

# 廣域網路上同步遠程執行之遠距教學系統

楊政遠 李昱賢 李金溪 曾黎明

國立中央大學 資訊工程研究所

EMAIL: {zyy,colin,jslee}@dslab.csie.ncu.edu.tw

## 摘要

電腦網路遠距教學所以優於傳統遠距教學在於其提供非特定時地的群組關係與高度互動的能力。今日多數電腦網路遠距教學系統，雖然在教學的情境共用已經滿足一般的需求，但因網路頻寬不足、成本過高等限制，難以在廣域網路上普遍實施；因此本文提出新的遠距教學通訊機制—鬆耦合同步遠程執行及階層式通訊機制，來解決上述難以兼顧情境共用與頻寬有限的問題。文中將說明系統架構及各項組成，並介紹實作之 DSLAB Teach 系統的現狀；此模型因使用高階訊息遠程執行故能大幅降低網路頻寬的需求，特別適用於電腦使用課程的遠距教學活動上。

## 一．導論

遠距學習 (Distance Learning) 或遠距教育 (Distance Education) 的特色為學習者可以與教師在不同的地點經由間斷的溝通管道（如印刷、通信、廣播或它種形式）進行學習活動，其形式從百年前的書信函授、本世紀初的無線電廣播到 50 年代起的電視廣播教學，這些遠距教學模式最大的缺點為缺乏方便的師生雙向溝通管道，即使今日運用電話、傳真、電子郵件 (E-mail)、電子布告欄 (BBS) 等設備亦無法提供即時的互動 [Sherry94]。近日，由於電腦網路的快速普及，利用電腦網路進行遠距學習，漸有取代傳統遠距教育的趨勢。電腦網路遠距教學提供群組關係 (group membership) 與高度互動 (interaction) 的能力，群組關係模擬出一般教室之共用情境 (context sharing)，而互動能力提供了高度的參與感，大幅地提高學習興趣與效果，彌補了傳統遠距教學之不足 [Hiltz93] [Inkpen94] [Moshell94]。

成功的遠距教學系統涉及各類專業知識，從心理學、倫理學、行為學、教材發展到通訊、資訊科學等，其中多項領域的研究才剛剛開始 [Hughes97]，也超出本文的討論範圍，所以本文將只專注於遠距教學之電腦網路通訊機制之探討，以期對我國的遠距教學發展有所貢獻。

審視今日諸多電腦網路之即時互動教學系統 [Juell94a] [McCann94] [Little95] [Tobagi95] [Maly97]，我們發現這些實驗性系統不是侷限在小地理區域（如同一教室），就是面臨通訊成本高昂而無法普遍的問題。其原因在於遠距教學中情境共享的營造，不論是影像、聲音的傳送亦或是畫面的共享，皆需要大量的網路頻寬與特殊考慮的通訊協定，這些因素導致電腦教輔教學系統，無法在遠距低頻寬的廣域網路上使用，因而限制其使用場合與使用彈性。

針對這些限制，本篇論文提出了新的遠距教學通訊模型—鬆耦合同步遠程執行模型 (loosely coupled

synchronous remote execution model)；此模型能大量的舒緩網路頻寬的需求，並特別適用於電腦軟體操作的遠距教學活動上。在第二節中我們將對電腦網路之遠距教學系統加以分類，並分析其問題；第三節將仔細描述本模型與設計；接著我們介紹本實驗室所實作之 DSLAB Teach 系統的現狀，最後我們將簡介未來努力的方向。

## 二．遠距教學與情境共享

### 2.1 遠距教學之情境因素

新一代的網路遠距教學系統，為運用電腦網路技術虛擬 (virtualize) 出情境 (context) 之共享以克服距離與空間的限制 [Hiltz93] [Hughes97]，讓一般的民眾能方便的接近教育資源，達成不論身在何處皆可方便受教育、受訓練的目的 [Gomez92]。遠距教學之虛擬情境的營造賴網路傳送數位化之感官資訊給每一個參加者，並經過適當的軟硬體設備將這些感官資訊加以還原、組織，以使參與者都能有相同 (或適當) 的感官情境；而對遠距教學有助益的感官資訊可分成影像 (video)、聲音 (audio)、螢幕工作區域 (workspace) 等三大範疇 [Schooler96]，而螢幕工作區域又可細分成圖像 (graphic)、文字/文件 (text/document) 兩類，所以我們將感官資訊分成四類。因這四類媒體的本質對感官的刺激有所不同，其對遠距教學的有效性 (effective)、效率性 (efficient)、成本/效能 (cost/performance) 有著不同的貢獻與限制。所以我們將其有效性、媒體本質、必要性、網路成本等分別列表討論之 (表格一)。

