

植基於 QoE 之網路電話系統語音品質監測機制之研究

A Study on QoE-based Speech Quality Monitoring Mechanism for VoIP System

陳建誠
國防大學管理學院碩士
海軍司令部業參
台北市中山區北安路 305 號

劉興華
國立交通大學資管博士
聲威網際科技公司總經理
新北市中和區中正路 736 號 10 樓之 9

傅振華*

國立交通大學資管博士
國防大學資管系副教授
台北市北投區中央北路二段 70 號

摘要

在大型組織機構中佈署網路電話系統時，雖然使用者可透過網路流量控管語音封包的 QoS(Quality of Service)或是啟動 MPLS(Multi-Protocol Label Switching)來確保語音的品質；然而，在實務上，網路電話語音品質仍需要依靠即時監控系統來達到有效的量測結果，讓大型組織的網管人員得以建置一個完整的網路電話管理系統。本研究植基於改良簡易式 E 模型中的 QoE(Quality of Experience)演算法，建置一個網路電話系統架構上量測語音品質 QoE 的雛型系統，提供管理者有效且即時監控網路電話服務通話品質的量測工具；透過此一雛型系統，網路電話管理者可以省略複雜的主動式音頻評估方式，即可及時獲得端點對端點的用戶通話數據，精準量測語音品質的平均意見得分(Mean Opinion Scores, MOS)。本研究依據網路電話常見可能的通信環境，提出 5 種實作想定，藉以瞭解研究所建置語音品質量測 QoE 雛型系統的可行性與實用性，經各想定的測試後，本研究發現：在不同網路電話系統架構下的語音品質量測，研究所建置的語音品質量測 QoE 雛型系統均能即時且精準評量用戶的網路電話通話品質，同時在經由語音品質告警門檻的建立，將使管理者更能確實掌握大型網路電話系統的運作效能。

關鍵詞：網路電話、QoE、語音監控、改良簡易式E模型

Abstract

In general, users can control the voice QoS with shaping network traffic or initiate MPLS to ensure voice quality when they deploy a VoIP system in a large organization. However, in practice, voice quality of VoIP still relies on a real-time monitoring system to achieve effective measurement results, it allows network administrators of large organizations to build a complete VoIP management system. Based on the Improved Simplified E-model, this study implements a prototype system to measure voice quality QoE on the VoIP system architecture. The implemented prototype system provides a useful measurement tool for administrators to monitor real-time VoIP traffic over a network effectively. With this system, VoIP administrators can obtain users' end-to-end call data instantly without a complex active audio evaluation method and measure the voice quality, MOS (Mean Opinion Scores), accurately. Based on several common communication environment of Internet telephony, this study proposed five practical scenarios to understand the feasibility and practicability of the implemented QoE prototype system for VoIP quality measurement. This study based on the 5 scenarios to receive several test results and found out the QoE prototype system can measure the quality of VoIP calls of users instantly and accurately under different VoIP system architectures. Meanwhile, with a threshold of VoIP quality setting, VoIP administrators can handle better operational effectiveness for a large-scale VoIP system.

Keywords: VoIP、QoE、Speech monitoring、Improved Simplified E-mode

壹、緣起

網路語音協定(Voice over IP, VoIP)(Goode, 2002)是一種將電信網路的語音傳輸訊號以封包為基礎的IP網路技術，近幾年大型企業組織已運用VoIP技術成功運行於電信網路的通訊服務，語音通訊傳輸系統採IP化之分封交換型網路的構想已然成形。美國網路巨擘CISCO於2006年即揭示此一發展方向，並指出未來IP電話系統將在各種應用場景中取代傳統電路交換型網路，由於VoIP的低成本、高擴充功能、新增服務容量及移動性簡單等優勢，均讓軍事、商業或是政府等大型組織，順利推展業務上並節省成本支出等好處。

VoIP的語音品質受到IP網路服務品質的影響，存在很大的不確定性，限制了VoIP的發展。因此，對大型企業組織而言，如何佈署並全面性達到網路電話系統進行通信品質監測和評估，是發現問題、改善服務品質的重要基礎。由於IP網路的特性是採用盡力遞送(Best Effort)方式，並不提供保證服務，所以不同封包有可能採取不同路徑，造成封包順序錯亂或中途遺失。在網路電話系統這種需要兼顧即時性(Real Time)與語音品質的情況下，語音的QoS (Quality of Service)(Ferguson & Huston, 1998)及QoE (Quality of Experience)(Kim等學者, 2008)是服務供應商及使用者急需重視與感受。

現今語音通話品質可採用主觀方法和客觀方法，主觀方法是採用感知語音質量測量(Perceptual Speech Quality Measure, PSQM)(Rix等學者, 2001)，而客觀方法則是採用語音品質的感知評價(Perceptual Evaluation of Speech Quality, PESQ)(Rix等學者, 2001)及E模

型(E-moedl)來進行評估。前者為人為評估方法，是被廣泛認同的語音品質標準，雖然評估結果能夠反映大多數人的品質感受，但成本太高且較為費時；而後者中，PSQM及PESQ主要基於傳統電話網路，用於分析個別設備問題，無法考慮網路故障對用戶感受的影響。而E模型為國際電信聯盟電信標準化部門(ITU-T)建議書G.107評估網路語音品質計算的方法，其主要優點是可以即時應用於客觀非侵入性方法，來監控和預測VoIP通話品質。本研究採用改良簡易式E模型方法，開發雛型系統並透過RTP封包標頭內容相關參數來做為網路電話語音品質分析的參數。

由於網路電話的興起及其軟硬體的快速發展，使大型組織或企業公司可以VoIP系統架設來達成節省通話費、設備購置等多項好處。但就現況而言，網路的其他功能同時運作當下，使得網路電話系統的封包延遲、遺失等影響網路或語音品質情形發生時，無法讓管理者處理因應並解決問題。現今網路電話服務供應商的重點也只能調整系統的網路QoS，造成無法精準地管理與評價網路電話的QoE，因此如何建立一套網路電話管理及語音品質監測系統機制，使系統可即時且有效監測用戶資訊及語音品質，是本研究中亟欲解決的主要問題。

本研究植基於改良簡易式E模型演算法，藉由C++程式語言開發在網路電話系統架構上量測語音品質QoE的雛型系統，同時建立VoIP用戶語音品質評分模組，以做為網路研話管理者配置較佳構型參數的參考依據；研究依據常見網路電話使用的網路環境架構，結合現有VoIP技術，設計不同的實作想定，藉由所開發語音品質量測雛型系統實際運作於不同想定，實際量測使用者網路電話的相關數據資料，計算評估封包遺失率(Packet Loss Rate, PLR)、來回傳送時間(Round Trip Time, RTT)、封包傳送的延遲(Delay)及時閃(Jitter)等影響網路之重要參數；同時透過所開發雛型系統觸發告警臨界值的設計，將使得網路電話系統監測語音品質及管理設備具即時性及智慧化，進而能夠提供大型組織具備即時管理網路電話設備及監控語音品質的雛型系統架構。

貳、文獻探討

網路的快速成長，許多企業開始整合資訊與通訊網路的基礎架構，達到工作效率提升與降低營運成本之目標。本研究將以網路電話系統的SIP協定及VoIP基礎架構，大型組織如何管理與佈署語音品質監測裝置，研究將透過VoIP語音數據傳遞擷取RTP封包表頭內容，然後應用改良簡易式E模型，計算出R因子，然後在加以轉換成平均意見得分(MOS)值，用來即時監控語音品質，以下將介紹本研究雛型系統應用相關技術的文獻資料。

一、網路電話

1. 網路語音協定(VoIP)

VoIP是語音經過壓縮技術，透過IP網路將封包傳送出去，進行語音通話的網路應用。隨著網路快速發展、頻寬流量大與網路普及化，如今網路電話已經成為企業與個人之

間的便利通話功能。在VoIP的網路架構下，所有組成元件必須要能夠執行如同在傳統PSTN網路一樣的所有功能，包括連線和斷線、訊令協定、編解碼、傳輸技術、資料庫服務等。其設備主要組成元件有IP網路、管理伺服器、閘道器、用戶終端機等；圖1為VoIP網路架構圖。

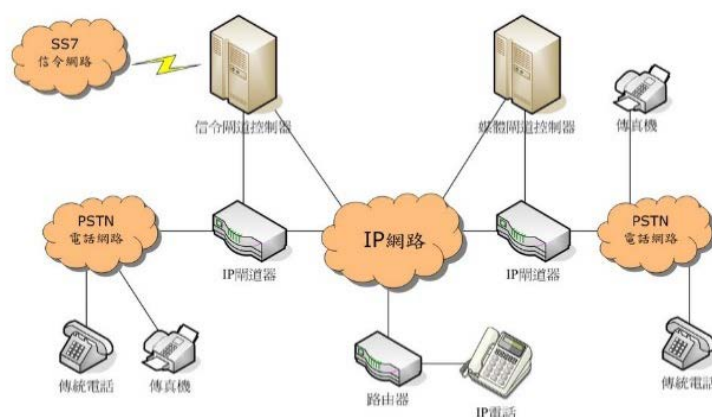


圖 1 VoIP 網路架構圖

資料來源：賴柏洲，2010

2. SIP 協定

SIP(Handley, 1999)是由IETF在1999年5月所制定的一個協定，後來在2002年3月再次被修訂成較完整的RFC-3261(Rosenberg et al., 2002)版本。SIP開發目的是用來做為在網際網路上撥打與接聽網路電話的一種通訊標準，主要在描述建立網路通話所需要的規範，屬於應用層的控制協定，使其在網路環境中建立、修改和終止一個或多個使用者代理的會話，實現即時通訊的功能，以支援IP多媒體的應用，如VoIP、IPTV等。

SIP協定基於簡單、容易開發以及擴充性高等優勢，且採用主從架構，可以輕易地透過XML或Java等方式整合現有應用服務，將語音與數據結合在一起，雖然SIP發展較慢，但已受許多廠商及網路公司青睞，成為目前的關鍵語音通訊標準。

SIP採用分散式架構來提供服務，主要角色是SIP伺服器與SIP User Agent；User Agent透過SIP伺服器進行註冊，並且向SIP 伺服器發送INVITE訊息，經由SIP 伺服器與另一端User Agent建立RTP連線。目前市面上多數的SIP 伺服器產品都同時具有Registrar 伺服器、Proxy 伺服器以及Redirect 伺服器的功能。UA在透過SIP伺服器建立連線時，會使用一串文字訊息傳遞通話資訊。根據RFC-3261的定義，SIP訊息可分為請求與回應兩類，每個SIP訊息又包含三個元素，分別是起始行、訊息表頭以及訊息主體(Message Body, SDP)。前兩者一定得包含在訊息中，而SDP通常是出現於請求訊息。起始行會以請求方法為開頭，接著是被請求端位址(Request-URI)以及SIP版本編號。

當User Agent要建立起連線(Session)時，必須先向SIP伺服器進行註冊，若通過註冊，該SIP伺服器就會儲存使用者的相關資訊，之後才向SIP伺服器發出INVITE訊息，與另一端的使用者建立RTP連線通話。

3. RTP 及 RTCP

現今串流媒體在網際網路上的傳輸方式主要有兩種方式，一種是以 HTTP/TCP 為基礎，另一種是 RTP/UDP。語音通話因即時性需求，故多採用 UDP 傳輸協定來提供語音的封包傳遞。即時傳輸協定 (Real-time Transport Protocol, RTP) (Frederick et al., 2003) 是一種提供端對端點傳輸服務，可傳輸即時性互動式語音或影像資料。由於其運作於 UDP 之上，故以 RTP 協定提供時間戳記，用來達成同步等能力、序號，用來決定封包是否遺失資訊等，具有即時特性資料的基本功能。RTP 也提供資料形式判別，允許各種壓縮格式的資訊，故以此使用於即時語音資料之傳輸協定。本研究，也以 RTP Header 內的時間戳記及序號數據，應用於改良簡易式 E 模型演算法，來即時預測 QoE。

即時傳輸控制協議 (RTP Control Protocol, RTCP) 是用來在來源端與目的端之間交換報告，以獲得目前傳送的狀態，圖 2 為 RTP 與 RTCP 的使用場景。RTCP 報告內容包含許多統計資料，如送出封包數、遺失封包數、時閃等。RTCP 功用是提供資料傳輸品質的回饋、追蹤每一個參與者、控制傳送速率及傳送會談控制資訊。

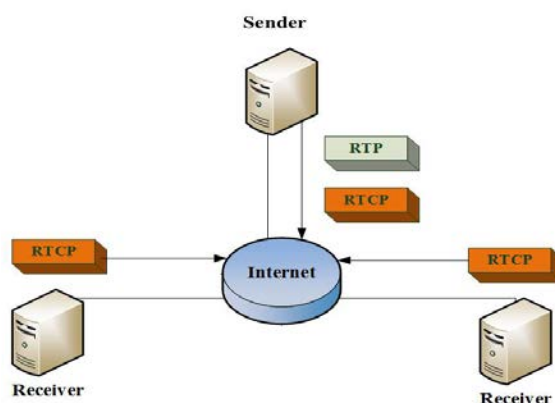


圖 2 RTP 與 RTCP 運作示意圖

二、服務品質及量測

服務品質是被 VoIP 架構最廣泛採用的服務度量標準。服務品質的評價指標主要包括網路的頻寬、延遲、封包遺失率、時閃及誤碼率等。然而語音品質的好壞只在使用者當下瞭解，管理者只能被動的接受服務申訴或是從 QoS 評價指標中，猜測語音的問題點。

