

# VOIP:網際網路電信之技術、標準與產品

吳佳任、林盈達

國立交通大學資訊科學系

新竹市大學路 1001 號

TEL:(03)5712121 EXT. 56667

EMAIL: [gis87509@cis.nctu.edu.tw](mailto:gis87509@cis.nctu.edu.tw), [ydlin@cis.nctu.edu.tw](mailto:ydlin@cis.nctu.edu.tw)

## 摘要

在 Internet 上提供整合即時的影音服務並不是新的觀念，隨著科技的發展，網路電話過去為人所詬病的服務品質已大幅改善，它憑藉優勢的價格無疑的將成為通訊的新寵。

本文主要是介紹目前 VoIP(Voice over IP)的技術、討論影響 QoS(Quality of Service)的因素及解決方法、介紹 ITU Recommendation H.323 這個 Internet Telephony 標準，最後比較數個已上市的 VoIP 設備和服務。希望能幫助讀者多瞭解 VoIP 的領域。

### 1. VoIP 技術

現行的網路電話架構模型如圖 1 所示。最簡單的就是以個人電腦為基礎，所有的聲音取樣、音訊壓縮／解壓縮、封裝等工作，都交給電腦內負責編碼／解碼的軟體去完成，使用者只要指定接收端的位址就可以了，和一般的網路通訊差別不大。這樣的方式我們稱為 PC-based 架構[1]。

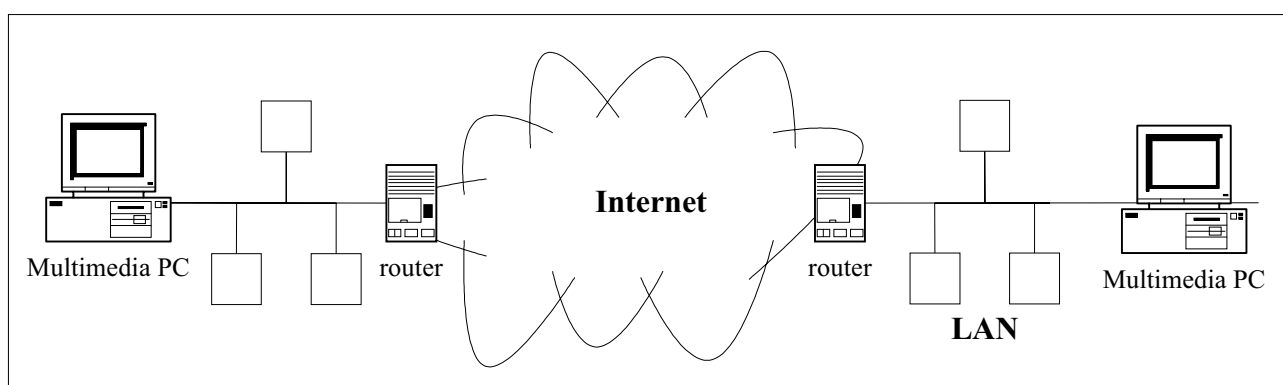


圖 1 PC-based VOIP 架構

我們也可以用傳統標準的電話機來作為通話的兩端，但中間經過的不是公共電話網路(PSTN)而是 Internet。使用者打電話到離自己最近的 Internet Telephony Gateway，經過身份確認之後，輸入收話端的電話號碼(或是 IP 位址)，Gateway 將會自動查詢離收話端最近的 Gateway 並在兩者之間透過 Internet 建立通訊，如圖 2 所示。在 Phone-based 架構下，聲音的編碼和封裝在送話端的 Gateway 完成，而解碼和聲音重組則在收話端的 Gateway 完成。Gateway 到電話機這段 local loop 仍和一般電話相同採類比方式傳送，使用者面對的還是電話機面盤，幾乎不須改變使用電話的習慣。

