

基於 SCTP 傳輸協定設計一有效率的整合式網路語音系統

Research on Integration of VoIP Network using SCTP

何柏儀¹ 蔡懷興¹ 張林煌^{1,2}
 Bo-Yi Ho¹ Huai-Hsinh Tsai¹ Lin-Huang Chang^{1,2}
 朝陽科技大學 網路與通訊研究所¹
 國立台中教育大學 資訊科學學系²
 s9430604@cyut.edu.tw、s9530615@cyut.edu.tw、lchang@cyut.edu.tw

摘要

由於網路科技的發展，人們可以將語音透過國際網路來進行傳遞溝通。而隨著網路語音應用的興起，如何提升語音服務品質，逐漸地成為重要的議題。在目前網路語音協定架構中，語音資料需透過網路各層中相關的協定依序的進行封裝後傳輸，因此也造成了相當多的封裝程序與產生不必要的表頭資料(Overhead)，造成額外的傳輸負擔，因此在本論文中，我們提出了一個利用 SCTP 傳輸協定，來整合設計一個新的網路語音系統架構，讓語音資料與信令資料可以同時利用 SCTP 協定進行傳輸，並且簡化語音資料的封裝程序與減少傳輸時的負擔，同時利用 SCTP 協定本身獨特的特性，提出一快速換手機制，達到提升服務品質之目的。

關鍵詞：即時傳輸協定、串流控制傳輸通訊協定、會談啟始協議、區塊綁定

Abstract

VoIP has been one of prevalent applications in internet nowadays. It allows us to transmit voice data over IP network. However, QoS is a major challenge for VoIP. Currently, the voice data can be encapsulated in a packet using protocols such as RTP and RTCP. But it produces many processes to packet the voice and results in unnecessary overhead for the transmission. Therefore we propose an integrated voice over internet system using SCTP. The VoIP signal and voice data can be transported using SCTP protocol. The proposed system will simplify the packet process and reduce the overhead in the transmission process. Further it will utilize some characteristics of SCTP to improve QoS of VoIP.

Keywords: RTP、SCTP、SIP、Chunk bundling

1. 前言

由於網際網路的技術進步，許多的網路應用和服務也被發展出來，利用網路的多媒體相關應用為

目前最熱門的議題，而網路語音傳輸(VoIP)也是其中之一，使用者透過網路可以跟世界各地的使用者，進行語音的連線。由於語音的服務是即時性的，改變了使用者對資料傳輸的要求，提供網路服務品質(Quality of Service, QoS)就更為重要，而現今的網路資源提供高品質的服務，也是目前被熱烈討論的研究議題。

傳統的電信網路-公眾交換電話網路(Public switch telephone network, PSTN)是以電路交換(Circuit Switch)的技術為基礎來進行通話，這種特性也被稱為連接導向(Connection Oriented)，而當這條電路被佔用後，即使不傳送資訊別人也不能使用，其優點在於因電路交換技術中每一條中繼線路的建立都是專用的，缺點為別人無法與其共用分享，也因此能夠達到服務品質(QoS)的保證。VoIP則是以封包交換(Packet Switch)的技術為基礎，透過IP分封交換網路為傳輸平台進行通話，所謂封包交換就是將傳送端的資料或語音切割成數個小塊的封包(Packet)，每個封包中分別承載部分的資料(Payload)，並加上一個指示用的標頭(Header)來透過網路進行傳送，同時在傳送的過程中，無須事先建立一條專用的中繼電路，每一個封包所傳送的路徑也不一定相同，這種特性也被稱為非連接導向(Connection-less Oriented)。而由於網際網路是一開放式的環境，資源是共享的，因此，近年來為了能提供更好的網路服務品質，有眾多學者提出了多項的技術來達到服務品質的保證，如：資源保留協定(Reser Vation Protocol, RSVP)[2]、多重通訊協定標籤交換傳輸(Multi-Protocol Label Switching, MPLS)[10]等等。