1. QoS

在封包交換網路領域中，QoS 是一種控制機制，它提供了針對不同用戶或者不同資料流採用相應不同的優先等級，或者是根據應用程式的要求，保證資料流的效能達到一定的水準。在 VoIP 網路中，影響語音品質的主要原因為整體網路效能連線問題，在通話連接的建立、網路塞車的時間長短，及異常終止、錯誤的電話號碼、通話的斷斷續續、撥號延遲等問題，VoIP 必須要面對的影響 QoS 的因素，包括有傳輸頻寬、傳輸延遲或遲滯 (Latency)、訊號時閃、封包遺失率、雜訊 (Noise)、衰落 (Fading)、回音 (Echo)、串音 (Crosstalk)、語音壓縮 (Voice Compression) 等。

2. QoE

QoE 是以用戶認可程度為標準的服務評價方法。它綜合了服務層面、用戶層面及環

境層面的影響因素，直接反映了用戶對服務的認可程度(林闡等，2012)。目前關於QoE的研究主要分為QoE的定義及影響因素、QoE量化方法、評價指標、評價方法與模型以及基於QoE網路管理、服務管理與優化等部分。本研究在網路電話系統架構上開發語音品質量測雛型系統，其中的QoE伺服器程式即應用Assem等學者(2013)所提之改良簡易式E模型演算法，預測網路電話用戶感知評價。

● QoE的影響因素

QoE影響因素直接影響到QoE評價，基本目標就是從已知或容易測量的影響因素來預測難以直接測量的QoE。Volk等學者(2010)也詳細說明QoE的影響因素，如圖3所示。

服務層面的影響因素包括傳輸層、應用層及服務層的參數；在VoIP系統中，傳輸層反映網路的傳輸狀況，如網路服務等級與流量處理優先等級等；應用層影響因素包括語音封包化效果、路由、訊號及編碼等；服務層參數確定通信的內容、優先級、內容類型配置及品質保證等。用戶層面因素包括有用戶的自身背景、身心狀態、期望及體驗經歷，此層面屬於用戶當下的主觀評價感知而不同。環境層面的影響因素包括：自然環境如隔音條件、噪音大小及環境的固定或移動情境；人文與社會環境如社會觀念及文化規範的所產生的狀況；服務運行環境如有軟硬體環境等。

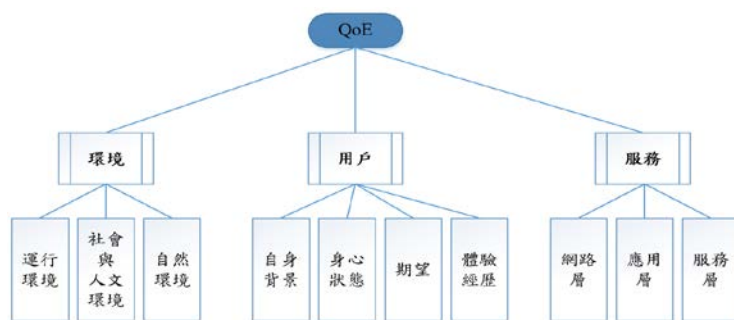


圖3 QoE的影響因素

資料來源：Volk等學者，2010

3. 語音品質量測

ITU-T提供主觀和客觀方法測試網路電話品質，主觀測試需透過提供平均意見得分評量估語音品質評級，但使用主觀測試耗時、昂貴且無法即時測量。客觀方式(無人感知)測量MOS(Hanker, 2003)的方法有PESQ、E模型、簡易式E模型及改良簡易式E模型等。

● PESQ

語音品質的感知評估是預測語音品質的客觀方法，這是一種考慮兩個信號的入侵檢測方法，一個是參考信號，另一個是實際的退化信號；兩個信號通過使用PESQ算法(Rix等學者, 2001)的測試發送取得PESQ分數，但此方法無法用於即時端對端點監測。

● E 模型

E模型是由ITU-T G.107(2009)提出一種新的客觀方法，該模型將影響語音品質的所有損失因子組合在映射到MOS與R因子的對照值中評量。E模型主要在提供網路品質的

估計，已有出相當準確性，但它仍無法即時測量網路語音品質。

● 簡易式 E 模型

原始E模型涉及許多因素且非常複雜，因此，Jiang & Huang(2011)研究語音品質最重要的部分導入簡易式E模型，用於網路電話系統的語音品質監控。此模型考慮了編解碼器和當前網路條件，為影響語音品質的主要兩個因素。簡易式E模型通過計算評估值R因子由演算公式(1)表示。

$$R = R_0 - I_{\text{codec}} - I_{\text{packetloss}} - I_{\text{delay}} \quad (1)$$

其中 R_0 表示信號雜訊比， I_{delay} 表示從端點到端點的延遲， I_{codec} 是編解碼器因子， $I_{\text{packetloss}}$ 是特定時間內的封包遺失率。最後，由所得到的R因子映射到MOS值。

● 改良簡易式 E 模型

此模型由Haytham Assem學者等(2013)提出，修改前述E模型簡化修改版本，來確定語音品質MOS評級，計算模型由數學函式表示，如公式(2)所示。

$$R = R_y - I_d + A \quad (2)$$

其中， I_d 是特定時間內的平均封包延遲， A 是通信系統的預期因素， R_y 是依據ITU-T建議書P.862定義的標準客觀方法PESQ分數，其計算如公式(3)所示。

$$R_y = aR_x^2 + bR_x + c \quad (3)$$

其中， R_x 是簡易式E模型的一部分，可透過公式(4)計算獲得，而 a 、 b 及 c 是網路編解碼器係數，如表1所示。

表1 改良簡易式E模型編碼特殊係數

編碼方式	a	b	c
G.711	0.180	-27.90	1126.62
G.723.1	0.039	-4.2	166.61
G.726	0.046	-4.53	168.09
G.729A	0.063	-8.08	311.72

$$R_x = R_0 - I_e - I_{p,l} \quad (4)$$

R_0 是信號雜訊比，由於不易計算，此模式依據ITU-T G.113建議書提供的 R_0 設定值，將 R_0 設定為93.2； I_e 是設備損耗(編解碼器品質)因素，可參照ITU-T G.113建議書編解類型資訊(如表2所示)； $I_{p,l}$ 是特定時段內的封包遺失率，可用公式(5)表示。

表2 編碼類型資訊

編碼類型	參考	BitRate (Kbit/s)	I_e value
PCM	G.711	64	0
ACELP	G.723.1	5.3	19
ADPCM	G.726	24	25
CS-ACELP	G.729A	8	11

$$I_{p,l} = (1 - \frac{N}{DS}) \times 100\% \quad (5)$$

其中，DS是N個封包的最大(LS)和最小(SS)序列號之間的差異，可從接收到封包的RTP標頭中的序號欄位獲得計算。

而特定時間內的平均封包延遲(I_d)是指封包從網路發話端傳送到收話端所需的時間，可由公式(6)表示。

$$d = t_0 + t_1 + t_2 + t_3 \quad (6)$$

其中， t_0 至 t_3 分別為傳播延遲、傳輸延遲、封包交換延遲及時閃緩衝器延遲。

由於封包延遲涉及四種不同的延遲量測，為簡化封包延遲的量測作業，Cole及Rosenbluth(2001)二位學者針對封包延遲量測進行實驗研究，發現封包延遲的計算可以公式(7)表示，因此，本研究QoE演算模型中的封包延遲將依據公式(7)計算。另ITU-T建議書中說明，良好的語音品質單向延遲不應超過150 ms。

$$I_d = 0.024d + 0.11(d - 177.3)H(d - 177.3) \quad (7)$$

A是優勢因素，允許用戶補償損害因素受益於其他類型的訪問優勢（例如，行動通訊環境）(Sanchez-Iborra等學者, 2016)，在ITU-T G.107(2015)列出A的設定值(如表3所示)，並引入E模型，用於傳輸規劃計算模型。

表3 優勢因素A設定值

通訊環境	A值
傳統環境	0
建築物中蜂窩網絡的移動性	5
地理區域內的移動性或在行駛中的車輛	10
進入難以到達的位置，例如通過多跳衛星連接	20

資料來源：ITU-T G.107，2015

E模型的R因子最終轉換為MOS分數，如表4所示，理論傳輸範圍性能評級R因子從0到100。R=0表示最差品質，R=100表示最佳品質。MOS值的估計平均得分的R值可以由公式(8)表示。

$$\begin{aligned}
 &MOS = 1 \text{ where } R < 0 \\
 &MOS = 1 + 0.035 \times R + \frac{R(R-60)(100-R)}{7 \times 10^{-6}} \quad (8) \\
 &\text{where } 0 \leq R \leq 100 \\
 &MOS = 4.5 \text{ where } R > 100
 \end{aligned}$$

改良簡易式E-model為計算語音品質提供了一種新的方法。其主要優點是可以即時且

簡易的應用於客觀非侵入性方法，適用於監控和預測VoIP通話品質。依據ITU-T所訂定語音品質與使用者滿意度對照表(請詳表4)，在傳統電話系統(PSTN)中，一般用戶能接受的R因子不低於70，所以在研究實作中設定端對端點的語音R因子70(換算MOS值3.6)以上為正常，MOS值低於3.6則列入告警。

表4 ITU-T語音品質與使用者滿意度對照表

使用者滿意度 \ 語音品質	R	MOS
非常滿意	90	4.34
滿意	80	4.03
一些使用者不滿意	70	3.60
許多使用者不滿意	60	3.10
幾乎所有使用者不滿意	50	2.58

資料來源：ITU-T G.107(2015)

3. 網路電話監測相關研究

在學術研究上，對於網路電話語音品質上有許多探討，如Fonseca D.等學者(2001)提出基於RTCP封包在端點對端點效能分析方法，量測封包以監測語音封包遺失率、延遲及時閃等情形。張軍及張德運兩位學者(2006)提出了一種基於語音信號頻率特性和網路傳輸條件的評價方法，其中網路傳輸參數、往返時間、延遲和時閃，均依賴解析RTCP封包來獲得。但在RFC-3550中，已說明RTCP封包計算QoS值之準確度，會因丟包問題，無法真實反映語音的品質。Jiang & Huang(2011)透過確認已建立通話連線期間的品質資訊，以不同流量負載監測語音品質延遲、封包延遲等情形。Bayley T.等學者(2011)也針對連線中的語音通話品質實施監測，依接收端所發送的請求產生相對應的訊息以評估語音品質。

Calyam P.等學者(2007)使用Gap-Model間接測量模型，藉由即時監測IP封包資訊估計在IP網路傳輸語音的收聽品質，但Gap-Model模型缺乏對VoIP系統特性的分析，模型的建立也缺乏理論與實驗證明。Lee, C. Y.等學者(2008)提出監控與偵測網路電話服務威脅的架構，藉由蒐集SIP訊息、VoIP網路監控及流量異常監測，得知是否有異常情形。Sun & Ifeachor二位學者(2006)採用非線性回歸模型，透過RTP封包取得參數，以網路封包遺失率、和端對端點延遲做為自變量，建立回歸模型，預測通話語音品質；但此研究僅把用戶端的延遲納入品質考量參數，而未把當下影響語音品質的重要參數-時閃納入評比。

叁、植基於 QoE 之網路電話語音品質監測雛型系統

本研究在網路電話環境與系統架構上開發VoIP網路電話語音品質量測雛型系統，此一雛型系統將植基於改良簡易式E模型演算法，透過C++程式語言開發，並運作於linux作業系統環境中，可以針對當下廣泛運用的網路電話進行通話語音品質監測，可運作於

分散式之網路電話監控系統架構，使大型網路電話系統可即時達成各IP-PBX端點用戶之監測管理功能，協助網路電話系統管理者瞭解VoIP網路電話的語音通話品質，藉以進一步調控企業或組織內網路電話整體的運作品質。

此一網路電話語音品質量測雛型系統將針對VoIP網路電話通話的網路封包傳送相關數據資料，計算出網路電話通話的封包遺失率、網路電話封包來回傳送時間、封包傳送的延遲及時閃等重要參數，然後依據這些影響電話網路封包傳送的重要參數計算出改良簡易式E-model中的R因子及網路電話用戶語音的平均意見得分(MOS)，做為量測網路電話通話品質的依據；此外，研究所開發的網路電話語音品質量測雛型系統將透過網路電話通話語音品質臨界值觸發告警的設計，使得網路電話管理者能夠具備智慧型處理模式及時地掌控網路電話的通話語音品質，同時透過可運作於分散式之網路電話監控系統架構，使大型網路電話系統可即時監測管理各IP-PBX端點用戶之通話語音品質，進而能夠提供大型企業或組織具備即時管理網路電話設備及監控語音品質的雛型系統架構。

一、植基於 QoE 的網路電話系統監測架構

研究所提監測架構將在每台IP-PBX上之交換器節點均架設乙套QoE伺服器，提供註冊內之端點用戶IP-Phone設備、Soft-Phone軟體(手機或電腦設備)預測語音QoE，使得QoE伺服器能於網路電話通話期間即時擷取完整之語音RTP封包Header及SIP協定之請求及回應訊息，VoIP網路系統監控架構如圖4所示。

