

多路徑環境下具預測與回饋機制之 VoIP 路徑決策系統

張家力 高勝助

國立中興大學 資訊科學與工程學系
{ w9456009, sjkao }@cs.nchu.edu.tw

摘要

本研究提出結合多路徑(Multi-path)路由技術，會談起始協定(Session Initiation Protocol)，以及即時傳輸協定(Real Time Protocol)之網路電話(VoIP)服務最適路徑決策法，以有效解決網際網路採用自主系統 AS (Autonomous System)之路由交換機制而未能依網路品質選徑之問題。此決策系統包含兩大機制：最適路由預測與回饋機制。在最適路由預測方面，透過 BGP (Border Gateway Protocol) 協定之 AS-Path 及 IP 位址資料，分析各 ISP 業者 BGP 資訊與網路路由品質，並計算預測之全面語音傳輸品質評估值。在最適路由回饋方面，透過分析語音話務進行測試評估值計算，以與預測計算值進行分析決策，找出最適路由。評估值越大代表語音品質較好或具有封包延遲與遺失率較小之特性。本研究實驗結果顯示具備多候選路由之 VoIP 服務端相較於單一路由能提供較佳的路由品質；相較於用戶隨機的路由選擇，在預先於候選路由中選擇最佳路由的情況下，將能提升 15.2%之語音品質。

關鍵詞：多路徑路由、會談起始協定、即時傳輸協定、網路電話、VoIP 路徑決策

1 前言

現今運作於網際網路(Internet)之 VoIP(Voice over IP)服務，其語音傳輸品質無法被保證的可能原因有二，一是路由交換機制採用自主系統 AS(Autonomous System)[1]架構並運行採用參考 AS 路徑節點數與路由權重參數之 BGP(Border Gateway Protocol)[1]協定而非以 Client/Server 間之整體路由由服務品質選徑，二是網路封包傳輸採用不保證頻寬之 Best-Effort [2] 方法而非保證 VoIP 服務品質之 Quality of Service (QoS)方法。故無法自動提供兩端點間之最適路由與最適頻寬保證(符合 VoIP 服務所允許之封包延遲與遺失率) [3]。針對這些問題，陸續誕生各種相關路由技術如多重路徑(Multihoming)[4]、多路徑(Multi-path)[5]、覆蓋網路(Overlay Network)[5, 6]等，嘗試解決路由最佳化問題。

Multihoming 路由優化技術，係指單一末端網路用戶能夠透過一或多條連結連至多家網際網路服務提供者 (Internet Service Provider, 簡稱 ISP)，故用戶具備透過任一家 ISP 至 Internet 之網路存取能力，因而可即時切換較佳之路由。但仍有幾項缺點，一是需額外之路由設備與特定網路協定，故降

低實務上之可行性與提高實作上複雜性，二是採用主要與備援路由機制運作，此機制進行路由轉換時會產生封包延遲。

Multi-path 路由[7, 8]優化技術係為甲端到乙端具備多條可抵達之路徑，故可依需要選擇不同之路徑，如封包延遲時間小、經過節點數少、路由價格低、路由穩定性高等特性。故其優點為路由選擇策略具多樣化，且架構簡單應用廣泛。但多路徑技術仍有幾項缺點，一是需採用特定路由設備或協定，才能進行路由品質測試與路由切換，二是針對不同用戶不易指定最佳化路由，因路由控制一般是以網段為最小單位。

Overlay Network 之應用如 P2P(Peer to Peer)-VoIP[9]技術，因具有各用戶端均可成為傳輸結點，而能重建網路拓樸，故網路品質能有效提升，因而廣泛被用戶所接受。但 Overlay Network 之 VoIP 技術仍有存在一些問題，首先是無法監控路由，因 Overlay Network 之路由決定是由各節點依路由情況選擇最佳路徑，故無法經由單一 Client 端決定到目的端路由。此外語音品質上也因經過加密處理，難以客觀分析語音品質之優劣。再者，因甲乙方之語音封包，必經過其他方 Overlay Network 節點之轉送，雖封包經加密，但也無法保證絕對安全。最後是 Overlay Network 所需要之資源，如 CPU 與網路頻寬及用戶終端設備成本均較高。

另外針對 Internet 上 BGP 路由選徑問題[1]，ISP 與 ISP 之間的 BGP 協定路由之選擇有兩大類，分別為動態路由與靜態路由。動態路由是指參考 BGP 的 AS path 長度，也就是主要以路由經過節點的數量決定封包的傳送方向；靜態路由是指網路營運商因營運策略、價格、技術作為路由品質之考量，而在 BGP 路由器進行各路由參數設定。

