

可擴充式影音串流架構

吳志泓 陳倫奇 王安邦 游輝宏 林錫慶 蔡惠峰

國家高速網路與計算中心

{ jhwu, casper, anpang, mulderyu, sclin } @nchc.org.tw, wftsai@narl.org.tw

摘要

隨著網路環境的進步,使得以往一般使用者因頻寬不足的限制而無法正常運作的技術,現在得以實現,如視訊會議、隨選電影、遠距教學等。市面上的視訊會議產品繁多,各家的功能皆有所長,在幾乎人人都有電腦的情況下,只要安裝軟體,即可與他人進行網路的影音溝通。目前的視訊會議系統大多採取點對點或者靠中央伺服器等的架構達到影音資料分享目的,不管何種架構均有與會人數或者會議數量上的限制,主要的瓶頸在於(1)無法承受大量且高計算量的影音編/解碼,(2)數量太多的會議造成網路流量的負擔。不同於單向且注重流暢性的線上多媒體分享或隨選視訊,視訊會議為雙向的多方資料分享,講求即時性,要達到多方視訊會議的目的只能以主從架構的方式來進行,但同一會議內的網路總流量與使用者數成平方比,若與會人數太多,第一個無法負荷的將是伺服器,雖然視訊會議系統的使用上有 80% 以上的比例都是 1 對 1 的模式,但是有大量使用者需求的如全國性的防救災作業或跨校跨領域的遠距教學等,通常因為利潤低又必需客制化,很難有業界願意發展這類的產品。本篇論文提出一個新的架構,將可解決與視訊系統裏與會人數與會議數的限制問題,並以國網中心所發展的 Co-Life 多方溝通系統展示其效果。

關鍵字：視訊會議、串流、多媒體、群播

Abstract

Due to the improvement of network technology, broadband network applications such as video conference, VOD, and remote education become possible. Everyone can communicate with each other by simply

installing video conference software. The two most popular architectures of video conference are P2P and client-server. Due to the limitation of computing power and network bandwidth, the number of user clients and conferences are finite. Client-server is the only one solution if one needs a multi-point and real-time video conference. The network traffic is increased as the square of the number of user clients. Therefore, too many user clients will cause the server to crash. This paper illustrates a novel method to solve this problem and will use Co-Life middleware, developed by NCHC, to demonstrate the performance of this system.

Keywords: Video conference, stream, multimedia, multicast.

一、前言

市面上視訊會議相關的系統眾多,依連線的特性可分為點對點(peer-to-peer) [7]、多點視訊 (Multipoint) 以及多點視訊控制 (Multipoint Control Unit, MCU) 等三種架構,代表產品分別為 Skype[1]、AccessGRID[2] 以及 Polycom[8]。其中以多點視訊與 MCU 的架構可以支援超過 10 人以上的線上會議,但是因伺服器的限制,同時可召開的會議數有限。另一方面 P2P 的架構則可以支援大量的會數,但是每個會議的參與者因每個使用者的環境不一樣,大多只限制在 2~3 位。雖然多數的會議與會者為 2~3 人居多,但是有些應用其人數可能從幾十位到上千人以上,如互動式的遠距教學,一個班的學生

人數動輒會超過 30 人，開放線上提問的公開演講，人數更可能超過千人，若同時間有多個這類型的視訊應用，以目前的視訊會議架構勢必無法負荷。

目前視訊串流的方式，為了即時性，大部份是以 UDP(User Datagram Protocol)[9]這種非連線性(Connectionless)的非可靠傳輸協定來傳送影音資料，如 RTP, RTCP[15]等都是以 UDP 為基礎專為傳送即時影音資料而制定的協定。另一方面現在的網路環境裏有防火牆、NAT(Network Address Translation)[12] 以及 VPN(virtual private network)[8]等網路架構混雜在一起運作，使得非連線性的傳輸變得困難且複雜。本篇論文將介紹一個可擴充式的架構，可以在不調整影像解析度與位元速度(bitrates)的情況下同時間進行多場多人的視訊應用，此架構亦可在多元化的網路環境下正常運作。

二、網路多媒體群播

要達到多點且雙向的視訊資料分享，不管是什麼架構，都必需利用群播的機制才能達到。如”圖 1”為點對點的架構，是從同一群組中挑選一個參與者當做此群組的群播伺服器來轉送參與者送來的資料給其他人，”圖 2”為多點視訊的架構，利用已知的專用伺服器轉送參與者的資料給其他參與者，”圖 3”為 MCU 的架構，將各參與者的影音資料統一進行混合、交換與分配，將多個影像畫面整合為一個畫面，多方的聲音混音成一個聲音之後在傳送給各參與者。

