MPLS 網路裡建立一條路徑最短的而且可用頻寬符合需求的標籤交換路徑(LSP),但當網路頻寬不夠時,會盡量重新路由(reroute)其它資料流至合適的路徑,而騰出足夠的可用頻寬給新資料流使用,但若無法利用重新路由其它資料流,而騰出足夠的可用頻寬給新資料流使用時,則可侵佔(preempt)優先權比新資料流低的資料流保留頻寬,但在考慮侵佔對象時,也要使網路資源使用及傳輸品質最佳化。由模擬結果證明 DLBP 演算法確實可使網路資源有效的被運用,並且根據資料流的優先權,給予合理、公平的資源分配。

關鍵字：多重協定標籤交換技術 網路資源利用率 服務品質

Dynamic Load Balance Algorithm with Priority in MPLS Traffic Engineering

student : Tsung-Shi Pu

Advisors : Prof. Che-Ho Wei
Prof. Tsern-Huei Lee

Degree Program of Electrical Engineering Computer Science
National Chiao Tung University

ABSTRACT

MPLS (Multi-Protocol Label Switching) technique not only reserves the high connectivity of traditional IP network, but speeds up IP packet forwarding in a router. Especially, its powerful capability of traffic engineering improves the network resource utilization and Quality of Service. The main key point of this thesis is to use the CR-LDP (Constraint-Based Routed Label Distribution Protocol) technique of MPLS to search for an algorithm, which can fairly distribute resource for a traffic flow according to its priority ,and makes use of the network resource more efficiently .

In the DLBP (Dynamic Load Balance Algorithm with Priority) mechanism we propose, when Ingress LSR receives a new traffic flow, it will select a route whose length is the shortest and Free-capacity is larger than or equal to the bandwidth request of the new traffic flow ,and then along the selected route to create an LSP in the MPLS network for the traffic flow . If the Ingress LSR fails to find such a route ,in our mechanism ,it will do its best to reroute some existing smaller traffic flows to another appropriate routes so as to reserve a high capacity route for the new traffic flow. Once the Ingress LSR still fails to find a sufficient bandwidth for the new traffic flow ,we allow the new traffic flow to preempt the reserved bandwidth of another one with lower priority. When selecting which one will be preempted, we need to consider how it can make the use of network resource and the transportation quality optimized. Our results of simulation prove that DLBP indeed makes network resource used effectively and the transportation quality optimized.

Key words : MPLS , Network Resource Utilization , Quality of Service

誌 謝

對於工作、家庭、學業都需要兼顧的我，能夠完成這篇論文真是百感交集，在就讀研究所這段時間，受到許多人的幫助、鼓勵和體諒。首先要感謝的是我的指導教授魏哲和教授和李程輝教授，尤其是李程輝教授對我用心的指導，提供我許多寶貴的意見，在我不知所措時，指引我最正確的方向。接著，我要感謝的是我的妻子麗華、兒子郁文，謝謝你們全力支持和配合，也要感謝我的同事和親友，在我需要幫忙時，適時地伸出援手。

最後，謹以此論文獻給我最親愛的父母親，希望你們也能感受到這份榮耀。



目錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	vi
圖目錄	.....	vii
一、 緒論	.....	1
1.1 研究動機	.....	1
1.2 研究方向與方法	.....	1
1.3 論文架構介紹	.....	2
二、 多重協定標籤交換式網路相關研究背景	.....	4
2.1 MPLS 概要	.....	4
2.1.1 MPLS 的由來	.....	4
2.1.2 標籤包裝	.....	5
2.1.3 MPLS 基本運作程序	.....	6
2.2 MPLS 技術的基本運作	.....	7
2.3 標籤分散協定	.....	10
2.3.1 LDP 運作流程	.....	10
2.3.2 CR-LDP 運作流程	.....	11
2.3.3 RSVP -TE	.....	13
2.4 MPLS 技術的用途	.....	14
三、 動態負載平衡演算法和其缺失修正	.....	15
3.1 介紹	.....	15
3.2 TSLB 演算法	.....	16
3.2.1 TSLB 演算法的描述	.....	16
3.2.2 TSLB 演算法之模擬和分析	.....	17
3.3 經修正之 DLB 演算法	.....	21
3.3.1 經修正之 DLB 演算法的描述	.....	21
3.3.2 經修正之 DLB 演算法之模擬和分析	.....	23
3.3.3 原作者之 DLB 演算法和我們修正後之 DLB 演算法之比較	.....	26
四、 具有優先權的動態負載平衡演算法	.....	34
4.1 DLBP 演算法的描述	.....	35