而語音服務品質是以使用者的角度來定義，除了是對網路的品質表現進行評價外，也包含了對語音品質的描述，由於網路品質的好壞會直接反映在語音服務品質的表現上。一般而言，對於網路語音的服務品質衡量，是以點對點延遲(Delay)、延遲抖動(Jitter)與封包遺失率(Packet Loss)這幾個參數來判定。點對點延遲是指將資料從來源端發送到目的

端所需的時間，延遲時間大小將影響資料在網路上的傳輸效率，對於VoIP這種對時間較為敏感的網路應用，其影響更大，甚至將造成通話品質不佳的情形，因此延遲被視為重要的服務品質衡量指標。延遲抖動指的是連續的封包在到達目的地時的封包延遲變化，此變化必須以固定的時間間隔(ΔT)，如果封包之間的 ΔT 不固定，即被視為延遲抖動，可能引發封包不依照順序抵達的問題；一旦延遲抖動的變化超過一定的標準值後，同樣會影響通話的服務品質，因此延遲抖動同樣被視為重要的服務品質衡量指標；封包遺失率是指來源端送出封包未能到達目的端時，發生封包遺失的狀況，而由於VoIP在通話期間所遺失的封包並不會進行重送，否則將會干擾到目前正在進行的通話，因此當發生嚴重的封包遺失時，將導致通話的不連續，因此封包遺失也被視為服務品質的衡量指標之一。目前網路上常被利用作為語音服務品質衡量的方法有平均意見分數(MOS)與E-model[11]模型，根據這兩種方法所得到的分數來評量語音品質。

SCTP(Stream Control Transmission Protocol, SCTP)[7][8][9]在2000年10月，由Internet Engineering Task Force(IETF)的信號傳輸工作組織(SIGTRAN Working Group)，正式制定RFC 2960，成為新一代網際網路傳輸協定。SCTP與TCP、UDP同樣是架構於OSI網路七層模型中的傳輸層，因此可以同時適用於IPv4及IPv6兩種不同的IP協定，具備了多宿(Multi-homing)、多串流傳輸(Multi-streaming)、區塊綁定(Chunk bundling)、選擇性確認(SACK)和壅塞控制等機制，能夠讓資料傳輸更有效率。而近年來對SCTP的研究中，針對SCTP的多宿機制的研究，有多條路同時傳輸資料和在多條路徑中選擇一個最好的路徑進行資料的傳輸兩個議題。

本研究將對網路電話透過SCTP傳輸協定，並利用E-model模型評量每條路徑，選擇最佳路徑進行語音資料的傳送。

2. 文獻探討

2.1 SCTP(Stream Control Transmission Protocol, SCTP)

傳統的第四層網路通訊協定TCP，雖然可以保證封包不會遺失以及有序的傳輸，但是建立通話時間太長，而且會有HOL(Head-Of-Line blocking)問題，不能符合網路電話對於時間條件的限制；而UDP雖然發送速度快，但卻有封包遺失以及不照順序到達的問題，必須依賴應用程式做處理，增加了額外的延遲時間，因此目前的網路架構與發展的趨勢下，無法發揮其特性與最佳的網路效能。因此由網路工程組織IETF的信號傳輸工作組織在2000年提出一個新興的傳輸層協定，名為SCTP。

SCTP是在2000年10月，由IETF的Signaling

Transport (SIGTRAN)工作群組，正式制定RFC 2960[8]，成為新一代網際網路傳輸協定。SCTP原先被設計用來在IP網路上傳遞PSTN信令，是一個連接導向的傳輸層協定，採用了類似TCP的流量控制和壅塞控制演算法[1]，透過自身的確認與重送機制來保證用戶資料在兩個SCTP端點間可靠傳送。SCTP與TCP、UDP同樣是架構於OSI網路七層模型中的傳輸層，因此可以同時適用於IPv4及IPv6兩種不同的IP協定。