在網際網路上是以網址(IP address)做為找尋主機(host)的依據，目前以第四版的網際網路協定(IPv4)為主，利用 32bit 位元以階層式的方式來表示。一個網址有網域網址(Network address)與主機網址(Host address)兩部份，共分為 A、B、C、D、E 等五個類別，如”圖 4”所示，A 至 C 類的差別主要在於一個網域內連結的主

機數量的差別。D 類為群播網址，E 類為實驗用的網址。因此群播的機制可用三種方式來實做，分別為廣播 (broadcast)[10][11], 群播 (multicast)[4]及單一傳播 (unicast),分述如下。

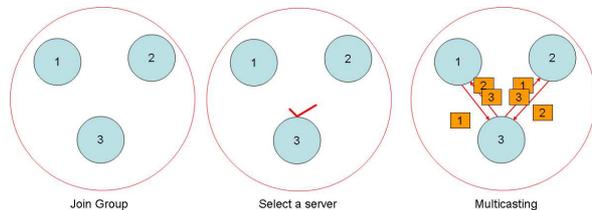


圖 1、點對點架構的群播流程

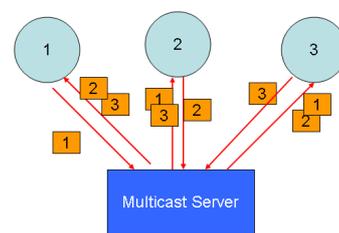


圖 2、多點視訊架構

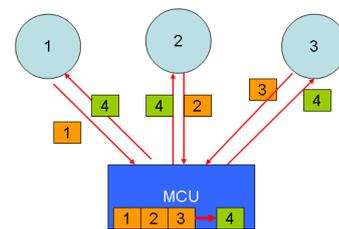


圖 3、MCU 架構

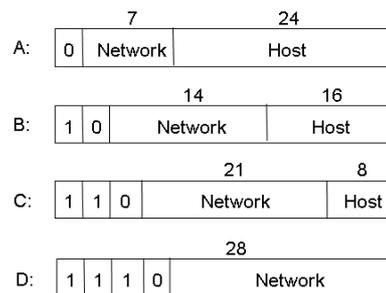


圖 4、網址類別

(一) 廣播(Broadcast)

其傳輸方式是將資料送傳送到特定網址 (IP)，同網域的所有主機將會接收所傳來的資料。此特定的網址為主機網址的位元值接為 1(十

進位值為 255)。廣播的方式有四種。

1. 有限廣播 (Limited Broadcast)：

只有目前所在的區域網路 (LAN) 上作廣播，其 IP 的地址格式為 255.255.255.255。

2. 網域取向廣播 (Net-directed Broadcast)：

在某特定的網路作廣播，例如向某一類別為 A (Class A) 的網路廣播，其 IP 地址格式為 netid.255.255.255。

3. 子網域取向廣播 (Subnet-directed Broadcast)：

針對某類別中的某子網路作廣播。以類別 B 的網路來看，若其子網路遮罩 (subnet mask) 為 255.255.255.0，而 IP 地址為 140.110.17.255，則是表示將資料廣播到類別 B 的網路 140.110.中的子網路 17 上，而最後一個 255 則是代表廣播的意思。

4. 全子網域取向廣播 (All-subnets-directed Broadcast)：

針對某一類別中所有的子網路皆作廣播。此種廣播方式必須與路由器的子網路遮罩配合。例如有一類別 B 的子網路遮罩為 255.255.255.0，則若有一 IP 地址為 140.110.255.255 時，則表示將資料廣播到類別 B 的網路 140.110 中的所有子網路上。在實際的網路架構中，歸屬於某一類別網路的所有子網路，可能位在不同路由器上，因此藉由子網路遮罩，路由器可以將資料傳送到所屬的所有子網路上進行廣播。

利用廣播傳送資料將會讓所在的網域是以來者不拒的方式全部接收，無法分群組或會議，因此廣播不適合用來進行視訊方面的應用。

(二) 群播 (Multicast)