會談起始協議(Session Initiation Protocol, SIP)已廣泛被 VoIP 設備與平台所支援，且為標準協定故具有相容性高之特性。尤其採用 Client/Server 架構，易於路由監控，且傳輸之封包不似 P2P 協定需由第三方電腦轉送，故安全性較高。

本研究期望基於 SIP 協定之 VoIP 服務，能在 Multi-path 環境下，自候選路由中選擇最佳路由給 VoIP 用戶端，以提供穩定優質之 VoIP 服務品質。

在 VoIP 最適路徑之決策方法，我們提出兩大機制。機制一：最適路由預測機制，透過分析網際網路上 BGP 資訊與路由品質，計算 VoIP 伺服器到各用戶端間之封包延遲與封包遺失等參考資訊。機制二：最適路由回饋機制，透過 VoIP 伺服器端取得語音品質資訊，並進行通話品質 ITU-T G.107

E-Model[10] 之測量值 R_m 計算，最後進行測量值 R_m 與預估值 R_{pr} 之分析，判斷是否已選取最適路由。本研究使用 QualNet 5.01[11]實驗模擬平台進行方法驗證。

2 相關研究

本研究首先針對自主系統與多路由技術 Overlay Networks、Multihoming、Multi path 等進行說明，並分析與比較其技術，再針對 VoIP 與相關技術進行介紹。

2.1 最佳化路由技術

目前 Internet 的 BGP 路由表有超過 20 萬筆路由紀錄，同時一個 BGP 路由器可能從多個來源收到多份的路由表，BGP 路徑選擇演算法可以比較不同的 BGP 路由表，並從中選擇最佳的路由方案。但此方法採用參考自主系統 AS 路徑節點數與路由權重參數之 BGP 協定而非以 Client/Server 間之整體路由服務品質選徑。

Multi-homing 網路依架構[4]可分為一個末端網路(stub network)透過多條網路連接到一個(multi-attached network)ISP 與連接到多個(multihomed network)ISP 兩大類，依技術可再分 BGP Multihoming 與 NAT Multihoming 兩大類，BGP Multihoming 具有採用單一 IP 之便利性，因採用標準協定，對路由器負擔較小，也適合運作於大型網路，NAT Multihoming 因後端採 private ip 故可免除 IP 管理與路由配置之問題，但因每個封包均須經 NAT 設備處理，故只適合小型網路使用，經研究提出 Multihoming 可提升可靠度達 9-40%，效能增加 25-40%。

Multihoming Overlay Network[6]是一期望結合 Multihoming Network 與 Overlay Network 之優點，在無需建立實體網路即建立一網路品質好的 ISP，但其缺點仍是需建置多部 Overlay Router。

多路徑(Multi-path)技術係為甲端到乙端具備多條可抵達之路徑，故可依需要選擇不同之路徑，如封包延遲時間小、經過節點數少、路由價格低、路由穩定性高等特性。多路徑路由技術有多種達成方法，其中 Load balancing 利用 Round Robin 等演算法，平均傳送流量到每個路徑，優點為能有效利用各路由頻寬，提昇頻寬利用率，但缺點會發生 Out of Sequence(封包順序不對)，對重視封包順序的 VoIP 語音封包(RTP)，會導致封包被丟棄的頻率增加，反而降低效率。

Stream Control Transmission Protocol(SCTP)[12]為一標準多點傳輸協定。SCTP 相較於 UDP 有下述優點：1、SCTP 有較高之封包移失率與延遲率，2、SCTP 具有壅塞控制機制與具備備援路由之高可靠性；UDP 相較於 SCTP 有下述優點：1、UDP

封包因為具有運作機制簡單之特性，故傳輸效能最佳；然而 SCTP 能藉由改善重新傳送之機制，有效降低封包移失率與延遲率，也能接近 UDP 之水準。2、UDP 為基礎網路協定，應用層面較為廣泛，不似 SCTP 協定較少於各應用之實作。特性比較說明如表 1 SCTP/TCP/UDP 傳輸協定特性比較表。

表 1 SCTP/TCP/UDP 傳輸協定特性比較表

特性比較	SCTP	TCP	UDP
連接導向	Y	Y	
壅塞控制	Y	Y	Y(RTCP)
可靠性	Y	Y	
多重路徑	Y		
多媒體傳輸	Y	Y	Y
支援無序傳輸	Y		Y
避免 DoS	Y		