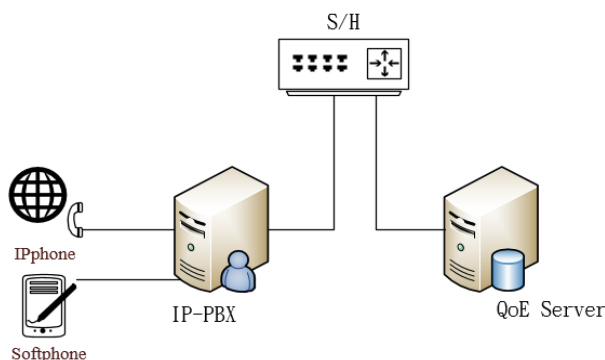


圖 4 VoIP 網路系統監控架構圖

其中，QoE伺服器負責解析RTP表頭中影響QoS重要參數後，然後計算通話中用戶上的平均意見得分。另外QoE伺服器具探針(Probe)作用，可彙整IP-PBX內SIP協定取得在端點對端點間的收發話端通話開始與結束時間、通話總時間、用戶號碼、URI位址、RTP埠、通話編碼方式、呼叫狀態碼等訊息，提供QoE 伺服器的語音通話管理。為達到即時且精準監測用戶在通話過程中的實際通話品質，QoE伺服器的設計邏輯是以每五秒為單位算出MOS值。

研究所提監測架構將可佈署於每套IP-PBX伺服器端點，讓每一套IP-PBX伺服器之註冊端點用戶均可納入管理，再將每套QoE伺服器所計算之語音MOS值資料傳送顯示QoE

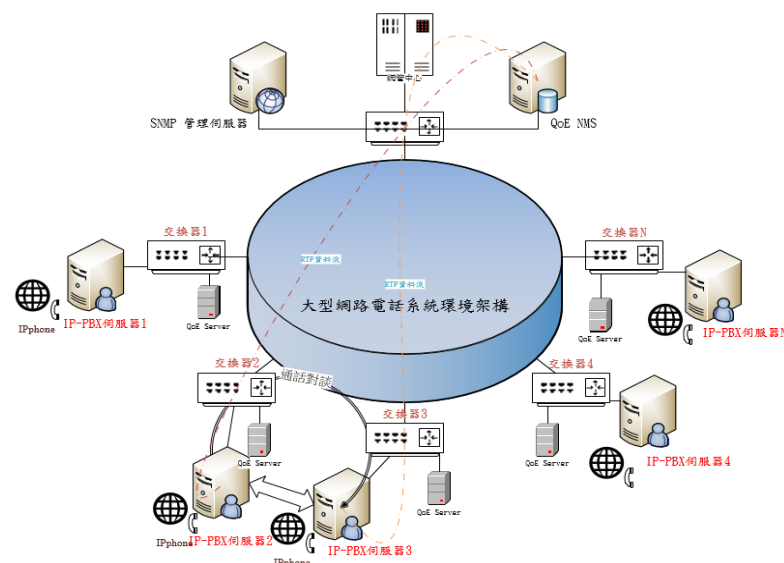


圖5 大型網路電話系統架構整合圖

網路管理系統，使網路服務商或是管理人員即時掌握大型網路電話系統語音品質及產生之告警提醒，如圖5所示。

二、系統架構說明

研究所提監測機制系統所需主要硬體設備如表5所示。

表5 網路電話監測系統所需設備一覽表

項次	設備	數量	單位	功能
1	電腦	2	台	傳送與接收語音，並進行參數設定
2	手機	2	台	傳送與接收語音，並進行參數設定
3	IP-PBX 伺服器	2	台	網路電話系統用戶註冊、SIP 設定等
4	IP-PHONE	2	組	傳送與接收語音，並進行參數設定
5	QoS 伺服器	2	台	管理網路電話語音品質資料及計算語 MOS 值
6	網路交換器	2	台	網路設備資料交換
7	QoENMS	1	台	彙整 QoS 伺服器及 SIP 伺服器資料

監測系統網路電話的應用軟體則使用Microsip軟體，MicroSip是一款可執行於Windows作業系統上的VoIP軟體，它使用非常方便且實用，它可以允許用戶撥打免費電話和低價的國際長途電話。MicroSIP軟體兼容符合SIP協定標準、乾淨的介面及良好的語音解碼器等功能。本研究實驗使用它的主要因為其開放資源性且免費支援下列語音編解碼器：G.711A(PCMA)、G.711U(PCMU)、G.722、G.723、G.729、iLBC、GSM、AMR、AMR-WB、Speex、SILK和線性PCM。

在實作過程中的Soft-Phone係以電腦及手機為電腦網路通話所需的主機，並配合IP-PBX伺服器所支援的G.711及G.729等兩種編解碼器為主。其中，使用者可在Soft-Phone上設定主機位址、帳號名稱、密碼及傳送方式等帳號設定，均需與SIP伺服器相同始可

作業；此外，使用者可設定Soft-Phone之通訊編碼格式、自動接聽及拒接來電等功能。設定通訊編碼時需注意雙方用戶設定需相同，且SIP伺服器需有支援此編碼方可建立通話連線。

3. QoE 演算法處理流程

在網路電話系統建置中，QoE伺服器傳輸採鏡像(Mirror)方式，在時間同步下透過封包表頭解析SIP session的回應碼資訊。由RTP封包中，瞭解編碼方式及SSRC碼並分析序列編號及時間序，從QoE演算公式取得影響語音品質之重要數據，即時量測出R因子及換算MOS值，最後計算雙方用戶之語音品質納入QoE伺服器管理，演算法及相關處理程序流程圖如圖6、圖7、圖8及圖9所示；其中，圖6顯示QoE演算法運作處理的流程，而圖7、圖8及圖9則分別顯示QoE演算法運作處理作業會呼叫執行的處理流程：「處理SIP連線」作業、「儲存RTP資訊」作業及「每5秒計算MOS值」作業。

在圖6所顯示QoE演算法運作處理流程中，首先進行同步化與封包時戳訂閱初始化設定，包括：與其他QoS服務時間進行同步設定及向其他QoS服務訂閱RTP封包的時戳。完成初始化設定後，QoE演算法將從網卡開始讀取封包資訊的作業處理，如果持續接收到封包，將進行一系列封包類型判斷的處理，否則QoE演算法處理作業將結束運作。QoE演算法對接收封包進行類型判別作業處理流程如下：首先，演算法將判斷是否為UDP封包，如果不是UDP封包，則會回到從網卡開始讀取封包的處理步驟；如果是UDP封包，則繼續判斷是否為SIP封包，如果是SIP封包，則進行「處理SIP連線」作業處理；如果不是SIP封包，則繼續判斷是否為RTP封包，如果是RTP封包，則進行「儲存RTP資訊」作業處理，如果不是RTP封包，則演算法會回到從網卡開始讀取封包的處理步驟；當演算法完成儲存SIP資訊作業處理或是儲存RTP資訊作業處理後，則會回到從網卡開始讀取封包的處理步驟。由前述的處理流程說明可以知曉：當網卡持續接收到封包，QoE演算法會持續進行封包類型判別及相關封包資訊儲存的處理，直到網卡沒有接收到封包為止。

。

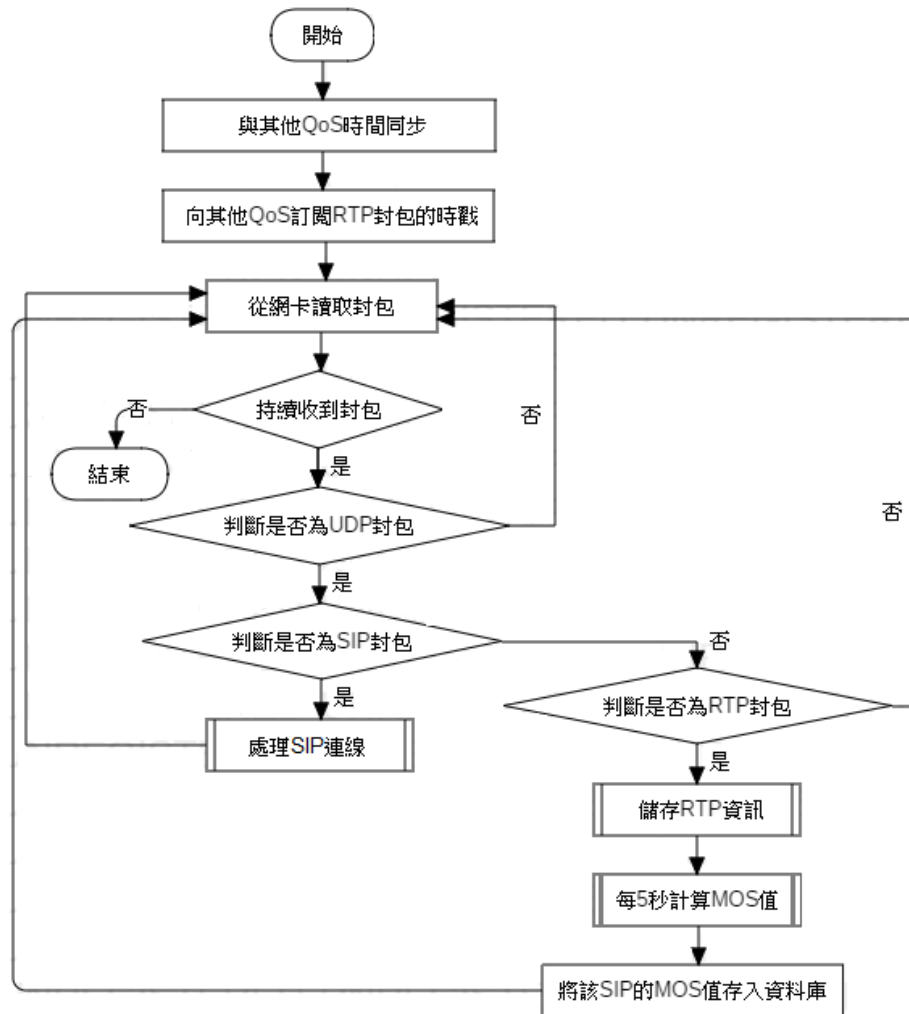


圖6 QoE演算法處理流程圖

在「處理SIP連線」作業中，QoE演算法將依據所接收到SIP封包的類型，針對SIP連線進行不同的處理方式。在圖7所顯示處理SIP連線作業流程中，首先判斷SIP封包是否為「SIP INVITE」類型，如果是「SIP INVITE」類型封包，則建立新的SIP連線資訊，然後結束處理SIP連線作業；如果不是「SIP INVITE」類型封包，則繼續判斷是否為「SIP BYE」類型封包，如果是「SIP BYE」類型封包，則關閉這條SIP連線資訊，然後結束處理SIP連線作業；如果也不「SIP BYE」類型封包，則更新這條SIP連線資訊，然後結束處理SIP連線作業。

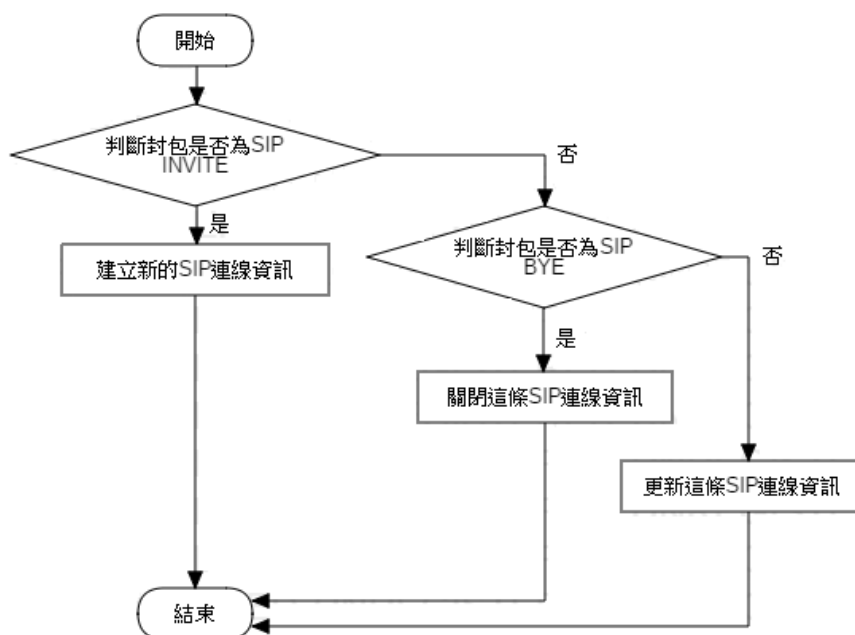


圖7 處理SIP連線作業流程圖

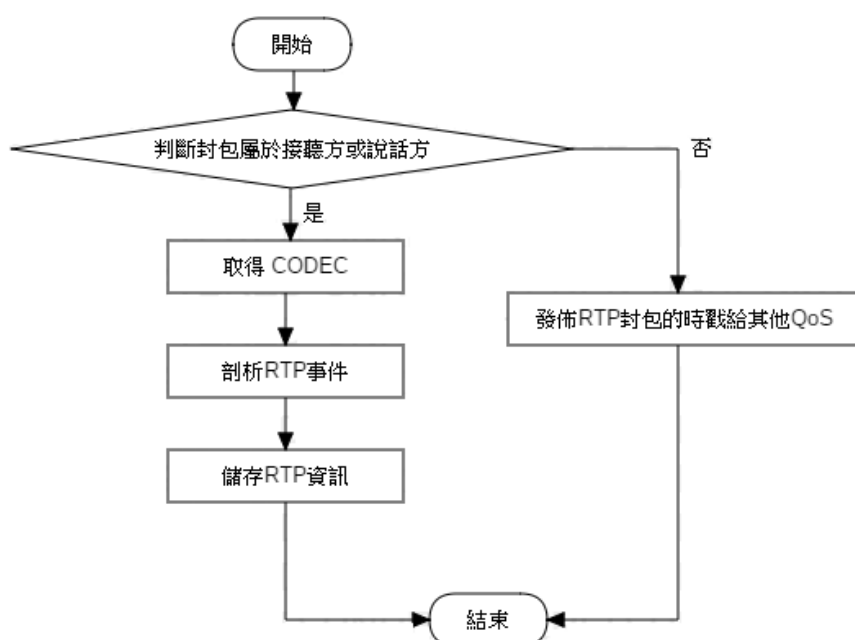


圖 8 儲存 RTP 資訊作業流程圖

在「儲存RTP資訊」作業中，QoE演算法將判斷所接收到RTP封包的類型，針對RTP封包資訊連線進行不同的處理方式。在圖8所顯示儲存RTP資訊作業流程中，首先判斷RTP封包是否屬於接聽方或是通話方，如果是屬於接聽方或是通話方的封包，則取得封包編碼內容，進行RTP事件的剖析處理，並進行RTP資訊儲存處理，然後結束儲存RTP資訊作業；如果不是屬於接聽方或是通話方的封包，則發布RTP封包時戳給其他QoS服

