

點對點視訊對講系統之研究 Study of Peer-to-Peer Interphone Systems

朱仁貴 陳宏良

Ren-Guey Chu, Hung-Liang Chen

黎明技術學院電機工程系
Department of Electrical Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

王伯軒

B-H Wang

台北科技大學電機工程系
Department of Electrical Engineering, National Taipei University of Technology

摘 要

網際網路發展迅速，透過 P2P(Peer-to-Peer)傳輸資料的方式往更方便且更快速的方式傳遞，而網路流量會影響到傳輸的品質，使得頻寬估測的技術往往得依據網路服務的特性進行適度的設計和調整，而適用於多媒體串流網路的頻寬量測法儼然成為最熱烈討論的技術。

本篇文章將實現 Linux 操作系統下以 pathChirp 為寬估測工具與德州儀器(TI)的 DM365 CPU (Central Process Unit)結合的嵌入式系統。首先，以頻寬估測法取得點對點可用的頻寬資訊，再以這些條件調整 H.264 編碼器的壓縮比。最後再以三種不同的網路環境去實現，以我們所建立的調整壓縮比機制，不論在任何頻寬的變化下，能真正得到順暢的影像呈現品質。

關鍵詞： P2P, pathChirp, NAT, H.264

Abstract

Due to the rapid development of the Internet, the P2P (Peer-to-Peer) data communication system has become one of the most convenient and fastest transmission methods. But the transmission quality will be affected by the traffic flow, so the available bandwidth estimation technique has to be designed and adjusted adequately according to the characteristic of the network service. Therefore, the bandwidth estimation technique suitable for multimedia streaming networks has become the most popular topic recently.



This paper implements the pathChirp bandwidth estimation tool to an embedded system with the CPU of TI DM365 and under Linux operating system. At first, the NAT must be penetrated. Then the available bandwidth of the network environment will be calculated to determine the compression rate of the codec H.264. After experimenting in three different network environments, we found the proposed mechanism can really get a smooth video picture no matter the traffic circumstance changes.

Key Words: P2P, pathChirp, NAT, H.264



1. 前言

近來網際網路的技術日漸進步，用戶在電腦網路的使用量也越來越多，網路傳輸的速率要求以及高頻寬的網路服務儼然成為電信業者和客戶端最首要的問題。使用者從開始的收發郵件衍伸到即時影像的傳輸，因而促成多媒體視訊需求，如 CCTV (Closed-Circuit TeleVision)、IPTV (Internet Protocol Television) 等即時影像的需求，使得網路頻寬的需求也隨著增加。另外，隨著行動設備的普及，不論是桌上型、筆記型電腦或是智慧型手機置平板電腦，對於無線網路的傳輸品質及需求也大幅提升，使用者會透過不同的網路執行即時影音傳輸應用。而在各種不同的網路傳輸環境中也會有不同的傳輸頻寬，為了因應不同頻寬及不同網路客戶的傳輸需求，網路上也有一些影像得壓縮技術支援，如可調式視訊編碼(Scalable Video Coding, SVC)技術等。由於網路仍然會頻寬的劇烈變動，以及在區域網路上常會出現多位使用者同時使用即時通訊或影像時，往往造成用戶在點對點的即時影響傳輸受到影響。

網際網路的快速發展，使得網路上的各種應用程式也產生大量的需求，而網路的即時性應用軟體也越來越多，從一開始的即時訊息傳送到網路電話的即時語音傳送，衍伸至現在的視訊會議的多媒體視訊串流即時影像服務，除了透過 TCP (Transmission Control Protocol) 通訊協定，其影音封包的傳送更要經過 UDP (User Datagram Protocol) 通訊協定的應用程式來做影音封包的傳輸。由於在用戶端會是用不同的異質網路，或是多個用戶同時在網路共享上會分掉原有的頻寬，即使是各用戶的上傳及下載還有穩定度也有所不

同，因而造成不同的用戶在點對點的多媒體視訊傳輸時會有不同網路頻寬的限制。即便在多媒體視訊傳輸支援可調式編碼技術，也會因為無法知道即時的可用網路頻寬而無法發揮其應有的成效，甚至會造成視訊品質不如預期或網路頻寬浪費的情況，以至造成封包遺失或發生影像中斷的情形，所以適用於多媒體網路串流的頻寬估測將成為網路多媒體串流最重要的一環。因此，即時的估測用戶端對的網路頻寬，以得到點對點之間的可用頻寬，之後透過數位信號處理的技術進行視頻編碼處理，在有限的頻寬中，讓視訊編碼得到最有效率的運用。