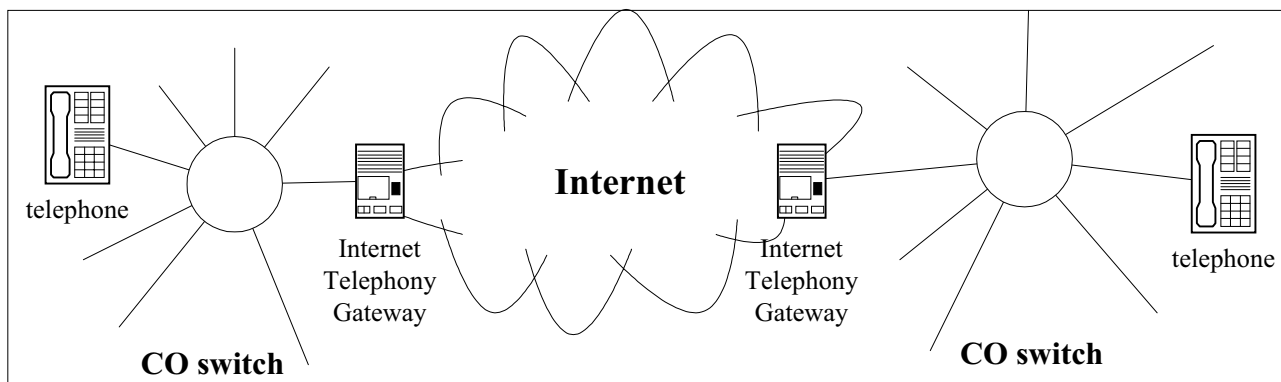


圖 2 Phone-based VOIP 架構

	PC-based architecture	Phone-based Architecture
<b>End Point Requirement</b>	Powerful CPU or DSP	normal phone set
<b>Echo Cancellation</b>	speaker microphone acoustic feedback	4-wire to 2-wire line echo
<b>DTMF Transmission</b>	not handle very well	H.245
<b>Billing</b>	no billing in IP network	billing in local loop
<b>IP addr/Phone num mapping</b>	to PC no mapping	to gateway H.323 gatekeeper
<b>Human habits</b>	poor	good

表 1 PC-based 架構和 Phone-based 架構比較

有關 PC-based 架構和 Phone-based 架構的比較，可以從表 1 中得到大概的資訊。

我們從六個主要觀點來討論：

1. 終端設備的需求：以 PC-based 架構來說，PC 必須支援即時聲音或影像的處理，所以中央處理器要有相當的能力才行。對於利用 modem 連上 ISP(Internet Service Provider)的用戶更為不利的限制在於傳輸的瓶頸。若是採用 Phone-based 架構，用戶只需要一部傳統電話機即可。
2. 消除回音的能力：PC-based 架構會產生回音的原因多半是因為喇叭發出的聲音又再度被麥克風接收到而傳回去給遠端的使用者，像這類音響性質的回音很難過濾掉，改善的方法是使用耳機替代喇叭。Phone-based 架構產生回音則可以用 DSP(Digital Signal Process)技術克服。
3. DTMF(Dual Tone Multi-Frequency)的傳遞：簡單地說，按下電話機的每一個按鍵都會產生一個由兩個特殊頻率組合而成的聲音，局端交換機就是偵測這些特殊聲音才能得到使用者輸入的資訊。然而在 PC 將聲音壓縮的過程中，這些特殊頻率的聲音會失真而無法辨識。解決的方法是將 DTMF 從聲音訊號中分離，在 Internet 上直接以 ASCII 的方式傳送 DTMF 的內容，到彼端的 Gateway 再根據內容產生 DTMF，電話交換機就能正確地接通電話。這在 H.245 中有詳細定義。
4. IP 位址和電話號碼間的轉換：只要收話端的一方處於 Gateway 架構下，就必

須藉由 GDMS(Global Directory Mapping Server)找出離收話端最近的 Gateway 的 IP 位址。這和 DNS(Domain Name Server)處理的過程頗為類似。

5. 計費情形：PC-based 架構在 Internet 部份是不收費的，Phone-based 架構下 local loop 還是必須付費。
6. 使用者習慣：PC-based 架構可以使電腦與電話整合成新的應用程式，但是它有一些缺點。首先，使用者必須學習新的操作習慣；再者，電腦固定在某個所在，使用者不方便在通話中離開座位交談；第三，使用喇叭播放聲音，缺乏隱私；最後，由於不知道何時會有來電，電腦必須隨時保持在線上狀態，對於 modem 的使用者而言，負擔長時間的上線費用根本不划算。這也就是為何目前 PC-based 網路電話「娛樂性」仍大於「實用性」的原因之一。Phone-based 架構下傳統電話機雖然人機介面十分簡陋，但是可接受度顯然較高。

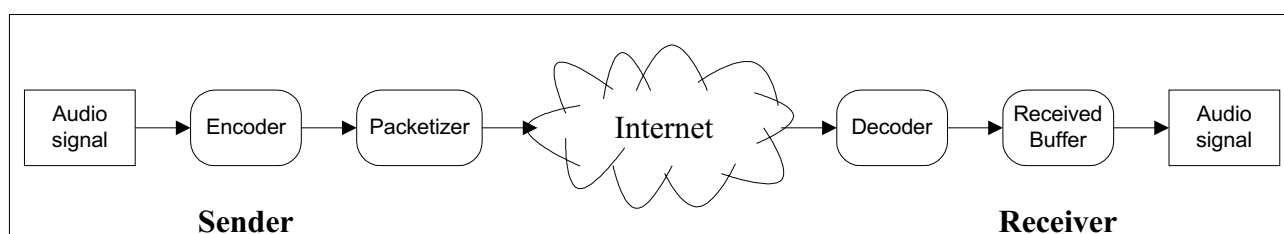


圖 3 VoIP 資料流程

圖 3 是說明 VoIP 的流程。為了將聲音訊號在封包交換的網路上傳送，聲音在採樣(sampling)之後必須要編碼壓縮(compression)和加密(encryption)，最後封裝到封包內，加上 sequence number 和 time-stamp 讓接收端知道封包的順序及應該播放的時間，才能丟上網路傳送。在接收到傳來的封包後，當然要先解密和解碼，不過這樣還不能使原音重現。因為當初先送出來的封包未必會先送達，所以解碼後的音訊要先放在緩衝區(Received Buffer)一段時間等待作聲音重組，這就要靠 sequence number 和 time-stamp 才能完成。重組後的聲音便可播放出來給使用者收聽。

