

基于源根组播的多点视频会议系统模型及其实现

黄东军, 陈松乔

(中南大学信息科学与工程学院, 湖南长沙 410083)

摘 要: 视频会议系统的传输结构对于系统的整体性能起着关键作用. 传统的面向连接的传输结构存在网络带宽开销过大、终端负担重、伸缩性差以及控制复杂等缺点. 本文定量分析了传统传输结构的性能, 提出了一个使会议系统结构得到简化、可靠性和规模伸缩性得到提高的设计原则. 遵循这一原则, 本文给出并实现了一个基于源根组播的会议系统模型. 它强调网络组播的必要性, 通过媒体传输与会议应用的分离, 大大减少了网络传输开销, 降低了系统复杂度, 并支持更多用户的全交互式应用.

关键词: 视频会议系统; 传输模型; 性能评价; 组播; 实现

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 01-0047-05

A Model and Its Realization of Multipoint Videoconferencing Based on Source-Specific Multicast

HUANG Dong-jun, CHEN Song-qiao

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha, Hunan, 410083, China)

Abstract: A multipoint videoconferencing system is composed of four main components that are user interface, codecs, conferencing control and media transmission architecture. Among them, the media transmission architecture is most critical for a videoconferencing system. Traditional methods have many drawbacks such as high network resource overhead, heavy burden on terminals, low scalability and complicated control. This paper proposes a principle for design of videoconferencing, which makes the system simple, robust, feasible and scalable. According to the principle, a new model of multipoint videoconferencing based on multiple source-specific multicast trees is given. This model leads to simplifying design of the videoconferencing, reducing the overhead of networking resources and rising scalability. The paper introduces the evaluation method for transmission architectures, comparison of three types of traditional structures, the new transmission model and a practical videoconferencing developed by the authors.

Key words: videoconferencing; transmission model; performance evaluation; multicast; realization

1 引言

视频会议系统是一种比较复杂的分布式多媒体通信系统, 涉及的主要技术有用户界面、编解码技术、会议控制技术和媒体传输技术^[1], 其中传输技术对多点会议系统至关重要.

多点会议系统有三种模式^[2], 一是多方全交互会议模式(也称头脑风暴会议模式), 与会者可以自由交谈, 彼此能够相互听到或看到. 这就需要系统提供多通道声音的合成、多视频流的组合, 同时通过建立多个连接或要求网络基础结构提供多点传输服务来实现交互式通信. 二是所谓有组织的会议模式, 每个时刻只有一个数据源, 所有与会者只能听到和/或看到这个对象的视听信息. 这种会议需要建立一个一到多的连接或传输结构, 同时通过某种控制使数据源在多个发言者之间切换. 三是发布式会议模式, 这种模式与第二种类似, 但数

据源不具有移动性, 它只需要一个静态的一对多的网络连接或一对多的传输结构即可.

传统的面向连接的传输结构存在网络带宽开销过大、终端负担重、伸缩性差以及控制复杂等缺点. 为此, 本文首先分析了传统会议系统传输结构性能的缺陷, 进而提出了一个简化的会议系统设计原则, 基于该原则给出了一个组播会议系统模型, 并实现了一个多点交互式桌面视频会议系统. 实践证明, 组播多点会议系统具有网络传输开销小、系统复杂度低、支持用户多等特点.

2 相关工作

传统视频会议系统的传输结构可分为以下几种:

(1) 基于全连接的结构. 这种传输结构就是每个成员主机都与其它成员主机建立一个连接, 如图1所示.

设 m 为会议成员主机数. 为了使每一个成员都能和所有其他成员主机进行全双工通信, 它必须和所有主机建立 $m-1$ 个连接, 因此 m 个主机之间建立的连接总数 $Conns$ 为:

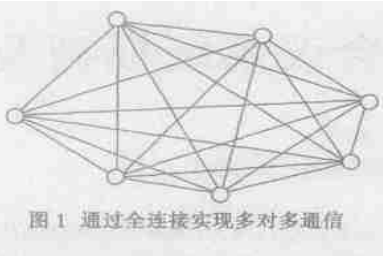


图 1 通过全连接实现多对多通信

$$Conns = \sum_{i=1}^{m-1} (m-i) = \frac{1}{2} m \times (m-1) \quad (1)$$

$Conns$ 描述了一个传输结构所消耗的连接数, 显然连接数越大传输结构的效率越差. (1) 式表明, 全连接结构的连接数与成员数 m 成指数关系.