2.2 Voice over IP(VoIP)技術

網路電話 Voice over Internet Protocol(VoIP)，指採用 IP 技術並透過網路傳輸語音封包之通信服務，包含呼叫建立、通話與計費等功能。常見的 VoIP 協定有 SIP、H.323、MGCP。其中以 SIP 最為廣泛應用。RTP(Real Time Protocol)是用於提供點對點傳輸服務的即時傳輸協定，即時傳輸控制協議 RTCP (RTP Control Protocol) 用來對 RTP 封包進行監視和控制。

依據 ITU-T Recommendation G.107[10]提供語音量測計算公式： $R = R_o - I_s - I_d - I_e + A$ ， R 值代表的是聆聽者的滿意度， R_o 參數表示測試目標的原始分數，最高為 100 分， I_s 參數表示傳輸電路所受到側音雜訊(side tone)所產生之影響， I_d 參數指網路相關延遲參數(network delay、codec delay、jitter buffer delay)，代表網路延遲對於通話品質造成的影響程度，而 I_e 參數代表封包遺失(packet loss effect、codec effect)，封包的遺失會依不同 codec 而有不同的計算公式，最後 A 為補償損害參數。而 R 值參數中， I_s 與 A 參數通常需額外的設備與環境才能測量的到，且語音轉換至網路傳輸，一定有些許品質發生損失，依 ITU G.107 定義之常數並經計算後，可簡化為下述公式：

$$R_{(\text{delay,loss})} = R_{\text{default}} - I_{d(\text{delay})} - I_{e(\text{loss})}, R_{\text{default}} = 93.2$$

而平均主觀評價等級 Mean Opinion Score (MOS) [13]為另一語音品質之評估標準。 R 值能透過公式轉換對應到 MOS 值。轉換公式如下：

For $R < 0$: $MOS_{CQE} = 1$,

For $0 < R < 100$:

$$MOS_{CQE} = 1 + 0.035R + R(R - 60)(100 - R)7 \cdot 10^{-6}$$

For $R > 100$: $MOS_{CQE} = 4.5$

3 VoIP 路徑決策系統

本研究提出之 VoIP 路徑決策系統以預先於候選路由中找尋最適 VoIP 服務之路由為目標，本研

究提出之方法分別為“最適路由預測機制”與“最適路由回饋機制”。研究步驟如下：一、說明研究環境架構，二、介紹“最適路由預測機制”之路由資訊取得與預測分析機制，三、探討“最適路由回饋機制”之話務品質測量方法，並將測量值與預測值進行品質分析，以作為最適路由之改進依據。

3.1 研究環境架構

本研究環境為模擬一完整之 Internet 網路環境，包含 VoIP 服務系統端，Internet 傳輸網路，VoIP 用戶端等三大部分。如圖 1 研究環境架構圖。

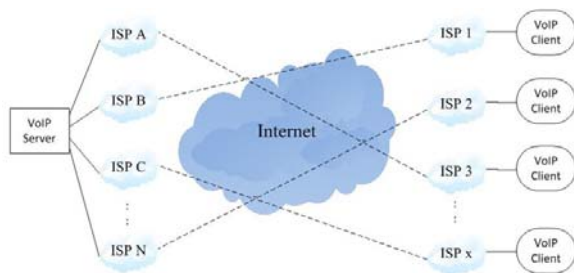


圖 1 研究環境架構圖

VoIP 服務系統端 (VoIP Server) 包含交換機設備與多路連接至不同 ISP 之路由，為一完整之 Multi-homing 架構，進行與各 VoIP 用戶端之相互連結，提供 VoIP 服務註冊與通話功能。VoIP Server 並具備 Proxy Server 與 Redirect Server 之功能，使訊務與話務均透過 SIP Server 轉送，以控制 VoIP Server 與各 VoIP Client 間之路由。

Internet 傳輸網路由許多 ISP 業者所組成，每家 ISP 業者最少會有一個唯一的 AS 號碼，用於路由交換之用。每家 ISP 業者小至與一家 ISP 業者直接互連，大可至全世界需多業者互連，隨著網路越大，路由選擇性、變動性也隨之越大。同一 ISP 網域內網路品質通常優於跨網域之 Internet 傳輸。

VoIP 用戶端 (VoIP Client) 採用 SIP 協定，為 Client/Server 架構，當有話務需求時，會先向 SIP Server 進行註冊。發話時 VoIP Client 知道 VoIP Server 位址，故能傳送話務。