	Video	Audio	Graphics	Text/Doc
感官刺激 (對教學之潛在有效性)	強烈；因而可以可以提升注意力，相對提高遠距學習的效果。	強；搭配 Video 更可大幅地刺激參與者的感官，提升其注意力。	可；通常會與 audio 配合以利講解。	弱；特別是純文字 (plain text) 文件。
必要性	可以視教學的內容與環境情況而省略，或降低影像品質。	必要	極必要；基本需求。	極必要；基本需求。
網路頻寬	高 (M bit/s)	中 ( $10^1$ K bit/s)	低 (K bit/s)	極低 (bit/s)
媒體特性與傳輸要求	即時；利用人眼視覺暫留的特性，所以接續的畫面必須在適當的時間送抵每一個參與者。	即時；極短暫而極低頻率的資訊遺失，因言語的連貫性，並不會造成太大的困擾。	可靠；不論是對映還是向量圖像，過度的資料遺失，足以造成資訊的失真。	可靠；文字資訊片段的遺失與次序的混亂，足以造成資訊的大幅失真。

表格 一

## 2.2 情境共享之時空因素

情境可依時間 (time)、地點 (place) 兩相正交的次元 (dimension) 分成四種獨立的時空情境 [Grudin94]；其中相同時間、相同空間為真實之情境 (real context)，而其他三類則統稱為虛擬情境 (virtual context)，因情境時空背景的不同，在教學環境上亦會對應到不同的教學模型，分別如表格二所示。其中唯有虛擬教室模型能在虛擬的情境下提供即時的互動能力，故其為受到普遍重視的遠距教學模型 [Hiltz93]，在此我們將只對此模型加以討論。

	相同	不同
相同	<u>傳統學習模型</u> ；傳統之學校教學。	<u>交替學習模型</u> ；罕見的情況；因身分認證（如考試）、珍貴教材、昂貴設備等考慮，因之必須輪替使用。
不同	<u>虛擬教室模型</u> ；遠距教學的一般情況，運用網路將感官資訊加以散布，營造出一致的學習情境，以利遠距教學的進行。 [Juell94a] [McCann94] [Little95] [Maly97]	<u>自我學習模型</u> ；學習者自行透過電腦網路擷取教材，及透過資訊交換系統（如 E-mail, bullet board, WWW) 交換討論。 [Dimitri] [Juell94b]

表格 二

## 2.3 虛擬教室模型之分類

在 [Szyperski93] 的報告中對多人互動多媒體程式依其特性加以分類，其中並無可以直接適用於虛擬教室模型，故我們參照其分類標準並加以擴充運用於遠距教學之虛擬教室模型上，依其參與點的多寡我們可以將其分為三類：多媒體教室形態、研討會形態、個人電腦形態，並將之特性、運用場合、適用對象、電腦硬體設備、網路頻寬需求分列如表格三：

形態	多媒體教室形態	研討會形態	個人電腦形態
參加點數	$<10^1$	$<10^2$	$>10^2$
每點人數	$10^2$	$10^1$	$10^0$
特性	運用高速網路使不同教室能共享相同的上課情境與教學資源，須在有特定設備的地點進行	運用視訊會議技術，讓相同興趣的數個小組，得以共用一個討論情境	透過撥接或其它低階網路，提供即時的師生互動，與學習者間的相互討論
適用對象	一般性教學	專業科目及小組討論	在職進修與基本教學
代表性地點	多媒體教學教室	實驗室	辦公室、家庭
	特殊的硬體需求，如	一般視訊會議配	>基本多媒體配備

設備	攝影機、電視牆、影像多工器等。	備的個人電腦或高階工作站	的網路電腦
頻寬需求	高頻寬	中速網路	中速頻寬主幹、低頻寬周邊網路

表格 三

## 2.4 網路通訊協定之基本需求

在 2.1 節中我們介紹了不同媒體對營造虛擬情境共享的貢獻，並簡要提出其對網路傳輸的特別需求，除了媒體的傳輸外，我們尚須其他的網路控制協定，方能使一個網路虛擬教室遠距教學順利進行。一個虛擬教室之遠距教學系統其網路協定須提供下列四種的基本控制機制：media transport、session control、floor control、concurrent control。