截至目前為止已有許多頻寬估測的研究探討及實作，大部分以主動式的頻寬估測了解網路的壅塞情況，配合多媒體網路的視訊編碼系統達到網路即時視訊的有效傳輸。本文也採用 PathChirp[1] 主動式的估測方式，結合德州儀器的 DM365 數位媒體處理器，搭配數位信號處理 DSP (Digital Signal Processing) 的技術，進行視訊編碼 H.264 的控制。

本文的主要目的如下：

- a. 在 Linux 作業系統的介面下，用 pathChirp 的頻寬估測法來估測點對點可用頻寬。
- b. 藉由 DM365 數位媒體處理器，配合數位信號處理 DSP (Digital Signal Processing) 的技術，在不同的頻寬下調節 H.264 的壓縮比，以發揮在有限頻寬下的最大效用。

2. 相關文獻回顧

隨著上網人數不斷的激增，寬頻網路的普及，早期廣泛採用的主從式架構，已逐漸不敷使用者在資料量及即時性的強烈



需求，而 P2P 技術則藉由系統間的直接交換，進行電腦資訊和服務的分享，讓個人電腦同時具備伺服器 (Server) 與使用者 (Client) 的功能。使得線上數以萬計的個人電腦可以即時的分享彼此電腦中的運算、記憶體及檔案，達到共享資源目的。

此外異質網路的即時可用頻寬問題，目前在網際網路上的頻寬估測主要分為被動 (Passive) 與主動 (Active) 兩大類 [2]，被動式的頻寬估測主要透過網路壅塞 (Congestion) 的狀況，也就是當傳輸時發生封包遺失率 (Loss Rate) 或封包延遲 (Delay) 估測可用的頻寬。主動式的頻寬估測是透過主動發送探測封包 (Probing Packets) 估測網路的可用頻寬，因為被動式的往往已經造成壅塞。而主動式的頻寬估測可以迅速的估測現有頻寬，因此大部分的文獻都採用主動式的封包估測方法。網路的估測效能取決於它所用的頻寬估測方法，因此選擇適合的頻寬估測法是最首要的。

目前常用的估測工具如 IPerf [3]、ThruLay [4]、TOPP [5]、Pathload [6]、及 PathChirp [1]，而其中 IPerf、ThruLay 是藉由 TCP 測試封包估測網路頻寬，而 PathChirp 最具效率與即時性的頻寬估測法。因此本論文採用此法。

pathChirp [7] 的原理是基於自體感應壅塞 (Self-Introduced Congestion) [8] 的觀念，藉由封包呼叫 ((packet chirps) 的方式動態測量網路剩餘頻寬，pathChirps 是以上升指數的方式調整每次送出的封包群 (Chirp) 每個測試封包送出的速率，再將每個 Chirp 測出的結果加以平均，探測封包發送方式如圖 2-1 所示。pathChirp 以指數遞增的封包間隔取代 SLoPS (Self-Loading Periodic Stream) [9] 的等距離封包間隔，其探測效率相當，但是所造成的網路負載相對要少。

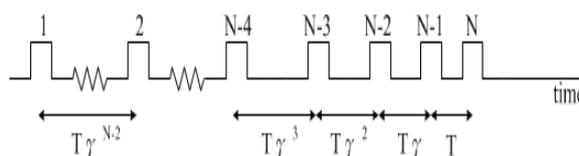


圖 2-1 Chirps 封包傳送圖

pathChirp 的測量理論：

設每個 Chirp 是由 N 個大小為 P bytes 的數據封包，其發送時間間隔成指數增長，定義 Chirp 內連續發送數據封包的時間間隔比率 γ ，第 k 個數據封包的排隊延遲為 q_k ，當發生佇列延遲時：

$$q_k > q_{k+1} \Rightarrow A_k > R_k$$

$$q_k < q_{k+1} \Rightarrow A_k < R_k$$

傳輸延遲為 t_k ，第 k 個和的 k+1 個數據封包之間的發送間隔為 Δt_k ，所以第 k 個數據封包的瞬間發送數率為 $R_k = P/\Delta t_k$ ，可用頻寬的估計值為 E_k 。由上述參數可得 pathChirp 的可用頻寬公式：

$$D = \frac{\sum_k E_k \Delta t_k}{\sum_k \Delta t_k}$$

本論文於 Linux 作業系統實現 pathChirp，其使用程序分為 pathchirp_rcv、pathchirp_snd 及 pathchirp_run 三個部分，其中 pathchirp_rcv 安裝於接收端，pathchirp_snd 安裝於傳送端，pathchirp_run 則安裝於 pathChirp 主機 (詳細流程會在第三章軟體單元詳述)，pathchirp_run 中可下達測量週期 (t)、Jumbo 封包 (J) 含多少個測試封包、發送 Chirp 的平均數率 (a)、Chirp 在測試封包中的最低 (l) 與最高 (u) 速率等。

pathChirp 的特色在於：1. 每個 Chirp 的探測封包列的時間間隔成指數增長，由此證明演算法的無干擾性 (non-instrusiv) 和強健性 (robust)，並且不會因為瓶頸反應而