務，然後結束儲存RTP資訊作業。

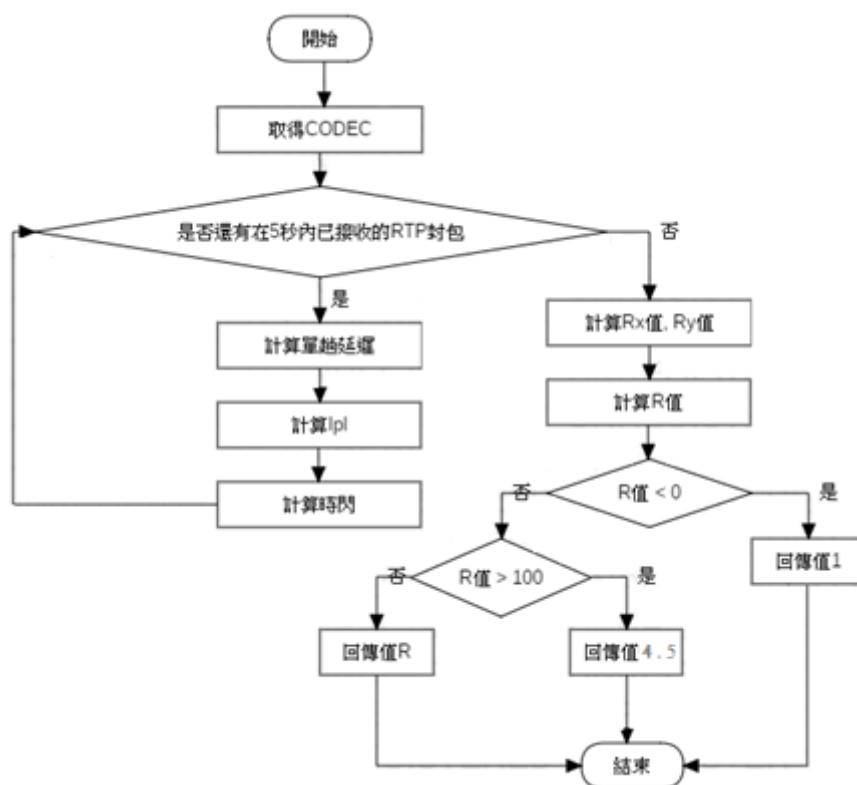


圖 9 每 5 秒計算 MOS 值作業流程圖

「每5秒計算MOS值」作業中，QoE演算法將依據先前所儲存RTP資訊計算每5秒鐘的MOS，以做為後續判斷網路電話通話品質的依據。在圖9所顯示每5秒計算MOS值作業流程中，首先取得封包編碼內容，然後判斷在5秒內是否有已接收的RTP封包，如果在5秒內有已接收的RTP封包，則依序計算封包單趟延遲、lpl及時間；如果在5秒內沒有已接收的RTP封包，則依序計算 R_x 值、 R_y 值及R值；然後判斷R值是否小於0，如果R值小於0，則回傳值1，如果R值大於0，然後繼續判斷R值是否小於100，如果R值是大於100，則回傳值0，如果R值是小於100，則回傳R值。

肆、實驗結果與分析

實驗想定以用戶在不同網路設備架構下之情況，實作IP-PBX 伺服器及端點設備架設VoIP設備，來驗證QoE資料庫蒐集端點對端點的RTP封包Header內容，以改良簡易式E模型來推導QoE。每通語音通話建立後，主叫端透過QoE伺服器，擷取在被叫端聽到之語音數據(RTP封包)，並將RTP表頭影響通話品質之數據回饋至QoE 伺服器，然後解析出封包損失率、時間及延遲數值與R因子及MOS值換算；相同地，被叫端亦是以此方式計算相關語音品質，各想定均以G.711及G.729等兩種不同通訊編碼方式驗證實作評比。

此外，為瞭解網路電話語音封包遺失率、延遲及時間與語音監測R值及MOS質的變化關係，研究將以想定及通訊編碼方式為基準，依據研究網路電話語音監測實作所獲得

的五種數據，加以整理，分別計算出這五種網路電話語音監測數據的變化範圍（即每種數據的最大值減去最小值），然後再將每種所獲得的監測數據減去該種監測數據的最小值，此一計算出來的結果再除以該種數據的變化範圍，即可獲得該種數據的相對變化量，如公式(9)所示。

$$data_{changing_ratio} = \frac{data - data_{floor}}{data_{ceiling} - data_{floor}} \quad (9)$$

透過此一計算處理將使得網路電話語音監測所獲得的五種數據變化均以百分比的數值呈現，進而繪製不同想定及通訊編碼方式的網路電話語音監測品質變化對照圖；經由此一語音監測品質變化對照圖的比對，將有助研究進一步瞭解網路電話語音封包遺失率、延遲及時閃與語音監測R值及MOS質的變化關係。

一、 想定一：通話二端為兩台 IP-Phone

此想定為網路電話通話二端為兩部IP-Phone，其分別位於不同區域網路內，分別跟不同IP PBX伺服器註冊，以分機對分機實測通話，電話網路架構如圖10所示；然後利用QoE伺服器計算影響用戶網路環境通話品質的相關數據，取得雙方用戶的語音MOS值，以知

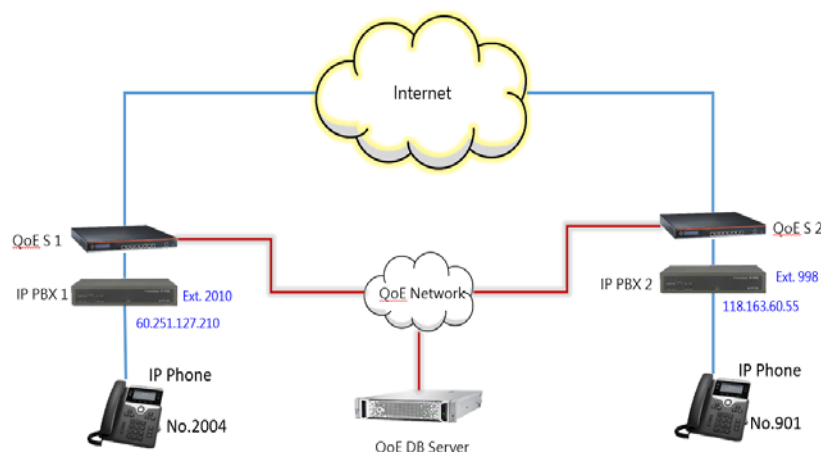


圖10 VoIP系統通話二端均為IP-Phone架構圖

表6 主叫端語音監測數據表(G.711)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	4.32879	89.5885	0	11.4443	2.09175	0x8727BE86
2	4.32931	89.6091	0	10.5891	1.44695	0x8727BE86
3	4.32779	89.5488	0	13.1012	3.60609	0x8727BE86
4	4.32929	89.6083	0	10.6217	1.52749	0x8727BE86
5	4.32928	89.608	0	10.6316	1.46885	0x8727BE86
6	4.32879	89.5886	0	11.4413	2.89349	0x8727BE86
7	4.31857	89.1868	0	28.1854	5.02268	0x8727BE86
8	4.31532	89.0611	0	33.4221	5.6882	0x8727BE86
9	4.15599	83.7045	0.787402	75.8295	10.7372	0x8727BE86
10	4.08606	81.6847	1.20482	67.9227	9.92585	0x8727BE86

表7 被叫端語音監測數據表(G.711)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	4.33044	89.6545	0	8.69434	0.40433	0x8CC5228E
2	4.33044	89.6546	0	8.69318	0.409101	0x8CC5228E
3	4.33048	89.6559	0	8.63574	0.287168	0x8CC5228E
4	4.3304	89.6528	0	8.76808	0.854942	0x8CC5228E
5	4.33049	89.6562	0	8.6248	0.875834	0x8CC5228E
6	4.33048	89.6559	0	8.63753	0.416258	0x8CC5228E
7	4.33045	89.6547	0	8.68738	0.288524	0x8CC5228E
8	4.33034	89.6501	0	8.87742	1.14376	0x8CC5228E
9	4.33046	89.6553	0	8.66473	0.426835	0x8CC5228E
10	4.33003	89.6381	0	9.38069	2.08528	0x8CC5228E

表8 主叫端語音監測數據表(G.729)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	3.69564	72.1387	0	45.2576	3.75242	0xA573F25C
2	3.72284	72.7424	0	20.1066	2.50685	0xA573F25C
3	3.64459	71.0227	0.4	54.2262	5.03838	0xA573F25C
4	3.72916	72.8836	0	14.2222	2.5112	0xA573F25C
5	3.72682	72.8313	0	16.3998	2.82568	0xA573F25C
6	3.67298	71.6408	0	66.005	3.25098	0xA573F25C
7	3.64543	71.0409	0.396825	53.7608	4.05551	0xA573F25C
8	3.69782	72.1868	0	43.2533	5.23149	0xA573F25C
9	3.61742	70.4369	0.787402	43.0818	4.97103	0xA573F25C
10	3.6569	71.29	0.401606	42.9385	4.63668	0xA573F25C

表9 被叫端語音監測數據表(G.729)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	3.73516	73.0178	0	8.62864	0.87221	0xD207D7F9
2	3.73524	73.0196	0	8.55369	1.76515	0xD207D7F9
3	3.73512	73.0169	0	8.66651	1.02471	0xD207D7F9
4	3.73526	73.0202	0	8.52917	1.63372	0xD207D7F9
5	3.73519	73.0186	0	8.59748	0.670234	0xD207D7F9
6	3.73525	73.0199	0	8.54237	0.667211	0xD207D7F9
7	3.7352	73.0189	0	8.58328	0.858142	0xD207D7F9
8	3.73524	73.0197	0	8.55077	0.75143	0xD207D7F9
9	3.7353	73.0211	0	8.49335	0.781826	0xD207D7F9
10	3.73532	73.0215	0	8.47499	0.707565	0xD207D7F9

曉網路電話通話QoE值及語音品質；主叫端分機撥打被叫端分機通話測試的編碼格式為G.711及G.729，用戶端語音數據及G.711/G.729 CODEC語音監測數據統計如表6~9所示。

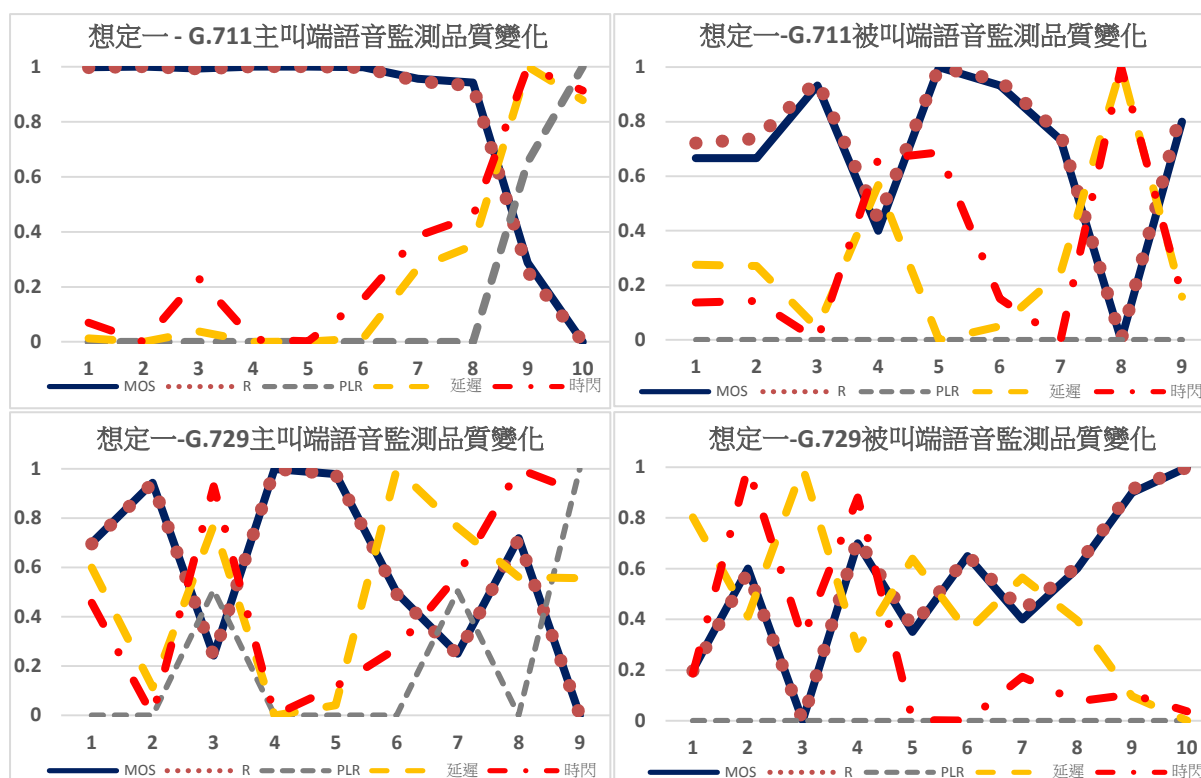


圖11 想定一-G.711及G.729語音監測品質變化對照圖

由表6~9所顯示的數據，可以發現：在想定一，主叫端及被叫端以G.711編碼方式的20筆RTP封包中，MOS值最低為4.09，最高PLR為1.20%，延遲最差為75.83ms，時閃最差為10.74ms；依據語音品質與使用者滿意度對照表(請詳表4)，可以得知：當通話二端均為兩台IP-Phone時，透過G.711編碼方式傳送RTP封包，檢視R值與MOS值等數值，使用者體驗的語音品質可判定為「滿意」等級。此外，當主叫端及被叫端以G.729編碼方式的20筆RTP封包中，MOS值最低為3.62，最高PLR為0.79%，延遲最差為66.01ms，時閃最差為5.23ms；依據表4，發現當通話二端均為兩台IP-Phone時，透過G.729編碼方式傳送RTP封包，檢視R值與MOS值的數據，其使用者體驗的語音品質均屬「一些使用者不滿意」等級，故整體而言，其語音品質將歸類為可接受的情形。