**Media Transport**：將感官媒體資訊，依其媒體的特性，以適當的方式傳送到目的端。如文字與向量圖形的傳送，因其資料傳輸量少且強調其完全的正確性與次序性，所以 TCP 非常適用；而影像與聲音的傳送因其傳輸量大並著重於即時特性的保持，所以 IP Multicast 之 RTP[RFC1889] 協定是廣為接受的選擇。其中 Hongyi LI 對多媒體之 Multicast Protocol 做了很好的綜覽 [Hongyi95]。

**Session Control**：一個課程的進行，我們稱之為一個 session，session control 的責任在於公告課程與其它相關網路資訊，如網路位址、時間、網路協定、使用軟體等，並保留適當的網路資源；在課程進行當中則進行參與者狀態的追蹤，並保證課程的進行不被干擾、中斷。Session Control Protocol 中較為知名的為 SDP [SDP]。

**Floor Control**：隨著課程的進行，課程的主導權必須做適當的控制與轉換，以確保課程順利進行；在教學時，只有教師能有發言權；指定發言時，發言權必須轉移到適當的學生端；而在討論時，發言權則不做任何控制。Floor control 通常會與 session control 密切合作以達成此任務。

**Concurrent Control**：為了共享相同的虛擬教室情境，我們希望在適當的代價下保持各個參與者的虛擬情境是一致的。在廣域網路上特定媒體（如影像）的嚴格一致性的維持，代價高昂，所以我們必須視不同的教學目的與媒體提供不同程度的一致性控制。並為特定的發言權控制狀態（如自由討論），提供適當的共時（concurrent）性控制，以避免一致性被破壞。

## 2.5 系統目標

經由上述的分析，我們可知遠距教學會因不同感官媒體、情境共享模型、參與者的人數、使用的場合、對象、網路設備而有完全不同的考量。在此我們希望提供一種低成本、低傳輸頻寬需求、廣域網路適用、可以普遍實施的遠距教學系統。所以我們選擇了最具彈性的個人電腦形態的虛擬教室模型為設計的基礎，為了低頻寬的考慮故捨去了影像動畫的情境共享，我們相信在中多數的情況下，為了能在廣大的地域上使用，犧牲影像動畫情境共享的代價是值得的。我們將系統目標，及其對策整理如下表（表格四）：

網路及設備需求	虛擬教室模型	共享感官媒體
廣域低速網路， 低階多媒體個人	相同時間不同地 點的個人電腦形	Audio、 Graphics、

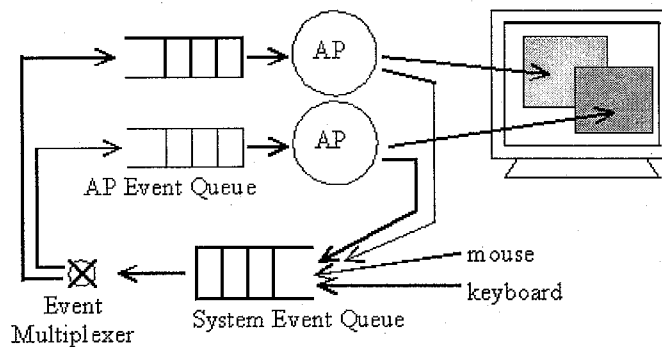
電腦	態之虛擬教室模 型	Text/Document
----	--------------	---------------

表格 四

### 三．系統模型與設計

#### 3.1 事件驅動 (event driven) 與遠端執行 (remote execution)

今日的視窗作業環境多為 object based 的系統，其內部之運作係以事件 (event) 來驅動其應用程式，稱之為事件驅動 (event driven) 模型；系統內有兩種佇列 (queue) 用來緩衝事件：一為系統佇列 (system event queue)，一為應用程式佇列 (application event queue)；系統佇列只有一個用以緩衝 mouse、keyboard 或其他 AP 所產生的 event，這些被緩衝的事件再經由事件多工器 (event multiplexer) 將事件轉送到各個應用程式所配有的佇列，每個應用程式再依其預先所設定之事件處理函式 (event handler)，對不同的事件做不同的處理，並將其結果顯現在標的周邊設備上。一般的 object based 視窗系統之事件處理流程如圖形一所示。