VoIP 的通話品質不如傳統電話網路是不爭的事實，歸納起來，影響通話品質的因素有下列主要的三點：

- 編碼／解碼機制(Codec)

要將聲音訊號作處理，就一定得付出時間延遲的代價，解碼所需的時間大約是編碼時間的一半，編碼／解碼的延遲可分為兩個部份。第一個就是 Processing delay，它是執行壓縮工作所需要的時間；另一個是 Lookahead delay，因為壓縮的時候要比較前後頁(frame)才能在兩頁大部份都相同的情況下得到好處，這麼一來就得等下一頁的音訊都採樣完畢後才能開始比較並壓縮，這段等待的時間就是 lookahead delay。很明顯地，每一頁的長度愈短，不論是等待或是壓縮的時間都會愈小。以 G.723.1 和 G.729 為例，從表 2 就可看出上述的結論。但是考慮到每一頁封裝的時候都會增加資料負擔

(overhead)，在頻寬有限下不能採用過於浪費資源的方式。所以 G.723.1 雖然延遲較久，但是它的頻寬需求也比較少，適合用在數據機環境下的終端機。

Codec	G.723.1	G.729	G.729A
Bit rate	5.3/6.4 kb/s	8 kb/s	8 kb/s
Frame interval	30ms	10ms	10ms
Processing delay	30ms	10ms	10ms
Lookahead delay	7.5ms	5ms	5ms
Frame length	20/24 bytes	10 bytes	10 bytes

表 2 Codec 比較

- 頻寬限制

音訊傳送的性質是長時間固定流量的資料流，所以先決條件就是網路要有足夠的頻寬才能傳送。大多數的人都是用 33.6kb/s 以下的數據機連上網路，為了降低傳送的瓶頸，不得不採用較低的取樣頻率和大比例的壓縮，以期資料量可以減少。以 G.723.1 和 G.729 為例，它們的 bit rate 分別只有 5.3kb/s 和 8kb/s，G.723.1 還有另一種 6.4kb/s 的模式，可是比起傳統電話的 64kb/s，可以想見得到通話品質肯定是有差距的。

- 封包的延遲及遺失

在傳送音訊的每個過程中，都會造成整體傳輸結果的延遲。如前述的音訊編碼所造成的延遲是固定的，而在 IP 網路中的傳送延遲就視網路狀況而隨時改變，這也是 VoIP 難以保證通話品質的主要原因。在網路狀況不好時，封包的平均延遲可達到 300ms 以上，這已達到讓使用者察覺不便的程度。

在即時的網路應用程式中，只要在預計到達時間內沒有將封包送達目標，這個封包就算是遺失。由於 IP 網路並沒有提供送達封包的保證，加上最大延遲時間有嚴格的限制，像 TCP 這種可靠但效率低的通訊協定在這種環境下是不適用的。面對不可避免的封包遺失，在編碼／解碼的處理過程中就要加入減少封包遺失的機制，否則通話雙方會因為語焉不詳而感到困擾。

要減少遺失封包，可以加大緩衝區及最大延遲時間限制，讓聲音延遲更久的時間才播放，這樣封包能及時抵達的機率就會提高。不過也不能一味的增加緩衝，因為太久的延遲一樣是不被使用者所接受的。而且縱使如此，還是不能完全避免遺失封包。在 G.723.1 中對於遺失封包的處理方式是重複上一個頁(frame)的聲音訊號，並讓它漸弱以達到聲音平滑化的效果，由於每頁的音訊長度只佔 30ms，且人類發聲的變化率不會太大，使用者未必能發現異狀。類似的處理方法有 Forward Error Correction(FEC)。但是以上的處理方法都存在一個嚴重問題，就是它們不能有效解決群集遺失(burst packet loss)。當 Internet 擁塞時，封包常常整群都被遺棄，遺失的音訊過長導致根本無法彌補。在這樣的情況下，如果一個封包內裝入不只一頁，就可以大幅減輕封

包遺失的影響。如圖 4，只要三個封包中有一個送抵目標，第 n 頁就不會遺失了。這個方法的缺點是網路頻寬需求大增，對於原本就擁塞的網路不啻是雪上加霜，延遲時間也會因而變長。