4.2	DLBP 演算法之模擬和分析	38
五、	DLBP 演算法與其它演算法之效能比較	60
5.1	網路模擬架構與模擬環境的介紹	60
5.2	DLBP 演算法與 DLB 演算法之模擬與模擬結果比較之分析	60
5.3	強迫式頻寬侵佔演算法	65
5.4	DLBP 演算法與 FMBP 演算法之模擬與模擬結果比較之分析	66
六、	DLBP 演算法和 DLB 演算法複雜度分析之比較	69
6.1	TSLB 演算法的複雜度分析	69
6.2	DLB 演算法的複雜度分析	70
6.3	DLBP 演算法的複雜度分析	72
6.4	結論	74
七、	總結和未來展望	75
參考文獻	.....	76
作者簡介	.....	78



表 目 錄

表 1	DLB 演算法複雜度分析之舉例.....	71
表 2	DLBP 演算法複雜度分析情況一之舉例.....	73
表 3	DLBP 演算法複雜度分析情況二之舉例.....	74
表 4	DLB 演算法及 DLBP 演算法情況（一）和情況（二）的 複雜度分析.....	74



圖 目 錄

圖 1 MPLS 之標籤包裝	5
圖 2 夾層標籤之標籤格式	5
圖 3 MPLS 基本運作程序	6
圖 4 傳統 IP 之路由資訊	8
圖 5 MPLS 標籤交換路徑之建立程序	8
圖 6 MPLS 標籤交換路徑	9
圖 7 Explicitly Routed LSP	9
圖 8 LDP 運作程序	11
圖 9 CR-LDP Label Request Message 的格式	12
圖 10 Explicit Route : Strict/Loose Route	13
圖 11 TSLB 演算法之流程圖	16
圖 12 用來模擬 TSLB 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬 及各資料流的需求頻寬	19
圖 13 使用 TSLB 演算法模擬圖 12 得到之每一個資料流的輸出量，以及每一條 CR-LSP 之路徑和建立時間	19
圖 14 用來模擬 TSLB 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬 及各資料流的需求頻寬	20
圖 15 使用 TSLB 演算法模擬圖 14 得到之每一個資料流的輸出量，以及每一條 CR-LSP 之路徑和建立時間	20
圖 16 DLB 演算法之流程圖	21
圖 17 用來模擬 DLB 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬及 各資料流的需求頻寬	25
圖 18 使用 DLB 演算法模擬圖 17 得到之每一個資料流的輸 出	25
圖 19 使用 DLB 演算法模擬圖 17 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被 釋放時間	26
圖 20 用來說明原 DLB 演算法缺失及我們如何修正之網路拓撲及情境	28
圖 21 LSPid=1200 建立後，整個網路剩餘可用頻寬分佈情形	29
圖 22 LSPid=1200 建立及此路徑額外保留 1Mbps 頻寬後，整個網路剩餘可用頻寬 分佈情形	30
圖 23 使用修正後之 DLB 演算法模擬圖 20 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立 時間和被釋放時間	31

