

網路電話語音品質量測平台之研製

Development of Voice over IP (VoIP) Measurement Platform

陳懷恩 *Whai-En Chen*,^{1,2} 王光瀚 *Guang-Han Wang*,² 趙涵捷 *Han-Chieh Chao*^{1,2,3}

¹國立宜蘭大學電算中心

²國立宜蘭大學資訊工程所

³國立宜蘭大學電子工程學系

wechen@niu.edu.tw, ghw@niu.edu.tw, hcc@niu.edu.tw

摘要

本論文針對目前網際網路最熱門的應用——SIP (Session Initiation Protocol) 網路電話，研發網路電話語音品質測試工具，以便作為網路電話服務供應商，以及研發人員評估其所建置的網路電話系統。此工具需要能夠測試目前已佈建之IPv4 (IP version 4)、IPv6 (IP version 6)，以及NAT (Network Address Translator) 等環境。本論文的主要貢獻在於整合SIP與IPv6 Tunnel 信令，來建立IPv4/IPv6 RTP (Real-time Transport Protocol) 會議連線，並產生RTP測試封包，來確保實驗的準確性。本論文之成果可以應用於測試IPv4/IPv6網路電話系統，讓網路管理員來檢驗其網路電話平台之建置成果。本論文將在宜蘭大學建立IPv4/IPv6網路電話環境，並與交通大學透過台灣學術研究網路 (TWAREN) 互連。接著在上述互連平台中，實地測試宜蘭大學校園與跨越骨幹網路的網路電話語音品質。

關鍵字：網路電話 (VoIP)、會談起始協定 (SIP)、IPv6、NAT、RTP。

1 背景介紹

網路語音品質評估方式可分為主觀 (Subjective) 與客觀 (Objective) 兩種。主觀的語音評估方式使用的標準為ITU-T P.800 [1]。在受控制的環境下，讓受測者聽取系統所播放的聲音，或是透過系統進行交談。於測試結束後，受測者對於受測系統進行評分，將語音品質區分為Excellent (5)、Good (4)、Fair (3)、Poor (2)，及Bad (1) 等五個等級。受測者評估分數之平均值即為待測系統的語音品質。客觀的語音評估方式可分為兩種方式，一種是分析過去主觀測試結果，經由迴歸分析將影響語音品質因素 (如封包延遲、封包遺失) 量化，計算各種因素的影響後得到語音品質，目前的標準為G.107 (E-Model) [2]。第二種是將原本的語音與經過系統的語音進行比對，分析原本的語音經過系統後的受損程度，藉此評估系統之語音品質，目前的標準為P.862 (Perceptual Evaluation of Speech Quality, 簡稱PESQ) [3]。

主觀的語音品質評估可以直接統計使用者對於系統語音品質的滿意程度，但是此一評估方式，需要建立符合P.800標準所規範的測試環境，且測試的過程相

當昂貴而耗時。而客觀的語音品質評估則可以迅速評估系統的語音品質。其中E-Model的評估方式中，包含網路延遲的因素，但是E-Model中許多影響語音品質的參數 (如：線材損失、空氣中雜訊等)，在一般網路電話系統中不易量測，一般使用預設值設定這些參數，因而會產生誤差。若待測系統中存在E-Model未支援的語音編解碼器時 (如網際網路常用的iLBC [4])，便無法使用E-Model評估其語音品質。而PESQ則同時考量封包遺失與語音編解碼器的影響，來評估聲音訊號的受損程度，進而計算語音品質。不過PESQ不會計算封包延遲的因素，而造成計算出的品質可能與實際狀況不同。因此本論文先利用PESQ，來計算待測系統經語音編碼與封包遺失後的MOS值，然後將MOS值輸入E-model中計算封包延遲的影響，最後準確地計算出待測網路語音品質。

目前所佈建的網路電話平台大多以SIP為主要信令，並且分別以網路位址轉換器 (Network Address Translator, 簡稱NAT [5])，及新一代網際網路通訊協定 (Internet Protocol version 6, 簡稱IPv6 [6]) 來解決IP位址不足的問題。本論文將以測試工具類型、量測方法、支援信令、是否支援IPv6協定，以及是否支援IPv6 Tunnel [7][8][9]等項目，來分析現有網路語音測試工具，是否可應用於現有網路電話系統，結果如下表1所示。