造成網路的壅塞；2.使用 pathChirp 的過程可以自行調節其中的參數，如估測時間、估測範圍等，更有效率的估測出即時可用頻寬。

3. 點對點視訊對講機軟體設計

本章節將介紹社區型視訊對講機的軟體架構，以 pathChirp 頻寬估測法測得傳送端(Sender)與接收端(Receiver)之間的即時可用頻寬，讓傳送端攝影機的影像擷取可以依據可用頻寬資訊，調整 H.264 的壓縮比及傳送速率，加上 RTP 的標頭，將經過編碼壓縮的即時影像封包傳送至接收端，最後透過接收端的 LCD 呈現即時影像，如圖 3-1 所示。

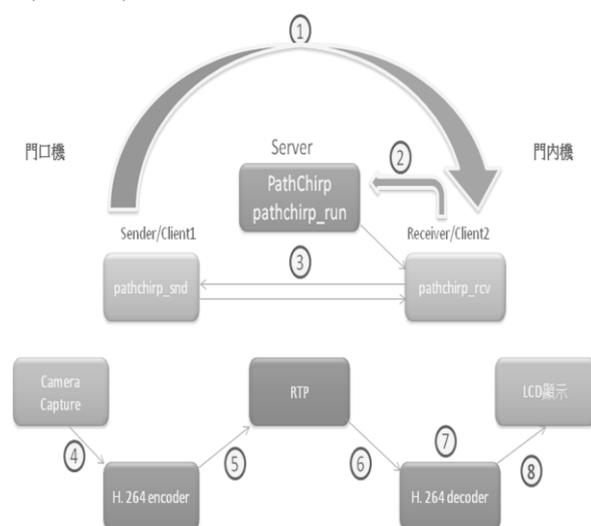


圖 3-1 社區型視訊對講機軟體的系統

社區型視訊對講機運作步驟如下：

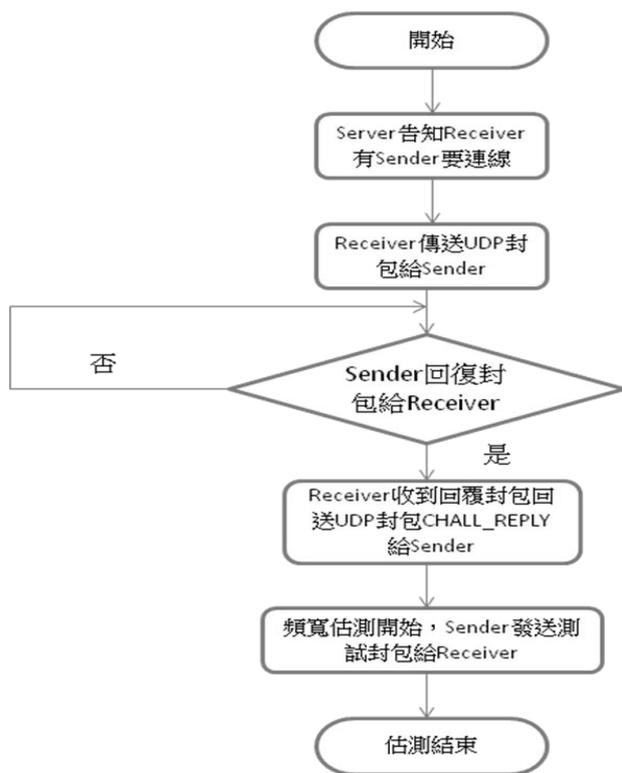
1. 首先使用者在門口機的傳送端按下呼叫按鈕，並對門內機的接收端發送請求信號。
2. 當接收端收到信號後，會對 pathChirp 伺服器傳送信號告知開始進入頻寬估測流程。
3. 這時 pathChirp 伺服器會發送-s(Sender 的 IP 與 Port Number)、-r(Receiver 的 IP

- 與 Port Number)、-t(頻寬估測時間)三個參數資訊給接收端，之後開始估測頻寬，並告知傳送端所測得之可用頻寬。
4. 傳送端攝影機所擷取的影像依據可用頻寬的多寡動態調整 H.264 的壓縮比以及傳送速率。
5. 傳送端再透過 RTP (Real Time Protocol) 的標頭讓傳送端知道資料來源是用哪種編碼器、一連串壓縮封包的位置(順序)及時間順序，讓接收端找出相對應的解碼以及資料正確的播放順序。
6. 當接收端收到 RTP 標頭的壓縮封包，進行拆解動作得到 Payload Type、Sequence Number、Timestamp 三個資訊。
7. 由 Payload Type 得知傳送端的編碼器編碼的方式後，開始進行解碼動作，並透過 Sequence Number 得知封包的排列順序。
8. 透過 Timestamp 得知影音資訊封包的播放時序並呈現在 LCD(Liquid Crystal Display)螢幕上。

