

具備錯誤回復和有效資源運用功能的語音電話系統

薛來銘¹ 張阜民² 林志銘³ 高勝助³

¹ 耕莘健康管理專科學校數位媒體設計科

23143 台北縣新店市民族路 112 號

² 朝陽科技大學財務金融系

41349 台中縣霧峰鄉吉峰東路 168 號

³ 中興大學資訊科學與工程學系

40227 台中市國光路 250 號

摘要

網路語音電話的應用可以將語音資料在網路上傳輸。在網路語音電話的架構中，以會話發起協定 (session initial protocol, SIP) 做為語音呼叫建立協定，並利用使用者資料協定 (user datagram protocol, UDP) 做為 SIP 信令和語音封包的傳輸協定。因 UDP 協定並無擁塞控制的機制，若網路發生故障或壅塞，需藉由 SIP 應用程式的重傳機制來回復遺失的信令，此方式容易產生呼叫建立時間過長的問題，也無法提供語音封包傳輸品質的保證。因此，如何建立一個有效率及具有語音封包服務品質保證的網路語音電話架構，是一個值得研究的課題。在本文中，我們結合串流控制傳輸協定 (stream control transmission protocol, SCTP) 和多重標籤交換協定 (multi-protocol label switching, MPLS) 流量工程機制，提出一個具有錯誤回復和有效資源運用的語音電話架構。在所提出的架構中，SCTP 協定被用來傳遞 SIP 信令，MPLS 流量工程機制則被用來設立語音資料傳輸路徑。藉由 SCTP 協定多重位址的特性，可以降低語音呼叫失敗率及有效利用網路資源。透過 MPLS 流量工程機制的應用，網路鏈結或節點的中斷可以快速被恢復。我們使用網路模擬軟體 (NS2) 模擬三種不同架構並比較此三種架構在不同網路狀況時的效能。模擬結果顯示所提出的架構，語音呼叫的建立時間能維持在最佳的情況，語音封包傳輸的抖動率、封包漏失、和端對端延遲，都能達到語音傳輸服務品質的需求。

關鍵詞：語音電話，資源分配，錯誤回復，串流控制傳輸協定，多重標籤交換協定

Adopting SCTP and MPLS-TE Mechanisms in VoIP System for Fault Recovery and Resource Allocation

LAI-MING SHIUE¹, FU-MIN CHANG², CHIH-MING LIN³ and SHANG-JUH KAO³

¹ Department of Digital Media Design, Cardinal Tien College of Healthcare and Management
112, Minzu Rd., Sindian City, Taipei County 23143, Taiwan, R.O.C

² Department of Finance, Chaoyang University of Technology
168, Jifong E. Rd., Wufong Township, Taichung County 41349, Taiwan, R.O.C

³ Department of Computer Science and Engineering, National Chung-Hsing University

250, Kuo Kuang Rd., Taichung 40227, Taiwan, R.O.C

ABSTRACT

VoIP application allows the transmission of vocal data over Internet. In VoIP architecture, the Session Initiation protocol (SIP) is used in the setup of voice calls, while the User Datagram protocol (UDP) transports the SIP signaling messages and vocal data. Since UDP has no congestion control mechanism, the quality of vocal data transmission is not guaranteed and SIP must employ a retransmission mechanism for reliability, leading to possible performance degradations. Providing a reliable VoIP architecture that guarantees the quality of vocal data is an urgent research topic. This paper proposes a VoIP architecture capable of fault recovery and resource allocation by adopting the Multi-homed Stream Control Transmission protocol (SCTP) and Multi-Protocol Label Switching Traffic Engineering (MPLS-TE) method. In the proposed architecture, SCTP was employed to transmit SIP messages, while the MPLS-TE method was used to establish the transmitting path for vocal data. With the multi-homing capability of SCTP, the voice call failure rate can be reduced and network resources can be utilized efficiently. Through the MPLS-TE method, traffic engineering functions such as network resources optimization, strict quality of service (QoS), voice data delivery, and fast recovery upon link or node failure can be ensured. This study simulates three architectures using the network simulator (NS2) software and compares them under different network conditions. The simulation results demonstrate the applicability of the proposed architecture.

Key Words: VoIP, resource allocation, fault recovery, SCTP, MPLS

一、緒論

VoIP (voice over IP) 網路電話是將語音訊號壓縮成資料封包，在 IP 網路基礎上傳送的一種語音服務。由於 VoIP 以網際網路的技術為基礎，因此 IP 網路傳輸上的延遲、延遲變動及封包遺失等問題，都足以影響到 VoIP 的發展。為了讓使用者能夠充分地享用網路電話所帶來的便利性，如何建立一個有效率及具有語音服務品質保證的網路電話架構，是一個迫切且值得研究的課題。

網路電話會談包含語音呼叫建立及語音封包傳輸。語音呼叫主要利用會話發起協定 (session initiation protocol, SIP) [10] 來建立，語音封包則是透過使用者資料協定 (user datagram protocol, UDP) 和 IP 協定來傳輸。SIP 協定隸屬於應用層，其信令可透過 UDP 協定和傳輸控制協定 (transmission control protocol, TCP) 來傳輸。當利用 UDP 協定來承載 SIP 信令時，因為 UDP 是一個不可靠的協定，也不具備處理壅塞和流量控制的機制，當網路壅塞造成 SIP 溝通信令遺失時，必須藉由 SIP 應用程式本身來判別並作重傳的動作，此方式不僅耗時，其呼叫建立時間亦可能讓語音電話使用者無法接受。當改用 TCP 協定來傳遞 SIP 信令，雖具備壅塞和流量控制的機制，但 TCP 協定為有次序的傳

遞，當前面的封包未得到回應，後面的封包將無法繼續傳遞，因而產生 Head-of-Line (HOL) 阻塞的問題。HOL 問題會使得語音建立過程延遲，而造成網路語音電話使用者無法接受。關於語音封包傳遞部份，由於 IP 協定是一種盡力而為的協定，當網路傳遞產生壅塞時，其語音通話品質將可能無法讓使用者接受。因此，在網路語音電話的環境中，必須具備資源有效運用和服務品質保證的機制，才能提供使用者可接受的語音服務品質。