表1 網路電話語音量測之商用軟體比較表

工具名稱	類型	量測方法	支援信令	IPv6 支援	IPv6 Tunnel 支援
Abacus 2	硬體	PESQ	SIP	不支援	不支援
SmartVoIPQoS	硬體	PSQM	不支援	不支援	不支援
PacketScan	軟體	PESQ	SIP	不支援	不支援
Agilent VQT	軟體	PSQM	SIP	不支援	不支援
IxVoice	軟體	PESQ	SIP	支援	不支援

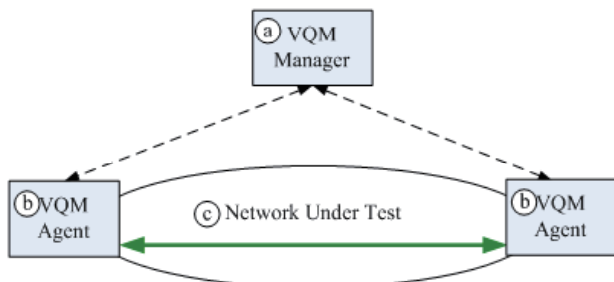
從表1的分析中可以看出，大部分的工具採用PESQ測試方法。其中Abacus2與SmartVoIPQoS是以硬體方式產生測試封包，因此封包傳送時間不會受軟體作業系統的干擾，而可以得到較為準確的測試結果。但SmartVoIPQoS不支援SIP信令，所以此工具無法測試有網路位址轉換器，或媒體閘道器 (Media Gateway) 的環境。在上述測試工具中，只有IxVoice支援IPv6測試，但目前所有的工具均尚未支援IPv6 Tunnel的測試。

因此上述工具均無法完整測試IPv6網路環境，如NICI VoIPv6平台（在臺灣建置的IPv6網路電話系統）或未來第三代行動通訊IP多媒體子系統。此外，上述工具通常應用於系統建置完成時，驗證系統語音品質是否可達建置的標準，然而這些工具不適合長時間量測並記錄系統的語音品質。綜上所述，本論文研發一套網路語音品質測試工具，可以測試已建置IPv4與IPv6的網路電話系統，並可提供長時間監控與記錄之功能。

本論文後續結構安排如下。第二段描述網路電話語音品質量測平台之設計，分別介紹了語音品質量測代理人之設計。第三段則在實際測試之前，先以網路模擬器作為待測網路，驗證本量測平台的正確性。第四段針對宜蘭大學校園網路，以及臺灣學術實驗網路TWAREN等環境進行量測。最後則是結論、致謝與參考文獻。

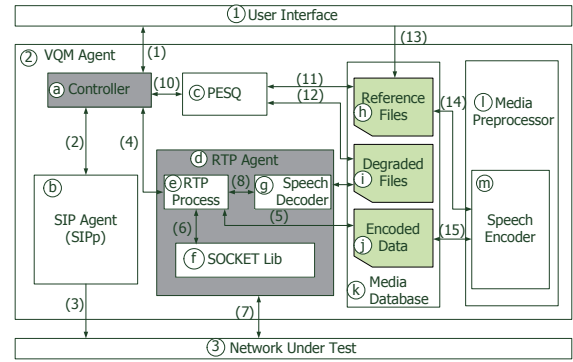
2 網路電話語音品質量測平台之設計

VoIP語音品質量測（VoIP Quality Measurement，簡稱VQM）平台（圖一）主要由語音品質量測管理員（VQM Manager，圖一(a)）與語音品質量測代理人（VQM Agent，圖一(b)）兩個元件所組成，用來評估待測網路（圖一(c)）之語音品質。



圖一 VoIP語音品質量測平台

語音品質量測管理員負責控制語音品質量測代理人執行測試，並將測試記錄收集儲存於資料庫中，作為後續查詢分析之用。語音品質量測代理人負責發送測試封包，並將收集之封包傳遞結果利用PESQ計算出網路語音品質。語音品質量測代理人主要有兩個部分，一個是使用者介面（User Interface，圖二①），另一個則是語音品質量測之模組（VQM Module，圖二②）。語音品質量測模組包括六個元件。控制器（Controller，圖二(a)）負責控制測試流程、SIP代理人（SIP Agent，圖二(b)）負責以SIP信令建立RTP會議、PESQ（圖二(c)）依輸入語音計算MOS值、RTP代理人（RTP Agent，圖二(d)）傳送與接收RTP測試封包、媒體資料庫（Media Database，圖二(k)）儲存測試語音資料，以及媒體前置處理器（Media Preprocessor，圖二①）提供測試資料之編碼。各元件詳細說明如下：