3.1 PathChirp 頻寬估測之軟體程序

本論文在 Linux 作業系統實現 pathChirp，其使用程序的單元分為 pathchirp_rcv、pathchirp_snd 及 pathchirp_run 三個部分。其中 pathchirp_run 安裝於 PathChirp 伺服器主機，其目的在於監控以及告知傳送端與監控端彼此的位置。pathchirp_rcv 安裝於接收端，當傳送端與接收端建立連線時，需先透過伺服器主機告知接收端，再由接收端發送 UDP 封包通知可以建立連線。pathchirp_snd 則安裝於傳送端，其主要目的在於傳送估測封包，以測出傳送端到接收端的即時可用頻寬。pathChirp 的伺服器為監控端，由接收端與傳送端來執行頻寬估測的流程，流程圖如下圖 3-2 所示。





從估測開始到結束，pathChirp 的伺服器只負責一開始對接收端傳送封包告知傳送端要連線的動作，而封包內容包含-s(傳送端 IP)、-r(接收端 IP)、-t(估測時間)三個參數的資訊，之後伺服器只負責監控的動作，而程式開始執行估測封包的發送到、收斂估測可用頻寬等流程，都是由傳送端與接收端完成，而這三方彼此之間的詳細示意圖，如圖 3-3 所示。