網際網路工程任務小組 (internet engineering task force, IETF) 在 2000 年提出一個傳輸層協定—串流控制傳輸協定 (stream control transmission protocol, SCTP) [13]。SCTP 協定結合了 TCP 和 UDP 兩協定的優點，使用無次序的傳遞方式，有效的解決了 TCP 協定 HOL 阻塞的問題，而四向握手的連線建立方式，可以避免 TCP SYN FLOODING 的問題，在安全性上也得到提昇。另外 SCTP 協定具有多重位址的特性，在網路鏈路或節點發生故障時，可使用其他位址維持連線不中斷，達到容錯的目的。因此在網路語音環境使用 SCTP 協定來傳遞 SIP 信令，是一個不錯的選擇。

IETF 在 2001 年制定多重標籤交換協定 (multi-protocol label switch, MPLS) [11] 協定可被利用於保證語音資料服

務的品質。MPLS 協定具有快速標籤交換的能力，在大範圍的網路傳遞封包時可省去查詢路由表的時間，達到快速交換封包的目的，進而保證即時性資料服務的品質。此外，MPLS 協定還提供流量工程的機制，有效地分配網路資源和快速地回復錯誤。一般 IP 網路利用路由協定蒐集網路的路由資訊後，產生一條最短或成本最低的路徑，但當傳輸具有相同目的地的封包時，將導致路徑上的路由器，反而達不到最佳路徑的效能。MPLS 流量工程機制可以利用流量工程路徑的建立，利用流量分流方式達成整個網路頻寬有效分配，同時調節最佳路徑上路路由器的負擔，使整個網路的傳輸效能和資源利用率得到提昇。在快速錯誤回復方面，廣域網路常因為網路節點故障或鏈路中斷導致網路封包漏失，需利用路由協定重新計算路徑，而重新計算路由往往需要一段時間，稱為路由的收斂時間。隨著網路大小的增加，收斂時間也隨之增長。過長的收斂時間將影響語音即時性的傳遞，語音電話使用者無法接受其語音品質。藉由 MPLS 流量工程快速錯誤回復的機制，可快速地將封包由中斷路徑切換至正常路徑上，此方式對於具即時性的語音傳輸，非但可達到容錯的目的，更可確保語音服務品質，增強整個網路語音環境的穩定性。

在本文中，我們結合多重位址的 SCTP 協定和 MPLS 流量工程機制，設計一個具備容錯性和有效運用資源的網路語音環境架構。在此架構中，建立語音呼叫信令和語音封包傳遞被分開來考量。在建立呼叫信令方面，利用多重位址的 SCTP 協定的特性，設計一個多重位址的 SIP 代理伺服器。呼叫端傳遞至被叫端的信令，會經由多重位址 SIP 代理伺服器透過主要路徑來傳遞，而被叫端的回覆信令則透過多重位址 SIP 代理伺服器使用備援路徑來傳遞。此方式可讓 SIP 呼叫控制信令的傳遞得到較好的傳輸效能，同時當主要路徑發生中斷時，藉由備援路徑傳遞可以減少呼叫失敗的機率，達到容錯的目的。此外，SCTP 協定為非次序的傳遞方式，可避免 HOL 問題。因此使用多重位址的 SIP 代理伺服器，可以在 SIP 呼叫建立信令傳遞上，達到安全穩定及有效率的傳輸效能表現。在語音封包傳遞方面，使用 MPLS 流量工程機制所建立的路徑來傳遞語音封包，可藉由流量工程路徑保證頻寬，以確保語音封包傳遞的服務品質，同時利用 MPLS 將 SIP 信令和語音封包分開，透過分流的設計提高網路頻寬的利用率。即使網路發生網路節點故障或鏈路中斷時，藉由 MPLS 流量工程快速重新恢復路徑 (fast re-route) [9] 的機

制，達到快速路徑的恢復，減少語音封包漏失，達到容錯的目的。

二、相關研究

影響使用者在使用網路語音電話時接受度的因素，可分為控制信令和語音資料傳輸，以下將就兩個部份做探討。Macro 等人 [7] 的研究比較使用 UDP、TCP 和 SCTP 三者來傳遞 SIP 控制信令時的優劣，由文中得知使用 SCTP 非次序 (unorder) 傳遞 SIP 信令時，可避免使用 TCP 協定時所產生的 HOL 問題；當網路壅塞時可避免使用 UDP 協定時可能造成 SIP 應用程式大量重送 SIP 信令的問題。同樣地，Camarillo 等人 [2] 的研究比較 UDP、TCP 和 SCTP 協定三者在傳遞 SIP 信令時的表現：UDP 協定傳遞 SIP 信令不適用於壅塞的網路環境，而具有快速重傳和壅塞控制的 TCP 和 SCTP 協定則不會因為壅塞造成效能降低；比較高封包漏失時造成 HOL 的問題，此時使用 SCTP 協定的方式在延遲效能上明顯優於 TCP。Wang 等人 [15] 研究使用不完全可靠度延伸之串流控制傳輸協定 (partial reliability extension of the SCTP, PR-SCTP) 做為承載 SIP 的通訊協定，以解決 SIP 應用層和 SCTP 傳輸層因封包遺失而重覆傳送相同遺失封包的問題，其實驗結果得知：當大量 SIP 信令被傳遞時，使用 SCTP 或 PR-SCTP 協定承載，可得到較好的品質，同時在連線建立時間上的比較，使用 SCTP 非次序傳輸方式會比使用有次序的傳輸方式減少許多。

網路語音環境另一個考量重點，即是如何具有服務品質保證的語音封包傳遞。在陳有任 [1] 的研究中，作者結合 SCTP 和 MPLS 協定實現一個具有語音封包傳遞服務品質保證的架構，利用 SCTP 區塊綁定及自訂新增區塊的特性對整體網路語音環境整體的服務品質進行控制。其中透過 SCTP 協定傳遞語音封包雖可利用多重位址的特性，配合多條路徑和路徑選擇演算法來達到語音封包傳遞的服務品質保證。不過由於語音封包本身的資料比較小，其承載協定標頭的大小反而變成考量的重點。目前語音環境大部份使用 UDP 協定來承載語音封包，封包標頭的大小為 8 位元組，相較於作者使用 SCTP 協定做為語音封包的承載協定而言，基本標頭大小為 12 位元組，加上資料區塊標頭有 16 位元組，比起使用 UDP 協定的標頭，大約大了三倍以上。使用 SCTP 協定做為語音封包的承載協定，對於語音封包傳遞將造成額外的負擔，同時其設計需修改 MPLS 邊境路由器使其可支援 SCTP