圖二 語音品質量測代理人之設計

2.1 SIP 代理人

目前網路電話服務提供者大多使用SBC（Session Border Controller）[10]解決SIP/RTP穿越網路位址轉換器NAT的問題。SBC藉由SIP信令交換，建立RTP轉換之對應關係。因此語音品質量測代理人需先產生SIP信令，讓SBC建立RTP轉換的對應後送出RTP封包[11]。否則直接送出RTP測試封包給SBC，會被SBC丟棄。SIP代理人（圖二(b)）使用SIPp[17]，SIPp根據輸入的XML（eXtensible Markup Language）檔案，決定其操作的模式為發話方（User Agent Client，簡稱UAC）或是受話方（User Agent Server，簡稱UAS）。XML檔案中定義程式實體（Instance）執行的執行步驟，以及送出的SIP訊息內容。控制器由介面(2)（圖二(2)）傳送本論文所定義的兩個XML檔案以及SIP識別碼（Universal Resource Identifier，簡稱URI）到SIP代理人，作為SIP代理人的程式啟動參數。SIP代理人透過介面(3)（圖二(3)），以SIP作為信令交換之通訊協定。

2.2 RTP 代理人

RTP代理人（圖二(d)）主要包含三個子元件RTP處理器（RTP Processor，圖二(e)）、語音解碼器（Speech Decoder，圖二(g)），與Socket Lib（圖二(f)）。RTP處理器接收控制器傳遞的參數，接著透過Socket Lib發送與接收RTP測試封包，測試結束時利用Socket Lib取得測試結果。透過語音解碼器，依據取得的測試結果，將預先編碼的資料（圖二(i)）取出後進行解碼，獲得品質劣化的語音檔案。

控制器利用介面(4)（圖二(4)）傳遞指令與參數給RTP處理器。此時RTP處理器已經得知發話方與受話方的傳輸位址（e.g., IP與Port），以及如何產生封包樣板（Template）。封包樣板為一個預先設定好封包標頭資訊位元陣列。RTP處理器將發話方的傳輸位址，設定至封包樣板的目的地傳輸位址，將受話方的傳輸位址設定至封包樣板的來源傳輸位址。最後將封包樣板的負載（Payload）設定為預先設定好的RTP封包樣板。產生完封包樣板之後，RTP處理器透過Socket Lib發送N個封包。所有的語音參考檔案共20個。所有的語音參考檔案經過編碼後產生7883個資料段（Segment），所以共會送出7883個封包。在發送封包的時候，為每個封包加上標籤。標籤資訊包含四個欄位，封包串流編號

(Stream ID)、該封包的序號(Sequence)、送出的時間郵戳,以及接收時的時間郵戳。

另一端的RTP處理器在測試結束時,從Socket Lib取出封包攜帶的標籤資訊,並藉由標籤獲得封包遺失樣式,並將遺失樣式依序傳給語音解碼器進行解碼,解碼後產生品質劣化檔案(Degraded Files)。語音解碼器經由(圖二(9))將解編碼後的品質劣化檔案存入媒體資料庫中的品質劣化檔案資料表。最後RTP處理器由(圖二(4))回報測試的結果,將產生的品質劣化檔案清單交給控制器。由控制器呼叫PESQ計算語音品質。

2.3 控制器

控制器(圖二(3))負責控制IPv4/IPv6網路語音測試模組中的SIP代理人(圖二(5))、PESQ(圖二(7))與RTP代理人(圖二(8))。控制器接受使用者介面所下達的指令,並將指令轉換為控制各種元件的指令與參數。以下詳細介紹各界面的參數。

介面(1)(圖二(1))為控制器與使用者介面之間的介面,從使用者介面傳遞五個參數,依序為發話方與受話方所使用的連線型態(如:Pure IPv6、IPv6-in-IPv4通道、IPv6-in-IPv4 User Datagram Protocol通道、IPv4)、發話方與受話方使用的IP位址、測試時所使用的語音編解碼器(G.729/iLBC/G.711u)、發話方與受話方的SIP識別碼,以及SIP伺服器的位址。控制器經由此介面回傳最後的結果給使用者介面。