3.2 最適路由預測機制

當 VoIP 用戶尚未連線至 VoIP 伺服器前，不但無法得知未來傳輸時之品質，更無法幫用戶預先選擇最適的路由，但 Internet 互連路由器之 BGP 路由表中存在 Internet 所有網段與路由資訊，故如果能取得 BGP 資訊，即能預先計算各網段之路由品質，有助於提供最適路由建議。

“最適路由預測機制”之目的，是為能於 VoIP 服務通訊前，透過取得發話端至受話端之各候選路由品質，從中選擇最適路由。方法說明如下：先於路由器上透過 BGP 協定取得之 AS-Path 與目的網段

資訊，再利用 Ping 等網路工具進行 VoIP Client 端路由品質之收集；並計算由發話端至各目的網段預估之路由品質 Rpr，具有最大 Rpr 值之路由則為最適路由；並將最適路由資訊儲存於目的網段路由與品質資料庫。如圖 2 最適路由預測機制流程圖。

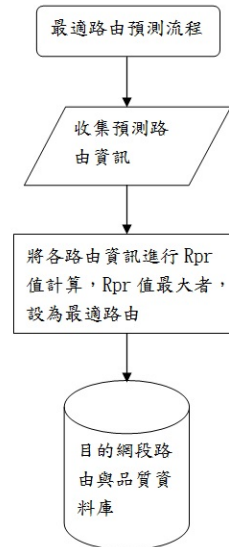


圖 2 最適路由預測機制流程圖

取得 BGP 路由資訊之方法是透過路由資訊收集器連線到 BGP 路由器上，先收集各對外 ISP 介面之 BGP Network/AS-Path/Flap 等資訊，並將收集到之資訊存放於路由資訊收集器；再使用 Ping 與 Trace Route 等網管工具進行點對點之路由品質測試，收集包含 Delay/Loss/Jitter 等網路品質資訊。故結合網段與網路品質資訊，即可預測目的網段之路由品質，如圖 3 路由資訊取得架構圖所示。圖中路由資訊收集器連接 BGP 路由器 (AS1643)，用以收集 Internet 上之 BGP 路由資訊；路由資訊收集器並透過 Ping 與 Trace Route 等網管工具，針對 AS2190/AS543/AS7428/AS3253 等網路進行路由品質分析。

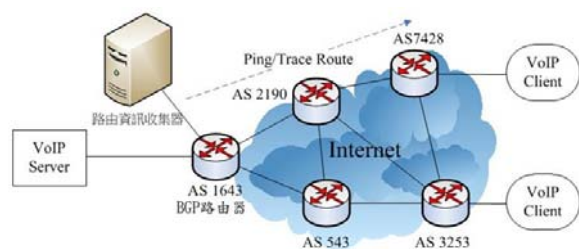


圖 3 路由資訊取得架構圖

針對路由資訊分析方法，本研究定義 BGP 與 Ping/Trace Route 取得之各路由品質參數如下：Trace Route 路由參數經過節點數 (Hop) 為 $T_{h(hop)}$ ，回應時間 (response time) 為 $T_{r(response)}$ ；定義 Ping 路由參數之封包遺失率 (packet loss) 為 $I_{e(loss)}$ ，封包延遲率 (packet delay) 為 $I_{d(delay)}$ ，封包抖動率 (packet jitter) 為 $I_{j(jitter)}$ ，定義 BGP 路由參數經過網路數 (AS-path) 為 $B_{p(path)}$ ，路徑穩定性 (flap-list) 為 $B_{f(flapp)}$ 。Ap 為補償

係數，以使實際語音品質測試值趨近於單純由路由資訊計算之語音品質預測值，此參數可透過實際測試分析時產生。針對最適路由，定義為 AS-Path 值越小，Flap-list 值越小，Hop 值越小，response time 值越小。基於 ITU G.107 R 值計算公式：

$$R_{(\text{delay,loss})} = 93.2 - I_{d(\text{delay})} - I_{e(\text{loss})} - I_{j(\text{jitter})}$$

增加預測參數後，調整最適路由計算公式為：

$$R_{pr(\text{delay,loss,jitter,hop,response,path,flap})} = (93.2 - I_{d(\text{delay})} - I_{e(\text{loss})} - I_{j(\text{jitter})} - T_{h(\text{hop})} - T_{r(\text{response})} - B_{p(\text{path})} - B_{f(\text{flap})}) * A_p$$