另外，進一步檢視想定一語音監測品質變化對照圖(如圖11所示)，可以發現：在G.711編碼方式，網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動與PLR、延遲及時閃呈現反向關聯現象，特別是與延遲及時閃；當延遲及時閃數值變化波動相對高升時，R值及MOS值則會變化波動相對降低，當延遲及時閃數值變化波動相對降低時，R值及MOS值就會變化波動相對高升。而在G.729編碼方式，網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動與延遲數值變化波動呈現較為明顯的反向關聯現象。

由想定一所獲得的通話數據，可以知曉：當通話二端均為兩部IP-Phone時，網路電話透過G.711與G.729編碼方式，依據ITU-T語音品質與使用者滿意度對照表，使用者體驗的語音通話品質可分別判定為「滿意」等級及「一些使用者不滿意」等級；此一結果顯示當通話二端均為兩部IP-Phone時，其網路電話語音品質均能維持在可接受的狀況，

尚可確保網路電話一定的通話語音品質。

二、 想定二：通話二端為在相同 4G 無線網路的兩部靜止狀態 Soft-Phone

此想定為網路電話通話二端為兩台智慧型手機，分別執行MicroSIP App軟體，提供網路電話通話所需Soft-Phone的功能；這二部Soft-Phone都在相同4G無線網路內，分別跟不同的IP PBX伺服器註冊，以手機對手機實測通話(如圖12所示)；然後利用QoE伺服器計算影響用戶網路環境通話品質的相關數據，取得雙方用戶的語音MOS值，以知曉網路電話通話QoE值及語音品質；主叫端撥打被叫端通話測試的編碼格式為G.711及G.729，用戶端語音數據及G.711/G.729 CODEC語音分析統計如表10~13。

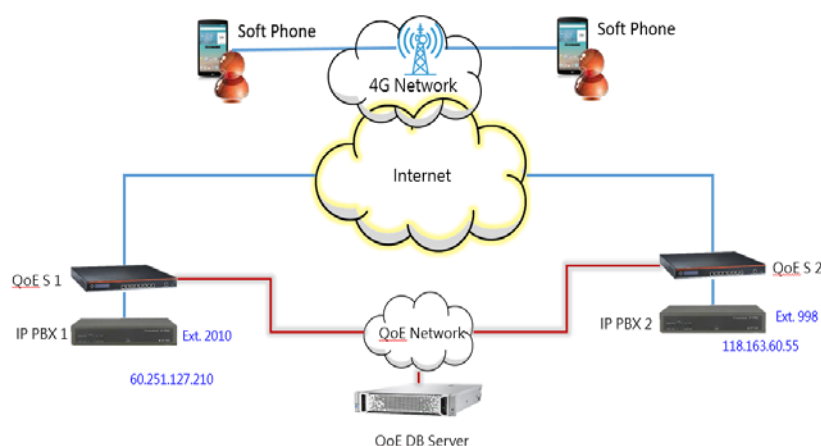


圖12 VoIP系統通話二端均為在相同4G無線網路中且為靜止狀態Soft-Phone的架構圖

表10~13所顯示的數據，可以發現：在想定二，主叫端及被叫端以G.711編碼方式的20筆RTP封包中，MOS值最低為4.32，PLR為0，延遲最差為26.33ms，時閃最差為91.48ms；依據語音品質與使用者滿意度對照表(請詳表4)，可以得知：當通話二端均為兩部靜止狀態的Soft-Phone且在相同4G無線網路時，透過G.711編碼方式傳送RTP封包，檢視R值與MOS值等數值，使用者體驗語音品質可以判定為「滿意」等級。此外，當主叫端及被叫

表10 主叫端語音分析數據表(G.711)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	4.33048	89.6558	0	8.64089	1.91024	0xFDF4060A
2	4.33052	89.6576	0	8.5666	3.5055	0xFDF4060A
3	4.3305	89.6569	0	8.59613	2.69871	0xFDF4060A
4	4.33053	89.658	0	8.55062	3.62458	0xFDF4060A
5	4.33032	89.6494	0	8.90811	3.4391	0xFDF4060A
6	4.33048	89.6562	0	8.62716	3.31217	0xFDF4060A
7	4.33049	89.6563	0	8.62242	2.94854	0xFDF4060A
8	4.33052	89.6575	0	8.56999	3.18049	0xFDF4060A
9	4.3305	89.6568	0	8.60174	6.30972	0xFDF4060A
10	4.33052	89.6574	0	8.57538	3.68465	0xFDF4060A

表11 被叫端語音分析數據表(G.711)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	4.32713	89.5228	0	14.1851	21.8240	0x4C6AC942
2	4.31971	89.2312	0	26.3326	58.2122	0x4C6AC942
3	4.32893	89.594	0	11.2169	42.7438	0x4C6AC942
4	4.32892	89.5935	0	11.2365	91.4837	0x4C6AC942
5	4.32911	89.6014	0	10.9095	50.9585	0x4C6AC942
6	4.32919	89.6045	0	10.7811	85.4075	0x4C6AC942
7	4.32903	89.5979	0	11.0522	34.8792	0x4C6AC942
8	4.32893	89.5943	0	11.2037	10.4301	0x4C6AC942
9	4.32874	89.5867	0	11.5206	11.3826	0x4C6AC942
10	4.32728	89.5287	0	13.9372	42.6481	0x4C6AC942

表12 主叫端語音分析數據表(G.729)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	3.7334	72.9784	0	10.2708	4.63882	0x5F323BF6
2	3.73335	72.9773	0	10.3172	5.55227	0x5F323BF6
3	3.73317	72.9732	0	10.4873	7.13233	0x5F323BF6
4	3.73246	72.9574	0	11.148	6.07882	0x5F323BF6
5	3.73287	72.9666	0	10.7618	6.51958	0x5F323BF6
6	3.73254	72.9593	0	11.0682	5.22683	0x5F323BF6
7	3.73319	72.9738	0	10.4624	3.5474	0x5F323BF6
8	3.73121	72.9295	0	12.3107	3.89282	0x5F323BF6
9	3.73268	72.9623	0	10.9403	3.95431	0x5F323BF6
10	3.73252	72.9586	0	11.0949	3.88775	0x5F323BF6

表13 被叫端語音分析數據表(G.729)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	3.73538	73.0229	0	8.41799	6.41523	0x63222814
2	3.73539	73.023	0	8.41307	5.63062	0x63222814
3	3.7354	73.0233	0	8.39962	5.37644	0x63222814
4	3.73543	73.024	0	8.37231	5.39446	0x63222814
5	3.73539	73.0231	0	8.40818	5.9618	0x63222814
6	3.73539	73.0231	0	8.40734	4.96097	0x63222814
7	3.73542	73.0239	0	8.37748	4.74546	0x63222814
8	3.73545	73.0245	0	8.35076	4.96855	0x63222814
9	3.73543	73.024	0	8.37093	4.57676	0x63222814
10	3.7354	73.0233	0	8.40254	4.05297	0x63222814

端以G.729編碼方式的20筆RTP封包中，MOS值最低為3.73，PLR為0，延遲最差為11.15ms，時閃最差為6.08ms。依據語音品質與使用者滿意度對照表(請詳表4)，發現當通話二端均為兩台Soft-Phone時，透過G.729編碼方式傳送RTP封包，檢視R值與MOS值的數據，其

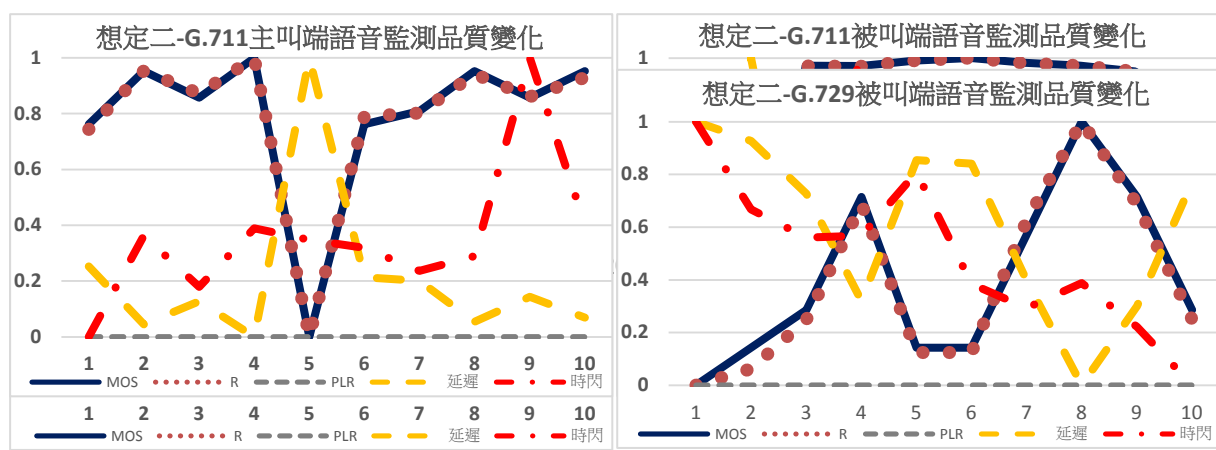


圖13 想定二G.711及G.729語音監測品質變化對照圖

使用者體驗的語音品質均屬「一些使用者不滿意」等級，故整體而言，其語音品質將歸類為可接受的狀況。

另外，進一步檢視想定一語音監測品質變化對照圖(如圖13所示)，可以發現：在G.711編碼方式，網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動與延遲呈現顯著的反向關聯現象；當延遲數值變化波動相對高升時，R值及MOS值則會變化波動相對降低，當延遲數值變化波動相對降低時，R值及MOS值就會變化波動相對高升。而在G.729編碼方式，網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動亦與延遲數值變化波動呈現較為明顯的反向關聯現象。

由想定二所獲得的通話數據，可以知曉：當通話二端均為兩部在相同4G無線網路靜止狀態的Soft-Phone時，網路電話透過G.711與G.729編碼方式，依據ITU-T語音品質與使用者滿意度對照表，使用者體驗的語音通話品質可以分別判定為「滿意」等級及「一些使用者不滿意」等級；此一結果顯示當通話二端均為兩部在相同4G無線網路靜止狀態的Soft-Phone時，其語音品質將歸類為可接受的狀況，尚可提供網路電話一定的通話語音品質。

三、 想定三：通話二端為在不同 4G 無線網路的兩部靜止狀態 Soft-Phone

此想定與想定二內容相近，網路電話通話二端為兩部Soft-Phone，而這二部Soft-Phone呈現靜止狀態，分別在不同4G無線網路內，同時跟不同的IP PBX伺服器註冊，以手機對手機實測通話(如圖14所示)；然後利用QoE伺服器計算影響用戶網路環境通話品質的相關數據，取得雙方用戶的語音MOS值，以知曉網路電話通話QoE值及語音品質；主叫端撥打被叫端通話測試的編碼格式為G.711及G.729，用戶端語音數據及G.711/G.729 CODEC語音分析統計如表14~17。

由表14~17所顯示的數據，可以發現：在想定三，主叫端及被叫端以G.711編碼方式的20筆RTP封包中，MOS值最低為4.09，最高PLR為1.20%，延遲最差為75.83ms，時閃最差