我们再看一下传输结构的终端(用户)复杂度, 用 EC 表示, 本文将 EC 定义为一个终端传输的通信量:

$$EC = Conns_i \times Traffic_{in} + Conns_i \times Traffic_{out} \\ = (m-1) \times (Traffic_{in} + Traffic_{out}) \quad (2)$$

其中 $Conns_i$ 表示终端 i 的连接数, $Traffic_{in}$ 和 $Traffic_{out}$ 分别表示输入和输出通信量. 可见, 用户复杂度也很高, 其度量值几乎是其连接数的两倍(如果 $Traffic_{in}$ 等于 $Traffic_{out}$). 最致命的是, 当一个主机想连接到传输网络中时, 它必须知道所有在线主机的标识(地址), 这进一步加重了主机负担, 并使会议管理复杂化. 因此很少有多点视频会议系统采用全连接传输结构. 美国康奈尔大学的 CU-SeeMe^[3] 视频会议系统属于这一类产品的代表, 由于受到连接数的限制, 它至多支持 4 个用户同时在线工作.

(2) 基于多点控制单元的结构

图 2 为基于多点控制单元(MCU)连接的传输结构.

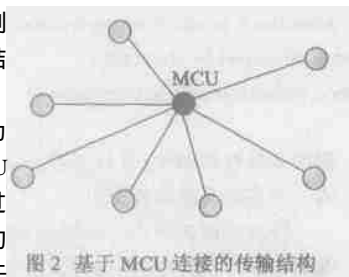


图 2 基于 MCU 连接的传输结构

设会议成员主机数为 m . 一个主机仅需要和 MCU 建立一个连接, 该主机通过这个连接向 MCU 发送它的数据流, 并接受来自于 MCU 的复合数据. 因此, 就主机来看, 其连接数为 1, 用户复杂度为 $m+1$ (如果 MCU 传输所有成员源数据). 从 MCU 来看, 其连接数为 m , 复杂度为 $m+m^2$. 这可以证明如下: MCU 要接收 m 个主机发送来的数据, 复杂度为 m ; 又因为 MCU 将一个复合数据流分别传送给 m 个主机, 复杂度为 $m \times m$, 两者和即为 $m+m^2$. 可见, MCU 的复杂度非常高, 这必然使其伸缩性不好, 难以支持大规模的用户群. 不过, 在 MCU 具有较强计算能力时, 该结构的规模伸缩性比基于全连接的结构还是好一些, 因此目前相当多的系统采用了这种结构^[4~6]. 但是, 由于受到 MCU 复杂度的限制, 这些系统都避免同时传送所有终端音/视频数据, 而是通过切换, 使 MCU 在一个时刻只传送一个或几个终端用户的媒体数据, 以便支持较多的用户. 这种切换有的通过主席控制方式实现, 有的采用声控方法切换(音量较

大的用户取得发言权). 这些机制又导致基于 MCU 的会议系统控制复杂化, 并降低了系统的稳定性和可靠性.

(3) 基于端系统组播的结构

一些研究人员看到互联网组播迟迟得不到大规模部署, 而组播结构又优于面向连接的结构, 就转而研究应用层的群组通信机制, 即端系统组播(endssystem multicast)或应用层组播(application-level multicast infrastructure, ALMI^[7]). 端系统组播把网络组播思想上升到应用层实现, 依靠主机之间的协作, 建立一个以单播传输(连接)为基础的树形虚拟覆盖网(overlay), 一部分主机既是数据接收者同时还承担复制与转发其它主机数据的任务, 以此来降低源主机的发送复杂度, 并减少带宽消耗.

文献[8]研究了一种所谓阶扩展平衡树信息扩散结构, 基本思想是让一些已经接收到信息的节点将所得信息转发给另一些尚未获悉该信息的节点, 并限制传播的延时. 图 3 为一个 4 阶扩展平衡树(扩散延时限制为 4 个单位).