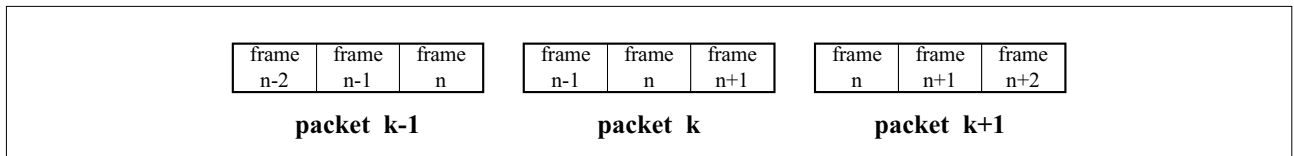


圖 4 Duplicated frames in packets

上述的現象都是網路電話發展的瓶頸，種種的缺點在產品成熟的過程中會慢慢被克服，現在斷言網路電話的前途還言之過早，因為別種系統也正在改良之中。像其他發展中的科技一樣，雖然 ITU 有訂定一些標準，但廠商未必全然依循這個標準。可以預期的是，電信事業是十分龐大的，沒有一個系統能全部佔領每一個區域，既然系統間的溝通是最重要的事，所以會有愈來愈多的廠商投入支援標準的產品，否則再好的系統也必將被淘汰。底下將介紹和網際網路電話最直接相關的 ITU H.32x 系列標準。

## 2. VoIP 標準：H.32x 系列

表 3 是 ITU(International Telecommunication Union)為各類型網路上的多媒體通訊所訂定的系列標準[2][3][4][5][6]。在語音與影像的編碼／解碼方面差異不大，這是為了方便跨多種網路通訊時不需再做轉換的工作。表中以粗體顯示的標準，是指定必須支援的，確保兩系統間至少有相同的編碼／解碼標準。H.324 若要和別的系統通訊，Gateway 要有轉換 G.723.1 和 G.711 的能力。現在最盛行的 Internet 是屬於 H.323 定義的範圍，所以接下來將以 H.323 為例說明它的內容。

Standard	System Environment	Video Codec	Audio Codec	Bit Stream Packetize	Conference Control
H.320	Visual Telephone Terminals over <b>ISDN</b>	<b>H.261</b>	<b>G.711</b> , G.722, G.723.1, G.728	H.221	H.242
H.321	Visual Telephone Terminals over <b>ATM</b>	<b>H.261</b>	<b>G.711</b> , G.722, G.723.1, G.728	H.221	H.242
H.322	Visual Telephone Terminals over <b>guaranteed QoS LANs</b>	<b>H.261</b> H.263	<b>G.711</b> , G.722, G.723.1, G.728	H.221	H.242
H.323	Visual Telephone Terminals over <b>non-guaranteed QoS LANs</b>	<b>H.261</b> H.263	<b>G.711</b> , G.722, G.723.1, G.728, G.729	H.225	H.245
H.324	Visual Telephone Terminals over <b>GSTN</b>	<b>H.261</b> H.263	<b>G.723.1</b>	H.223	H.245

表 3 H.32x 系列標準

H.323 描述一個架設在不保證服務品質之區域網路(Local Area Network)上的多媒體通訊系統。一個 H.323 系統包括了一個以上的 H.323 終端機，一個 H.323 Multipoint Control Unit(MCU)，一個 H.323 gatekeeper，還有一個 H.323 gateway。這個系統的架構如圖 5 所示[7]。