圖 24 使用修正後之 DLB 演算法模擬圖 20 得到之每一個資料流的輸出量	31
圖 25 將圖 20 中之 4_8 鏈接頻寬改成 7Mbps	32
圖 26 使用修正後之 DLB 演算法模擬圖 25 得到之每一個資料流的輸出量	32
圖 27 使用修正後之 DLB 演算法模擬圖 25 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被釋放時間	33
圖 28 DLBP 演算法之流程圖	35
圖 29 實例（一）用來模擬 DLBP 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬及各資料流的需求頻寬	40
圖 30 實例（一）使用 DLBP 演算法模擬圖 29 得到之每一個資料流的輸出量	40
圖 31 實例（一）使用 DLBP 演算法模擬圖 29 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被釋放時間	41
圖 32 實例（二）用來模擬 DLBP 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬及各資料流的需求頻寬	42
圖 33 實例（二）使用 DLBP 演算法模擬圖 32 得到之每一個資料流的輸出量	42
圖 34 實例（二）使用 DLBP 演算法模擬圖 32 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被釋放時間	43
圖 35 實例（三）用來模擬 DLBP 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬及各資料流的需求頻寬	44
圖 36 實例（三）使用 DLBP 演算法模擬圖 35 得到之每一個資料流的輸出量	44
圖 37 實例（三）使用 DLBP 演算法模擬圖 35 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被釋放時間	45
圖 38 實例（四）用來模擬 DLBP 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬及各資料流的需求頻寬	46
圖 39 實例（四）使用 DLBP 演算法模擬圖 38 得到之每一個資料流的輸出量	46
圖 40 實例（四）使用 DLBP 演算法模擬圖 38 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被釋放時間	47
圖 41 實例（五）用來模擬 DLBP 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬及各資料流的需求頻寬	48

圖 42 實例（五）使用 DLBP 演算法模擬圖 41 得到之每一個資料流的輸出量.....	48
圖 43 實例（五）使用 DLBP 演算法模擬圖 41 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被釋放時間.....	49
圖 44 實例（六）用來模擬 DLBP 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬及各資料流的需求頻寬.....	50
圖 45 實例（六）使用 DLBP 演算法模擬圖 44 得到之每一個資料流的輸出量.....	50
圖 46 實例（六）使用 DLBP 演算法模擬圖 44 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被釋放時間.....	51
圖 47 實例（七）用來模擬 DLBP 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬及各資料流的需求頻寬.....	52
圖 48 實例（七）使用 DLBP 演算法模擬圖 47 得到之每一個資料流的輸出量.....	52
圖 49 實例（七）使用 DLBP 演算法模擬圖 47 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被釋放時間.....	53
圖 50 實例（八）用來模擬 DLBP 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬及各資料流的需求頻寬.....	54
圖 51 實例（八）使用 DLBP 演算法模擬圖 50 得到之每一個資料流的輸出量.....	54
圖 52 實例（八）使用 DLBP 演算法模擬圖 50 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被釋放時間.....	55
圖 53 實例（九）用來模擬 DLBP 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬及各資料流的需求頻寬.....	56
圖 54 實例（九）使用 DLBP 演算法模擬圖 53 得到之每一個資料流的輸出量.....	56
圖 55 實例（九）使用 DLBP 演算法模擬圖 53 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被釋放時間.....	57
圖 56 實例（十）用來模擬 DLBP 演算法之網路拓撲、各資料流的傳送順序、各鏈接的頻寬及各資料流的需求頻寬.....	58
圖 57 實例（十）使用 DLBP 演算法模擬圖 56 得到之每一個資料流的輸出量.....	58
圖 58 實例（十）使用 DLBP 演算法模擬圖 56 得到之每一條 CR-LSP 之路徑、建立時間和被釋放時間.....	59

圖 59	用來模擬的網路拓撲	60
圖 60	使用 DLBP 演算法模擬得到的各不同優先權資料流的輸出量、接收端收到的總封包數比較及包括所有優先權的接收端收到的總封包數	62
圖 61	使用 DLB 演算法模擬得到的資料流的總輸出量及接收端收到的總封包數	63
圖 62	使用 DLB 演算法模擬得到的網路資源利用率	64
圖 63	使用DLBP演算法模擬得到的資料流的總輸出量	64
圖 64	使用DLBP演算法模擬得到的網路資源利用率	65
圖 65	使用 FMBP 演算法模擬得到的各不同優先權資料流的輸出量、接收端收到的總封包數比較及包括所有優先權的接收端收到的總封包數	68
圖 66	使用 FMBP 演算法模擬得到的網路資源利用率	68
圖 67	DLB 演算法流程圖	70
圖 68	DLBP 演算法之流程圖	72