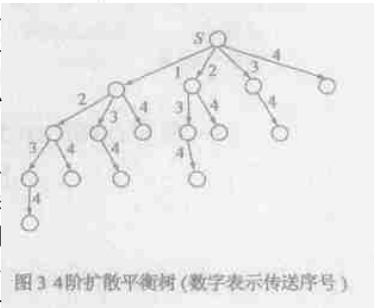


图 3 4阶扩展平衡树(数字表示传递序号)

在一对多情况下, 阶扩展平衡树的最大连接复杂度和实体复杂度均为 m . 要实现多对多通信, 需要 m (组成员数) 个

阶扩展平衡树, 这时最大连接和实体复杂度为 m^2 . 阶扩展平衡树存在一些应用上的问题, 首先它支持的节点数有限, 其次是它的节点不能灵活退出, 一个承担转发任务的节点强制性退出, 会引起部分节点通信的中断. 此外, 该方法建立在节点以串行方式发送数据的假设之上, 然而, 这个假设也未免过于保守. 文献[9]讨论了一个类似的多媒体会议系统分层通信结构. 总起来看, 端系统组播结构存在控制复杂、延时大、支持的群组规模小、主机在承担复制与转发任务时性能与可靠性不确定等问题.

三种传统传

表 1 三种传输结构比较

| 传输结构的节点最 | 传输结构 | 连接复杂度 | 实体复杂度 |
|----------|------------|--------------------|----------|
| 大连接复杂度、 | 全连接结构 | $M \times (m-1)/2$ | $2(m-1)$ |
| 实体复杂度可归 | 基于 MCU 的结构 | m | $m+m^2$ |
| 纳为表 1. | 阶扩展平衡树 | m | m |

3 基于网络组播的会议模型

3.1 多点视频会议系统设计原则与模型

上面讨论的各种传输结构有一个共同特点, 这就是通过单播连接建立通信覆盖虚拟网. 由于虚拟覆盖网的建立需要应用来完成, 这就把视频会议的数据传输控制与媒体控制混在一个层次上了, 再加上会议管理和数据会议等功能, 整个系统趋于复杂. 基于这一观察, 本文提出如下多点视频会议系统设计原则.

原则 1 视频会议系统的媒体应用有必要与媒体传输控

制分开,即会议系统应用部分不包括媒体传输结构的建立;同时会议系统应当是会话无控制的,即摒弃发言权控制机制,系统本身不提供参加者的等级区分,让与会者平等地参加会议,会话控制完全上升到社会层.这将使系统结构得到较大简化,系统的可靠性、易用性和规模伸缩性得到提高.

基于上述原则的多点会议系统模型可用一个层次图表示,如图 4 所示.

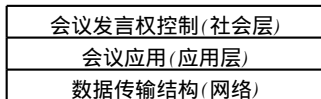


图 4 基于原则 1 的视频会议模型

原则 2 多点会议系统传输结构的协议需求是网络组播机制,以便媒体应用独立于媒体传输.

3.2 源根组播树传输结构性能分析

为了实现多点交互,一个主机需要加入 m 个源根组播树(m 为成员主机数).这时,由于网络组播使用了无连接的 UDP 协议,因此这时的连接复杂度为 0.而主机的复杂度是 $(m-1)+1=m$,其中 $m-1$ 表示接受 $m-1$ 个单位数据,1 表示发送 1 个单位数据.可见这两个指标都很低.

为了深入查明多源根组播结构的优越性,我们进一步比较传输组播报文与单播报文所经历的链路(跳, hop)数.单播路径或组播树上的一条链路称为一跳(hop).设 $multicast hops$ 是组播树的跳数, $unicast hops$ 是源端通过单播将数据发送到群组各成员的跳数,则可以定义如下的函数表示组播相对于单播的有效性:

$$\eta = 1 - \frac{multicast hops}{unicast hops} \quad (3)$$

对于一个具有 m 个成员的群组,设采用最短路径组成组播分支和单播路径,显然 $multicast hops < unicast hops$,这是因为在极端情况下,组播树从源端出发分别沿着完全不重合的路径将数据传送到 m 个目标,这时组播路径数等于单播路径数,其他情况下前者都小于后者,所以, $0 < \eta < 1$. 实质上反映了组播相对单播提高效率的百分比.例如 $\eta = 0$,表明组播不比单播更好.若 $\eta = 0.5$,表明组播比单播提高了 50% 的效率,也就是组播只用了 50% 的单播路径就完成了单播所完成的传输任务.