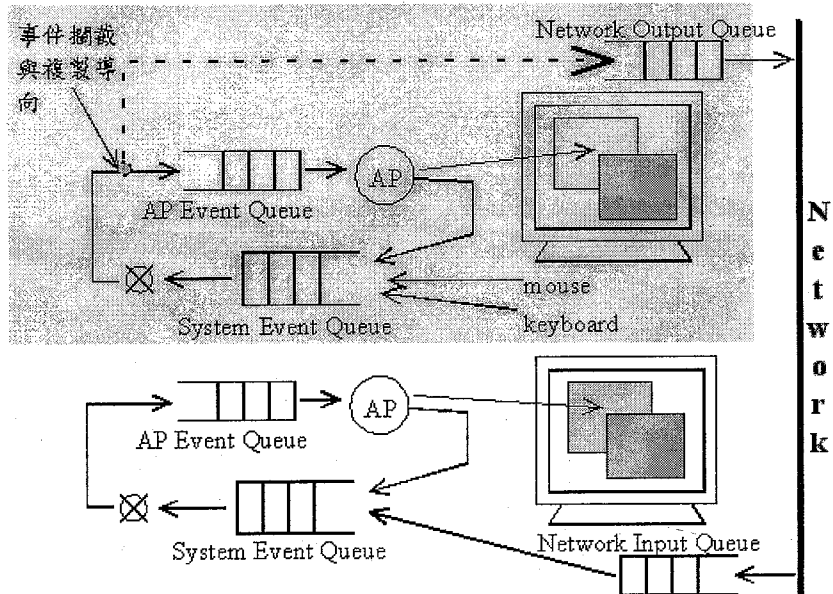
圖形 一

應用程式為有限狀態機 (Finite State Machine, FSM) 的延伸，因不同的外界事件刺激，而改變內部的狀態 (internal state)；如果兩個 FSM 經過同步的程序，使內部狀態一致後，接受相同的外界事件刺激，經有限的時間的演遞後，兩個 FSM 之內部狀態終將一致 [Ullman79]；所以兩個應用程式開始執行後就同時接受相同的事件刺激，兩個程式之演遞過程將一致，如果兩個程式分別在條件相當的機器上執行，幾乎在同一時間內我們將看到同步執行的效果，達成 Graphic、Text、Document 等三種感官媒體的情境共享。如果我們能將教師端的事件透過網路在有限的時間內送達所有學生端並執行之，則我們將能保證，所有的學生都能在有限的時間差內達到 Graphic、Text、Document 等三種媒體的情境一致，滿足遠距教學之虛擬教室模型的需求。因為我們無法預期參與者的設備差異，所以其情境共享之狀態會有有限的时间差異，所以我們稱本模型為“鬆耦合之同步遠距執行遠距教學通訊模型” (loosely coupled synchronous remote execution communication model for distance learning)。

本模型最大的特色為極低的網路頻寬需求，因其傳遞的資訊不再是對映的影像圖形 (bitmap image)，而是簡短的事件訊息，每一個事件所需傳遞的資訊不超過  $10^2$  位元組，所以適合於廣域網路的傳輸，再經由預先設定的事件中繼站 (event relay) 的轉送 (詳見 3.3 節 系統架構)，此通訊模型可以輕易的讓百個分散在各地的學習者經由低速、低階的網路連結，達成遠距學習的任務。

圖形二即為“鬆耦合之同步遠程執行遠距教學通訊模型”之示意圖，網底部份即為事件的發生端 (教

師端)，並在 AP Event Queue 前攔截所有共享 AP 的事件，加以複製並透過網路轉送到其他事件接收端（學生端），並將事件送入其對應的 AP Event Queue 中，並加以執行之。如此我們能夠預期，在有限的時間差內，所有加入群組的網路節點都會有相同的畫面，進而達成 Graphics、Text、Document 之情境共享。



圖形二

與我們同時，同樣以事件驅動來達成應用程式共享的研究有 HP 實驗室在 X-Window 系統上之 RES-AP 架構 [Hao96]，此架構的主要動機亦是感於一般集中式之視窗共享系統 (centralized share window system)，須將程式的輸出複製到其他群體成員的視窗上，造成大量的網路資料傳輸，特別是在 3D CAD/CAM 群體合作設計時大量的高解析度圖形傳遞，即使是高速的區域網路其系統的延遲依然令人無法忍受，所以 RES-AP 採用事件驅動多端執行 (event driven replicated execution) 的方式，以增加其整體系統效能，其系統的理論基礎與我們的同步遠端執行是一致的，只是其目的在於降低反應時間，而我們在於大範圍的廣域網路使用。