介面(2)(圖二(2))為控制器與SIP代理人之間的介面。由控制器所傳遞的參數為發話方與受話方的SIP識別碼、SIP伺服器的位址,以及發話方與受話方所使用的IP位址。

介面(4)(圖二(4))為控制器與RTP代理人之間的介面。由控制器所傳遞的參數包含本次測試封包所使用的語音編解碼器(如G.711u)、發話方與受話方的傳輸位址,及發話方與受話方所使用的連線型態(Pure IPv6/IPv6-in-IPv4通道/IPv6-in-IPv4UDP通道/IPv4)。使用IPv6-in-IPv4與IPv6-in-IPv4 UDP通道時,控制器會在受話方連線型態的附加參數指定Tunnel伺服器的IPv4位址以及受話方的IPv4位址。

介面(10)(圖二(10))控制器利用此介面,依序將語音參考檔案與品質劣化檔案之檔案名稱輸入PESQ,並獲得回傳的MOS值。最後控制器將這次測試中得到的所有MOS值取平均後,輸出至使用者介面。由使用者介面以E-model計算延遲所造成的損失後,輸出最終的MOS值給使用者。

2.4 媒體前置處理器與媒體資料庫

媒體前置處理器(圖二(1))與媒體資料庫(圖二(2)),是兩個緊密合作的元件。媒體前置處理器負責對參考語音檔案編碼,而媒體資料庫則負責儲存這些檔案。媒體資料庫擁有三個資料表。參考檔案(Reference Files,圖二(3))用來儲存語音參考檔,本系統所使用的參考檔案為ITU-T P.862所附的語音參考

檔案。Degraded Files(圖二(4))儲存每次測試後產生的品質劣化檔,Encoded Data(圖二(5))儲存編碼後的語音參考資料。參考檔案資料表會記錄每個語音參考檔案的摘要資料,摘要資料包含每個語音參考檔案的格式、取樣頻率、取樣資料大小,以及資料表更新旗標。語音參考檔的格式可以是raw檔或是wav檔。若格式是raw檔,使用者於輸入時必須指定其取樣頻率,與取樣資料之大小。由於wav檔為包含檔案標頭之語音參考檔案,取樣頻率及取樣資料大小的資訊則可由標頭內取出。資料更新旗標代表一個語音參考檔是否為新加入的語音參考檔,當使用者從使用者介面新增語音參考檔時,參考檔案資料表摘要資料中會標示此語音參考檔的資料更新旗標為「dirty」,代表需要進行編碼。語音編碼器(Speech Encoder,圖二(6))會根據此旗標對語音參考檔案進行編碼。語音編碼器支援的語音編碼器有G.729、iLBC與G.711u。其中G.711u的程式碼取自於[15],iLBC的程式碼取自於[4],G.729的程式碼取自於[16]。由於每次測試時如果都要對語音參考檔案進行編碼,會比較沒有效率,因此媒體前置處理器在系統啟動時,經由以下步驟,避免每次測試都要對語音參考檔案進行編碼:

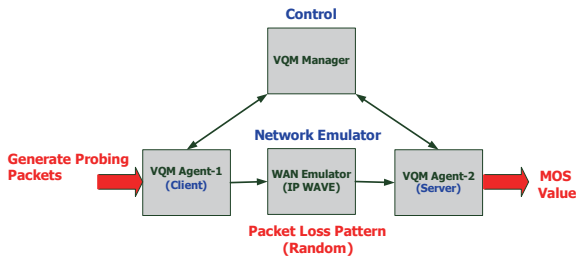
- 步驟1.1 媒體前置處理器查詢媒體資料庫的參考檔案資料表,檢查語音參考檔的摘要資料中的更新旗標。若旗標為「dirty」,則媒體前置處理器將從參考檔案資料表,取得語音參考檔,語音編碼器根據摘要資料中的檔案格式、取樣頻率,以及取樣資料大小,對語音參考檔進行編碼。
- 步驟1.2 語音編碼器將編碼後資料存入編碼過資料中(Encoded Data)。
- 步驟1.3 媒體前置處理器更新語音參考檔的摘要資料,將更新旗標標示為「clean」,代表該語音參考檔已經過編碼。