显然,对于一个具体的组播树,式(3)可以得到一个确定的结果.而对于一般的组播树,我们只能对式(3)给出一个基于统计的结果.幸运的是,可以借助文献[10]的工作得到一个基于统计的估算结果.给定一个源和 N 个目标节点,设 L_m 表示组播树的总长度(组播树的总链路数或总跳数,即式(3)中的 $multicast hops$), L_n 表示单播路径的平均跳数,则有

$$\frac{L_m}{L_n} = N^k \quad (4)$$

其中 k 是一个介于 0 和 1 之间的经济因数.该文通过大规模实际测试发现,对于大部分拓扑结构, k 值都位于 0.8 之间.据此,我们有

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \frac{multicast hops}{unicast hops} = 1 - \frac{L_m}{(L_n)(N)} \\ &= 1 - N^{k-1} \quad 1 - N^{-0.2} = 1 - \frac{1}{\sqrt[5]{N}} \end{aligned} \quad (5)$$

这是一个非常有吸引力的结果.例如,当 $N = 20$ 时, $\eta = 0.45$,即组播比单播的效率提高 45%;当 $N = 100$ 时, $\eta = 0.60$.随着 N 值的增大,这个百分比还将提高.图 5 显示了 $k = 0.8, 0.66, 0.60$ 三种情况下组播相对单播的效率曲线($\eta = 1 - N^{k-1}$),表明组播相对单播的效率在组成员数量不多时增加较快,总体上不断上升.

图 5 组播相对单播的效率曲线 ($\eta = 1 - N^{k-1}$)

对于多源根组播结构,我们有类似于式(5)的效率评估函数:

$$\eta = 1 - \frac{L_{m1} + L_{m2} + \dots + L_{mN}}{(L_{n1} + L_{n2} + \dots + L_{nN}) * N} \quad (6)$$

是多源根组播树相对单播的效率.采用 NS2 进行试验,发现

近似等于单源根树相对于单播传输的效率值,如表 2 所示.

表 2 多源根组播树相对单播的效率

| 群组规模 N | 10 | 50 | 100 | 150 | 200 |
|----------|------|------|------|------|------|
| 是源根组播树 | 0.12 | 0.30 | 0.51 | 0.58 | 0.63 |
| 近似等于单源根树 | 0.63 | 0.65 | 0.66 | 0.67 | 0.67 |

从上述研究可以得出一个结论,基于多个源根组播树的传输结构,与基于连接的传输结构相比,大大减少了网络传输开销.这样,它就为简化应用系统设计、降低系统复杂度、提高系统的可靠性和规模伸缩性、支持更多用户创造了条件.

4 源根组播多点视频会议系统的实现

按照原则 1 和原则 2 的设计理念,我们的多点会议系统摒弃了复杂的 MCU 机制.为了实现多点交互,每个源端的音视频数据流传输完全依赖网络底层的一个源根组播树.

会议系统首先要创建会议.在基于多源根组播树的多点会议系统中,会议的创建表现为源根组播树的建立.其过程是这样的:会议发起者(具有会议创建权并且是一个数据源)首先在会议目录服务器(directory server, DS^[11])上发布会议信息,包括会议名称、会议说明、起迄时间、群组地址和源地址等,这些信息统称为会议描述,采用会议描述符(Session Descriptor Protocol, SDP^[12])包装,并通过轻量级目录访问协议(light-weighted directory access protocol, LDAP^[13])以单播方式传送到目录服务器.为了避免会议信息已经发布而源数据又没有组播,我们规定创建会议的主机在发布会议信息后立即开始组播数据.一个源端只要简单地向指定路由器(与主机直接相连的路由器, DR)发送用群组地址和其源地址封装的 IP 包即可开始组播传输,而数据的实际传送完全由网络实现.在发布会议信息后,任何希望参加会议的主机必需在获得会议描述后才能加入会议以便接收其它源端发送来的数据流,或者自己作为源端向群组发送数据流.一个主机可以同时发送和接收,也可以只接收不发送.一个既不能接受也不能发送的用户是不能参加会议的,因为它没有能力参加会议.能力控制由

端系统软件完成。

用户获得 SDP 后,通过向 DR 发送具有源过滤功能的 IGMP(V3)^[14]报文加入会议。当 DR 接收到主机加入会议的 IGMP 请求报文时,它首先检查自己是否已经有了关于群组(S,G)(S 表示源地址,G 表示组地址)的转发表项,如果已经存在这样的表项,DR 只要简单地忽略该 IGMP 报文即可,因为这时物理网络上已经开始传输组播数据报了,而接收者只要知道组地址,并且运行能够处理组播数据报文的程序,它就立即接收到了组播数据。如果 DR 发现自己还没有关于群组(S,G)的转发表项,DR 便启动一个加入源根组播树的进程,该进程由源根组播路由协议决定。值得注意的是,当一个源主机加入会议成功后,它必须通过单播将其地址注册到 DS 服务器上,以便后来的加入者能够获取该源地址加入它的源根组播树。