3.3 最適路由回饋機制

“最適路由回饋機制”目的是期望當語音通話進行中，透過分析 VoIP 之 RTP 與 RCTP 封包，進行計算封包傳送時之 packet loss/delay/jitter 等資訊，供語音品質分析之用。其中 SIP 封包因僅於 VoIP 話務建立與維持時，才會傳送必要之 SIP 訊令，故相較於持續通話中所包含語音資料之 RTP 與其控制信令 RTCP，SIP 封包所能表示之網路品質的精確度要比 RTP 與 RCTP 低許多。SIP 封包一般採用 TCP 方式傳送，具有封包遺失之重傳機制，故不易測量 packet loss 與 jitter 資訊。RTCP 封包雖未包含語音資料，但因與 RTP 封包具有相依性，故也能獲得較精確之品質資訊。SIP/RTP/RCTP 封包分析法不似上一章節提到透過 BGP 或 Ping 等方法可於事前獲得品質預測資料，此方法必需在通話過程中才能進行，故具有時間即時性，如表 2 路由品質資訊取得方法比較表。

表 2 路由品質資訊取得方法比較表

方法/特色	Delay	Loss	Jitter	準確度	時間性
SIP	○	×	×	低(End to End)	即時
RTP	○	○	○	高(End to End)	即時
RTCP	○	○	○	中(End to End)	即時

預測值 R_{pr} 與實際測量值 R_m 之分析方法說明如下：

$R_{m(\text{delay,loss,jitter})} \geq R_{pr(\text{delay,loss,jitter,hop,response,path,flap})}$ ，代表實際測量 R_m 值高於預測 R_{pr} 值，故代表所選擇之路由已為最適路由，因實際測量值已高於各候選路由。

$R_{m(\text{delay,loss,jitter})} < R_{pr(\text{delay,loss,jitter,hop,response,path,flap})}$ ，代表實際測量值 R_m 小於預測 R_{pr} 值，可能存在其他最適路由，故建議進行預測資料收集流程，並重新評估其他路由品質。

“最適路由回饋機制”之運作流程如下：先針對 VoIP 進行通話時之 RTP 或 RTCP 等封包資料進行語音品質分析，計算語音品質測量 R_m 值，再與語音品質預測 R_{pr} 值進行比較，分析是否已選擇最適路由，或是否需重新進行路由品質預測機制。如圖 4 最適路由回饋機制流程圖。

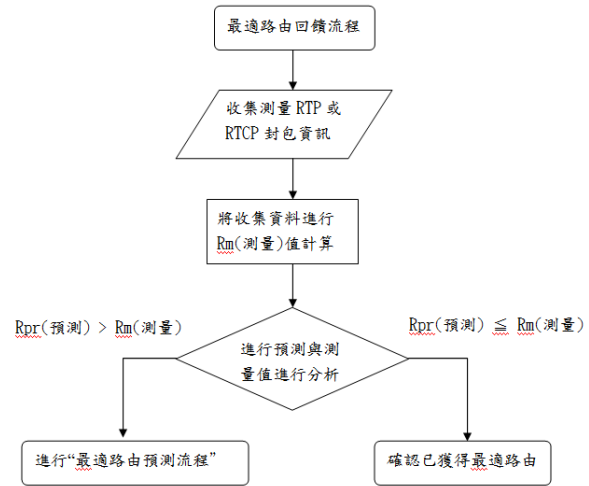


圖 4 最適路由回饋機制流程圖

4 實驗模擬與數據分析

在前面章節中，我們已經詳細說明相關研究、欲改善的問題以及提出改善的方法，而在本章節中，我們將針對前面章節所提出的方法進行實驗，包含“最適路由預測”與“最適路由回饋”兩方面，並對實驗數據分析加以分析，以驗證所提出之方法有達到預期的結果。

4.1 最適路由預測實驗

本研究提出之“最適路由預測”方法，其目的在協助用戶端尚未實際進行連線前，即能透過本研究提出之方法獲得路由品質預估值，並針對 VoIP 伺服器端各通往用戶端之路由進行分析與預測最適路由。本實驗將說明如何取得 Internet 中，BGP 協定產生之 AS-Path 路由資訊，並針對 AS-Path 所屬網段進行路由追蹤與分析品質，最後針對實際自路由器取得之資料，分析 Internet 上 AS-Path 與網段(IP prefix)之變動情形，以了解各 ISP 業者之網路穩定性，供最適路由分析時參考。