協定，無形中又增加了設計上的難度以及 MPLS 邊境路由器本身的負擔。

在 Gozdecki 與 Jajszczyk [3] 中，Gozdecki 與 Jajszczyk 介紹和比較在 IP 封包網路裡提供服務品質保證的方法，同時提及在大範圍的 IP 網路可利用多重標籤交換協定 (MPLS) 來擴展服務品質。Yusoff [16] 在文中比較 IntServ 和 DiffServ 兩種方法用於服務品質保證：在傳遞語音封包時的效能表現方面，使用 DiffServ 的方法較有彈性同時也較適用於大範圍的網路；而使用 IntServ 方式複雜且無法適用於大範圍網路。其實驗結果同發現當使用 IntServ 方法時預留網路頻寬，將更能保證語音環境的服務品質，不過 RSVP 協定在信令建立和溝通所消耗的頻寬和時間是需要被考量的。

Hongyun 等人 [5] 在研究中提出在 MPLS 環境中使用支援差異式服務品質保證的方法，可保障頻寬且備備差異式佇列處理封包的能力，非但可避免使用整合式服務品質保證的複雜度，同時亦可簡單地在大範圍的 IP 網路中實現服務品質保證。Zhang 與 Ionescu 的研究 [17] 指出：經由 MPLS 流量工程路徑，同時配合 MPLS DiffServ 服務品質保證的機制，可實現多類型即時性資料服務品質保證的目的。其實驗結果顯示，諸如語音通訊等使用較小頻寬但速度恆定的連線，利用 MPLS 流量工程機制來保障服務品質可達到很好的效能表現。

此外，我們從 Jorge 與 Gomes [6]、Martin 與 Menth [8] 及 Siriakkarap 與 Setthawong [12] 相關研究中發現，當網路節點發生問題或網路鏈路中斷時，可利用流量工程路徑恢復機制快速的將封包切換到正常的路徑上，其中切換路徑的時間通常僅數十毫秒，因此在網路語音環境中使用 MPLS 流量工程錯誤回復機制，可減少即時性語音資料因網路發生故障造成封包遺失的問題，提高整個網路的穩定性達到容錯的目的。Song 等人在研究 [14] 中，提出一個稱為多重路徑分散負擔 (load distribution over multi-path, LDM) 的方法應用於 MPLS 流量工程路徑，其實驗結果得知：一個適宜的分配路徑流量機制確實可提高整個網路頻寬的利用率，同時達到資源分配的目的。

三、系統架構

在提出的網路語音系統架構中，同時結合 SCTP 協定和 MPLS 流量工程機制。在控制信令交換的部份，因架構中的

SIP 代理伺服器架構於 SCTP 協定之上支援多重位址特性，利用兩個以上的實體通訊介面，分別建立主要和備用路徑，如圖 1 所示。當 SIP 用戶發起語音呼叫，將透過發起語音端 SIP 代理伺服器，經由主要路徑傳送到語音接受端 SIP 代理伺服器，再傳送給被呼叫的 SIP 用戶端；當被呼叫的 SIP 用戶端回應回覆信令也將透過語音接受端 SIP 伺服器，經由備用路徑送到發起語音端 SIP 伺服器，再轉送給 SIP 用戶。

圖 2 描述多重位址 SIP 代理伺服器的運作流程，其中 SIP Proxy1 和 SIP Proxy2 為支援 SCTP 協定的多重位址伺服器，其兩個實體界面分別連結兩個網段，X.X.X/24 和 Y.Y.Y/24。SIP Proxy1 和 SIP Proxy2 伺服器間的溝通，將透過交換 SCTP 初始封包，經由四次交握過程建立 SCTP 的關聯。當關聯建立後，SIP 代理伺服器將可利用不同路徑傳遞包含 SIP 信令。SIP Proxy1 由 INT1 送出 Invite 的信令，來源 IP 記載為 X.X.X.1，接收端 SIP Proxy2 也是由 INT1 來接收，其 IP 為 X.X.X.2。SIP Proxy2 接收完 Invite 信令後，再轉送信令給被呼叫的使用者；而被呼叫端接受後，將回應 200 OK 的回覆信息，經由 SIP Proxy2 利用 INT2 將 200 OK 信令傳遞給 SIP Proxy1，來源 IP 記載為 Y.Y.Y.2，同樣的 SIP Proxy1 由 INT2 來接收 200 OK 的回覆信息，其 IP 為 Y.Y.Y.1。接收到 200 OK 的信令後，SIP Proxy1 將此信令傳給呼叫的使用者，此時即完成信令的溝通。

當主要或備用路徑的鏈路中斷，多重位址 SIP 代理伺服器將即時處理以保持連線不中斷。當 SCTP 協定關聯被建立，SIP 代理伺服器會定期送出 HEARTBEAT 和 HEARTBEAT-ACK 來探測關聯的狀態，當關聯中的路徑發生中斷將被宣告為失效的路徑，在失效路徑上的 SIP 信令將透過另一路徑 (主要或備用路徑) 來傳遞，此關聯不需被重建，而 SIP 信令傳遞可維持而不中斷。圖 3 為主要路徑中斷的運作流程，其亦適用網路產生壅塞，此架構中可避免重送封包再次傳遞失敗，大大提升整個架構的傳輸容錯能力。