### 3.2 遠程執行模型的限制

基於通訊成本與 scaleable 的考慮，我們採用事件驅動 (event driven)、訊息傳遞 (message passing)、遠程執行 (remote execution) 來達成 Graphics、Text、Document 的情境共享，因其感官情境的複製為數個 AP 的遠程同步執行所營造，故其基本的需求即為：

- (1).所有節點 (node) 皆須相同執行環境的 AP，諸如相同的周邊設定檔案、執行變數設定等；
- (2).一個遠距教學 session 開始前，其情境共享 AP 的必須進行同步作業，將所有節點的 AP 的內部狀態同步至同一個狀態，以確保接受相同的外界事件刺激後，經有限的時間的演遞，所有的 AP 都經過相同的內部狀態遞變，最後達成一致的內部狀態。

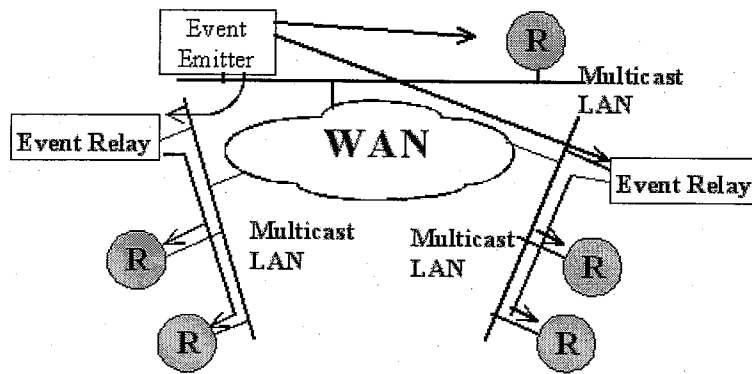
### 3.3 階層式通訊架構

雖然本模型的通訊傳輸為事件 (event)，但為了 scaleability 的考慮，如果由事件發生端 (event

emitter)、逐一的和數百個分散在廣大區域的事件接收端 (event receiver) 建立可靠性連線 (如 TCP), 則事件發生端終究會成為系統的瓶頸, 而限制了參與節點的數目; 所以我們採用階層式的通訊架構, 以紓解事件發生端的負擔。

首先事件發生端只需與各地區預先設定的事件中繼站 (event relay) 進行點對點的通信, event relay 再將 event 轉送到當地所有的 event receiver; event relay 亦可將 event 在轉送給下一層的 event relay, 如此不斷的遞迴 (recursive) 下去。基本上, 為了降低系統複雜度與縮短同步執行的時間差的考量, 我們並不期望其階層過深。

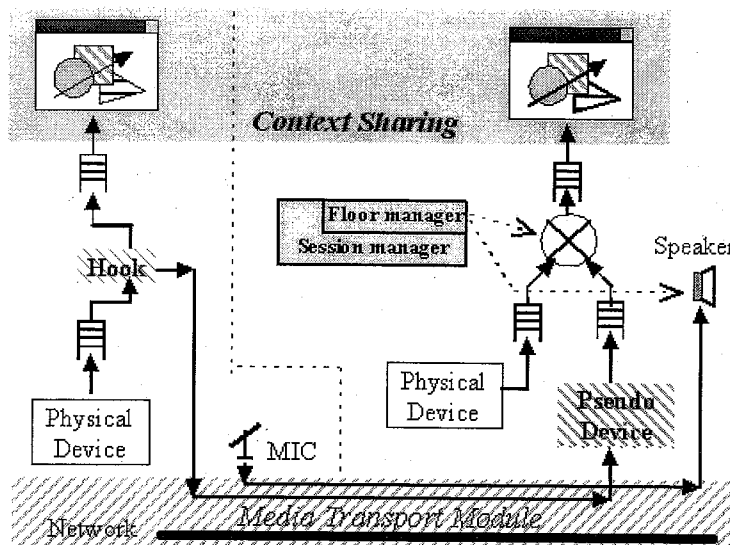
在此所謂的“地區”, 我們希望是有支援 data link multicast 能力的 LAN 所涵蓋的地區, multicast 能有效降低網路頻寬需求, 提升整個系統的可擴充性, 但其本質並不提供可靠的傳輸, 根據我們在第二節的分析, event relay 只使用 IP multicast 傳送聲音資料, 其他 mouse, keyboard 的事件還是用 TCP 傳送到每一個接收者。