2.5 PESQ

PESQ使用P.862[3]所附的標準程式,控制器藉由介面(10)(圖二(10)),輸入語音參考檔案與品質劣化檔案的名稱。PESQ根據輸入的語音參考檔案與品質劣化檔案的名稱,分別由介面(11)(圖二(11))與介面(12)(圖二(12))取得語音參考檔案與品質劣化檔案,並計算其MOS值。以上詳細介紹VoIP語音品質量測之背景,以及提出VoIP語音品質量測系統。

3 驗證網路電話語音品質量測之正確性

驗證方式如下圖三所示。網路電話語音品質量測管理員來呼叫VoIP語音品質量測模組(i.e.,VQM Agent-1與VQM Agent-2)執行VoIP語音品質的測量。兩個模組之間加入網路模擬器(i.e.,IPWave)來模擬網路封包的遺失與延遲。



圖三 驗證網路電話語音品質測之正確性之環境

首先，我們依照網際網路的特性，設定IPWave的遺失率為隨機 (random) 遺失。為了確定要執行多少次測試的平均值才會穩定，因此對於G.711u、G.729、iLBC等三個編碼各執行多次實驗。隨著測試次數增加，平均MOS值逐漸趨向穩定值，直到測試次數達45次之後，每次得到的平均MOS值差異已經小於 10^{-3} 。且網路模擬器所產生的封包遺失率，與設定的封包遺失率差異值，在測試45次之後維持在1%以下。因此本論文使用測試45次得到的MOS值，與其他研究結果進行比較。

本論文將三種語音編解碼器，在四種不同封包遺失率環境下的平均MOS值，與前人的研究結果[12] [13] [14] 進行比較，得到表2到表4。由於[13]的結果中，G.711u在封包遺失率為5%與10%得到的MOS值，比iLBC在相同情形下得到的MOS值高，不但與一般認知結果不同，也和本實驗及[12]所做的實驗結果有很大的差異。因此本論文將排除[13]所做的G.711u實驗結果。

表2 G.711u之比較結果

Loss Rate	Mean MOS (Our Work)	MOS (Relative Work)	Differences
5%	3.446	3.300	4.42%
10%	3.080	2.930	5.12%

表3 G.729之比較結果

Loss Rate	Mean MOS (Our Work)	MOS (Relative Work)	Differences
5%	3.352	3.39	1.12%
10%	3.045	3.09	1.46%
15%	2.789	2.82	1.10%
20%	2.561	2.63	2.62%

表4 iLBC之比較結果

Loss Rate	Mean MOS (Our Work)	MOS (Relative Work)	Differences
5%	3.601	3.47	3.75%
10%	3.366	3.25	3.38%
15%	3.185	3.05	4.50%
20%	2.997	2.88	4.06%

本論文所測量的三個語音編解碼器在5%、10%、15%，以及20%的環境下的MOS值，與[12]、[13]及[14]的差異值大多在5%以下。由於網路模擬器產生的封包遺失率與設定值約有1%的誤差，且上述三篇論文的結果，並未說明所使用的語音參考檔案，也未說明其MOS值的計算進行幾次實驗，因此本論文認為5%的差異在可以接受的範圍。另外，為了驗證封包遺失樣式的套用是否正確，本論文取得[4]所提供的iLBC參考實作，該參考實作包含iLBC的語音編解碼器、語音參考檔案、封包遺失樣式，以及套用封包遺失樣式後的品質劣化檔案。將該參考實作的語音參考檔案與品質劣化檔案輸入PESQ後得到的MOS值，與相同語音參考檔案及相同的封包遺失樣式的情形下，本系統所計算得到的MOS值做比較。在沒有封包遺失的情形下，兩者完全相同 (3.75)。套用參考實作所附的封包遺失樣式時，兩者亦得到相同的MOS值 (3.384)。由上述的實驗結果，可以驗證語音品質評估模組正確無誤。

4 測試校園與骨幹網路環境之語音品質

在完成測試平台的驗證之後，我們將此一平台應用於實際的網路環境中來測試語音品質，以及網路相關參數。在本篇論文中實地進行於宜蘭大學，以及宜蘭大學跨過台灣學術研究網路 (TWAREN) 骨幹網路連結到交通大學等兩個環境。以下描述實驗環境與測試結果。