一个主机希望退出会议时,只要简单地不再接收组播数据也不再发送数据即可,同时通过单播方式通知 DS 服务器删除其注册信息。

图 6 表示了组播树会议系统的分布式结构,图中 R 表示接收节点,DS 为目录服务器。

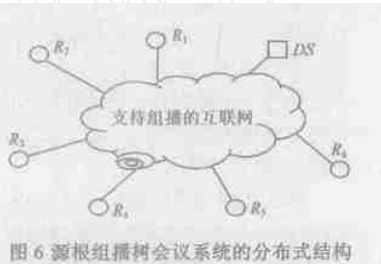


图 6 源根组播树会议系统的分布式结构

可以看到,系统是完全分布式的,没有任何媒体传输上的集中机制(DS 不传输任何多媒体数据)。分布式控制模式赋予端系统很大的灵活性,它可以在接收到的数据流中有选择地显示和播放,可以采用样本值求和或者设备时间分片共享等技术来实现声音合成,采用多通道、画面框架合成或设备时间分片共享等技术合成视频。而 MCU 在音/视频合成上的选择余地要小得多。

图 7 表示了端系统软件结构。系统基于 Windows 平台,网络通信构筑在 WinSock2.0 基础上,同时采用 Microsoft DirectShow^[15] 技术为系统提供方便、高效的音/视频媒体访问控制机制。

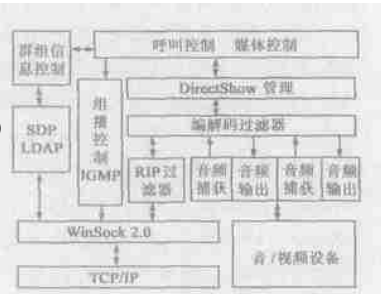


图 7 基于组播的会议系统终端软件结构

在图 7 中,群组信息控制是一个负责发布会议描述符以创建一个会议或者从 DS 服务器获取会议描述符以加入一个会议的控制接口,它通过 SDP 包装会议描述信息,交由 LDAP 传送,或者通过 LDAP 获得 SDP 后提供给呼叫控制发起呼叫。呼叫控制是用户加入或退出会议的控制接口,它通过组播控制的 IGMP 协议向指定路由器发出加入或退出的请求。

媒体控制是用用户通过 DirectShow 管理器选择编解码器、控制声音属性、调节视频属性的接口。编解码过滤器在视频会

议系统中是重要组件。系统采用了 G.723.1^[16]作为音频编解码标准,采用 H.263^[17]作为视频压缩标准。RTP(Real Transmission Protocol)^[18]过滤器是一个对捕获的音/视频数据包装成实时同步传输数据格式的组件,同时它也对传送进来的音视频数据进行同步处理。

WinSock2.0 屏蔽低层网络通信协议,为用户提供一个协议独立的网络程序设计工具和环境,用户可以通过它访问各种 TCP/IP 协议,包括对 Multicast 和 QoS 功能的高级访问支持。图 8 是系统运行时的用户界面。



图 8 端系统用户界面

系统支持多路视频显示。在设计上,本系统并没有限制显示视频窗口的数量,仅受网络实际带宽的制约。系统还支持两级视频图像放大,支持多人混音,与会人员可以畅所欲言。系统还提供白板共享、应用共享、文字通信和文件传输,即 T.120^[19]数据会议功能以及会议录音功能。

5 结束语

视频会议系统的四个主要组成部分中,传输结构对于系统设计和实现具有至关重要的作用。面向连接的传输结构,无论是全连接方式、MCU 集中控制方式还是主机组播方式,都不可避免的存在连接太多、网络资源开销大、终端过于复杂、部署困难等诸多问题,从而不能支持真正的多点交互应用。本文定量分析了传统传输结构的性能,提出了一个使会议系统结构得到简化、可靠性和规模伸缩性得到提高的设计原则。按照这一原则,我们给出了一个基于多源根组播树的会议系统模型,大大减少了网络传输开销。它通过媒体传输与会议应用的分离,简化了应用系统设计、降低了系统复杂度,并实现了支持更多用户的全交互式会议应用。以组播树多点会议传输模型为基础,我们开发了一个可用的多点视频会议系统,它摒弃复杂的 MCU 机制,提供自然流畅的音/视频交互通信,同时还支持标准的 T.120 数据会议功能。本系统不同于传统 H.320 和 H.323 系统的地方就在于它无需 MCU,通过多源根组播和分布式结构,实现高效传输、易于扩展、简化控制等设计目标。实践证明,系统具有良好的应用效果。