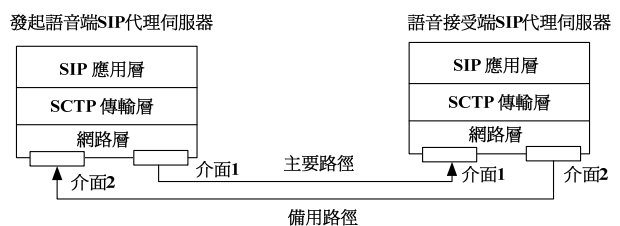


圖 1. 多重位址的 SIP 代理伺服器

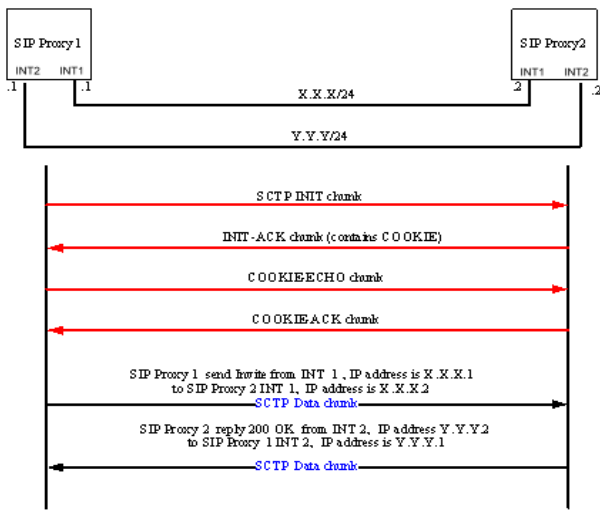


圖 2. 多重位址的 SIP 代理伺服器運作流程

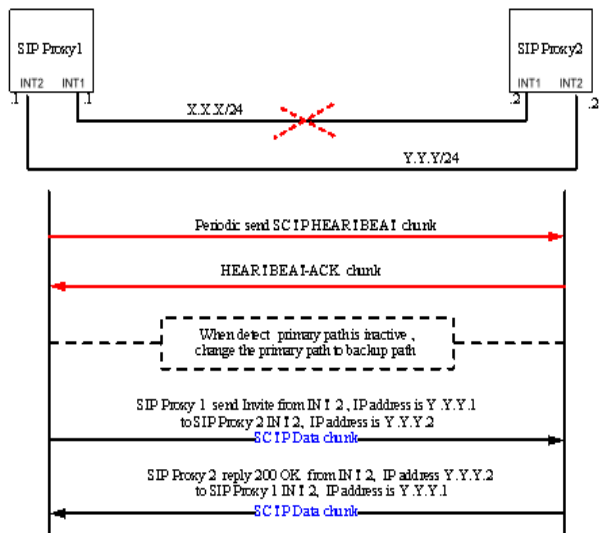


圖 3. SIP 代理伺服器主要路徑鏈路中斷時運作流程

在語音傳遞部份，兩端網路語音電話使用者將透過 MPLS 流量工程所決定的路徑來傳送語音封包。為有效地提高整體網路的資源利用率，MPLS 將建立最佳路徑和第二路徑分別傳送信令呼叫和語音封包，其中最佳路徑將被包含於兩個 SIP 伺服器間的主要路徑，而語音封包則避開主要路徑改由第二路徑傳送，其架構圖如圖 4 所示。

接下來我們將說明 MPLS 流量工程路徑的建立流程。為更清楚呈現建立方式，我們將提出的網路語音架構以圖 5 來展示其如何來傳遞語音封包。其中 LSR1-LSR2-LSR3-LSR4 為架構中的最佳路徑，在一般情況下，語音傳封包將經由此條路徑傳送。本系統將透過 MPLS

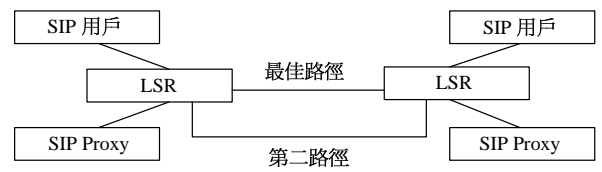


圖 4. MPLS 流量工程的路徑建構示意圖

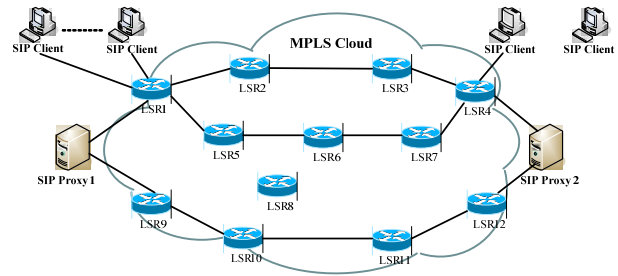


圖 5. 系統架構圖

流量工程機制中 RSVP-TE 協定的 PATH 信令建立 Explicit Route (為此路徑需要經過的路由資訊)，此為第二路徑，即 LSR1-LSR5-LSR6-LSR7-LSR4，而語音封包將被導往此路徑。雖然此路徑並不是最佳路徑，但透過 MPLS 流量工程路徑的傳遞，可確保語音封包的傳送品質，對於網路資源而言，將因分流而獲得較佳的網路資源利用率。第二路徑建立流程如圖 6 所示。

MPLS 流量工程路徑建立完成後，每一個 MPLS 標籤交換路由器將可以透過標籤表達到快速轉換封包的目的，其標籤表和動作如表 1 至表 5 所示。當 User1 要傳送語音封包到 User2 時，封包進入 LSR1 時，經由標籤表中的 FEC 得知輸出的介面為 2 的封包應加上 100 的標籤；LSR5 收到封包後只做交換封包動作，藉由標籤表將由介面 1 進來且帶有 100 的標籤，將由介面 2 傳出同時替換為 200 的標籤，達到快速交換封包的動作；相同地，LSR6 和 LSR7 和 LSR5 做一樣的动作，最後封包傳送到 LSR4，藉由比對標籤表，LSR4



圖 6. 流量工程路徑建立流程

表 1. LSR1-MPLS 標籤表

Input I/F	Input Label	FEC	Iperation	Out I/F	Out Label
-	-	172.31/Prefix	PUSH	2	100

表 2. LSR5-MPLS 標籤表

Input I/F	Input Label	FEC	Iperation	Out I/F	Out Label
1	100	172.31/Prefix	SWAP	2	200

表 3. LSR6-MPLS 標籤表

Input I/F	Input Label	FEC	Iperation	Out I/F	Out Label
1	200	172.31/Prefix	SWAP	2	300

表 4. LSR7-MPLS 標籤表

Input I/F	Input Label	FEC	Iperation	Out I/F	Out Label
1	300	172.31/Prefix	SWAP	2	400

表 5. LSR4-MPLS 標籤表

Input I/F	Input Label	FEC	Iperation	Out I/F	Out Label
1	400	172.31/Prefix	POP	-	-

將封包的標籤 400 去除，最後透過 IP 層將封包由介面 2 傳送給 User2。

為了讓網路語音電話使用者不會因為鏈路中斷使得通話產生異常的情況，我們將利用 MPLS 流量工程快速路由轉換的機制，讓此情況在極短的時間內回復，讓語音封包達到最小的封包漏失的情況。整個快速路由轉換的流程如圖 7 所示。