圖 3-2 PathChirp 程式流程圖

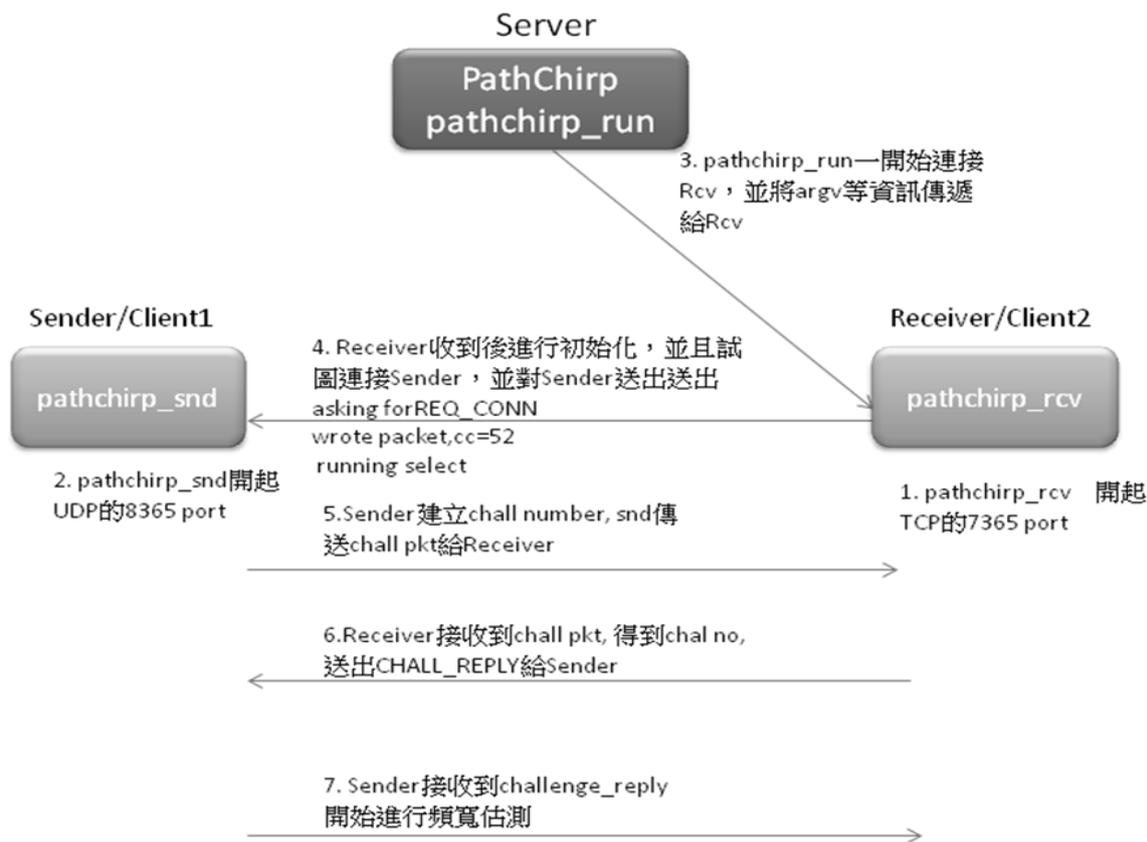


圖 3-3 PathChirp 開始的詳細示意圖



1. 首先接收端 pathchirp_rcv 程式先開啟 TCP 的 7365 埠號,UDP 的 8365 埠號。
2. 傳送端 pathchirp_snd 程式也會開啟 UDP 的 8365 埠號。
3. 伺服器監控端的 pathchirp_run 程式先連接接收端,並將-s(傳送端 IP)、-r(接收端 IP)、-t(估測時間)等資訊傳遞給接收端。
4. 接收端接到監控端的資訊後進行初始化,並且試圖連接傳送端,同時對傳送端送出 Setup socket to sender、asking for REQ_CONN、wrote packet,cc=52、running select 等參數資訊要求建立連線。
5. 在接收端初始化的同時,傳送端的程式會建立 chall number,當收到接收端的連線資訊後,會傳送 chall pkt(chall number)給接收端。
6. 接收端接收到來自傳送端 chall pkt,得到 chal no,會在送出 CHALL_REPLY 告知傳送端。
7. 當傳送端接收到 challenge_reply,此時開始對接收端發送 Chirp 探測封包,並開始頻寬估測。

而 pathChirp 在頻寬估測會設定頻寬估測區間為 10 Mbps 到 200 Mbps 之間,在設定估測的時間內,傳送端會不斷對接收端發送數個 Chirps 的封包列,而每發送一次 Chirp 封包列,若傳送端沒有出現佇列延遲,程式就會縮小其估測區間,如此重複,估測區間會收斂到一個值,而這個收斂後測得的值就是我們可用頻寬。

4. 系統實測

4.1 實作硬體平台介紹

本實作的硬體環境為具有 LCD 觸控顯示器和指向性麥克風的門內機以及一台

具備有攝影鏡頭和指向性麥克風的門口機,兩者皆透過網路進行溝通,詳細的介面敘述如下:

門口機的規格如下所列: :

- CPU/DSP : TI DM365
- RAM : 128MB
- NAND FLASH : 2GB
- 攝影鏡頭 : OV9650
- 網路接口 : 100Mbps
- 喇叭 : 2W
- 麥克風 : 單指向性麥克風
- 電源 : 12V 輸入

圖 4-1 為我們實驗硬體平台門口機的實體照片,在 PathChirp 的頻寬估測中扮演著傳送端的角色。在訪客按下門口機的門鈴後,馬上開始進行頻寬估測的動作,門口機(傳送端)會開始對門內機(接收段)進行發送探測封包,並在門內機端估測出可用頻寬的數值,當門口機接收到可用頻寬數值之後,會立刻由攝影機所收到的影音資訊進行 H.264 封包傳送速率的調整,並將壓縮編碼的影音封包包入 RTP 標頭的封包中,透過 UDP 傳送到門內機(接收端)進行解碼及播放的動作。其影音訊號的發送透過網路接口以 UDP 的協定發送。

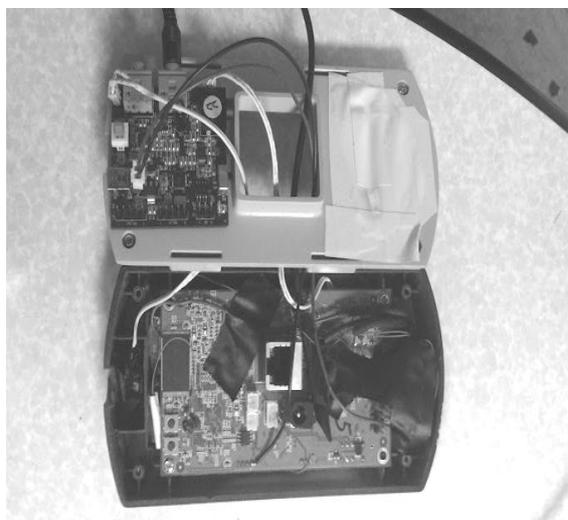


圖 4-1 門口機的實體照片



門內機的規格如下所列：

- CPU/DSP：TI DM365
- RAM：128MB
- NAND FLASH：2GB
- LCD 面板：AUO B101AW06
- 攝影鏡頭：OV9650
- 網路接口：100Mbps
- 觸控面板：TS2007
- 喇叭：2W 的喇叭
- 麥克風：單指向性麥克風
- 電源：12V 輸入

圖 4-2 為我們實驗硬體平台門內機的照片，在 PathChirp 頻寬估測的部分，除了扮演著接收端的角色，更負責接收重經過 RTP 標頭的影音封包，並進行 H.264 的解碼，將解碼的影音視訊即時的顯示在門內機的 LCD 觸控螢幕。