圖形 三

#### 四．系統原型

DSLAB Teach 係同步遠程執行模型之實驗遠距教學系統, 其系統平台為低階而廣泛的 Microsoft Windows 95 多媒體個人電腦, 以 C++ 語言編寫而成。DSLAB Teach 共有四個模組, 如圖形四所示:



圖形 四

#### (1).媒體傳輸模組

媒體傳輸模組實作於 `Trumpet Multicast Winsock` 上，負責傳送三類資訊— `control`、`event`、與 `audio data`；因其性質不同之故，我們分別採用 `TCP` 與 `Multicast RTP` 兩種協定來傳送。

#### (2).Session Manager

為一公告周知的網路服務，其公告項目含 (1).各課程的名稱、內容綱要、時間、網路位址等， (2).課程內容所需的 `AP` 與其他相關的環境設定， (3).其他必須預先取得的教材內容等。另外 `session manager` 必須能自動預先取得教材內容，在課程開始前將各節點的狀態加以同步，並在課程執行時自動將整個 `DSLAB Teach` 系統啟動，接收來自教師端的 `event message` 等。

#### (3).Floor Manager

為了確保教學的進行能有秩序，本系統提供了兩種發言權控制模式— `Chaired mode` 與 `FRFG (First Request First Get) mode` 兩種；`Chaired mode` 係用於教學與教師指定發言時使用，學生必須向教師提出發言要求，並經教師同意後發言權才會轉移，而教師可以隨時取回發言權；而 `FRFG mode` 用於自由討論時，由所有參與者輪遞的取得發言權。

#### (4).Hook/Pseudo Device

`Hook function` 即為 3.1 節所述之“事件複製導向與插入”，利用 `Windows` 系統之 `API (Application Program Interface, API) WH_JOURNALRECORD` 我們可以將教師端特定的事件加以攔截並複製導向，而在學生端我們利用其相對應的 `Windows API WH_JOURNALPLAYBACK` 我們可以營造出一個虛擬的周邊設備 (`pseudo device`)，虛擬出教師端相對映的實體周邊設備 (`physical device`)，所有接收的遠端事件就如同本機的周邊設備所發出的一樣。而 `Floor manager` 受 `Session Manager` 指揮，決定系統該從 `physical device` 或 `pseudo device` 取得 `event`。

## 第五章 系統評估與未來工作

為了驗證事件驅動遠端執行的低頻寬需求的特性，我們特別做了一些實驗，以評估其是否真正符合我們的目的。

### 5.1 實驗環境

我們實驗的環境為五部 `Windows 95` 作業系統的个人電腦，包括一部 `Pentium-166` 做為教師端，其他皆為 `Pentium-120` 學生端，以 `10M bps` 的 `Ethernet` 連接。此外，這些電腦中都已經事先配置上課要使用的教材與應用程式，並且將其環境設定為一致。

我們使用了四種應用程式來進行教學，分別是：

(1). 記事本 (`Notepad`)：這個應用程式為 `Windows95` 裡的附屬應用程式，其可以讓使用者編輯簡單的文字檔，並可以將其儲存下來，也可以載入教材檔案。我們主要是用來當為交談的工具，讓教師與學生除了使用麥克風之外，也可以用其交換訊息。

2. 小畫家 (`Paintbrush`)：此應用程式也是 `Windows95` 中的附屬應用程式，提供使用者一個白板，可以在上面畫圖或寫字，其亦有支援圖片檔的顯示功能。我們選擇它來做為共用白板，讓教師與學生都可以用它來畫圖，就如教室中的黑板一樣。



3. Netscape：這是一個目前最廣為使用的 WWW 瀏覽器（browser），透過它可以連到遠端的網站看多媒體的文件，也可以看存在自己硬碟裡的資料。所以我們就可以將課程內容編成多媒體文件，使用其來瀏覽，效果有如課本一樣。

4. Powerpoint：此為 Office95 中的應用軟體，其功用可以讓使用者編輯投影片，並且可以加上特殊效果再加以撥放；目前許多教師上課都採用製作投影片的方式，將課程內容與大綱紀錄在其中以便講解，所以我們選擇 powerpoint 來當作投影片的撥放編輯應用程式。