参考文献:

- [1] Fengmin Gong. Multipoint audio and video control for conferencing packet-based multimedia conferencing[J]. ACM Multimedia, 1994, 17(10): 425 - 432.
- [2] RFC 3170, B Quinn, K Almeroth. IP multicast applications: challenges and solutions[S]. September 2001.
- [3] Jefferson Han, Brian Smith. CU-SeeMe VR immersive desktop teleconferencing[J]. ACM Multimedia, 1996, 19(8): 199 - 207.
- [4] Cisco. Cisco Product Catalog, Cisco IP/VC 3540 series videoconfer-

- encing system[Z]. California USA, 2003:245 - 256.
- [5] 深圳盘古软件开发有限公司. IP 网络视频会议系统 V2 Conference 3.7[DB/OL]. <http://www.pancool.com>, 2003.
- [6] 清华同方. 产品说明书:网络会议系统(TNC)[DB/OL]. <http://tongfang.tsinghua.edu.cn>, 2003, 3.
- [7] Yang-hua Chu, Sanjay G Rao, Srinivasan Seshan, Hui Zhang. Enabling conferencing applications on the Internet using an overlay multicast architecture[A]. SIGCOMM '2001[C]. San Diego, California, USA, 2001, 8:55 - 67.
- [8] 丁伟, 潘建平, 龚俭, 顾冠群. 计算机会议环境信息扩散模型分析[J]. 计算机研究与发展, 1998, 35(1):24 - 29.
- [9] 何炎祥, 邓爱林, 杜卓敏. 多媒体会议系统分层通信结构及其算法研究[J]. 计算机学报, 2001, 24(5):516 - 520.
- [10] Robert C Chalmers, Kevin C Almeroth. Modeling the branching characteristics and efficiency gains in global multicast trees[A]. IEEE INFOCOM[C]. Boston, USA, 2001, 190 - 196.
- [11] RFC 2974, M Handley, C Perkins, E Whelan. Session announcement protocol[S]. October 2000.
- [12] M Handley, V Jacobson. SDP: Session description protocol[S]. RFC 2327, April 1998. L Howard. An approach for using LDAP as a network information service[S]. RFC 2307, March 1998.
- [13] RFC 3228, B Fenner. IANA considerations for IPv4 Internet Group Management Protocol (IGMP)[S]. February 2002.
- [14] Microsoft. MSDN[DB/OL]. <http://msdn.microsoft.com/msdnmag/issues/02/07/DirectShow/default.asp>.
- [15] 钟玉琢. 多媒体技术[M]. 北京:清华大学出版社, 1999:35.
- [16] Anders Lidén, Magnus Haglund, Per Sundling. H. 263 video codec standard[DB/OL]. <http://www.cdt.luth.se/~peppar/kurs/smd074/seminars/1/2/4/H263.pdf>
- [17] RFC 3550, H Schulzrinne, S Casner, R Frederick, V Jacobson. RTP: A transport protocol for real-time applications[S]. July 2003.
- [18] Larry Cannell. Data conferencing ICR, Ford Proprietary, Latest Version[DB/OL]. <http://www.fsic.ford.com/netmeeting>.

作者简介:



黄东军 男, 1960 年 8 月生于湖南常德, 教授, 硕士生导师, 分别于 1996 年和 2004 年在中南工业大学和中南大学获得工学硕士和工学博士学位, 主要研究领域为 QoS 组播路由算法与协议、分布式多媒体系统设计等, 已在软件学报、电子学报等刊物发表论文 30 余篇. E-mail: djhuang@mail.csu.edu.cn.



陈松乔 男, 1940 年 6 月生于湖南长沙, 现为中南大学信息科学与工程学院教授、博士生导师, 国务院政府津贴获得者, 主要研究领域为软件工程、算法优化等.