本實驗經由中興大學計算機中心協助提供由 BGP 路由器上收集之 AS-Path、IP prefix 資料，資料收集時間分別為 2008 年 5 月取得 3 次資料與 2012 年 5 月取得 1 次，每次資料分別取得四家 ISP 路由之 BGP 資訊。本實驗方向有二，一是比較不同年度與月份 AS-Path 與 IP prefix 變動量，以觀察路由穩定性；二是將取得之資料依年度與月份進行統計分析，觀察路由變動性。

首先進行 BGP 路由資訊取得，收集各家 ISP 之 BGP 資訊，Network 代表目的網段，Next Hop 代表連接至 ISP 業者端口，Metric/LocPrf/Weight 代表路由參數，Path 代表 AS-Path 路徑，如圖 5 BGP 路由取得資訊。

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*> 40.250.64.0/24	211.22.189.186	2000		0	3462 4249 i
*	211.22.189.222	3000		0	3462 4249 i
*> 57.73.160.0/19	140.128.250.64			0	9416 9539 9831 4862 i
*> 58.86.0.0/16	140.128.250.64			0	9416 18042 i
*> 58.86.39.0/24	140.128.250.64			0	9416 18042 i

圖 5 BGP 路由取得資訊

針對由 BGP 路由器取得之網段資訊，透過 Ping 進行各網段路由品質偵測，因透過 BGP 收集之網段並無法直接測試品質，但可藉由探測其網域中之路由器而達成測試之目的，通常路由器之 IP 為網段的第一個 IP 位址或最後一個 IP 位址。經測試可以得到 Delay 之最大值(153ms)/最小值(122ms)/平均值(136ms)，與封包遺失率(0%)及封包傳送抖動時間(153ms-122ms=31ms)，如圖 6 路由品質測試結果。

Ping 57.73.160.1 (使用 32 位元組的資料):
 回覆自 57.73.160.1: 位元組=32 時間=141ms TTL=241
 回覆自 57.73.160.1: 位元組=32 時間=128ms TTL=241
 回覆自 57.73.160.1: 位元組=32 時間=122ms TTL=241
 回覆自 57.73.160.1: 位元組=32 時間=153ms TTL=241

57.73.160.1 的 Ping 統計資料:
 封包: 已傳送 = 4, 已收到 = 4, 已遺失 = 0 (0% 遺失),
 大約的來回時間 (毫秒):
 最小值 = 122ms, 最大值 = 153ms, 平均 = 136ms

圖 6 路由品質測試結果

根據取自 2008 年 5 月四家 ISP 路由之三次資料進行分析，發現每周均有小量之網段增加，但整體網路變動量不大，處於穩定狀態，如表 3 2008 年每週網段總數量比較表。故當新增一 ISP 業者路由資訊時，除首次需針對新 ISP 業者所有網段進行路由追蹤與分析，後續可每周針對變動之網段進行路由追蹤與分析，確保系統資料庫與實際網路環境之路由品質資料相近。

表 3 2008 年每週網段總數量比較表

ISP	網段總數量		
年度	2008-1	2008-2	2008-3
ISP1	254	255	257
ISP2	101	101	102
ISP3	357	380	384
ISP4	208	207	207

針對 2008 與 2012 年網段總數量進行實驗分析，則發現網段有大幅增加趨勢。相較 2008 年每月之網段小幅變化，得知以長期觀點，持續更新部分有變動之網段進行路由追蹤與分析，亦能確保系統資料庫與實際網路環境之路由品質資料相近，而無需經常針對所有網段進行路由追蹤與分析。其中各 ISP 的網段數量有所差異的原因，應是各 ISP 業者採用不同之路由策略所導致。如表 4 2008 與 2012 年網段總數量比較表所示。

表 4 2008 與 2012 年網段總數量比較表

ISP	網段總數量		網段 增加比例
年度	2008	2012	
ISP1	257	588	129%
ISP2	102	452	343%
ISP3	384	563	47%
ISP4	207	1521	635%

此外經實驗發現 ISP 4 具有較多之網段，經分析原始資料發現路由資訊中大幅出現/24 之網段，越小之網段表示更接近用戶端所在位置，故進行路由追蹤與分析得到之數據也將越準確。

針對 2008 與 2012 年 AS-Path 平均長度進行分析，實驗結果顯示，有兩家 ISP 業者之 AS-Path 長度有較高之增加幅度，表示存在較多需經過多個 ISP 業者才能到達之網段。另一方面，具有較短之 AS-Path 長度之 ISP 業者，代表具有較多直接互連的 ISP 業者，經過節點數較少，故影響網路品質的風險也相對較低。如表 5 2008 與 2012 年 AS-Path 平均長度變動分析表。