SCTP傳輸協定中的來源端和目的端被稱之為端點(endpoint)，而關聯(association)是由端點間建立起的關係，兩個端點進行溝通時必須先建立關聯，SCTP採用四向交握(Four-way handshake)的方式來建立關聯，過程中兩個SCTP端點會進行通信狀態交換，包含可使用的介面與緩衝區大小，建立完成後便產生兩端點間傳送資料的通道(類似TCP中的connection)。如圖1為SCTP傳輸協定之架構圖。

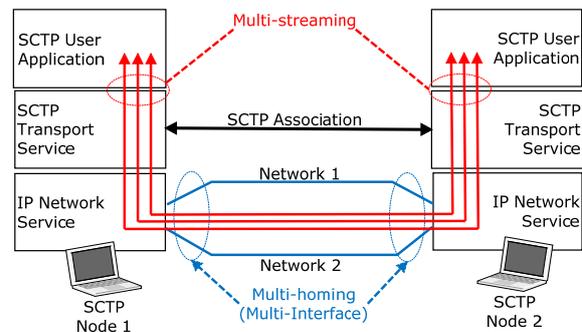


圖 1 SCTP 傳輸協定架構圖

2.2 E-model

E-Model最早是由歐洲電信標準協會(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)所提出，後來經由ITU-T進行標準化後，形成G.107標準評估模型。E-Model的想法是假設語音品質的損失因素總是由網路實體層在傳遞過程中所附加的，那麼若能靈活地加入諸如雜訊、回音、延遲、編碼器性能、抖動等網路損失因素的估算值，使用者主觀的體驗因素就能被全面客觀的服務品質等級所估計。藉由將語音信號傳輸過程中若干因素對話質的負面影響進行計算，綜合為參數 R ，用以評估該語音訊號的品質。而參數 R 的範圍從0到100，其中數值越大，表示語音品質越好。而E-model中 R 值的計算從沒有受到網路傳輸及相關設備損失影響開始，基本計算如公式(1)：

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{ef} + A \quad (1)$$

R_0 ：表示未受到網路延遲或相關設備損傷的基本信號雜訊比(Signal to Noise Ratio, SNR)，此時的語

音品質是最佳的。

I_s ：代表語音信號轉換的同步編碼損失。

I_d ：代表語音信號傳輸延遲的損失。

I_{ef} ：代表設備損失及封包遺失損失。

A ：代表優勢因素，用以補償因用戶採用某些帶來便捷接入的設備而導致的語音品質的影響，通常設定為 0。

而透過 E-Model 模型所評估出來的語音品質參數 R ，可以與平均意見分數(MOS)進行換算，如表 1 所示，其中由於考量到實際類比語音資料與網路傳輸的數位語音資料之間存在必然的轉換損失，使得 R 值最大只能達 94.2 分，對應到平均主觀的 MOS 值只有 4.4 分。MOS 平均意見分數值達到 4 分或更高，一般被認為較佳的語音品質，反之若低於 3.6，則表示大部分使用者不滿意該語音品質。

表 1 R-factor, quality ratings and the associated MOS[4]

R-factor	Quality	MOS
$90 < R < 100$	Best	4.34~4.50
$80 < R < 90$	High	4.03~4.34
$70 < R < 80$	Medium	3.60~4.03
$60 < R < 70$	Low	3.10~3.60
$50 < R < 60$	Poor	2.58~3.10

2.3 其他相關研究

目前網路上的即時語音資料封包，是透過非連接導向的傳輸協定進行傳輸，所以 S. Ganguly[6] 等學者，針對即時語音資料在傳輸時，會產生許多不必要的額外表頭負擔問題，所提出了一種表頭壓縮 (Header Compression) 的解決方法辦法：在即時語音資料傳輸過程中，RTP 封包透過發送端傳送出去，會先經過一個傳輸路徑上的某一彙集點，這個彙集點會將收集到的 RTP 封包表頭去除，保留原始語音資料，等到收集資料達一定數量後，重新封裝成一個較大的 RTP 封包，再進行傳輸的動作。然而此方法雖然能夠有效降低封包表頭 Overhead 的問題，但是缺點是封包在傳送過程中，造成更加繁複的封裝與解封裝程序，彙集點部份也會產生相當大的處理負擔。另一方面，當網路遺失率較高的情況下，也更容易產生服務品質下降的問題。