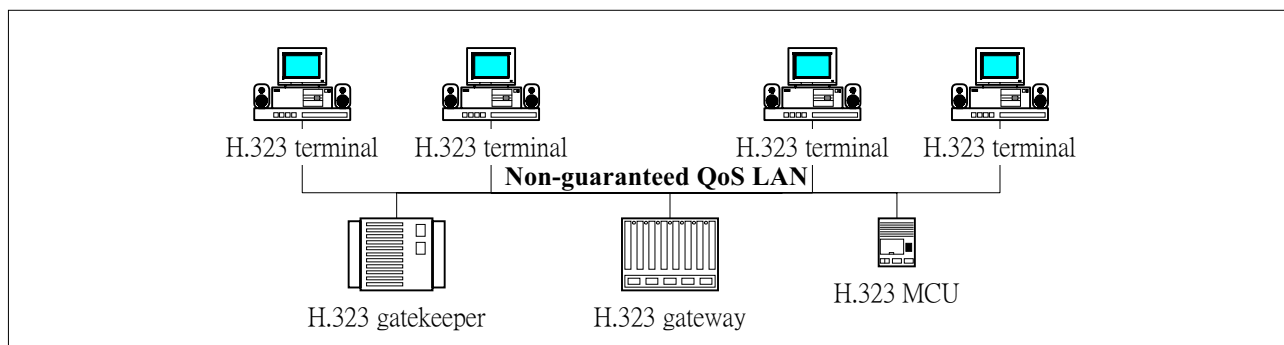


圖 5 H.323 系統架構圖

## Terminal

H.323 終端機及其設備必須要能夠傳送即時音訊，至於視訊和數據資料則是具選擇性的非必要功能。若是支援視訊或數據資料傳送的話，H.323 終端機需要有能力用共通的模式來操作它們，這麼一來只要是支援同一種媒體的終端機都能互相通訊。一臺 H.323 終端機應該包含以下各個元件：符合 H.225 標準的資料封裝及同步元件、符合 H.245 標準的系統控制元件、至少符合 G.711(G.722, G.723, G.728, and G.729 非必要支援)的音訊編碼／解碼元件、符合 H.261 或 H.263 標準的視訊編碼／解碼元件、符合 T.120 標準系列的多媒體通訊協定；其中後兩項有關視訊及資料的元件為選擇性配備。圖 6 所示即為一個 H.323 終端機[7]。

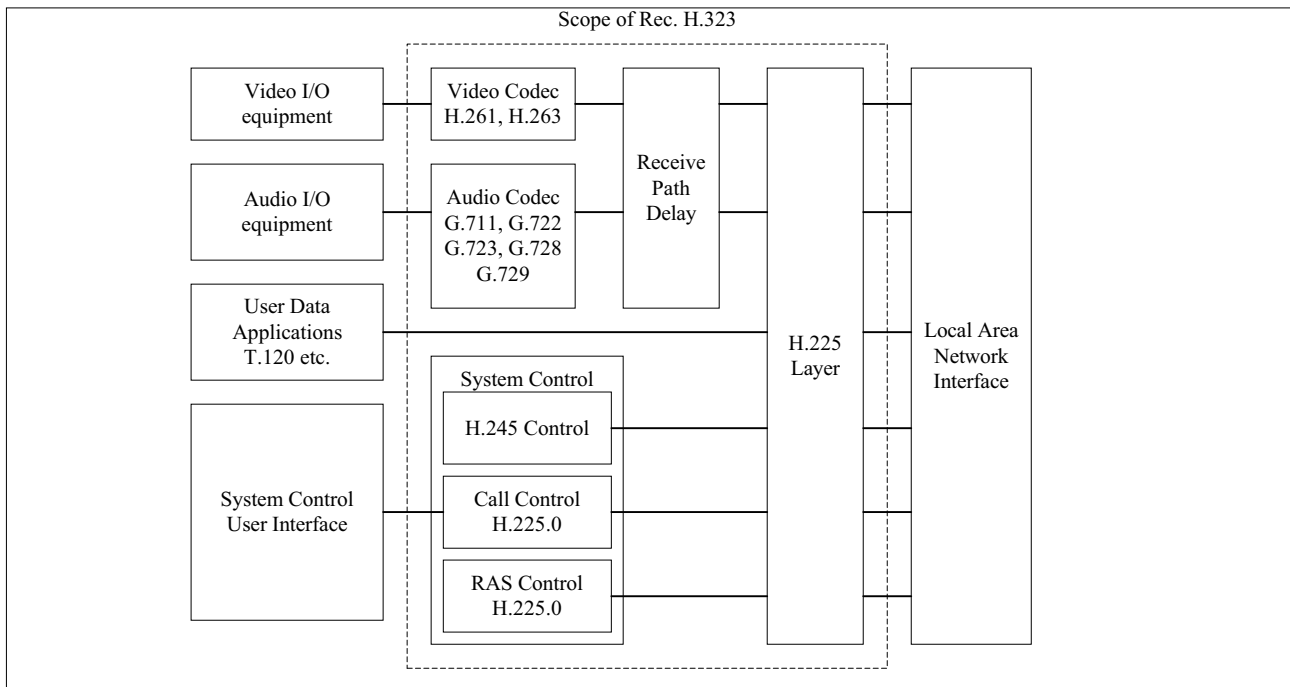


圖 6 H.323 終端機架構

系統控制元件能夠操控通話狀態、。H.225 封裝層將所有視訊、音訊、資料和控制訊號都依固定格式傳給網路介面；同時它也負責產生邏輯上的「頁」(frame)、用來描述頁前後順序的序列號碼、以及各媒體資料的偵錯和更正。至於音訊和視訊的編碼／解碼元件功能應該能夠理解，就不再贅述了。

## Gateway

Gateway 主要的功能是提供不同傳輸格式和不同通訊協定間的轉換，這些都在 H.246 之中有詳細的規定。此外，Gateway 也要有能力在不同的網路系統中建立通話(call set-up)和清除通話(call clearing)。所以當 Gateway 不表現出 MCU(Multipoint Control Unit)時，以網路觀點看來，它和其他的終端機並沒有什麼兩樣。不過 Gatekeeper 卻要隨時知道哪幾臺機器是 Gateway，因為 Gateway 雖然理論上表現得如同終端機，但是它的角色是可以在通話中途改變的。例如通話開始時是傳統點對點(point-to-point)的通訊，後來卻變成三方或多方通話，Gateway 也就從原本終端機的角色轉成了 MCU，這個轉換過程是靠 H.245 來溝通的。Gateway 如圖 7 所示。有關 Gatekeeper 和 MCU 的部份後面會有更詳細的敘述。