當 LSR5 到 LSR6 之間的鏈路發生故障時，LSR5 會偵測到鏈路中斷，同時利用 RSVP-TE 協定立即設定路由轉換

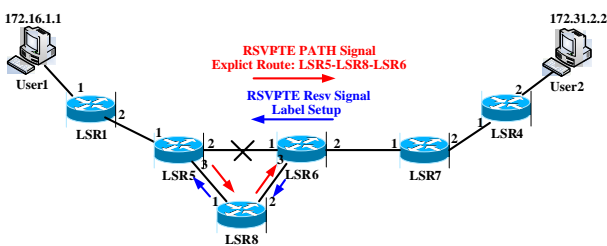


圖 7. 鏈路斷線時快速路由轉換流程

路徑，LSR5-LSR8-LSR6，然後將語音封包轉導到此條路徑上。表 6 至表 8 為 LSR5、LSR8、LSR6 三者間的標籤交換表。在表 6 中，當啟用快速路由轉換後，往 User2 的封包進到 LSR5 時會先將其標籤替換為 200，接下來使用標籤堆疊的方式，將往 LSR8 輸出的介面為 3 的標籤加上 700 的標籤。此封包送到 LSR8 後，LSR8 將拿掉此堆疊的標籤再傳送給 LSR6。當 LSR6 收到由介面 3 進來帶有標籤 200 的封包，其會做標籤交換的動作，將封包繼續往下傳遞。在此過程中，MPLS 流量工程機制在建立 LSR5-LSR8-LSR6 這條路徑是很快捷的，以確保我們語音封包的傳遞品質。

在我們提出的語音架構中，SIP 信令呼叫和語音封包被分開傳遞可以讓整個網路資源獲得較佳的利用率。在信令呼叫的傳遞上，使用多重位址的 SIP 代理伺服器來達到傳遞 SIP 信令的容錯性和增加整體網路資源的利用率，呼叫時的建立時間將得以縮短。在語音傳遞上使用 MPLS 流量工程路徑來傳遞語音封包，服務品質將得以被保障；此外，利用快速路由回復的機制，當網路發生故障時，快速的將封包轉換到正常的路由上，讓語音連線不致於中斷。

四、系統實作

為了驗證導入多重位址 SCTP 和 MPLS 流量工程機制至網路語音架構的之可行性，我們利用網路模擬軟體 NS2 (network simulation version 2) [4] 來模擬語音環境並加以評估，比較在 IP 路由以傳統 UDP-SIP 和多重位址

表 6. LSR5-MPLS 標籤表

Input I/F	Input Label	FEC	Iperation	Out I/F	Out Label
1	100	172.31/Prefix	SWAP	2	200
-	-	172.31/Prefix	PUSH(Stack)	3	700

表 7. LSR8-MPLS 標籤表

Input I/F	Input Label	FEC	Iperation	Out I/F	Out Label
1	700	172.31/Prefix	POP(Stack)	-	-

表 8. LSR6-MPLS 標籤表

Input I/F	Input Label	FEC	Iperation	Out I/F	Out Label
1	200	172.31/Prefix	SWAP	2	300
3	200	172.31/Prefix	SWAP	2	300

SCTP-SIP、以及使用 MPLS 流量工程機制上使用多重位址 SCTP-SIP 三者不同架構間運作的差異性，以證明我們所提出的架構確實可以達到流量分流和服務品質保證，同時使整個語音架構獲得最佳的效能表現。此三種架構分別如圖 8、圖 9 及圖 10 所示。

在模擬過程中，SIP 呼叫建立和語音封包傳遞被分開來模擬，相關環境設值如下所示。約每秒產生一則 SIP 語音呼叫，每一個 SIP 信令的封包大小被設定為 577 位元組，當呼叫端收到 200 OK 的回應訊息，則表示此次呼叫建立成功。在語音傳遞部份，利用固定位元率（constant bit rate, CBR）的方式產生語音流量，語音封包大小設定為 160 位元組。關於錯誤重傳部份，由於 UDP-SIP 架構並沒有錯誤重傳的機

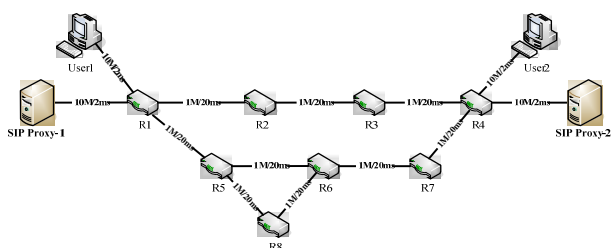


圖 8. 傳統 UDP-SIP 代理伺服器架構模擬圖

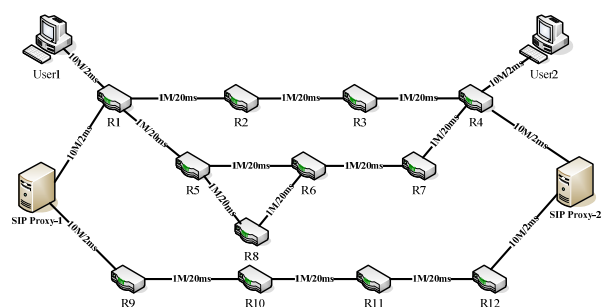


圖 9. 多重位址 SCTP-SIP 代理伺服器架構模擬圖

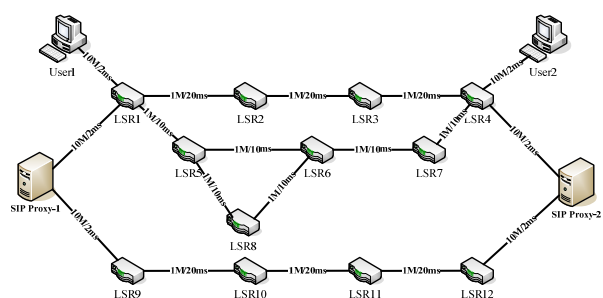


圖 10. 提出的架構模擬圖

制，因此必需啓用 SIP 代理伺服器應用程式的回復機制來回復遺失信令；而 SCTP-SIP 架構以及我們提出的架構，不啓用 SIP 代理伺服器的回復機制，改採用 SCTP 協定本身的錯誤回復機制，以避免由於錯誤回復時間的不匹配而造成重複回應。爲了模擬網路頻寬被語音流量佔滿時，可能造成 SIP 信令遺失的情況，我們設定網路電話會產生超過 100 通以上的語音呼叫，同時限制每一 SIP 代理伺服器最多只能接受 100 通的 SIP 呼叫。整個模擬的時間設定爲 150 秒，讓 SIP 代理伺服器有足夠的時間來處理遺失的信令。

我們透過 SIP 呼叫失敗機率、SIP 呼叫建立時間的實驗數據來了解三種架構在 SIP 信令的傳遞和處理效能上的表現。在 SIP 呼叫失敗的機率（SIP_{Call-Blocking}）實驗部份，利用公式 1 計算 SIP 呼叫失敗的機率，計算方式如下：先以 SIP 代理伺服器發出邀請（Invite_{Calls}）信令的數目減去其收到被叫端回覆之呼叫成功（200 OK_{reply}）的數目後，再除以呼叫端發出邀請（Invite_{Calls}）信令的數目。

$$\text{SIP}_{\text{Call-Blocking}} = (\text{Invite}_{\text{Calls}} - 200 \text{ OK}_{\text{reply}} \text{ 的數目}) / \text{Invite}_{\text{Calls}} \quad (1)$$