而針對利用 SCTP 協定來進行即時語音或資料傳輸，國內外亦有其相關的研究。J. Fitzpatrick [5] 等學者則針對利用 SCTP 傳輸協定進行 VoIP 服務時，當 MN 移動時，利用修改 SCTP 中原本 Heartbeat 的部分屬性來對網路狀況進行偵測，再結合 E-model 模型，用來傳輸路徑進行品質測量，並利用 SCTP 的 Multi-homing 特性來進行傳輸路徑的切換，以提升維持網路語音服務的品質。但在此方法中，作者僅

利用傳輸時間作為 E-model 模型中的參數依據，並未真正考量到封包的遺失狀況；並且，此方法僅是將 RTP 的語音封包直接封裝到 SCTP 的 DATA Chunk 中進行傳輸，而未考慮到 SCTP 協定的資料表頭負擔的問題，由於 SCTP 協定的表頭較 UDP 協定來的大，因此在語音傳輸過程中將造成額外的資料表頭負擔。

3. 系統架構

在本論文中，我們提出了一個利用 SCTP 傳輸協定來進行網路語音傳輸的架構，本架構使用 CRTP (Compress RTP)[3] 的概念，將 RTP 表頭資料進行分類，區分為固定性資料與變動性資料，以便進一步的進行表頭的壓縮，同時也利用 SCTP 協定中區塊綁定 (Chunk bundling) 的特性，將 RTP 封包表頭資訊整合到 SCTP 協定封包之中，來達到整合原本 RTP 協定簡化封裝程序與減少封包表頭負擔的目的。同時也可以利用 SCTP 協定中的 Multi-streaming 特性，達到信令資料與語音資料同時可以透過 SCTP 協定中的多串流分類傳輸功能。

圖 2 為本篇研究所提出之系統架構圖，在本系統架構中，在語音傳輸過程中，無論是控制信令或是語音資料的傳輸，皆透過 SCTP 協定來進行傳輸，並且將原本 RTP/RTCP 的功能直接用傳輸層的 SCTP 協定來達成。此架構將利用 SCTP 協定的區塊綁定 (Chunk bundling) 特性，將 RTP/RTCP 封包表頭中所負載的資料，利用原本 SCTP 中既有的 Chunk 欄位與自訂新的 Chunk 的方式來進行夾帶傳送，以滿足原本即時語音資料傳輸的功能需求。

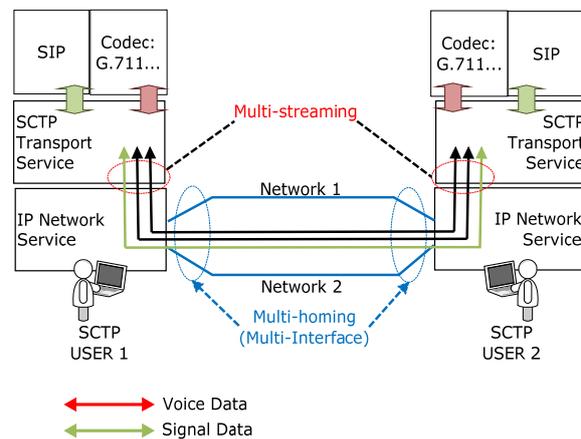


圖 2 Voice over SCTP 系統架構圖

由於原本 RTP 封包所負載的表頭資訊中，其中一部分會隨著傳送時間改變，另一部份則為固定不變的欄位資訊，因此我們透過產生兩種新的資料區塊 (Real-time Common, RC、Real-time Data, RD)，來取代原本 RTP 封包的功能並整合入 SCTP 協定中來進行語音資料的承載，其格式如圖 3 與圖 4 所示。