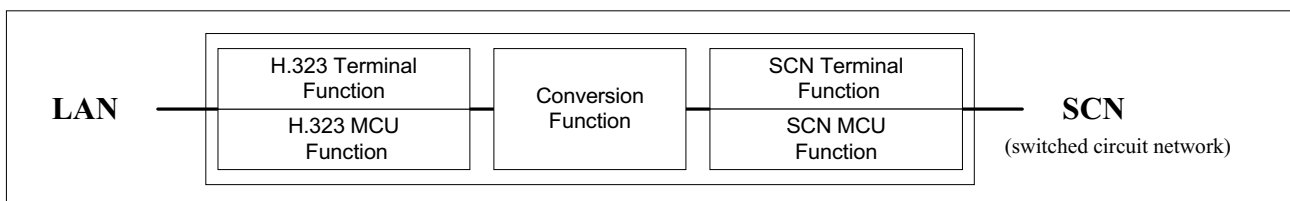


圖 7 H.323 Gateway 功能範例



同處於 IP 網路但不同網域的兩個 H.323 終端機可以完全不靠 Gateway 就建立通訊，也就是說，若不要求和 IP 網路以外的終端機通訊的話，Gateway 是可省略的部份。即使如此，爲了避開某個 router 或是某段頻寬較窄的路線，終端機還是可以利用 Gateway 經過別種網路系統(例如公共電話網路系統)，再從遠端的另一臺 Gateway 連回 IP 網路系統。

## Gatekeeper

Gatekeeper 在 H.323 系統中屬於選擇性配備，它提供 H.323 端點的通話控制 (call control)。在圖 5 中，Gatekeeper 似乎是一項獨立的裝置，然而在實作上它的功能常常被合併於終端機、MCU、Gateway、甚至是非 H.323 定義中的裝置上。

Gatekeeper 應該要提供下列四項主要功能：

- **Address Translation**：Gatekeeper 利用位址轉換表(translation table)將 IP 位址與電話號碼互相對應轉換。這個轉換表是用 Registration message 來更新，當然它也可以支援別的更新方法。
- **Admission Control**：Gatekeeper 利用 H.225 messages 來管理網路上的通訊。它可以基於通話認證限制、頻寬限制、或其他留給製造廠商自行定義的限制來決定是否同意讓兩點之間建立通話。當然它也可以什麼都不限制，在這樣的情形下所有的通話都是來者不拒的。
- **Bandwidth Control**：Gatekeeper 可根據頻寬管理的機制，決定是否接受改變頻寬的要求。同樣地它可以接受所有的要求而不設限。
- **Zone Management**：Gatekeeper 必須在它管轄的範圍內提供上述的功能。以下功能是選擇性的，不同的 Gatekeeper 可能有不同的功能：
- **Call Control Signaling**：Gatekeeper 可以本身產生 call signaling 來和遠端連線；或是控制端點來連線而本身不產生 call signaling 的信號，這樣 Gatekeeper 就不用處理 H.225 call control signal。
- **Call Authorization**：這個部份是超出 H.323 範圍的。一般 call authorization 就是限制某些區域的電話不予接通(例如設定不能撥長途電話)，或是限制某些時段的電話不能外撥……等等。
- **Bandwidth Management**：這個部份同樣也是超出 H.323 範圍。Gatekeeper 可以限定所管轄的網域最多同時通話的 H.323 終端機數目，以維持可接受的通話品質。就算是兩方已經連線通話，Gatekeeper 仍然會執行監視的功能，一旦終端機要求增加頻寬，還是可以視情況拒絕要求的。
- **Call Management**：這個功能是爲了達到頻寬管理所必要的。Gatekeeper 會記錄所有正在通話的終端機資料，這樣才能知道頻寬使用情形。

Gatekeeper 還有一些保留未定義的功能，這裡就不提了。爲了達到 multipoint conference，gatekeeper 必須在一堆終端機及 MCU 中的 MC(Multipoint controller)之間傳遞 H.245 控制訊號，不過它不必處理這些訊號，它的任務只負責傳遞。

## MCU [ Multipoint Control Unit ]

MCU 是專門支援多點會談(multipoint conference)的裝置，它由一個 MC 和零或多個 MP(Multipoint Processor)所組成。一般支援集中式多點會談(centralized multipoint conference)的 MCU 由一個 MC 及一個有處理音訊、視訊、資料能力的 MP 所組成；分散式多點會談(decentralized multipoint conference)的 MP 則不需有處理音訊、視訊能力。如圖 8 所示。