## 5.2 實驗過程

在實驗中我們所要測量的數據是以遠程執行的方法所產生的網路流量大小，並且針對四種應用程式所產生的網路流量進行測量，此外聲音的傳輸量也在測量範圍內。隨著參與課程的人數增加，其所產生的網路流量變異也是我們測量重點之一。

## 5.3 實驗結果與評估

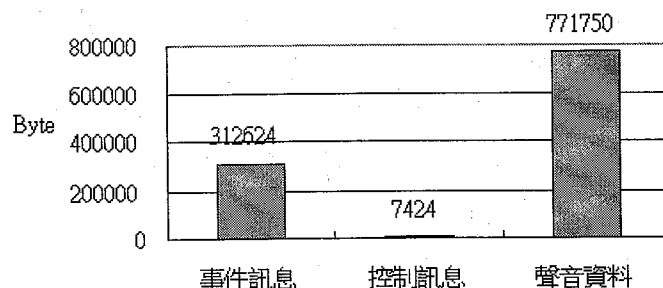
首先我們針對四種不同的應用程式在遠距教學中，其所產生的網路流量作測量。教師分別使用四種應用程式與教材來進行遠距教學，其進行時間為 30 分鐘，下表為我們所得到的網路流量。

應用程式	事件訊息 封包數	事件訊息 長度 ( Byte e )	同步 訊息 封包 數	同步訊 息長度 ( Byt e )	控制訊 息封包 數	控制訊 息長度 ( Byt e )	網路傳 輸量 ( bps )
小畫家	3233	9	30	16	9	1	131.5
記事本	2383	9	25	16	5	1	97.1
Netscape	1580	9	21	16	1	1	64.7
Powerpoint	1398	9	40	16	4	1	58.8

表格 四

由上表中我們可得知，使用這些軟體來進行遠距教學，其所需要的網路頻寬很少，若將這些軟體全部一起使用其所佔的網路頻寬也只有 352.1 bps。

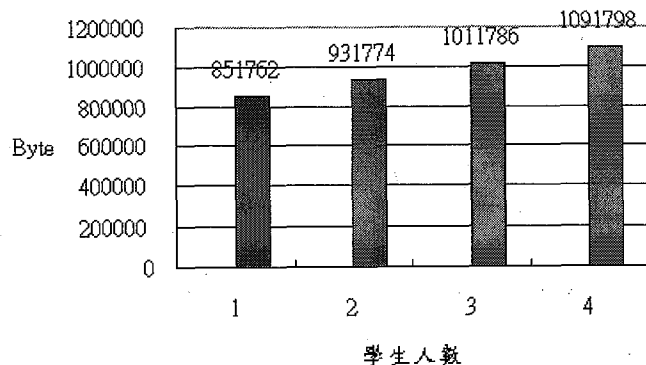
接著我們針對在遠距教學的課程中，所有傳送的資料包括控制訊息、事件訊息與聲音資料，其所產生的網路流量大小作測量，時間亦為 30 分鐘。如圖五所示。



圖形 五

由上圖中得知，在我們的遠距教學系統中，聲音資料所佔的頻寬為最大為 3430 bps，所以以 multicast 的方式再加上適當的壓縮；而事件訊息與聲音資料所佔的頻寬為 1422.2 bps，相對於聲音資料要小的多。

最後我們再針對參與課程人數的多寡，對網路所產生的資料量大小作測量，如圖六所示。



圖形 六

其結果為課程人數的增加亦會增加網路的流量，但是其所增加的部份為事件訊息與控制訊息的資料，對於聲音資料並不會增加。因此四個參與學生之網路頻寬為 4852 bps，若推論到 50 個參與學生，其所佔之網路頻寬為 21210 bps。所以說由以上的數據顯示，以遠程執行的方法來設計遠距教學系統，其只需少量的網路頻寬就可以完成遠距教學的目的。

## 六．結論與未來的工作

經過一年多的發展，我們已經運用遠程執行的觀念設計並且實作出一個適用於低頻寬、廣域網路上的遠距教學系統 DSLAB Teach，並且利用階層式傳輸架構可以有效的節省網路頻寬。在未來我們希望能真正將 DSLAB Teach 系統真正試用於教學環境下，以驗證有效性與正確性。另外由現有的經驗知道，在 LAN 的情況下 event 與伴隨講解的 audio 的時間差雖不明顯，但在 WAN 的環境下，我們預期其時間落差將影響遠距教學的進行，故我們將發展 Event-Audio Synchronous Protocol 來同步 event 與 Audio data。