SIP_{Call-Blocking}：SIP 呼叫失敗機率

Invite_{Calls}：呼叫端 SIP 代理伺服器總共發送 Invite 倍令的數目

200 OK_{reply}：呼叫端 SIP 代理伺服器成功收到被叫端 SIP 代理伺服器的回覆信令

三種架構在失敗的機率實驗中均產生 100 通 Invite 呼叫信令，實驗數據如表 9 所示。在 UDP-SIP 的架構中，流量發生壅塞將造成 SIP 信令遺失，由於不具多重位址的特性，錯誤回復以應用程式回復爲主，明顯地在處理效能表現不佳，在 150 秒的模擬時間結束後產生了 18% 的呼叫失敗率。相反地，SCTP-SIP 的架構和我們提出的架構，兩者皆可以在 150 秒的模擬時間結束前，皆可成功地利用 SCTP 協定的回復機制來回覆遺失信令，其呼叫失敗機率皆爲 0%。

呼叫信令建立的過程，呼叫建立的時間爲另一個考慮重點。過長的呼叫建立時間，將無法被網路語音電話使用者所接受，如表 10 所示：呼叫建立時間在 0 到 1 秒爲最好情況，而大於 5 秒的建立時間將無法被一般使用者所接受。

表 9. 網路擁塞情況 SIP 呼叫失敗機率

	UDP-SIP 架構	多重位址 SCTP-SIP 架構	多重位址 SCTP-SIP 加上 MPLS-TE 架構
SIP _{Call-Blocking}	18%	0%	0%

表 10. 呼叫建立時間

等級	呼叫建立時間
最好	0~1 秒
較好	1~3 秒
一般	3~5 秒
較差	>5 秒

網路發生壅塞時，三種架構在呼叫建立時間上的表現，如圖 11 所示。當網路壅塞時，在 UDP-SIP 架構下的呼叫建立時間幾乎接近或超過 5 秒，分析其原因，可能因為 SIP 信令和語音流量在同一條路徑上，再加上錯誤回復使用 SIP 應用程式方式回覆，因而拉長了呼叫建立時間；在 SCTP-SIP 架構下，多重位址可以讓 SIP 信令的傳遞改善了呼叫建立時間，不過由於語音傳遞和 SIP 信令在相同路徑上運行，因此建立時間表現上也還有改善空間；在我們提出的架構中，透過 MPLS 流量工程的機制將語音流量和 SIP 信令分開，即使語音流量塞滿整個頻寬時，因運行於不同路徑上，SIP 信令可正常傳遞而不受影響，在呼叫建立時間的表現上幾乎一直維持在最好的等級。

接下來模擬鏈路中斷時三種架構在 SIP 信令傳遞和處理效能上的表現，其中設定在模擬環中 20 到 40 秒時，R2 到 R3 及 LSR2 到 LSR3 皆發生鏈路中斷，我們將透過 SIP

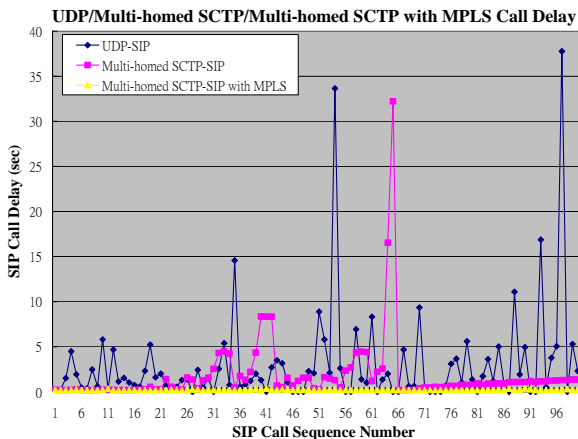


圖 11. 網路擁塞情況 SIP 呼叫建立時間比較圖

呼叫失敗機率和 SIP 呼叫建立時間的實驗數據來比較三種不同架構的表現。依式 (1) 計算 SIP 呼叫失敗機率，如表 11 所示。當鏈路發生中斷時，UDP-SIP 架構只能經由 SIP 應用程式來達到遺失信令的回復，當 150 秒的模擬時間結束後產生了 21% 的呼叫失敗機率。SCTP-SIP 的架構和我們提出的架構都能經由多重位址有效地回復遺失信令，在 150 秒的模擬時間結束後，達到 0% 的封包漏失率。

在 SIP 呼叫建立時間方面，由於 UDP-SIP 的架構沒有適當的容錯和流量分流機制並使用應用程式的回復機制，因此呼叫建立時間幾乎都落在最差的呼叫建立時間等級。而在 SCTP-SIP 的架構和我們提出的架構，當鏈路中斷時，藉由多重位址，可以達到容錯的目的及較好的傳遞效能，當主要路徑因鏈路中斷而失效時，將切換到備援路徑來傳遞 SIP 信令，因此呼叫建立時間皆維持在不錯的等級。此外，我們提出的架構因具備 MPLS 流量工程機制，將 SIP 信令和語音封包的流量給分開，在呼叫建立時間的表現上比 SCTP-SIP 架構更佳。關於鏈路中斷時三種架構呼叫建立時間之比較如圖 12。

接下來我們將針對語音封包傳遞時因壅塞導致效能上的表現差異分別進行模擬，其相關網路語音電話語音服務品

表 11. 網路鏈路中斷情況 SIP 呼叫失敗機率

	UDP-SIP 架構	多重位址 SCTP-SIP 架構	多重位址 SCTP-SIP 加上 MPLS-TE 架構
SIP _{Call-Blocking}	21%	0%	0%