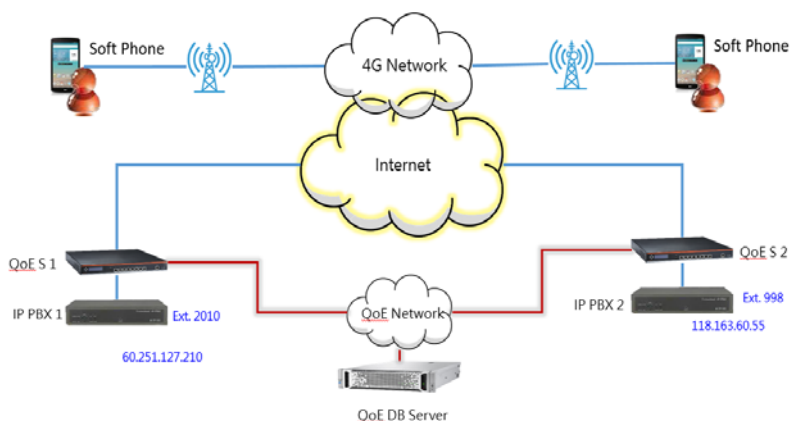


圖14 VoIP系統通話二端均為在不同4G無線網路中且為靜止狀態Soft-Phone的架構圖

表14 主叫端語音分析數據表(G.711)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	4.32879	89.5885	0	11.4443	2.09175	0x8727BE86
2	4.32931	89.6091	0	10.5891	1.44695	0x8727BE86
3	4.32779	89.5488	0	13.1012	3.60609	0x8727BE86
4	4.32929	89.6083	0	10.6217	1.52749	0x8727BE86
5	4.32928	89.608	0	10.6316	1.46885	0x8727BE86
6	4.32879	89.5886	0	11.4413	2.89349	0x8727BE86
7	4.31857	89.1868	0	28.1854	5.02268	0x8727BE86
8	4.31532	89.0611	0	33.4221	5.6882	0x8727BE86
9	4.15599	83.7045	0.787402	75.8295	10.7372	0x8727BE86
10	4.08606	81.6847	1.20482	67.9227	9.92585	0x8727BE86

表15 被叫端語音分析數據表(G.711)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	4.33044	89.6545	0	8.69434	0.40433	0x8CC5228E
2	4.33044	89.6546	0	8.69318	0.409101	0x8CC5228E
3	4.33048	89.6559	0	8.63574	0.287168	0x8CC5228E
4	4.3304	89.6528	0	8.76808	0.854942	0x8CC5228E
5	4.33049	89.6562	0	8.6248	0.875834	0x8CC5228E
6	4.33048	89.6559	0	8.63753	0.416258	0x8CC5228E
7	4.33045	89.6547	0	8.68738	0.288524	0x8CC5228E
8	4.33034	89.6501	0	8.87742	1.14376	0x8CC5228E
9	4.33046	89.6553	0	8.66473	0.426835	0x8CC5228E
10	4.33003	89.6381	0	9.38069	2.08528	0x8CC5228E

表16 主叫端語音分析數據表(G.729)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	3.69564	72.1387	0	45.2576	3.75242	0xA573F25C
2	3.72284	72.7424	0	20.1066	2.50685	0xA573F25C
3	3.64459	71.0227	0.4	54.2262	5.03838	0xA573F25C
4	3.72916	72.8836	0	14.2222	2.5112	0xA573F25C
5	3.72682	72.8313	0	16.3998	2.82568	0xA573F25C
6	3.67298	71.6408	0	66.005	3.25098	0xA573F25C
7	3.64543	71.0409	0.396825	53.7608	4.05551	0xA573F25C
8	3.69782	72.1868	0	43.2533	5.23149	0xA573F25C
9	3.61742	70.4369	0.787402	43.0818	4.97103	0xA573F25C
10	3.6569	71.29	0.401606	42.9385	4.63668	0xA573F25C

表17 被叫端語音分析數據表(G.729)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	3.73516	73.0178	0	8.62864	0.87221	0xD207D7F9
2	3.73524	73.0196	0	8.55369	1.76515	0xD207D7F9
3	3.73512	73.0169	0	8.66651	1.02471	0xD207D7F9
4	3.73526	73.0202	0	8.52917	1.63372	0xD207D7F9
5	3.73519	73.0186	0	8.59748	0.670234	0xD207D7F9
6	3.73525	73.0199	0	8.54237	0.667211	0xD207D7F9
7	3.7352	73.0189	0	8.58328	0.858142	0xD207D7F9
8	3.73524	73.0197	0	8.55077	0.75143	0xD207D7F9
9	3.7353	73.0211	0	8.49335	0.781826	0xD207D7F9

10	3.73532	73.0215	0	8.47499	0.707565	0xD207D7F9
----	---------	---------	---	---------	----------	------------

為10.74ms；依據語音品質與使用者滿意度對照表(請詳表4)，可以得知：當通話二端均為兩部Soft-Phone且在不同4G無線網路，均呈現靜止狀態時，它們透過G.711編碼方式傳送RTP封包，檢視R值與MOS值等數值，使用者體驗的語音品質可判定為「滿意」等級。另外，當主叫端及被叫端以G.729編碼方式的20筆RTP封包中，MOS值最低為3.62，最高PLR為0.79%，延遲最差為66.01ms，時閃延遲最差為5.23ms；依據語音品質與使用者滿意度對照表(請詳表4)，發現當通話二端均為兩台Soft-Phone且在不同4G無線網路時，透過G.729編碼方式傳送RTP封包，檢視R值與MOS值的數據，其使用者體驗的語音品質可歸類為「一些使用者不滿意」等級，故整體而言，其語音品質將歸類為可接受的狀況。

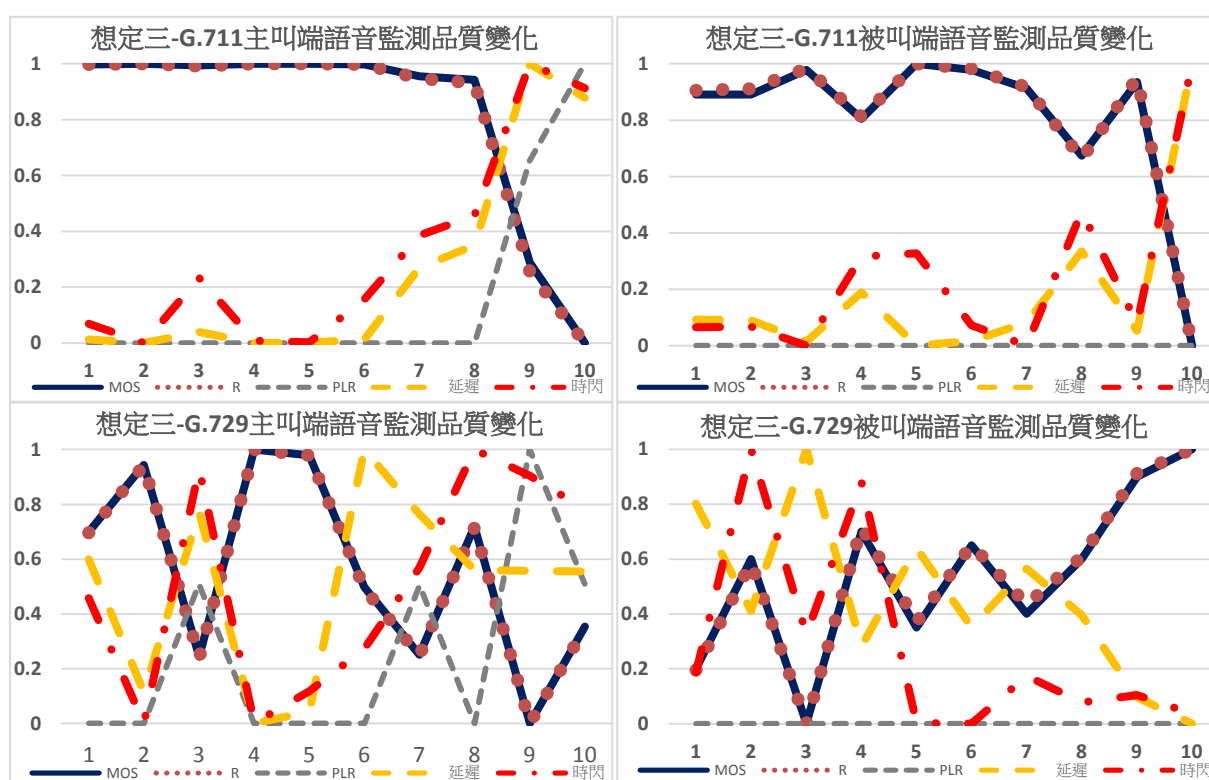


圖15 想定三G.711及G.729語音監測品質變化對照圖

另外，進一步檢視想定一語音監測品質變化對照圖(如圖15所示)，可以發現：在G.711編碼方式，網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動與PLR、延遲及時閃呈現反向關聯現象，特別是與延遲及時閃；當延遲及時閃數值變化波動相對高升時，R值及MOS值則會變化波動相對降低，當延遲及時閃數值變化波動相對降低時，R值及MOS值就會變化波動相對高升。而在G.729編碼方式，網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動與延遲變化波動呈現較為明顯的反向關聯現象。

由想定三所獲得的通話數據，可以知曉：當通話二端均為兩部在不同4G無線網路靜

止狀態的Soft-Phone，網路電話透過G.711與G.729編碼方式，依據ITU-T語音品質與使用者滿意度對照表，使用者體驗的語音通話品質可以分別判定為「滿意」等級及「一些使用者不滿意」等級；此一結果顯示當通話二端均為兩部在不同4G無線網路靜止狀態的Soft-Phone時，其語音品質將歸類為可接受的狀況，尚能提供網路電話一定的通話語音品質。

四、 想定四：通話二端為在不同 4G 無線網路的兩部 Soft-Phone，一部為靜止狀態，另一部則呈現行動狀態

此想定與想定三內容相近，網路電話通話二端為兩部Soft-Phone，而這二部Soft-Phone分別在不同4G無線網路內，二部Soft-Phone均呈現靜止狀態，而另一部Soft-Phone則呈現動態狀況，其行動時速超過40公里；此二部Soft-Phone將分別跟不同的IP PBX伺服器註冊，以手機對手機實測通話(如圖16所示)；然後利用QoE伺服器計算影響用戶網路環境通話品質的相關數據，取得雙方用戶的語音MOS值，以知曉網路電話通話QoE值及語音品質；主叫端撥打被叫端通話測試的編碼格式為G.711及G.729，用戶端語音數據及G.711/G.729 CODEC語音分析統計如表18~21。

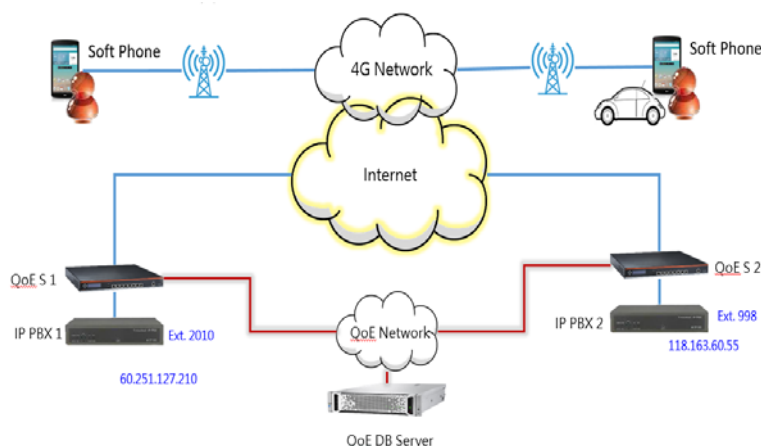


圖16 VoIP系統通話二端均為在不同4G無線網路中且一端為靜止狀態/另一端為行動狀態Soft-Phone的架構圖

由表18~21所顯示的數據，可以發現：在想定四，主叫端及被叫端以G.711編碼方式的20筆RTP封包中，MOS值最低應為1.2，最高PLR為43.24%，延遲最差為44.12ms，時閃最差為114.1ms；依據語音品質與使用者滿意度對照表(請詳表4)，可以得知：當通話二端均為兩部Soft-Phone且在不同4G無線網路時，其中一部為靜止狀態而另一部為行動狀態時，

表18 主叫端語音分析數據表(G.711)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	1.2	18.1842	43.2432	8.60502	0.583627	0x5ED51678
2	2.72732	52.8934	9.2	8.60941	0.340167	0x5ED51678
3	2.45738	47.7514	12	8.65726	0.214798	0x5ED51678
4	4.33051	89.6572	0	8.58201	0.401577	0x5ED51678
5	4.33049	89.6564	0	8.61568	0.401461	0x5ED51678

6	2.67942	51.9848	9.6	8.66595	0.217043	0x5ED51678
7	4.3305	89.6566	0	8.60897	0.80803	0x5ED51678
8	3.3413	64.7332	5.30612	8.65226	0.223196	0x5ED51678
9	4.33046	89.6553	0	8.66254	0.189454	0x5ED51678
10	4.33053	89.6578	0	8.55806	0.506431	0x5ED51678

表19 被叫端語音分析數據表(G.711)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	2.31007	44.9013	17.3077	44.1234	114.1060	0x2026CBE1
2	3.30282	63.9664	5.4878	12.527	69.2685	0x2026CBE1
3	4.12903	82.9084	1.23457	10.4732	62.0393	0x2026CBE1
4	4.26922	87.3647	0.401606	10.7361	86.5467	0x2026CBE1
5	4.32686	89.512	0	14.6317	15.32860	0x2026CBE1
6	3.75782	73.5285	3.14961	13.2801	1.79095	0x2026CBE1
7	4.11612	82.5352	1.2987	12.1369	3.23161	0x2026CBE1
8	4.0816	81.5606	1.49254	11.1578	27.07480	0x2026CBE1
9	3.70761	72.4036	3.40909	11.8046	21.69740	0x2026CBE1
10	3.11266	60.2446	6.56934	10.7018	40.81320	0x2026CBE1