是將資料傳送給某一特定群組的所有參與者，而屬於同一群組的各個成員可能是散佈在各個不同的網路上。在網際網路協定中將網址類別 D 定義為群播用的網址，其範圍為 224.0.0.0 - 239.255.255.255，其中 224.0.0.0 - 224.0.0.255 僅用在區域網路。如”圖 5”所示，只要是利用同

一群播網址與連接埠(port)的參與者皆被視為同一群組而得以互相傳送與接收所有參與者的資料，不同網址(群組)的參與者不會相互干擾。

由於群播的機制是實作在路由器等網路設備裏，若同一群播群組的參與者分散在世界各地，其網路封包資料將會佈滿世界各地的網路上，造成網路塞車與設備的負載，也因此易受到不肖使用者利用群播來進行網路癱瘓的攻擊，因此大多數的網路服務提供者(ISP)或學校很少會開放群播的功能。以群播做為視訊應用方面的傳輸方式將不可行。

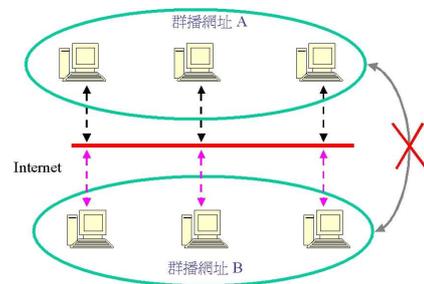


圖 5、不同群組的群播

(三) 單一傳播 (Unicast)

單一傳播為現今網路主要的傳輸方式，資料傳輸只會送到指定的網址 (IP) 與連接埠 (port)，由於利用網路設備的廣播 (broadcast) 與群播 (multicast) 皆無法滿足視訊傳輸方面的需求，因此必需以 unicast 來實作群播的機制，在接收到其中一個參與者的資料時將即時轉送此資料給其他參與者，達到群播的目的，但是在與會者多的時候其網路流量是與參與者的數量成平方比。

假設一個群組有 N 個參與者，每個與會者皆進行傳送與接收視訊資料，此伺服器將有 N 個接收連線，另一方面因每接收一筆資料將轉送給其他 N-1 個與會者，因此將會有 $N \times (N-1)$ 個傳送連線，總傳輸數量將會達到 $N \times (N-1) + N = N^2$ 個連線。若每個參與者所傳送的影音資料量為 512kbps，在 10 個參與者的情況

下，則此伺服器網路流量將為 50Mbps 以上，若以一張 1Gbps 網路卡來計算，一台伺服器可負荷的 10 個參與者群組數將只有 20~30 個或者一個群組最多 40 多個與會者，因此必需以分散式的架構來解決此問題。

三、穿透 NAT

由於網址(IP)是以 32 位元來表示，但是網路節點(node)的數量可以說是無止盡，IP 的數量勢必不夠，為了解決 IP 日漸不足的問題，RFC1918 [13]中定義了一段虛擬網址(Private IP address)，網段如“表 1”所示，這段 IP 可作為企業或單位內自行運用的網址而無須經過向上游申請的手續，這些電腦只能和單位內的電腦連線，外面的網路無法直接與單位內的電腦主機進行網路連線，因此這段虛擬網址可重覆地被不同單位內部所使用，進而達到節省 IP 的目的。雖然虛擬網址解決了 IP 不足的問題，但是使用虛擬網址的主機確無法與網際網路上的其他主機進行連線，因此發展了「網路網址轉譯器」(NAT)。現今許多單位與住家都是利用虛擬網與 NAT 的方式來與網際網路進行連線溝通。

(一) TCP 與 NAT：

在 NAT 網路環境下的主機只能主動與網際網路的主機建立連線，無法被動的讓網際網路的主機與 NAT 底下主機建立連線，因此當 NAT 底下的主機欲擷取網際網路上伺服器的資料時必須主動建立 TCP 的連線，此時 NAT 將會產生一個對外的連接埠與伺服器建立連線以及對內的連埠與 NAT 內部的主機建立連線，因 TCP 為連線導向(Connection Oriented)的機制，伺服器將可利用這些連線將伺服器的傳送至 NAT 內的主機。如“圖 6”所示，client a 為位在 NAT 底下的主機，虛擬網址為 192.168.11.22，當 client a 以本身的連接埠 1234，透過 NAT 與網際網路上的伺服器 S1 連線時，NAT 將自動產生兩個連接埠，一為 1234 對映