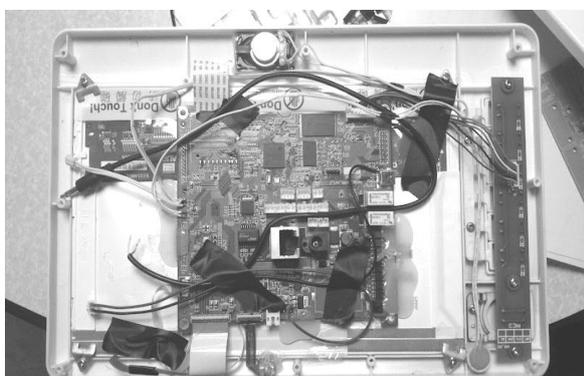


圖 4-2 門內機的內部實體照片

4.2 實作之軟體平台

軟體環境是採用嵌入式即時作業系統實現，詳細的軟體規格描述如下：

- Linux 核心：2.6.32
- DVSDK 版本：
ti-dvSDK_dm365-evm_4_02_00_06
- 編碼器引擎版本：
codec-engine_2_26_02_11

- Qt/Embedded：QT3
- DMAI(Davinci Multimedia Application Interface)：dmai_2_20_00_15

4.3 實作情況及數據

首先我們將設備、頻寬估測以及 P2P 穿透防火牆的伺服器都架設在實體 IP 位址為：140.124.42.161 的電腦主機上，將門內機與門口機設備均放在同一個實體 IP 位置為：122.116.191.52 的區域網路下，而門內機在區域網路下的虛擬 IP 位址為：192.168.0.190，門口機的虛擬 IP 位址為：192.168.0.195，其示意圖如圖 4-3 所示。

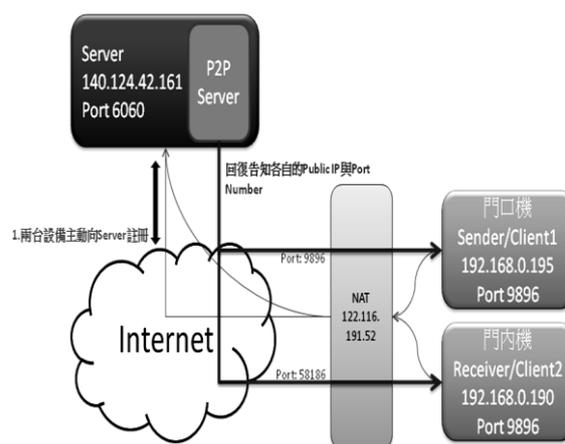


圖 4-3 門口和門內機處於相同區域網路

動作流程：

1. 一開始兩台設備皆主動向 140.124.42.161 Server 進行註冊動作，Server 會回傳封包給兩台設備主機，封包內告知兩台設備主機彼此對外的實體 IP 與埠號，如圖 4-4 與 4-5 所示。圖 4-5 是我們特別在 Windows 介面下執行 P2P 穿透防火牆的程式畫面，以便於清楚看到，透過此程式可讓傳送端以及接收端向伺服器註冊登入後，均可同時知道彼此的連線位址及資訊。