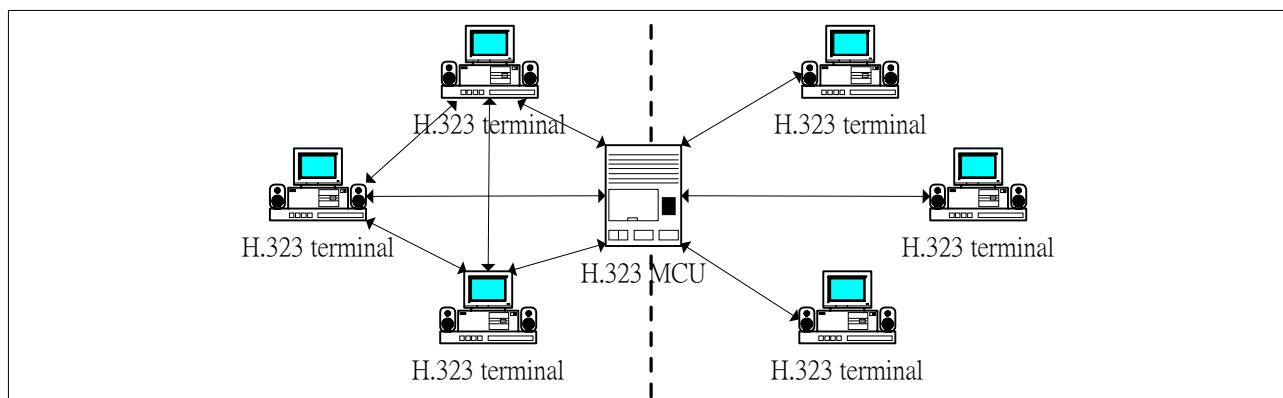


圖 8 分散式多點會談

集中式多點會談

集中式和分散式多點會談的分別在於混合多頻道音訊和視訊的所在。集中式是 MCU 中的 MP 將參與會談所有終端機的訊號混合(video switching/audio mixing)後，產生新的音訊，新封包上的 time tag 和 sequence number 是以 MP 為準。如果 MP 也處理視訊，通常不必「混合」視訊，所以封包內容不用變動，只要改變原封包上的 time tag 即可達到聲音與影像同步。最後再用多址傳送(multicast)方式將結果傳回所有的終端機。顯而易見的，在這種模式之下，終端機其實只是和 MCU 作點對點通訊，因此所有的終端機都能作集中式多點會談。MP 也應具備轉換不同訊號格式及不同傳輸速度的能力，這樣參與多點會談的終端機就不需限定用相同的通訊模式。相對地，分散式多點會談對於終端機的要求較高，所有的終端機都必須具備有多址傳送能力將本身的音訊/視訊傳給其他的終端機，同時將所有其他終端機傳來的音訊/視訊混合同步之後展現在使用者面前。由於終端機未必使用同樣的通訊模式，所以 MCU 除了要控制哪些終端機應該傳送音訊/視訊資料之外，還要控制傳輸的速度。另外有一種組合式(hybrid)的多點會談，就是音訊和視訊分別使用集中式或分散式的方法，由於音訊和視訊封包的 time tag 基準不一，不能保證影音同步，而且 MC 的控制會複雜些。以上這些控制的內容都可以在 H.245 中找到。

### 3. VoIP 產品：設備與服務

現在 VoIP 雖然尚未成為電信產業的主流，但是商業化的產品已經不是少數了，這些產品的語音品質都能達到使用者可以接受的程度。在網路狀況良好時，跟傳統電話的差距並不大。在討論這種通訊服務時，應該從兩方面著手：其一是

網路電話設備、另一個是網路電話服務。以下表 4 列出主要幾個網路電話產品的比較。在 1997 年的 Voice over IP 研討會中，廠商選定 G.723.1 作為網路電話的共通標準[8]。從產品的 Codec 看來，Ascend VoIP 雖然未採用共通標準，但它是符合 H.323 標準的 Gateway，所以可以用 G.711 標準和其他符合 H.323 的產品溝通。除了 Intertel 的 server 完全不採用 ITU G 系列標準外，其他的產品彼此間的溝通應該是沒有問題的。廠商不願採用 ITU 的標準，可能是為了提高效率或是之前已投資大量人力物力於自訂標準了。此外，若 Gatekeeper 是獨立於 Gateway 之外的話，那麼 Gatekeeper 的價錢不包含在表內。

Equipment Provider	product	Simultaneous voice call	H.323 compliance	Codec	Codec Rate	DTMF	standalone Gatekeeper	RSVP	Price per port
<b>Ascend Communications Inc.</b>	Ascend VoIP	96	Yes	G.729A	8kb/s	Yes	Yes	No	\$750 (48 ports)
<b>Intertel Inc.</b>	Vocalnet Server	96	No	專有	13.6kb/s	Yes	Yes	No	\$1580 (24 ports)
<b>Lucent Technology Inc.</b>	Internet Telephony Server	96	Yes	G.723.1 專有	5.3kb/s	Yes	No	Yes	\$2520 (24 ports)
<b>Micom Communications Corp.</b>	Phone/Fax IP Gateway	24	No	G.723.1 G.729	5.3kb/s	Yes	No	Yes	\$750 (24 ports)
<b>Motorola Inc.</b>	MP router Vopr series	80	No	G.723.1 專有	5.3kb/s	Yes	No	Yes	\$660 (24 ports)
<b>Vocaltec Inc.</b>	Vocaltec Telephony Gateway	96	Yes	G.723.1 專有	4.8kb/s	Yes	No	Yes	\$1400 (24 ports)