在原本 RTP 協定封包表頭中，不會隨著時間改變的固定欄位資訊，將由我們所自訂的新區塊 RC Chunk 來進行傳送，並利用其中的 C 欄位來識別是否為經過混音器(Mixer)處理的多方會談，以及表頭中是否包含 CSRC 欄位資訊，來達到原本 RTP 協定的功能；而實際的語音資料與會變動的表頭資訊，將透過另一個自訂的 RD 區塊進行傳送。由於在 RC Chunk 中所負載的資訊在資料傳送過程中並不會改變，因此，RC Chunk 只有當會談剛開始建立時，會進行一次傳送，在之後會談語音資料傳輸過程中，將不再進行傳送，僅傳送 RD Chunk，藉以減少額外不必要的表頭負擔。

Type	Payload type	C	Chunk Length
SSRC			
CSRC (Optional)			

圖 3 Real-time Common Chunk(RC)區塊格式

Type	Chunk flags	S	U	M	length
Sequence Number (TSN)					
Streams identifier S			Stream sequence number		
Timestamp					
User Data					

圖 4 Real-time Data Chunk(RD)區塊格式

而我們在 RD Chunk 中，設計一靜音識別(Silent bit)旗標，藉以識別目前使用者有沒有說話，以便可以進一步的進行頻寬管理，達到頻寬使用率的提升。

此外，在本論文中我們也提出了一有效的快速路徑切換策略，此策略要能針對語音封包在網路上傳輸的狀況，快速的做出反應，以維持通話的服務品質；因此，為了能即時取得語音封包在網路上傳輸的品質狀況，我們利用標準 SCTP 協定中的 SACK 的回報機制，再加上部分的機制修改，以便能夠取得所需要的參數資訊，然後進一步的計算通話的服務品質。

因此我們為了取得所需要的延遲時間與封包遺失等相關網路參數資料，新增了一個 Reporting Chunk 區塊，同時利用 SCTP 區塊綁定(Chunk bundling)的特性，將此 Reporting 區塊夾帶於原本 SCTP 協定的 SACK chunk 後面；我們首先對標準 SACK 區塊進行修改，在旗標的部份加入了一個 R(Reporting)位元，用來識別此 SACK 區塊中是否含有 Reporting 區塊。而 Reporting 區塊的格式定義如圖 5 所示，在 Chunk 型態部分，我們使用 IETF

所保留的區段，編號為 17；包含了一個 16 bits 的傳輸時間戳記欄位(Transmission Time, TT)，用以回報計算出來的封包的單向延遲時間(One Way Delay)，以及一個 16 bits 的可用頻寬資源欄位 EBw(Effective Bandwidth)，回報接收端的頻寬使用情況。

因此在運作上，當接收端收到語音資料(RD Chunk)後，會利用其中的 Timestamp 欄位，來計算出封包的單向延遲時間(One Way Delay)參數，放入 Reporting chunk 中的 TT(Transmission Time)欄位中，同時也會將目前接收端的可用頻寬資源參數，放入 Reporting chunk 中的 EBw (Effective Bandwidth) 欄位中，一起回送給傳送端，傳送端在收到 SACK 區塊後，發現旗標 R 被設定為 1，便得知此區塊包含了 Reporting 區塊，再結合原本 SACK chunk 的功能，就能夠進一步計算出當時的延遲時間(Delay, D)與封包遺失率(Loss rate, L)。

Type=3	Chunk Flags	R	Chunk length	SACK Chunk
Cumulative TSN Ack				
Advertised Receiver Window credit (A_rwnd)				
Number of Gap Ack Blocks=N		Number of duplicate TSNs=X		
Gap Ack Block #1 start TSN offset		Gap Ack Block #1 end TSN offset		
Gap Ack Block #2 start TSN offset		Gap Ack Block #2 end TSN offset		
...				
Type=17	Chunk Flags	Chunk length		Report Chunk
Transmission Time		Effective Bandwidth		