192.168.11.22:1234，另一為 10000 對映 S1 的 80 連接埠。此時 S1 將可對 140.110.59.120:10000 進行資料傳送，這時 NAT 將會把來自於連接埠 10000 的資料轉傳給 192.168.11.22:1234 而達到 NAT 與網際網路相互資料傳輸的目的。

(二) UDP 與 NAT：

不同於 TCP 的連線方式，UDP 為非連線的機制，它只能單方向的傳送或接受 UDP 的網路封包資料。若要讓 UDP 傳輸達到雙向傳收與接送的目的，需建立兩條管道，一條負責傳送另一條負責接收。但是若主機是位在 NAT 的網路環境底下，網際網路的伺服器勢必無法將接收到的影音資料傳送到這一台主機上，主機變成只能單向的傳送而無法反向接收伺服器的影音資料。如“圖 7”所示，UDP 伺服器(Server)位在網際網路上，以連接埠 1234 來接收資料，在 NAT 底下的主機(Client)也是以連接埠 1234 來接收資料，此 client 可以將 UDP 的資料傳送給 server，但是伺服器卻無法將資料穿過 NAT 傳到其底下 client 的 1234 連接埠，因為這時候的 NAT 並不會有連接埠 1234 的存在。

因此利用 UDP 來開發視訊系統時最大的問題是如何讓位於 NAT 底下的主機可以收到外界的 UDP 網路封包。NAT 的運作機制裏主要有分 Symmetric NAT 以及 Cone NAT，如“圖 8”所示，假設有個 NAT 主機對外的 IP 為 140.110.59.120，位於底下的主機 Client，IP 為 192.168.11.22，當它以本地連接埠(local port)1234 對 server 140.110.17.177 的連接埠 80 傳送 UDP 資料時，此時 NAT 將建立一個連接埠，例如 10000，這時原本是 192.168.11.22:1234 <-> 140.110.17.177:80 的連線，在經過 NAT 之後將變成 140.110.59.120:10000 <-> 140.110.17.177:80。接下來若下一個連線是原 client 主機端，本地連接埠(1234)不變的情況下與另一台 server 140.110.17.137:2100 進行 UDP 的傳輸，若是 Cone NAT，將會利用之前以產生

的连接埠(10000)與新的 server 溝通，若是 Symmetric NAT 則會重新產生新的连接埠，如 10002，與新的 server 溝通。

但是不管是 Cone 或 Symmetric NAT，有個共同的特性，若 server 在收到 client 的 UDP 資料之後在一定時間內(數分鐘至數小時不等，取決於 NAT 如何實作)反向傳送 UDP 資料給 NAT，如上例中，140.110.17.177:80 傳送 UDP 資料至 140.110.59.120:10000，或者 140.110.17.137:2100 傳送 UDP 資料至 140.110.59.120:10002，NAT 將會轉送此資料給 client 主機(192.168.11.22:1234)進而達到 NAT 底下的主機可以收到外界 UDP 網路封包的目的。因此在接收外界伺服器的影音資料之前，必需傳送控制用的 UDP 封包給伺服器，讓伺服器可以知道要如何傳送資料，即可完成影音資料的接收工作[3]。

表 1、虛擬網址範圍

網段	遮罩
10.0.0.0-10.255.255.255	10.0.0.0/255.0.0.0
172.16.0.0-172.31.255.255	172.16.0.0/255.240.0.0
192.168.0.0-192.168.255.255	192.168.0.0/255.255.255.0