表 4 Voice-Over-IP Gateway 設備的比較[9]

表 5 列出來的 ITSP(Internet Telephony Service Provider)中，AccessPower 和 DotCom Technologies 有架設自己的 Gateway，所以他們能提供完整的 PC to Phone 和 Phone to Phone 直接通話服務，而且通話費比較低。AccessPower 的服務還結合了影像和資料，可說是 ITSP 的典範。不過這幾個 ITSP 都不保證他們的服務是「完美」的，同時他們也沒有透露是否有架設私有的骨幹網路。TransNexus 的服務比較特殊，它的客戶是全球各地的 ITSP，它提供 ITSP 最合適的接收端 ITSP 在何處，並幫兩端的 ITSP 記帳和拆帳。至於實際接通兩端 ITSP 的電話並不是 TransNexus 的業務。

Service Provider	Service Area	Equipment	Charge	Other
<b>AccessPower</b>	United States Canada South America	H.323 supported gateway	Internet Phone: \$49.95	voice mail direct call exchange files video real time access files
			United States: \$0.05/min Canada: \$0.07/min South America: \$0.07/min	
<b>Pairit</b>	Global	-	average: \$1.0~2.0/min big city: \$0.16~0.30/min	
<b>DotCom Technologies</b>	United States	VocalTec Telephony Gateway	United States: \$0.1/min Other Area: \$0.5~1.5/min	
<b>TransNexus</b>	Global	-	-	offer ITSP information to connect other ITSP

表 5 Voice over IP 服務的比較[10][11][12][13][14]

#### 4. 結論

吸引用戶使用 VoIP 系統的主要優勢是價格，在長途電話中這種優勢更是傳統電話所不及的。不過價格並非用戶的唯一考量，通話品質不夠，再低廉的價格也難以拓展市場。現在網路電話尚未有一個主導的巨人，形成百家爭鳴的局面，系統間的不相容也大大地阻礙了新興電信的發展。提供設備的廠商雖不虞匱乏，但真正提供網路電話的公司卻沒有想像中的多，最主要原因還是受限於目前 IP 網路沒有保證 QoS，這對於發展網路電話是十分不利的。爲了克服 Voice over IP 在目前 Internet 環境的困難，ITU Recommendation H.323 採用 RTP(Real-Time Protocol)來傳送影音訊號。H.323 雖然不能保證服務品質，但是在網路情況良好的環境下，應用 RSVP(Resource reSerVation Protocol)技術，已經可以被用戶所接受。未來網路電話的據點增加後，它的實用性會促使更多用戶和廠商投入這個市場，相信這項服務會更快達到成熟的地步。

#### 參考文獻:

- [1] Thomas J. Kostas, "Real-Time Voice Over Packet-Switched Networks", IEEE Network, Jan/Feb 1998.
- [2] ITU-T, "Narrow-band visual telephone systems and terminal equipment", Summary of ITU-T Recommendation H.320, Jul 1997
- [3] ITU-T, "Adaptation of H.320 visual telephone terminals to B-ISDN environments", Summary of ITU-T Recommendation H.321, Feb 1998
- [4] ITU-T, "Visual telephone systems and terminal equipment for local area networks which provide a guaranteed quality of service", Summary of ITU-T Recommendation H.322, Mar 1996
- [5] ITU-T, "Visual telephone systems and equipment for local area networks

which provide a non-guaranteed quality of service", Summary of ITU-T Recommendation H.323, Nov 1996

- [ 6 ] ITU-T, "Terminal for low bit rate Multimedia Communication", Summary of ITU-T Recommendation H.324, Mar 1996
- [ 7 ] ITU Study Group 16, "PROPOSED REVISION OF RECOMMENDATION H.323", RAPPORTEUR FOR Q.13/16(Dale SKRAN), Sep 1997.
- [ 8 ] 江志明, "網路電話的魅力所在", 網路通訊 p110, Jun 1998
- [ 9 ] Andrew Cray, "Voice Over IP HEAR'S NOW", DATA COMMUNICATIONS p46~p49, Apr 1998.
- [ 10 ] <http://www.accesspower.com/>
- [ 11 ] <http://www.internetphonecall.com/>
- [ 12 ] <http://www.pairit.com/>
- [ 13 ] <http://www.transnexus.com/>
- [ 14 ] <http://www.vocaltec.com/>