圖 5 修改後之 SACK 區塊

在取得語音封包傳輸延遲與封包遺失等相關參數後，我們對標準 SCTP 中原本的路徑切換機制，進行了修改，以便能夠快速的反應及有效的進行路徑切換，以提升通話品質；在我們所提出的路徑切換方法中，將利用到由 ITU 所核准的 E-model 模型，來針對各傳輸路徑的服務品質進行衡量並進一步的進行有效的路徑選擇策略；在此，由於本論文主要是針對語音資料在網路上傳輸對於服務品質的影響，因此我們將原本的 E-model 模型簡化成公式 (2)，而其中的數位語音訊雜比參數 R_0 ，我們以 ITU 所建議的 94.2 來代入計算[4]。

$$R = R_0 - Id - Ief \tag{2}$$

而 Id 及 Ief 兩項參數，則是將 SCTP 協定中 SACK Chunk 區塊，以及 Report chunk 所夾帶的傳輸延遲 (Delay, D) 與遺失率 (Loss rate, L) 等資訊，代入由 R.G.COLG 等學者[4]在 2001 年所提出 E-model 模型中， Id 以及 Ief 參數值的換算公式計算計算轉換得之。最後再代入公式(2)計算出主要傳輸路徑的服務

品質參數 R 值。

而為避免 R 值的變化過於激烈的情形發生，因此我們將透過公式(2)計算所得到的 R 值，再利用公式(3)進行加權運算，主要是將當次 E-model 所計算得到的 R 值，與前一次計算所得到的加權後 R 值結果進行加總，並透過一個 α 參數分配其權重，進而得到目前主要傳輸路徑加權後的 R 值。

$$R = \alpha * R_{(n-1)} + (1 - \alpha) * R_{(n)} \quad (3)$$

當主要傳輸路徑加權後的 R 值低於70時，也就是換算成平均服務品質意見分數(MOS)低於3.6的時候，即啟動路徑切換機制，利用 SCTP 原本的 Multi-homing 特性來進行傳輸路徑的切換，重新選擇所有傳輸路徑中，具有最佳 R 值的路徑，重新設定為新的主要傳輸路徑來進行切換，以維持網路語音通話的服務品質。

在此需要注意的是，在進行路徑切換之前，我們無法得知備援路徑所提供之服務品質是否優於主要路徑，所以必須先得知備援路徑的服務品質狀況，在此我們會花費一次的取樣週期時間，同時對主要路徑與備援路徑傳送資料，藉由兩條路徑所回傳的服務品質參數進行比對，只有當備援路徑的服務品質較主要路徑優且大於一定的門檻值時，才會進行路徑的切換，以避免乒乓(Ping-Pong)效應的發生，在本論文研究中，我們設定當備用路徑的服務品質大於主要路徑服務品質10%時，才進行路徑的切換。

因此我們所提出的整合性網路語音系統架構中，不論是信令資料或是語音資料皆使用 SCTP 協定進行資料的傳遞，並且將原本 RTP/RTCP 協定功能，整合到 SCTP 協定中運作，以達到減少語音通話時的封裝程序，並且有效減少傳輸時封包表頭的負擔；並且結合我們所提出之有效路徑選擇機制，以確保通話過程中，能夠提供較好的服務品質。

4. 模擬與分析

利用本論文中所提出之架構與方法，我們將設計模擬本論文中的網路語音系統架構，藉以驗證我們所提出之架構，能夠有效減少語音傳輸時所產生的不必要的表頭負擔，以及能夠有效的透過路徑選擇策略來提升通話的服務品質。圖6與圖7為本研究的兩個實驗架構圖。

我們使用網路模擬工具 Network Simulation Version 2 (NS-2)[12]進行模擬測試，實驗中採用 G.711 64Kb/s編碼，每20ms取樣一次。第一個實驗是針對在不同參與人數的情況下，語音資料表頭對於資料傳輸的影響分析；由於在多方會談情況下，使用者所產生的語音資料，會先透過一混音器