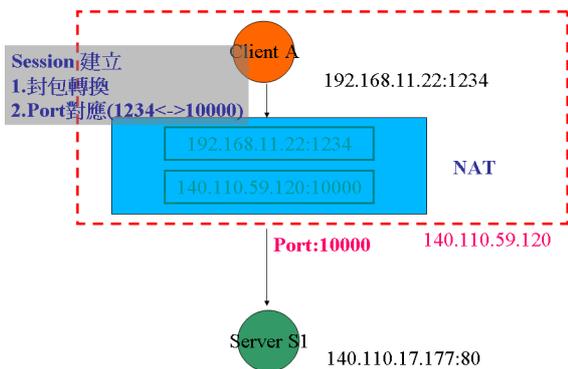


圖 6、NAT 底下的 TCP 連線運作方式

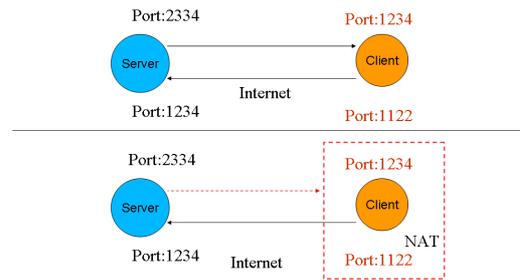


圖 7、NAT 底下的 UDP 連線運作方式

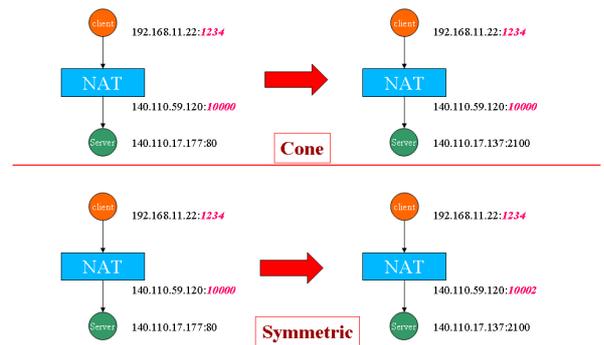


圖 8、Symmetric 與 Cone NAT 的運作機制

四、系統架構與效能測試

為市面上視訊相關的應用裏，參與者大多是利用一固定的伺服器來傳送與接收資料，若是利用多台伺服器，因為同一個群組必需透過同一台伺服器才有辦法互相溝通，因此如”圖 9”所示，一般增加伺服器的做法頂多只能增加群組數量，對於同一群組內的參與者數量則沒有辦助。

本系統是以 RTP/RTCP 做為影音資料的傳輸協定，伺服器端是以 Java 程式以底層的 UDP DatagramSocket 物件來實做群播機制。可擴充式的新架構將分散每個群組的網路流量至多台伺服器上上，每個群組所使用的伺服器將不會局限於一台，如”圖 10”所示，當有 M 台伺服器，每個群組有 N 個參與者，則每個伺服器需要負責 N^2/M 個連線，其中 $M \leq N$ 。因此若每個參與者所傳送的影音頻寬為 512kbps，若有 10 個參與者，利用 10 台伺服器來分散流量，則每台伺

伺服器所負責的群組其網路流量將為 5Mbps。若以一張 1Gbps 網路卡來計算，將可負荷 200 個即時視訊溝通或者一個群組 140 個參與者。

在一些視訊的應用上不一定每個參與者都要傳送影像，如演講等，其特點為參與者多為單向的接收端，因此群播的架構將加入專職轉送而不接收影音串流的伺服器群。如”圖 11”所示，假設有 M 組接收串流伺服器，每組伺服器裏有 L 台子伺服器做為純轉送串流之用，若一個會議(演講)有 N 個與會者，每個伺服器將只要負責 N^2/ML 個連線。因此若每個參與者所傳送的影音頻寬為 512kbps，若有 10 個參與者，利用 10 組伺服器，每組有 10 台子伺服器來分散流量，則每台子伺服器所負責的會議其網路流量將為 512kbps。若以一張 1Gbps 網路卡來計算，將可負荷 2000 個 10 位參與者的即時視訊或者一個群組 500 多個參與者(10*10 台 server)，若是像只收不送影音資料的演講模式，則可支援 20 萬個觀看者。

除了網路流量為瓶頸之外，CPU 與記憶體的使用量也會影響連線數，表 2 與表 3 為一台伺服器在 1~20 個同時存在的會議以及每個會議 2~8 個與會者同時傳送與接收影音串流資料，其 CPU 以及記憶體的使用狀況，測試的硬體規格為：Intel Xeon 5130 2 GHz，3.5GB RAM，Gigabit Ethernet，Windows XP SP2，可看出即使在 4 個有 8 位與會者的視訊會議同時進行的情況下，CPU 使用率約在 10% 以下，記憶體使用亦不超過 25MB。因此若有 10 台同規格的伺服器互相進行負載平衡的運作，將可在每台伺服器 CPU 使用率 10% 以及記憶體 25MB 的情況下進行一場有 80 位與會者或者 200 場 2 位與會者的視訊溝通會議。

表 2 CPU 使用狀況

CPU(%)			
會議數\與會者	2	4	8
1 meeting	0.000	1.000	3.000
2 meetings	1.000	1.000	6.000
4 meetings	1.000	5.000	8.000
8 meetings	1.000	6.000	
16 meetings	3.000		
20 meetings	6.000		