在宜蘭大學的環境中，一個語音品質量測代理人位於校園無線網路中，透過IEEE 802.11b連線至學校骨幹，另一個語音品質量測代理人則位於一般校園網路中，透過IEEE 802.3 100Mbps乙太網路 (Ethernet) 連線。每次測試時，由無線網路中的語音品質量測代理人送出7883個封包，由另一端的語音品質量測代理人接收封包，並計算出語音品質 (MOS) 等相關參數送回給發送封包的代理人。以下是在宜蘭大學校園網路環境測試100次平均結果：

表5 宜蘭大學測試結果

項目	測試結果		
	最小值	最大值	平均值
PCMUS MOS	4.44	4.50	4.44
Jitter(ms)	0.50	0.53	0.50
Loss Rate (%)	0.00	0.00	0.00
Round-trip Delay (ms)	0.41	0.54	0.50

由表5中可以看出，由於沒有封包遺失，G.711u (PCMU) 編碼的語音品質相當好。且因為校園網路環境較為單純，因此延遲 (Round-trip Delay) 與抖動 (Jitter) 都很微小，與標準所定之單向延遲 (One-way Delay) 的時間150 ms幾乎可以忽略不計。

接著測試跨越台灣學術研究網路骨幹的網路電話語音品質。一個語音品質量測代理人在宜蘭大學 (使

用TWAREN IP位址)，一個語音品質測代理人在交通大學（使用TANET IP位址）。這兩個代理人都是透過100 Mbps乙太網路連線。測試由宜蘭大學的語音品質測代理人送出7883個封包，由交通大學的語音品質測代理人接收封包，並計算出語音品質（MOS）等相關參數送回給宜蘭大學的代理人。以下是測試100次結果：

表6 跨TWAREN骨幹測試結果

項目	測試結果		
	最小值	最大值	平均值
PCMU MOS	4.44	4.44	4.44
Jitter(ms)	0.51	8.84	0.96
Loss Rate (%)	0.00	0.08	0.003
Round-trip Delay (ms)	4.08	8.79	4.46

首先，我們可以看到由於跨越骨幹會有少量的封包遺失。因此最大MOS值略小於在校園內測試的結果。但由於封包遺失並不多，因此平均的MOS值與校園網路測試結果相同。而由於跨越骨幹網路，延遲與抖動相較於在校園網路內而言就多了許多，且抖動最大時，可能與最大延遲時間相同。對此現象，本論文進一步追蹤了兩個代理人所經過的路由器（Router）。如下表7所示：

表7 跨TWAREN路由表

Item	Delay	Router
1	1ms	twaren2254.niu.edu.tw
2	1ms	211.79.50.145
3	3ms	nctu-76-v20.twaren.net
4	3ms	1G-GE-P2.NCTU-NCTUE.twaren.net
5	4ms	140.113.0.165
6	3ms	Switch-1.JRC.NCTU.edu.tw

我們發現在測試路徑上，最大的瓶頸出現在臺灣學術研究網路進入交大（TANET）開始，延遲就多了3-4 ms。然而此延遲仍比單向延遲的時間150 ms小很多，故未影響語音品質的量測結果。

5 結論

本計畫以宜蘭大學校園網路，以及跨越臺灣學術研究網路TWAREN骨幹的環境為例，測試本論文所研發之網路電話語音品質測系統，並驗證系統之正確性。目前初步完成驗證與測試，未來擬將此一成果擴散至臺灣學術研究網路骨幹中各個GigaPop，以便讓網路電話使用者與骨幹網路管理員能夠得知骨幹的網路電話語音品質，並能夠協助找出跨越骨幹通話時語音品質下降的問題點。

致謝

The authors would like to thank Ren-Huang Liou for his help and comments on the development of the VQM platform. This work was sponsored in part by NSC 96-2219-E-009-019, NSC 96-2218-E-197-004, ITRI/NCTU JRC project, NCHC project, and MoE project.