(Mixer)進行同步混音處理後，再傳送給其他使用者。因此我們將比較在使用傳統網路語音系統架構與我們所提出之整合性網路語音系統架構下，對於網路傳輸的負擔與差異。其整體(overall)傳輸量的變化比較結果顯示於圖八中。

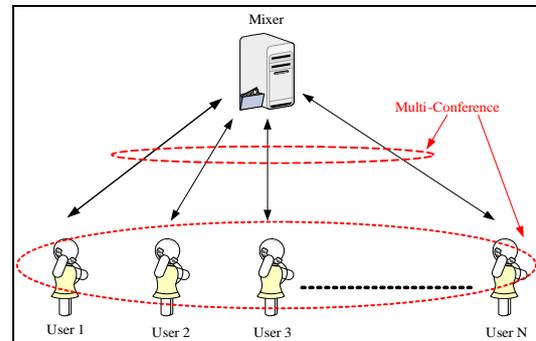


圖 6 多方會談實驗架構圖

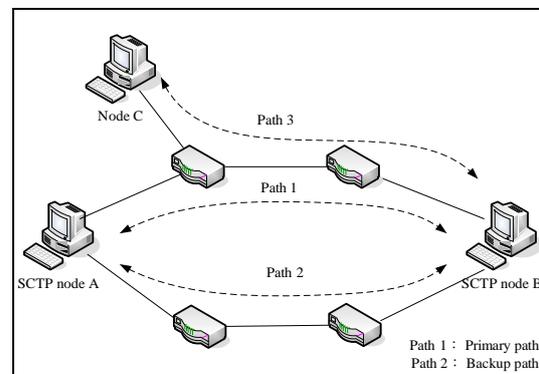


圖 7 路徑選擇實驗架構圖

第二個實驗針對本論文研究中所提出的主要路徑切換策略，在使用者同時擁有兩條以上的路徑情況下，與使用傳統網路語音系統架構方法進行通話效能上的差異比較。其比較結果顯示於圖九。

在圖8中，所要進行的是分別利用我們所提出之網路語音系統架構與傳統的網路語音系統架構，在相同的通話時間內，不同人數的多方會談情況下，封包表頭 Overhead 對於整體傳輸量變化的比較。X 軸與 Y 軸分別代表會談參與人數與資料傳輸量。在使用傳統的架構中，由於會因為越多的會談參與者，造成 RTP 封包表頭中的 CSRC 資訊隨之越大，而這些資訊在會談的過程中是固定不變的，但這些固定的表頭資訊，在會談的過程中仍會持續的傳送，因此造成更多不必要的表頭負擔。

而在我們所提出之系統架構中，這些固定的表頭資訊，僅會在會談的啟始階段，透過 RC Chunk 進行一次的傳送，在之後的會談過程中，並不會再重複送，所以不會因越多的會談參與者人數，而產生更多的表頭負擔，因此能夠有效的減少通話過程中的封包表頭負擔與頻寬消耗。

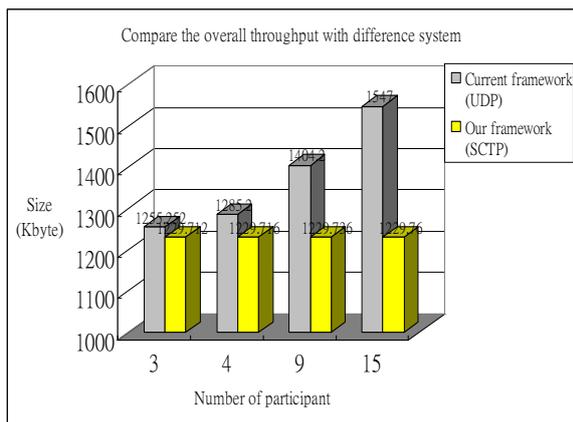


圖 8 Overall throughput with conference

圖 9 中，是比較在我們的網路語音系統架構下結合我們所提出之新的路徑選擇策略與傳統網路語音系統架構下透過不同傳輸協定來分別進行語音資料的傳輸，並針對通話過程中遭受到干擾的情況進行比較。X 軸與 Y 軸分別代表模擬時間與封包的 TSN 號碼。在使用傳統的架構中，通話過程中遭受到其他的干擾，仍舊會透過原本的路徑進行傳輸，不會進行路徑的切換，因此造成通話服務品質的降低；而我們所提出的方法則能夠快速的偵測到路徑服務品質的變化，適時的進行傳輸路徑的切換，以提供更好的通話的服務品質。