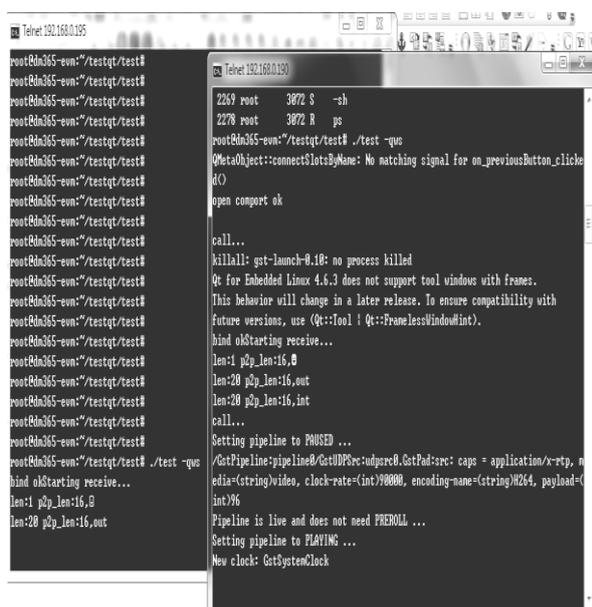


圖 4-4 兩台設備主動向 Server 進行註冊

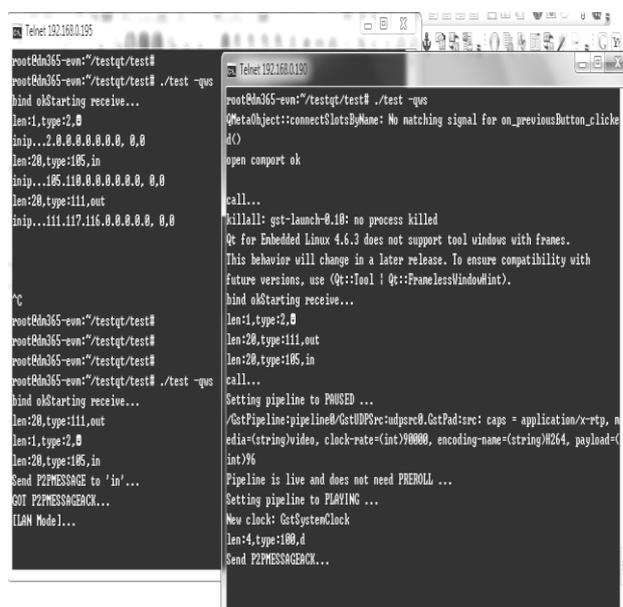


圖 4-6 門口機與門內機互傳測試封包 確認可溝通

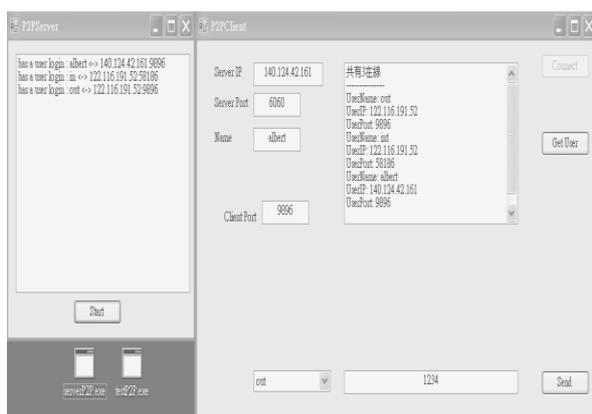


圖 4-5 在 Windows 下執行 P2P 程式的畫面

4. 確認彼此可以通訊後，頻寬偵測動作開始執行，此處門口機由主程式喚起 pathchirp_snd 程式等待上傳頻寬的偵測，門內機由主程式喚起 pathchirp_rcv 程式等待接收，最後由伺服器執行 pathchirp_run 的程式下達起始頻寬偵測動作，測試時間以 30 秒為準，門口機開始對門內機發送估測封包，如圖 4-7 所示。

2. 當門口機按下按鈕後開始進行網路型態的判別，Server 告知門口機和門內機的實體 IP 與埠號，此時門口機發現門內機的 IP 位址與自己相同並立刻發出測試封包給門內機，命令格式為定義的 P2PM ESSAGE。
3. 由於兩台設備皆位於相同的網段內，門內機收到測試封包後馬上回覆給門口機 P2PMESSAGEACK，故於門口機收到回覆的同時判定兩者可立即溝通，此時確定並不需要進行穿越防火牆的動作，如圖 4-6 所示。

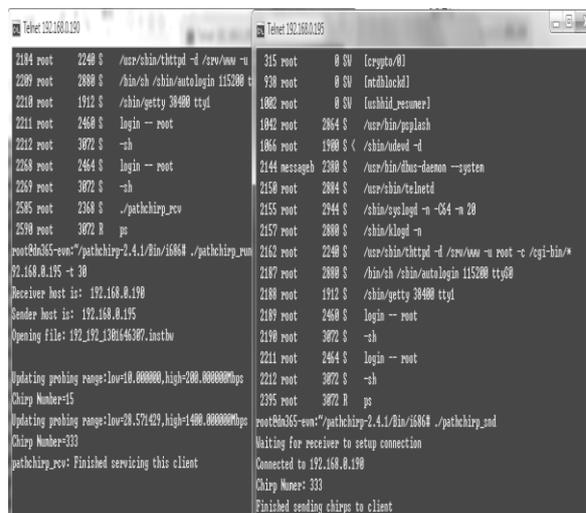


圖 4-7 PathChirp 頻寬估測執行



5. 如圖 4-8 所示，因為在區域網路下，所測得可用頻寬明顯充裕，而門內機會將所測得的門口機端到門內機端的可用頻寬值傳給門口機。圖 4-8 的左上角開始至右下角最終所測得的結果得到的數值為 1.3 Gbps，原因是在區域網路的環境下彼此的可用頻寬很大，所以 pathChirp 的頻寬估測程式無法估測出收斂值。

```

1301644491.005070 1366.232000
1301644491.672770 1366.232000
1301644492.351050 1327.343000
1301644493.021070 1327.343000
1301644493.696930 1328.847000
1301644494.367330 1299.133000
1301644495.045490 1304.727000
1301644495.715300 1308.422000
1301644496.382520 1322.222000
1301644497.060600 1320.248000
1301644497.738430 1313.094000
1301644498.407530 1313.094000
1301644499.077520 1313.094000
1301644499.755430 1351.983000
1301644491.426020 1347.548000
1301644492.098430 1347.548000
1301644492.767930 1365.225000
1301644493.445750 1365.225000
1301644494.115180 1365.225000
1301644494.784640 1358.702000
1301644495.462190 1360.675000
1301644496.140280 1364.481000
    
```