參考文獻

- [1] P.800, "Methods for Subjective Determination of Transmission Quality," ITU-T Recommendation, August 1996.
- [2] G.107, "The E-model a Computational Model for Use in Transmission Planning," ITU-T Recommendation, March 2005.
- [3] P.862, "Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ): An Objective Method for End-to-end Speech Quality Assessment of Narrow-band Telephone Networks and Speech Codecs," ITU-T Recommendation, February 2001.
- [4] RFC 3951, "Internet Low Bit Rate Codec (iLBC)," S. Andersen and A. Duric and H. Astrom and R. Hagen and W. Kleijn and J. Linden, Internet Engineering Task Force, December 2004.
- [5] RFC 3022, "Traditional IP Network Address Translator Traditional NAT," P. Srisuresh and K. Egevang, Internet Engineering Task Force, January 2001.
- [6] RFC 2460, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification," S. Deering and R. Hinden. Internet Engineering Task Force, December 1998.
- [7] Draft-vg-ngtrans-tsp-01, "Tunnel Setup Protocol (TSP): A Control Protocol to Setup IPv6 or IPv4," M. Blanchet, Internet Engineering Task Force Internet-Draft, December 2002.
- [8] RFC 4380, "Teredo: Tunneling IPv6 over UDP through Network Address Translations (NATs)," C. Huitema, Internet Engineering Task Force, February 2006.
- [9] Miredo: "Teredo IPv6 tunneling for Linux and BSD," <http://www.remlab.net/miredo/>.
- [10] Draft-camarillo-sipping-sbc-funcs-05, Requirements from SIP (Session Initiation Protocol) Session Border Control Deployments. G. Camarillo, R. Penfield, A. Hawrylyshenm, and M. Bhatia, IETF Internet-Draft, October 2006.
- [11] RFC 3550, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," H. Schulzrinne and S. Casner and R. Frederick and V. Jacobson, Internet Engineering Task Force, July 2003.

- [12] Y. Amir, C. Danilov, S. Goose, D. Hedqvist, and A. Terzis, "1-800-OVERLAYS: using overlay networks to improve VoIP quality," Proceedings of the international workshop on Network and operating systems support for digital audio and video, 2005, pp.51-56.
- [13] S. Khan, S. Duhovnikov, E. Steinbach, M. Sgroi, and W. Kellerer, "Application-driven Cross-layer Optimization for Mobile Multimedia Communication Using a Common Application Layer Quality Metric," International Conference On Communications And Mobile Computing, 2006, pp.213-218.
- [14] L. Ding, and R. A. Goubran, "Assessment of Effects of Packet Loss on Speech Quality in VoIP," Haptic, Audio and Visual Environments and Their Applications, 2003. HAVE 2003. Proceedings. The 2nd IEEE International Workshop on, 2003, pp.49-54.
- [15] G.191, "Software Tools for Speech and Audio Coding Standardization," ITU-T Recommendation, September 2005.
- [16] Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP). ITU-T Recommendation G.729, January 2007.
- [17] SIPp. "http://sipp.sourceforge.net" .



王光瀚 (Guang-Han Wang)，目前就讀於國立宜蘭大學資訊工程研究所，研究領域為VoIP。



趙涵捷 (Han-Chieh Chao)，1989年於美國普渡大學電機學院 (School of Electrical Engineering, Purdue University) 取得電機碩士 (MSEE) 學位，1993年於美國普渡大學電機學院 (School of Electrical Engineering, Purdue University) 取得博士 (Ph.D.) 學位。目前任職國立宜蘭大學資工所與電子工程系專任合聘教授並兼電資學院院長與教育部電算中心主任；同時擔任網際網路技術學刊總編輯；行政院NICI IPv6推動工作小組研發分組副召集人。主要研究領域為新一代網際網路、高速電腦網路、無線網路...等。趙教授為國際工程技術學會 (IET) 與英國電腦學會 (BCS) 會士 (Fellow)。

作者簡歷



陳懷恩 (Whai-En Chen)，1997年於淡江大學電機工程系 (Department of Electronic Engineering) 取得學士學位，2002年於國立清華大學資訊工程系 (Department of Computer Science, National Tsing Hua University) 取得博士 (Ph.D.) 學位。2002年進入國立交通大學資訊工程系 (Department of Computer Science) 擔任研究助理教授。2007年進入國立宜蘭大學資工所專任助理教授，目前兼任資訊工程研究所所長及電算中心資訊網路組組長。陳教授曾擔任NICI IPv6推動計畫研發分項子計畫負責人與應用推廣分項共同主持人，以及電信國家型計畫IMS計畫與B3G/4G計畫之共同主持人。陳教授曾擔任國際會議程序委員、國際會議與期刊的審查委員、國際會議會議主持人、國際期刊的客座編輯，以及JIT網際網路技術學刊的副執行編輯。陳教授的主要研究領域包括新一代網際網路 (IPv6)、網路電話 (VoIP)、3GPP IP多媒體子系統 (IMS)、IEEE 802.16 WiMAX等。