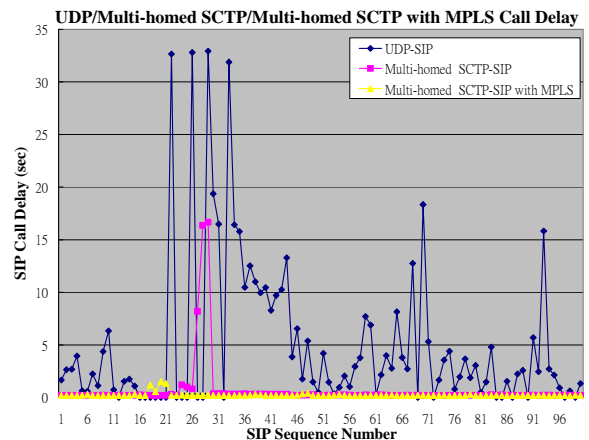


圖 12. 鏈路中斷 SIP 呼叫建立時間比較圖

質參數，如封包漏失、抖動率和端對端延遲分別定義於表 12 和表 13。在此實驗中，設定 SIP 代理伺服器只允許 11 通的語音呼叫，另外藉由產生干擾流量模擬網路壅塞情況的部份，其設定如下：時間開始於模擬時間 10 秒並結束於 49 秒、封包大小為 1,000 位元組、速率為 1 M 位元/秒、分別發生於 R2 和 R3 之間以及 LSR6 和 LSR7 之間。同時，在我們提出的語音網路架構在模擬時間 2 秒時，會建立一條經由 LSR1-LSR5-LSR6-LSR7-LSR4 的 MPLS 流量工程路徑來傳遞語音的封包。

封包漏失率的模擬結果如圖 13 所示，傳統的 UDP-SIP 的架構並無流量分流機制，所有流量集中於同一路徑上導致封包漏失率幾乎都超過 15%，因此在路徑壅塞的情況下，傳統的 UDP-SIP 的語音架構，並無辦法提供讓網路語音使用者可以接受的語音服務品質；在我們提出的架構中，雖然也有一通的語音傳遞的封包漏失率達到 13%，但整體語音傳遞漏失率幾乎皆小於 5%，由此可知，藉由 MPLS 流量工程所提供的保證頻寬，確實可以確保網路語音封包的傳遞品質，可讓語音封包在傳遞上更有效率。

圖 14 和圖 15 為單通語音封包在端對端的延遲時間和抖動率的比較，由圖中可發現我們提出的語音網路架構比 UDP-SIP 架構在傳遞效能可獲得較佳的表現。

最後，比較當網路鏈路發生斷線時，傳統 UDP-SIP 架構和我們提出的架構在語音封包傳遞效能上的表現。在此實驗中，模擬時間 20 秒到 30 秒分別在 R2 到 R3 以及 LSR5 到 LSR6 的鏈路發生斷線。其中，我們提出的架構會啓用

表 12. 封包漏失和抖動率

網路等級	封包漏失	抖動率
良好	0 %	1 ms
一般	1 %	20 ms
差	5 %	60 ms

表 13. 封包端對端延遲時間

網路等級	封包漏失	使用者感受
良好	~150 ms	大多數用戶皆能接受
尚可	150 ~ 250 ms	部份用戶感到受影響
一般	250 ~ 400 ms	大多數用戶明顯感到品質降低
差	450 ~ ms	大多數用戶不能接受

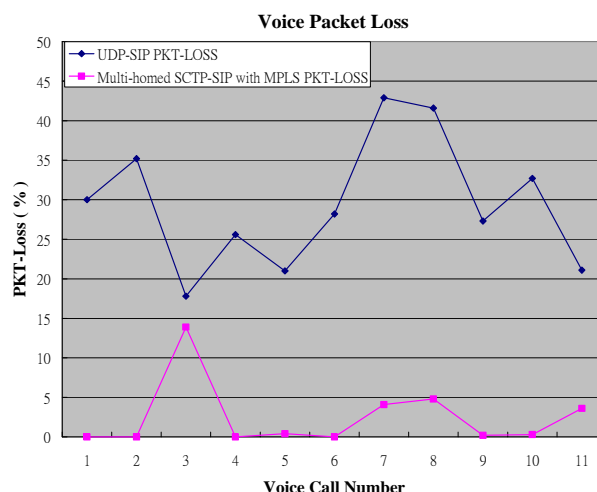


圖 13. 網路壅塞情況語音封包漏失率比較圖

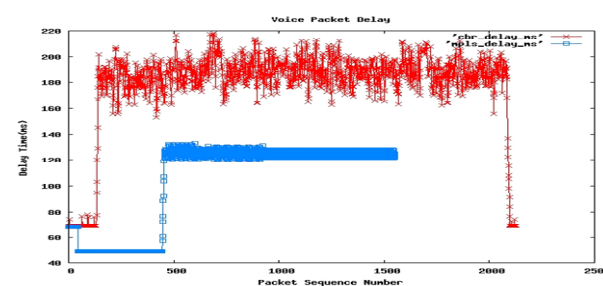


圖 14. 網路壅塞語音封包端對端延遲時間比較圖

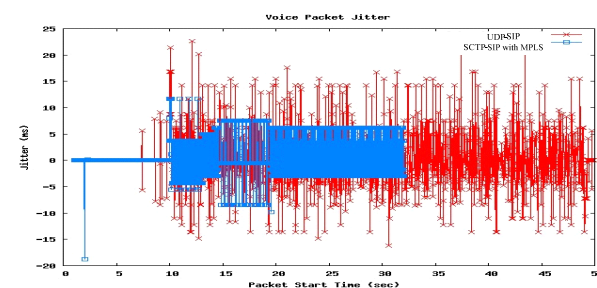


圖 15. 網路壅塞語音封包抖動率比較圖

MPLS 流量工程快速恢復路徑的機制，當鏈路發生中斷時，快速地将封包導向路徑 LSR5-LSR8-LSR6，其結果如圖 16。由於傳統 UDP-SIP 架構並無具備容錯機制，當網路發生鏈路中斷時，靜態路由方式將使 UDP-SIP 架構無法傳遞語音封包直到鏈路不再中斷。其中，第 7 通語音流量在鏈路中斷前就結束了語音的會談，因此語音流量的傳遞並未受到鏈路中斷的影響，所以其封包漏失率為 0%，其餘的封包

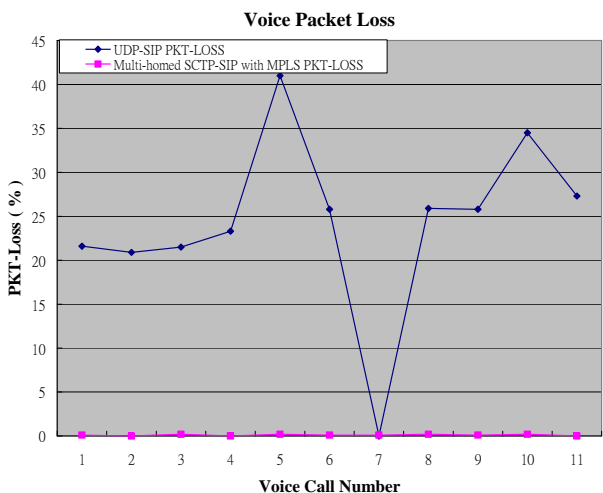


圖 16. 網路鏈路中斷情況語音封包漏失率比較圖

漏失率幾乎皆大於 20%，證明當鏈路發生中斷時，UDP-SIP 語音架構無法提供讓使用者可以接受的語音服務品質。反觀我們提出的架構，在快速路由恢復的機制下，封包漏失率的表現上幾乎都在 5% 的最佳等級，由此可知，我們提出的架構可提供一個具備容錯且穩定的網路語音電話環境。