表20 主叫端語音分析數據表(G.729)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	3.57549	69.5429	1.6	8.32377	0.281034	0x440D491C
2	3.73547	73.025	0	8.33151	3.05566	0x440D491C
3	3.73543	73.024	0	8.3708	3.37276	0x440D491C
4	3.7354	73.0233	0	8.4001	6.28508	0x440D491C
5	3.7354	73.0234	0	8.39603	2.73132	0x440D491C
6	3.7354	73.0234	0	8.39796	2.42001	0x440D491C
7	3.04178	58.8793	7.96813	8.35411	6.99279	0x593019D5
8	3.7354	73.0234	0	8.39872	3.10219	0x593019D5
9	3.53655	68.723	2	8.31194	3.30539	0x593019D5
10	3.73551	73.0259	0	8.29445	1.83788	0x593019D5

表21 被叫端語音分析數據表(G.729)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	3.73338	72.978	0	10.2868	4.56246	0x4A3A166D
2	3.73334	72.9771	0	10.3279	2.91172	0x4A3A166D
3	3.73342	72.979	0	10.2469	3.84377	0x4A3A166D
4	3.73349	72.9805	0	10.1857	6.70584	0x4A3A166D
5	3.73342	72.9788	0	10.2544	3.72067	0x4A3A166D
6	3.73347	72.9801	0	10.2016	5.02714	0x4A3A166D
7	3.73329	72.9761	0	10.3683	3.31392	0x4A3A166D
8	3.73329	72.9761	0	10.3691	2.79616	0x4A3A166D
9	3.73327	72.9757	0	10.3855	3.55004	0x4A3A166D
10	3.73338	72.978	0	10.2879	3.86028	0x4A3A166D

它們透過G.711編碼方式傳送RTP封包，檢視R值與MOS值等數值，可以發現：由於網路電話通話一方為行動狀態，使得初始主叫端與被叫端的PLR分別達43.24%及17.31%，語音封包遺失狀況相對嚴重，造成R值與MOS值等數值極差，使用者體驗的語音品質可判

定為「幾乎所有使用者不滿意」等級，然隨著網路電話通話的持續進行，語音封包遺失狀況持續改善，但能有少許封包遺失現象，使得R值與MOS值等數值亦隨之改善與小幅波動，使用者體驗的語音品質在「滿意」等級及「許多使用者不滿意」等級之間變化。另外，當主叫端及被叫端以G.729編碼方式的20筆RTP封包中，MOS值最低為3.04，最高PLR為7.97%，延遲最差為8.40ms，時閃最差為6.99ms；依據語音品質與使用者滿意度對照表(請詳表4)，發現當通話二端均為兩台Soft-Phone且在不同4G無線網路，其中一部Soft-Phone為靜止狀態而另一部Soft-Phone為行動狀態時，透過G.729編碼方式傳送RTP封包，檢視主叫端與被叫端的R值與MOS值數據，在主叫端方面，其使用者體驗的語音品質多在「一些使用者不滿意」等級與「許多使用者不滿意」等級之間波動，僅有一筆為「幾乎所有使用者不滿意」等級，而被叫端方面，其使用者體驗的語音品質可判定為「一些

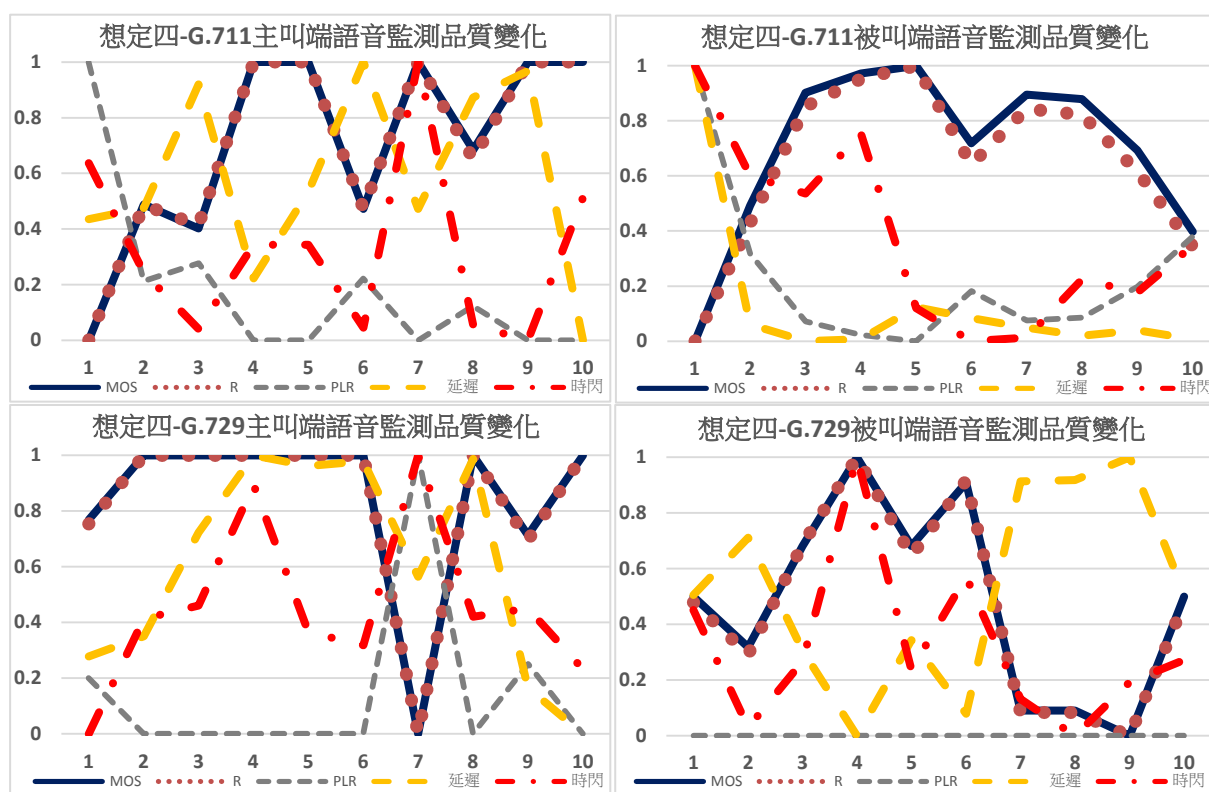


圖17 想定四G.711及G.729語音監測品質變化對照圖

使用者不滿意」等級；故整體而言，其語音品質將歸類為不太穩定的狀況。

另外，進一步檢視想定一語音監測品質變化對照圖(如圖17所示)，可以發現：在G.711編碼方式，網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動與PLR數值變化波動呈現顯著的反向關聯現象；當PLR數值變化波動相對高升時，R值及MOS值則會變化波動相對降低，當PLR數值變化波動相對降低時，R值及MOS值就會變化波動相對高升。在G.729編碼方式，主叫端網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動與PLR數值變化波動亦呈現顯著的反向關聯現象，而被叫端網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動則與延遲數值變化波動呈現顯著的反向關聯現象。

由想定四所獲得的通話數據，可以知曉：當通話二端均為兩部在不同4G無線網路的Soft-Phone時，且其中一部為靜止狀態而另一部為行動狀態，其網路電話透過G.711與G.729編碼方式，其語音通話品質均受封包遺失的影響，其PLR的數據不佳，造成網路電話通話品質出現無訊號或是斷訊的情形。探究造成此一現象的原因，其主要肇因於網路電話通話雙方其中一方係以行動狀態進行通話，持續的行動位移造成在不同4G基地台間產生交遞(hand over)現象，行動通訊封包往往會因頻繁的交遞處理，產生封包遺漏的現象。因此，當兩部在不同4G無線網路的Soft-Phone時，且其中一部為靜止狀態而另一部為行動狀態時，容易產生網路電話通話語音品質不佳的狀況。依據ITU-T語音品質與使用者滿意度對照表，網路電話透過G.711與G.729編碼方式，使用者體驗的語音通話品質在「滿意」等級及「幾乎所有使用者不滿意」等級之間波動；此一結果顯示當通話二端均為兩部Soft-Phone且在不同4G無線網路時，其中一部為靜止狀態而另一部為行動狀態時，其網路電話使用者體驗的語音通話品質等級變化很大，顯示網路電話通話品質相對不穩定。

五、 想定五：通話二端為在不同無線區域網路(WLAN)的兩部 Soft-Phone

此想定與想定三內容相近，網路電話通話二端為兩部Soft-Phone，而這二部Soft-Phone呈現靜止狀態，分別在不同無線區域網路(WLAN)內，同時跟不同的IP PBX伺服器註冊，

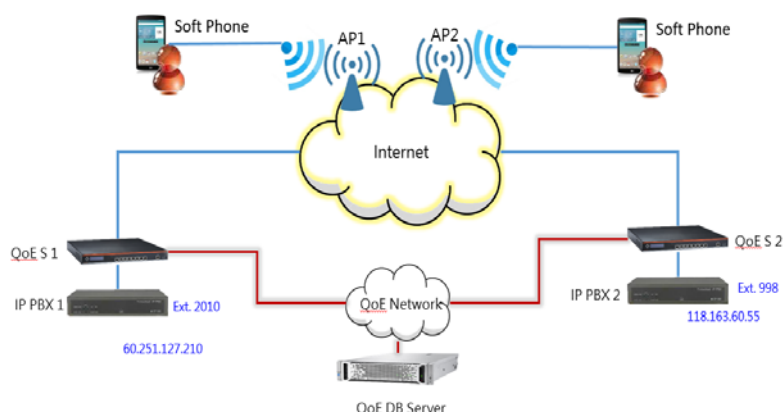


圖18 VoIP系統通話二端均為在不同無線區域網路(WLAN)Soft-Phone的架構圖

表22 主叫端語音分析數據表(G.711)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	4.32932	89.6096	0	10.5651	1.40204	0x628DB2E3
2	2.81627	54.5805	7.69231	102.363	6.87973	0x628DB2E3
3	4.32474	89.4281	0	18.1311	4.16879	0x628DB2E3
4	4.32921	89.6051	0	10.7552	1.57597	0x628DB2E3
5	4.32919	89.6043	0	10.7861	1.63439	0x628DB2E3
6	4.32908	89.6003	0	10.9554	1.51685	0x628DB2E3
7	4.32194	89.318	0	22.7164	3.39517	0x628DB2E3
8	4.32632	89.4908	0	15.5185	1.95827	0x628DB2E3
9	4.33046	89.6554	0	8.65954	0.505243	0x628DB2E3
10	4.33046	89.6553	0	8.66075	0.383369	0x628DB2E3

23 被叫端語音分析數據表(G.711)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	4.33042	89.6537	0	8.72958	0.113403	0xD756B19D
2	4.33049	89.6564	0	8.61738	0.432289	0xD756B19D
3	4.33043	89.6538	0	8.72583	0.513441	0xD756B19D
4	4.33045	89.6546	0	8.6921	0.412637	0xD756B19D
5	4.33045	89.6549	0	8.67957	0.262722	0xD756B19D
6	4.33047	89.6556	0	8.65202	0.230938	0xD756B19D
7	4.33045	89.6548	0	8.68161	0.278936	0xD756B19D
8	4.33045	89.6546	0	8.69066	0.361569	0xD756B19D
9	4.1284	82.8902	0.806452	151.909	7.07399	0xD756B19D
10	4.3168	89.118	0	125.613	5.73547	0xD756B19D

表24 主叫端語音分析數據表(G.729)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	3.53493	68.689	1.99203	10.402	4.62849	0x3902A38
2	3.49579	67.8742	2.4	10.3456	4.34604	0x3902A38
3	3.57385	69.5083	1.59362	10.3177	5.84155	0x3902A38
4	3.49469	67.8514	2.40964	10.5018	6.82028	0x3902A38
5	3.42067	66.3332	3.2	10.408	5.84556	0x3902A38
6	3.31345	64.1777	4.4	10.2988	5.19437	0x3902A38
7	3.45906	67.1172	2.78885	10.2883	4.63272	0x3902A38
8	3.38416	65.594	3.6	10.3947	4.04379	0x3902A38
9	3.49587	67.8759	2.4	10.2765	4.32317	0x3902A38
10	3.31355	64.1797	4.4	10.2189	5.46548	0x3902A38