## 七．參考文獻

- [Dimitri] Dimitri A. Dimitroyannis, "Virtua Classroom: A Case Study", Technical Report, private communication with ddimitri@nikhef.nikhef.nl
- [Grudin94] Grudin J. "Computer-Supported Cooperative Work: History and Focus", IEEE Computer, May 1994.
- [Gomez92] Gomez. L.M., Judice C. N., "Project Edison: A Plan fo a Multimedia Extended Classroom Experiment", IEEE 1992.
- [Hao96] Hao, M.C., Lee D., Sventek J.S., "A Ligh-Weight Application Sharing Infrastructure for Graphics Intensive Application", Proceedings of the 1st IEEE Intrl. Symposium on High Performance Distributed Computing, 1996.

- [Hiltz93] Hiltz S.R., "The Virtual Classroom: Learning without Limits via Computer Network", Ablex Publishing Corporation, Norwood, New Jersey, 1993.
- [Hongyi95] Hongyi LI, Hung Keng, Lek Heng, "A Survey of Multicasting Protocols for Multimedia Communication", Technical Report of Dept. of Information Systems and Computer Science, National University of Singapore, 1995.
- [Hughes97] Hughes, C.E., Moshell J. M., "Shared Virtual Worlds for Education: the ExploreNet Experiment", ACM Multimedia System, Vol5, 1997.
- [Inkpen94] Inkpen K., Booth K., Klawe M., "Cooperative Learning in the Classroom: The Importance of a Collaborative Environment for Computer-Based Education", Available on Internet via anonymous ftp, URL <ftp://ftp.cs.ubc.ca/ftp/local/techreports/1994/TR-94-05.ps.gz>, 1994
- [Juell94a] Juell P., Brekke D. Vetter R., "The Design of a Remote, Low-Cost Multimedia Classroom", Proc. Of the 27th Small college Computing (SCCS\*94) April, 1994.
- [Juell94b] Juell P., Brekke D. Vetter R., "The Design and Implementation of an Electronic Distance Learning System Using Electronic Mail and Network Presentation System (Mosaic), Proc. Of the 27th Small college Computing (SCCS\*94) April, 1994.
- [Little95] Little T.D.C., Venkatesh. D., "The Use of Multimedia Technology in Distance Learning", Proc. IEEE Intl. Conf. on Multimedia and Networking, Japan, September 1995.
- [McCann94] Mike McCann, "Mbone and Distance Learning at the Naval Postgraduate School", IEEE Multimedia, April 1994.
- [Moshell94] Moshell J. M., Hughes, C.E., "The Virtual academy: Networked Simulation and the Future of Education", Proceeding of the Imagina Conference, Monte Carlo, Feb. 1994.
- [RFC1889] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", RFC-1889, 1996.
- [Schooler96] Schooler E.M., "Conferencing and Collaborative Computing", ACM Multimedia System, Vol4, 1996.
- [SDP] Handley M., V. Jacobson, "SDP: Session Description Protocol", IETF Draft, available on Internet via anonymous ftp, URL <ftp://ftp.parc.xerox.com/pub/net-research/apps/sdr/draft-ietf-mmusic-sdp-03.txt>, 1997.
- [Sherry94] Sherry L., "Issues in Distance Learning", Available on Internet via URL <gopher://oasis.cudenver.edu/h0/UCD/dept/edu/IT/sherry/lit>, 1994.
- [Szyperski93] Szyperski C., Ventre G., "A Characterization of Multi-Party Interactive Multimedia Applications", Tanet Group Technical Report, Dep. Of EECS, U.C. Berkeley, Feb, 1993.
- [Tobagi94] Fouad A. Tobagi, "STANFORD MULTIMEDIA INSTRUCTIONAL NETWORK: An On-Line Distance Learning System Using Digital Video and Multimedia Networking Technologies", ACM Multimedia '94.
- [Tobagi95] Fouad A. Tobagi, "Distance Learning with Digital Video", IEEE Multimedia, Spring 1995.
- [Ullman79] Ullman J.D., Hopcroft J.E., "Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation", Addison-Wesley Publication Company, 1979.