表 5 2008 與 2012 年 AS-Path 平均長度變動分析表

ISP	AS Path 平均長度		AS Path 增加比例
年度	2008 年	2012 年	
ISP1	1.39	1.75	26%
ISP2	2	2.52	26%
ISP3	2.28	2.48	9%
ISP4	1.34	1.39	4%

4.2 最適路由回饋機制實驗

本研究使用 QualNet 5.01 作為實驗模擬平台進行最適路由回饋機制實驗，透過 QualNet 之 Constant Bit Rate (CBR)功能模擬 Ping 功能以取得網路品質資訊 packet delay 與應用 SIP/RTP/RTCP 協定模擬 VoIP 語音品質，並定義多條不同參數之路由，模擬網路中不同路徑的路由品質。網路環境包含三方面，發送與接收 SIP 與 RTP 封包之發話方與受話方(SIP client)，傳輸 SIP 與 RTP 封包之 Internet 網路，轉送 SIP 與 RTP 封包之伺服器端(SIP server)。如

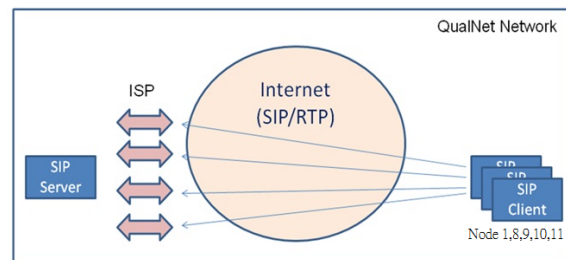


圖 7 實驗架構圖。

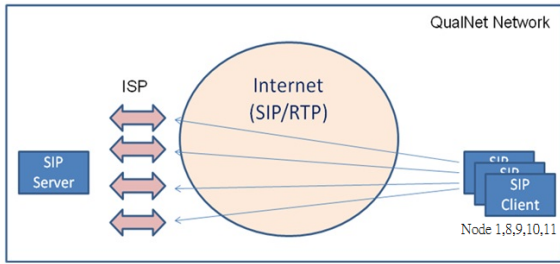


圖 7 實驗架構圖

本實驗分為三步驟，(1) 最適路由預測機制：透過 CBR 功能模擬預測資料之收集與進行 Rpr 值計算。(2)最適路由回饋機制：透過 VoIP 協定模擬實際通話品質之收集。(3)針對前述兩實驗結果進行比較，驗證實驗結果。

實驗環境參數包含 VoIP Codec 為 G.711，通話長度為 60 秒，Packet Loss 為 0 ms，節點 8、9、10、11 之 Packet Delay 分別設定為 100/150/200/250 ms。如表 6 實驗環境參數表。

表 6 實驗環境參數表

節點	Codec	通話長度(s)	loss	delay(ms)
8	G.711	60	0	100
9	G.711	60	0	150
10	G.711	60	0	200
11	G.711	60	0	250

經實驗測試結果，節點 8、9、10、11 所量測之 Packet Delay 之實驗數據分別為 100.0588ms、150.0588ms、200.0588ms、250.0588ms，並將數據帶入 E-model R 值計算公式，可獲得預測值分別為 90.3、88.6、83.3、76.5。接續進行“最適路由回饋機制”實驗，由發話端(節點 1)分別連線至四個受話端(節點 8、9、10、11)，模擬四個不同品質之路由，並透過 SIP 協定分別進行長度為 60 秒之通話。經實驗測試結果，節點 8、9、10、11 所量測之 Packet Delay 之實驗數據分別為 120.0259ms、170.0259ms、220.0259ms、270.0259ms，所量測之語音品質 MOS 實驗數據分別為 4.232972、4.195814、3.986819、3.704295 並將數據帶入 MOS 轉換為 R 值計算公式，可獲得 Rm 值分別為 85.3、84.8、78.9、72.3。

針對實驗數據進行預測值與測量值分析，選其最大差異值 94% 作為預測值優化參數，其差異原因預測值 Rpr 未包含 VoIP 服務之編碼延遲。將實驗所獲得之預測值乘上預測值優化參數可得到節點 8、9、10、11 之預測值 Rpr，分別為 84.882、83.284、78.302、71.91。其中節點 8 滿足 $Rm(\text{測量}) \geq Rpr(\text{各預測值})$ 之條件，故為最適路由。節點 9、10、11 所得到之實驗結果為 $Rm(\text{測量}) < Rpr(\text{各預測值})$ ，故非最適路由。相較於用戶隨機的路由選擇(節點 11 之 $Rm=72.3$)，在預先設定最佳路由(節點 8 之 $Rm=85.3$)的情況下，將能提升 15.2% 之語音品質。如表 7 預測值(Rpr)與測量值(Rm)比較表。