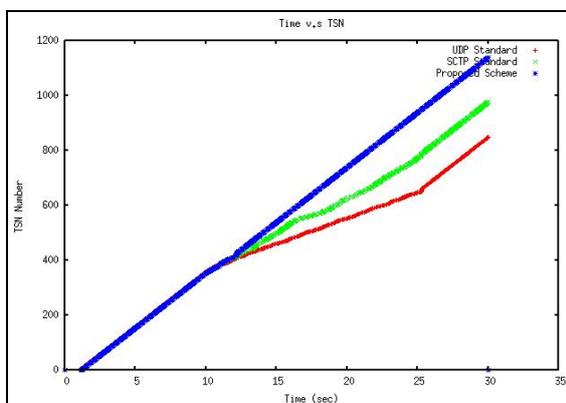


圖 9 Change of TSN for different protocols

5. 模擬與分析

本研究是基於提出利用 SCTP 傳輸協定來整合一個網路語音電話系統的架構，將原本即時傳輸協定(RTP/RTCP)的功能，一併整合至 SCTP 傳輸協定之中，除了能夠簡化語音傳輸過程中，語音封包封裝的程序，減少語音封包表頭的 Overhead，並希望能利用原本 SCTP 協定中既有的獨特特性，透過功能與協定架構的整合，來提升改善傳統網路語音系統的效能，提升網路語音的服務品質。並且將針對進行多方會談時，會談參與人數之間頻寬使用率的影響與服務品質的關係來進行實驗模擬與討論；最後並結合我們所提出之傳輸路徑切換策略，動態的

切換 Real-time Traffic 的傳輸路徑，以維持通話的服務品質。

參考文獻

- [1] M. Allman, et al., "TCP Congestion Control," RFC 2581, April 1999.
- [2] I.R. Braden, et al., "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) --Version 1 Functional Specification," RFC 2205, September 1997.
- [3] S. Casner and V. Jacobson, "Compressing IP/UDP/RTP Headers for Low-Speed Serial Links," IETF Request for Comments 2508, February 1999.
- [4] R. G. Cole and J. H. Rosenbluth, "Voice over IP performance monitoring," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 31, Issue 2, pp. 9 – 24, April 2001.
- [5] J. Fitzpatrick, S. Murphy, and J. Murphy, "SCTP based Handover Mechanism for VoIP over IEEE 802.11b Wireless LAN with Heterogeneous Transmission Rates," IEEE International Conference on Communications, Vol. 5, pp. 2054 – 2059, June 2006.
- [6] S. Ganguly, et al., "Performance Optimizations for Deploying VoIP Services in Mesh Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 24, Issue 11, pp. 2147 – 2158, Nov. 2006.
- [7] Fu. Shaojian and M. Atiquzzaman, "SCTP: state of the art in research, products, and technical challenges," IEEE Communications Magazine, Vol. 42, Issue 4, pp. 64 – 76, Apr. 2004.
- [8] R. Stewart, et al., "Stream Control Transmission Protocol," RFC 2960, October 2000.
- [9] R. Stewart, and C. Metz, "SCTP: new transport protocol for TCP/IP," IEEE Journal on Internet computing, Vol. 5, Issue 6, pp. 64 – 69, Nov.-Dec. 2001.
- [10] E. Rosen, A. Viswanathan and R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture," RFC 3031, January 2001.
- [11] ITU-T Recommendations G.107, "The E-Model, a Computational Model for Use in Transmission Planning," December 1998.
- [12] The Network Simulator version 2 - ns-2 <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>