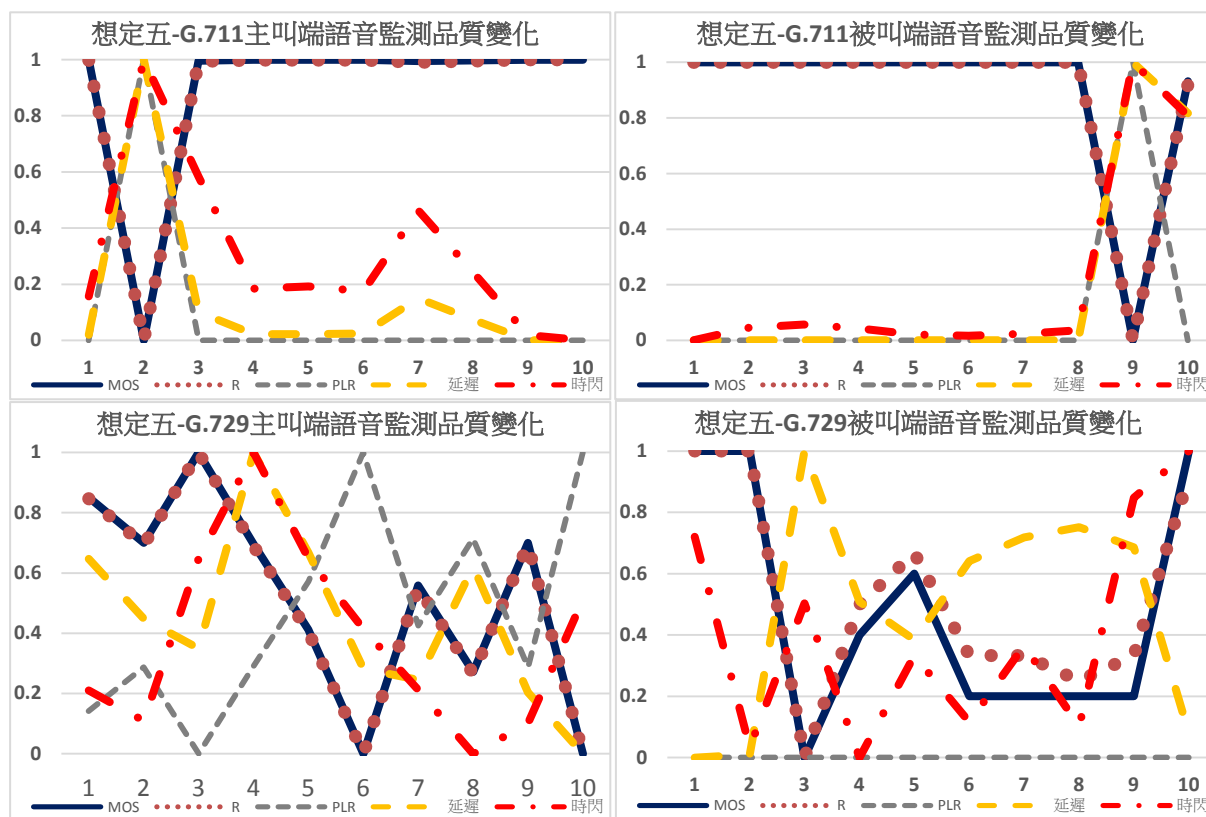
表25 被叫端語音分析數據表(G.729)

No	MOS	R	PLR(%)	延遲(ms)	時閃(ms)	SSRC
1	3.73546	73.0246	0	8.34594	10.1266	0x3A030D9
2	3.73546	73.0246	0	8.34646	8.20975	0x3A030D9
3	3.73541	73.0234	0	8.3958	9.5206	0x3A030D9
4	3.73543	73.024	0	8.37127	8.11777	0x3A030D9
5	3.73544	73.0242	0	8.36509	9.04659	0x3A030D9
6	3.73542	73.0238	0	8.37791	8.44095	0x3A030D9
7	3.73542	73.0238	0	8.38174	9.13504	0x3A030D9
8	3.73542	73.0237	0	8.38342	8.40315	0x3A030D9
9	3.73542	73.0238	0	8.38012	10.4802	0x3A030D9
10	3.73546	73.0245	0	8.34984	10.9064	0x3A030D9

以手機對手機實測通話(如圖18所示)；然後利用QoE伺服器計算影響用戶網路環境通話品質的相關數據，取得雙方用戶的語音MOS值，以知曉網路電話通話QoE值及語音品質；主叫端撥打被叫端通話測試的編碼格式為G.711及G.729，用戶端語音數據及G.711/G.729 CODEC語音分析統計如表22~25。

由表22~25所顯示的數據，可以發現：在想定五，主叫端及被叫端以G.711編碼方式的20筆RTP封包中，MOS值最低為2.82，PLR值最差為7.69%，延遲最差為151.91ms，時閃最差為7.07ms；依據語音品質與使用者滿意度對照表(請詳表4)，可以得知：當通話二端均為兩部Soft-Phone且在不同無線區域網路(WLAN)時，它們透過G.711編碼方式傳

送RTP封包，檢視R值與MOS值等數值，除一組數據因PLR值較高，造成使用者體驗的語音品質為「幾乎所有使用者不滿意」等級，其餘使用者體驗的語音品質均可判定為「滿意」等級。另外，當主叫端及被叫端以G.729編碼方式的20筆RTP封包中，MOS值最低為3.31，最高PLR為4.4%，延遲最差為10.50ms，時閃最差為10.91ms；依據語音品質



與使用者滿意

圖19 想定五G.711及G.729語音監測品質變化對照圖

度對照表(請詳表4)，發現當通話二端均為為兩台Soft-Phone且在不同無線區域網路(WLAN)時，透過G.729編碼方式傳送RTP封包，檢視檢視R值與MOS值的數據，主叫端的使用者體驗語音品質可判定為「許多使用者不滿意」等級，而被叫端的使用者體驗語音品質可判定為「一些使用者不滿意」等級，故整體而言，其語音品質將歸類為不太能接受的狀況。

另外，進一步檢視想定一語音監測品質變化對照圖(如圖19所示)，可以發現：在G.711編碼方式，網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動與PLR、延遲及時閃數值變化波動呈現的反向關聯現象，其中，以PLR數值變化波動與網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動最為顯著；當PLR數值變化波動相對高升時，R值及MOS值則會變化波動相對降低，當PLR數值變化波動相對降低時，R值及MOS值就會變化波動相對高升。在G.729編碼方式，主叫端網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動與PLR數值變化波動亦呈現顯著的反向關聯現象，而被叫端網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動則與延遲

數值變化波動呈現較為顯著的反向關聯現象。

由想定五獲得的通話數據，可以知曉：當通話二端均為兩部在不同無線區域網路(WLAN)的Soft-Phone，依據ITU-T語音品質與使用者滿意度對照表，網路電話透過G.711編碼方式，使用者體驗的語音通話品質幾乎為「滿意」等級，提供網路電話的一定通話語音品質；相對地，依據ITU-T語音品質與使用者滿意度對照表，當網路電話透過G.729編碼方式，主叫端的使用者體驗的語音通話品質均為「許多使用者不滿意」等級，被叫端的使用者體驗的語音通話品質則為「一些使用者不滿意」等級，顯示網路電話通話語音品質不太理想。

伍、結論

由於各種網路型態及通訊架構的日漸複雜，如何確保網路電話通話品質的暢通、穩定且能夠有效地管理網路效能，同時能夠提供大型機構使用網路電話所需的網路服務品質，是目前網路電話服務商及管理者迫切探究的重要議題。有鑑於此，本研究嘗試導入改良簡易式E模型演算法，以QoE伺服器建立VoIP QoE評分機制，提供網路電話系統管理者明瞭網路電話通話品質的參考依據，藉以做為調整網路電話系統配置組態參數的考量基準，進而能夠改善網路電話通話及服務品質，滿足大型機構使用網路電話所需通話品質；本研究藉由應用改良簡易式E模型演算法於QoE伺服器，提供網路電話通話品質的具體數據，除了能供網路電話系統管理者改善網路電話通話品質的依據外，亦兼具管理網路電話設備及監控通話語音品質之系統功能。

透過複雜度不同的網路架構，本研究執行五種不同想定實作，以瞭解研究所提網路電話通話語音品質評量機制的運作功能，本研究分別在網路電話用戶設備端(呼叫端及被呼叫端)，以每五秒擷取RTP封包，利用密集的封包擷取方式，可以立即分析網路電話通話封包的延遲、時閃及PLR，並即時計算R因子及換算MOS數值，然後依據MOS數值來評量用戶網路電話通話的體驗品質，以做為後續網路電話服務品質的參考與改進的依據。

本研究利用五個想定實測五種網路電話通話環境，透過VoIP系統的實際運作通話，得到下列的實測結果：

- 想定一：
網路電話透過有線網路及IP-phone的網路環境下進行通話，使用者體驗語音品質效果屬最佳也最穩定。
- 想定二／想定三：
網路電話透過分別透過相同與不同的4G網路環境下進行通話，其網路複雜度稍有不同，實作結果顯示使用者體驗語音品質維持在「滿意」等級及「一些使用者不滿意」等級，網路電話通話維持一定的品質。
- 想定四：
通話雙方的其中一方係以高速移動方式在4G通訊環境中進行網路電話通話，囿於行

動通訊環境的運作特性，高速移動將造成通訊傳送封包遺失的機率增高，因此造成網路電話通話封包傳送容易受到影響，所以有較高的PLR，進而造成網路電話通話語音品質不佳，使用者體驗語音品質在「滿意」等級及「幾乎所有使用者不滿意」等級之間波動，顯示行進間通話的網路電話語音品質相當不穩定；因此，此通話環境因素是網路電話QoE須考量的範疇。

- 想定五：

網路電話透過不同的無線區域網路通話，其通訊環境相對穩定，故網路電話可以維持不錯的通話品質；惟網路電話透過G.729編碼模式，因受PLR稍高的影響，使得通話語音品質變稍差。

- 透過五個想定所產生的網路電話語音監測品質變化對照圖可以發現：在多數想定中，當網路電話沒有發生封包遺失的現象時，代表網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動與延遲數值變化波動會呈現相對顯著的反向關聯的現象；當網路電話PLR相對偏高時，代表網路電話語音品質的R值及MOS值變化波動則與PLR及延遲數值變化波動會呈現相對顯著的反向關聯的現象。

本研究對於網路電話通話品質評量主要係透過在VoIP系統架構下實測網路電話通訊封包，擷取相關重要參數，以計算獲得QoE評分；針對研究想定實測過程所獲的數據及相關結果，提出下列建議：

- 在系統管理上，未來可在資料庫上使用統計軟體，搭配告警臨界值使系統分析更視覺化。
- 網路電話通話語音品質的量測需透過QoE伺服器的運作，如何針對大型組織網路環境有效地部署QoE伺服器，藉以提升組織整體網路電話通話語音通話品質為一重要的研究議題。

參考文獻

中文部分

- 林闢, 胡傑, & 孔祥震. (2012). 用戶體驗品質 (慘狂捲) 的模型與評價方法綜述. *電腦學報*.
- 張軍, & 張德運. (2006). 分組網路環境下的即時語音品質客觀評價. *西安交通大學學報*, 40(8), 936-939.
- 賴柏洲、陳清霖、林修聖、呂志輝、陳藝來、賴俊年編著。(2010)。VoIP網路電話進階實務與應用。全華圖書股份有限公司。

英文部分

- Assem, H., Malone, D., Dunne, J., & O'Sullivan, P. (2013, January). Monitoring VoIP call quality using improved simplified E-model. In *2013 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)* (pp. 927-931). IEEE.
- Bayley, T., Rohani, B., Johansson, A., Caldera, M., & Zepernick, H. J. (2011, December). Call quality monitoring for VoIP. In *2011 5th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)* (pp. 1-4). IEEE.

- Calyam, P., Ekici, E., Lee, C. G., Haffner, M., & Howes, N. (2007). A “GAP-model” based framework for online VVoIP QoE measurement. *Journal of Communications and Networks*, 9(4), 446-456.
- Cole, R. G., & Rosenbluth, J. H. (2001). Voice over IP performance monitoring. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 31(2), 9-24.
- Ferguson, P., & Huston, G. (1998). *Quality of service: delivering QoS on the Internet and in corporate networks*. John Wiley & Sons, Inc..
- Fonseca, J. L. A., & Stanton, M. A. (2001). A Methodology for Performance Analysis of Real-Time Continuous Media Applications.
- Frederick, R., Jacobson, V., & Design, P. (2003). RTP: a transport protocol for real-time applications. *IETF RFC3550*.
- Goode, B. (2002). Voice over internet protocol (VoIP). *Proceedings of the IEEE*, 90(9), 1495-1517.
- Handley, M. (1999). SIP: session initiation protocol.
- Hanker, T. (2003). The E—Model, R Factor and MOS [Z]. *Ipswich, UK*.
- Jiang, C., & Huang, P. (2011, September). Research of monitoring VoIP voice QoS. In *2011 International Conference on Internet Computing and Information Services* (pp. 499-502). IEEE.
- Kim, H. J., Lee, D. H., Lee, J. M., Lee, K. H., Lyu, W., & Choi, S. G. (2008, September). The QoE evaluation method through the QoS-QoE correlation model. In *2008 Fourth International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management* (Vol. 2, pp. 719-725). IEEE.
- Lee, C. Y., Kim, H. K., Ko, K. H., Kim, J. W., & Jeong, H. C. (2008, December). A study on structure for monitoring and detecting VoIP abnormal traffic. In *2008 Second International Conference on Future Generation Communication and Networking* (Vol. 2, pp. 178-182). IEEE.
- Rec, I. T. U. T. G. 107 (2015) The E-Model: A Computational Model for Use in Transmission Planning. *International Telecommunication Union, Genf*.
- Rix, A. W., Beerends, J. G., Hollier, M. P., & Hekstra, A. P. (2001, May). Perceptual evaluation of speech quality (PESQ)-a new method for speech quality assessment of telephone networks and codecs. In *2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings (Cat. No. 01CH37221)* (Vol. 2, pp. 749-752). IEEE.
- Rosenberg, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., Johnston, A., Peterson, J., Sparks, R., ... & Schooler, E. (2002). SIP: session initiation protocol.
- Sanchez-Iborra, R., Cano, M. D., & García-Haro, J. (2016). Revisiting VoIP QoE assessment methods: are they suitable for VoLTE?. *Network Protocols & Algorithms*, 8(2), 39-57.
- Sun, L., & Ifeachor, E. C. (2006). Voice quality prediction models and their application in VoIP networks. *IEEE transactions on multimedia*, 8(4), 809-820.
- Volk, M., Sterle, J., Sedlar, U., & Kos, A. (2010). An approach to modeling and control of QoE in next generation networks [Next Generation Telco IT Architectures]. *IEEE Communications Magazine*, 48(8), 126-135.