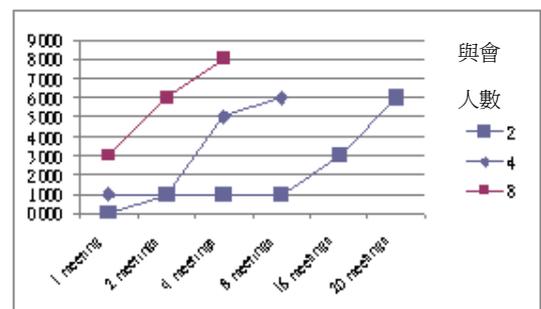
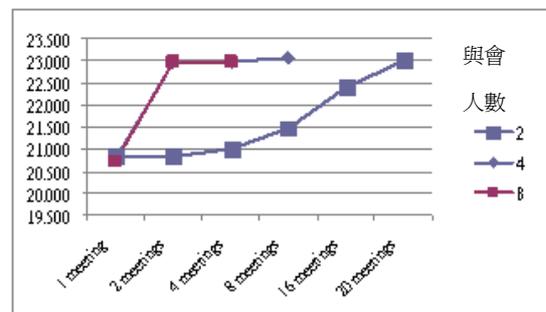


表 3 記憶體使用狀況

Memory(MB)			
會議數\與會者	2	4	8
1 meeting	20.840	20.768	20.724
2 meetings	20.832	22.976	22.976
4 meetings	20.996	22.976	22.968
8 meetings	21.464	23.068	
16 meetings	22.400		
20 meetings	23.016		



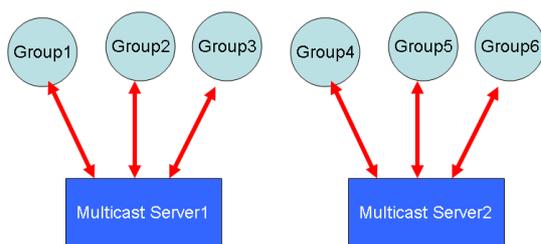
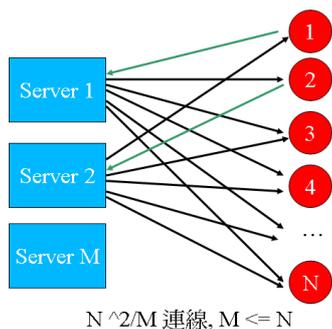
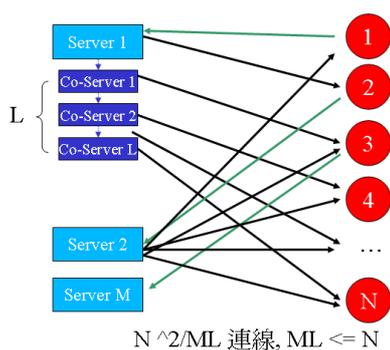


圖 9、增加伺服器，提高群組數量



$N \wedge 2/M$ 連線, $M \leq N$

圖 10、分散資料來源，提高參與者數量



$N \wedge 2/ML$ 連線, $ML \leq N$

圖 11、演講需求，加入次級伺服器

五、成果展示

Co-Life 為國網中心溝通合作與決策支援視訊應用系統，可應用於遠距教學、演講、團隊合作相關等應用，為了同時間可以支援上千場以及每場幾十人至幾百人的視訊應用，背後必需發展可擴充式的架構，在配合高頻寬的網路骨幹，以便能處理高網路流量需求的視訊應用。

”圖 12”為經濟部水利署署長利用 Co-Life 與十個河川局長開會討論的畫面，每個參與者的解析度為 320x240，每秒 15 個畫面更新率 (15fps)，可看出本論文所提出串流架構的可行

性。

”圖 13”為 Co-Life 系統介面與背後的服務 (Service)。主要功能包括：1.線上使用者管理、2.文字聊天室、3.多點視訊會議、4.電子白板、5.應用程式分享以及 6.檔案即時分享，此系統主要是透過網頁瀏覽器的認證，動態產生 Java Web Start[5] 執行所需的 JNLP(Java Network Launching Protocol) [6]檔，進而啟動以 Java 開發的即時互動式系統。其流程如”圖 14”所示。此系統是架構在四個服務(service)上，如”圖 15”所示，分別為：