圖 4-8 在區域網路下的頻寬估測結果

6. 得到的頻寬數據後，門口機將依照可用頻寬的大小調整 H.264 的傳送速率，因為區域網路間的可用頻寬充裕所以將 H.264 的傳送速率調整到 4 Mbps，這樣的傳送速率可以得到相當不錯的影像品質。由圖 4-9 中所示，由門口機每個幀的傳送速率在 30 Kbyte 左右，因此每秒封包的平均傳送速率為 $30 \text{ KB} * 8 * 15 = 3.6 \text{ Mbps}$ 。

```

Telnet 192.168.0.195
time:10432
04L2 : 3
04L2 : 1
VIDENC1_process() ret 0 inId 0 outID 1 generated 27568 bytes
04L2 : 2
time:1039b
04L2 : 3
04L2 : 1
VIDENC1_process() ret 0 inId 0 outID 1 generated 28265 bytes
04L2 : 2
time:ff78
04L2 : 3
04L2 : 1
VIDENC1_process() ret 0 inId 0 outID 1 generated 28467 bytes
04L2 : 2
time:103fb
04L2 : 3
04L2 : 1
VIDENC1_process() ret 0 inId 0 outID 1 generated 23868 bytes
04L2 : 2
time:103cc
04L2 : 3
04L2 : 1
VIDENC1_process() ret 0 inId 0 outID 1 generated 27256 bytes
(60) FPS : 15.001500
04L2 : 2
    
```

圖 4-9 調整 H.264 的傳送速率到 4 Mbps

5. 結論與未來展望

透過網路的即時影音呈現已經成為現在生活中不可或缺的需求，而不論是網路的影音下載、用戶透過 P2P 的網路視訊通訊，延伸到攝影機監控的即時影像傳遞，都有可能遇到因為不同的網路而有異質的可用頻寬。為了解決此問題本文透過 PathChirp 頻寬估測的技術得到端與端之間的可用頻寬，依據可用頻寬的傳輸速率大小調整 H.264 視訊編碼的壓縮比。為了考慮實用性，我們將 PathChirp 頻寬估測實作於嵌入式 CPU，並商品化成社區型視訊對講機系統。我們也針對不同的網路環境進行實測，結果顯示本論文的架構都能有效率傳送視訊服務。

雖然我們對網路環境的實測實驗，但是仍然缺少在網際網路中頻寬波動大的實測。因此，未來希望能夠做到在網路劇烈變動下可以不斷的取得可用頻寬資訊進行即時估測，再配合持續的動態調整影像 H.264 的壓縮比，維持即時影像的流暢度。



參考文獻

1. PathChirp 官方網站, <http://www.spin.rice.edu/Software/pathChirp/>, June 2012.
2. 吳麗, 可用帶寬測量方法研究, 碩士論文, 北京工業大學計算機應用技術研究所, 北京, 2008。
3. Y. Xiao, S. Chen, X. Li, and Y. Li, “A New Available Bandwidth Measurement Method Based on Self-Loading Periodic Streams,” International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing, Shanghai, 2007, pp. 453-458.
4. M. Jain, C. Dovrolis, “Ten fallacies and pitfalls on end-to-end available bandwidth estimation,” IEEE Symposium on Computers and Communications, Italy, 2010, pp.272–277.
5. S. Chimmanee and K. Wipusitwarakun, “Regression based SSH-Telnet Metric for evaluating end-to-end path capability over the internet for supporting QoS, ” 8th International Conference on Telecommunications, Phuket, 2008, pp. 264 – 269.
6. B. Melander, M. Bjorkman, and P. Gunningberg, “A new end-to-end probing and analysis method for estimating bandwidth bottlenecks,” IEEE Conference on Global Telecommunications, IEEE, San Francisco, 2000, pp. 415-421.
7. M. Alim, B. Orlic, and A. Arun, “Bandwidth Estimation for Network Quality of Service Management,” IEEE Conference on Military Communications, Orlando, 2007, pp.1-7.
8. 黎明富, 「多媒體串流網路雙向可用頻寬估測機制之研究」, 2009 年全國電信研討會, 高雄, 2009, 第 15-18 頁。
9. 陳振華、楊哲男、張宜正, 「IEPM-BW 在 TWAREN 上的實現」, TANet2007 臺灣網際網路, 台北, 2007, 第 27-30 頁。