為了探討當網路鏈路中斷時，語音封包在端對端延遲時間和抖動率上的效能表現，我們模擬 11 通語音流量，其結果如表 14 所示。在此表中可發現，我們提出的架構，在語音封包端對端延遲時間的表現上，平均在 54 毫秒左右，而傳統的 UDP-SIP 的架構平均延遲時間則在 68 毫秒左右；在封包抖動率的表現上，傳統的 UDP-SIP 的架構其抖動率維持在 -5 和 +5 毫秒左右，我們提出的架構除了切換路徑的過程中會產生較高的封包抖動率外，其餘的封包抖動率幾乎為 0 毫秒左右。

五、結論

在本文中，我們提出的架構因使用多重位址 SIP 代理伺服器，在 SIP 信令的傳遞上因有效利用多重位址的特性，當網路發生壅塞或鏈路中斷時，可以在模擬時間結束前完全的回復遺失的信令，同時亦在 SIP 呼叫的建立時間上獲得較佳的表現。另外，因利用 MPLS 流量工程路徑的建立將 SIP 信令的傳遞和語音封包傳遞的路徑給分開，讓語音架構可得到較佳的頻寬利用率，增加 SIP 信令和語音封包的傳遞效能。當傳遞語音封包的 MPLS 流量工程路徑發生鏈路中斷時，藉由流量工程快速恢復路徑 (fast re-route) 的機制，讓

表 14. 鏈路中斷情況 11 通語音流量平均端對端延遲時間和平均抖動率比較表

	平均端對端延遲時間		平均抖動率	
	UDP-SIP	Multi-homed SCTP with MPLS-TE	UDP-SIP	Multi-homed SCTP with MPLS-TE
1	68 ms	56 ms	-5/+6 ms	-/+ 0 ms
2	68 ms	49 ms	-5/+6 ms	-/+ 0 ms
3	68 ms	56 ms	-5/+6 ms	-/+ 0 ms
4	69 ms	49 ms	-5/+6 ms	-/+ 0 ms
5	68 ms	57 ms	-5/+5 ms	-/+ 0 ms
6	68 ms	57 ms	-6/+6 ms	-1/+1 ms
7	68 ms	57 ms	-5/+5 ms	-/+ 0 ms
8	68 ms	50 ms	-5/+5 ms	-0/+1 ms
9	68 ms	52 ms	-6/+7 ms	-/+ 0 ms
10	68 ms	57 ms	-5/+6 ms	-/+ 0 ms
11	68 ms	57 ms	-6/+7 ms	-1/+ 0 ms

語音封包可以快速的切換至可連線的路徑上，維持語音封包正常傳，讓網路語音傳遞獲得更穩定的品質。由實驗結果證明，使用 MPLS 流量工程路徑傳遞語音封包，在封包遺失率、端對端延遲時間及抖動率服務品質參數要求上，均能維持在不錯的語音服務品質需求等級。結合多重位址 SCTP 協定和 MPLS 流量工程機制，確實可以實現一個具有容錯性和資源分配同時具有服務品質保證的網路電話語音架構。

參考文獻

1. 陳宥任 (民 94)，運用 SCTP 於 MPLS 網路以提昇 VoIP 服務品質之研究，朝陽科技大學資訊管理系碩士論文。
2. Camarillo, G., R. Kantola and H. Schulzrinc (2003) Evaluation of transport protocols for the session initiation protocol. *IEEE Network*, 17(5), 40-46.
3. Gozdecki, J. and A. Jajszczyk (2003) Quality of service terminology in IP networks. *IEEE Communications Magazine*, 41, 153-159.
4. Hess, A. and H. F. Geerdes (2006) Intelligent distribution of intrusion prevention services on programmable routers. 25th IEEE International Conference on Computer Communications, Barcelona, Spain.
5. Hongyun, M. and X. Linying (2004) End-to-end QoS implement by DiffServ and MPLS. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Niagara Falls, Canada.
6. Jorge, L. and T. Gomes (2006) Survey of recovery

- schemes in MPLS networks. International Conference on Dependability of Computer Systems, Szklarska Poreba, Poland.
7. Marco, G. and D. D. Vito (2003) SCTP as a transport for SIP: a case study. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 2(3), 86-91.
 8. Martin, R. and M. Menth (2006) Capacity requirements for the facility backup option in MPLS fast reroute. Workshop on High Performance Switching and Routing, Poznan, Poland.
 9. Pan, P. and G. Swallow (2005) Fast reroute extensions to RSVP-TE for LSP tunnels. RFC 4090, Internet Engineering Task Force (IETF), Washington, D.C.
 10. Rosemberg, J. and H. Schulzrine (2002) SIP: Session initiation protocol. RFC 3261, Internet Engineering Task Force (IETF), Washington, D.C.
 11. Rossen, E. and A. Viswanathan (2001) Multiprotocol label switching architecture. RFC3031, Internet Engineering Task Force (IETF), Washington, D.C.
 12. Siriakkarap, C. and P. Setthawong (2005) RSVP based critical services path recovery in MPLS network. 6th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies, Yangon, Myanmar.
 13. Stewart, R. and Q. Xie (2000) Stream control transmission protocol. RFC 2960, Internet Engineering Task Force (IETF), Washington, D.C.
 14. Song J. H. and K. Saerin (2003). Adaptive load distribution over multipath in NEPLS networks. IEEE International Conference on Communications. Anchorage Alaska, AK.
 15. Wang, X. L. and V. C. M. Leung (2005) Applying PR-SCTP to transport SIP traffic. Global Telecommunications Conference, St. Louis, MO.
 16. Yusoff, N. B. M. (2006) Performance evaluation of QoS provisioning techniques for VoIP. 2nd Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, Damascus, Syria.
 17. Zhang, D. and D. Ionescu (2007) QoS performance analysis in deployment of diffServ-aware MPLS traffic engineering. Eighth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, Qingdao, China.

收件：99.06.09 修正：100.03.16 接受：100.04.18