1. Web service

此服務是以 HTTP 為協定，以 Java 以及 PHP 來實作，用來進行資料的存取，所存取的資料包括檔案以及資料庫等。Co-Life 系統將透過此服務來記錄與調閱整個會議進行所需的資料，包括與會人員的資訊、使用者登入/登出的記錄、文字交談、電子白板的記錄與調閱、檔案即時分享等。

2. Message service

此服務是用來管理所有的溝通訊息，替各自使用者建立溝通的橋樑，交換此會議期間所有的訊息與協定，包括文字交談訊息、電子白板操作訊息、應用程式分享操作訊息、人員進出會議訊息以及其他會議進行所需的協定等，如此才可以同時掌控多個會議的所有狀況。

3. Application-sharing service

此服務是以 RFB(Remote frame buffer)[18]協定來分享應用程式的畫面並接收使用者的 I/O 訊息來達成操作的同步，這種做法在使用者多的情況下容易造成分享端的系統負載，因此透過此服務來間接分享應用程式操作上的畫面與 I/O 的訊息，即可減輕分享端的系統負載。

4. Media-Streaming Service

Co-Life 具有影音交談之功能，是利用 RTP 傳輸協定來進行影音資料的傳輸，提供 MPEG4[14]/H.263+[16] 等影像格式以及

16bit-stereo DVI[17]格式之音訊。以可擴充式的架構利用群播的機制來提供多方會談之能力，用來接收 RTP 資料並即時複製與轉送所接收的資料給其他參與者，並配合 NAT(Network Address Translation)之運作機制，讓 RTP 資料可送達位在 NAT 網路環境內的使用者。



圖 12、串流架構實測畫面



圖 13、Co-Life 系統

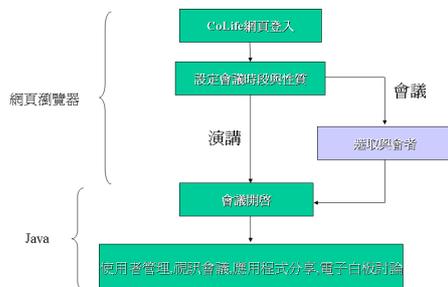


圖 14、Co-Life 運作流程



圖 15、Co-Life 系統架構

六、結論

網路技術與頻寬的進步創造了許多新的應用，視訊會議就是其中一例，國網中心致力於計算與網路相關的溝通合作與決策支援應用與技術發展，突破高頻寬與高計算量需求所產生的技術瓶頸，為社會帶來創新的應用。目前已將此技術應用在全國性的遠距教學、溝通合作，及防災作業需求，這些需求所需要的網路與計算資源超出一般市售的視訊相關軟體可以應付的範疇，本文闡述之核心關鍵技術克服此項困難，並在各應用中發揮功效，創造各種民生與教育價值。

七、參考文獻

- [1] A. Sheppard, Skype Hacks, O'Reilly, Dec. 2005.
- [2] AccessGRID, <http://www.accessgrid.org/>
- [3] Bryan Ford, Pyda Srisuresh, Dan Kegel, "Peer-to-Peer Communication Across Network Address Translators", 2005-02-17
- [4] Deering, S. E., "Host Extensions for IP Multicasting," RFC 1112, 17 pages, Aug. 1989.
- [5] Java Web Start Technology, <http://java.sun.com/products/javawebstart/>
- [6] JNLP and Java Web Start, <http://java.sun.com/developer/JDCTechTips/2001/tt0530.html>
- [7] Ralf Steinmetz, Klaus Wehrle (Eds).

Peer-to-Peer Systems and Applications. ISBN: 3-540-29192-X, Lecture Notes in Computer Science, Volume 3485, Sep 2005.

- [8] Polycom Official Website ,
http://www.polycom.com/global/siteselector/site_selector.html
- [9] RFC768, User Datagram Protocol, J. Postel, The Internet Society (August 1980).
- [10] RFC919, Broadcasting Internet Datagrams.
- [11] RFC922, Broadcasting Internet datagrams in the presence of sub.
- [12] RFC1631, The IP Network Address Translator (NAT).
- [13] RFC1918, Address Allocation for Private Internets.
- [14] RFC3640, RTP Payload of MPEG4
- [15] RFC3550, RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications.
- [16] RFC2190 RTP Payload of H.263.
- [17] RFC2198 RTP Payload of DVI.
- [18] The RFB Protocol, Tristan Richardson, RealVNC Ltd (formerly of Olivetti Research Ltd / AT&T Labs Cambridge)