表 7 預測值(Rpr)與測量值(Rm)比較表

節點	實驗數據		優化係數	預測值優化	預測與測量值比較	
	預測值 (優化前)	測量值 Rm	測量:預測 (Ap)	預測值 Rpr	$Rm(\text{測量}) \geq Rpr(\text{各預測值})$	$Rm(\text{測量}) < Rpr(\text{各預測值})$
8	90.3	85.3	94%	84.882	最適路由	
9	88.6	84.8	96%	83.284		非最適路由
10	83.3	78.9	95%	78.302		非最適路由
11	76.5	72.3	95%	71.91		非最適路由

5 結論

本研究提出於多路徑環境下結合 SIP/RTP 協定運行 VoIP 服務之最適路徑決策法，能有效解決自主系統下未能依網路品質選徑等問題。透過本研究收集 2008 與 2012 年度之 BGP 資訊分析得知，IP 網段與 AS-Path 持續變動增加，路由品質預測機制，能有效探測路由之改變，針對變動路由進行分析，提升路由預測之準確性。

本研究並透過 Qualnet 實驗平台模擬多候選路由網路環境，相較於用戶隨機的路由選擇，在預先於候選路由中選擇最佳路由的情況下，將能提升 15.2% 之語音品質。實驗結果顯示具備多路由之 VoIP 服務端相較於單一路由環境能提供品質較佳路由供 VoIP 用戶端連線，有效提升語音服務品質。

參考文獻

- [1] M. Caesar and J. Rexford, "BGP routing policies in ISP networks," *Network, IEEE*, vol. 19, pp. 5-11, 2005.
- [2] Y. Miaji and S. Hassan, "Charge Allocation Concept for Fairer Resource Sharing in Best-Effort Network," in *Network Applications Protocols and Services (NETAPPS), 2010 Second International Conference on*, 2010, pp. 135-140.
- [3] D. K. Goldenberg, L. Qiuy, H. Xie, Y. R. Yang, and Y. Zhang, "Optimizing cost and performance for multihoming," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 34, pp. 79-92, 2004.
- [4] L. Xiaomei and X. Li, "A Survey of Multihoming Technology in Stub Networks: Current Research and Open Issues," *Network, IEEE*, vol. 21, pp. 32-40, 2007.
- [5] L. Hong and L. Mason, "Multipath routing with adaptive playback scheduling for Voice over IP in Service Overlay Networks," in *Sarnoff Symposium, 2008 IEEE*, 2008, pp. 1-5.
- [6] Z. Yong, C. Dovrolis, and M. Ammar, "Combining Multihoming with Overlay Routing (or, How to Be a Better ISP without Owning a Network)," in *INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE*, 2007, pp. 839-847.
- [7] S. Tao, K. Xu, A. Estepa, T. F. L. Gao, R. Guerin, J. Kurose, D. Towsley, and Z. L. Zhang, "Improving VoIP quality through path switching," in *INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE*, 2005, pp. 2268-2278 vol. 4.
- [8] Y. Dan and A. G. Parlos, "Predictive Path Switching Control for Improving the Quality of Service in Real-Time Applications," *Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of*, vol. 1, pp. 308-318, 2007.
- [9] B. Quang Duc and A. Jennings, "Relay Path Selection Approaches in Peer-to-Peer VoIP Systems," in *Telecommunication Networks and Applications Conference, 2008. ATNAC 2008. Australasian*, 2008, pp. 361-366.
- [10] ITU-T, "The e-model, a computational model for use in transmission planning," *Recommendation G.107*, March 2003.
- [11] SCALABLE Network Technologies, "QualNet Developer 5.01 Network Simulator," <http://www.scalablenetworks.com/>.

- March 2010.
- [12] P. Hye Lim, K. Myungchul, and K. Jeong-Seon, "Evaluation of Stream Control Transmission Protocol as a Transport for VoIP over WLAN," in *Advanced Communication Technology, The 9th International Conference on*, 2007, pp. 1613-1617.
 - [13] M. Huaiyuan, B. E. Helvik, and O. J. Wittner, "An impact of addressing schemes on routing scalability," *Communications and Networks, Journal of*, vol. 13, pp. 602-611, 2011.