

复杂媒体网络与控制

戴琼海 赵千川 金以慧

(清华大学自动化系 北京 100084)

(E-mail: qhdai@tsinghua.edu.cn)

摘要 三网融合是近年来国际上研究的热点领域,该文针对三网融合提出了复杂媒体网络的概念,从系统的复杂性和理论体系两方面介绍了研究的内容及其相关问题,其中包括信息编码理论、信息组织、分布式网络控制与管理、信息安全研究、QoS控制理论和相关流量控制等.这也是网络研究的重要内容.

关键词 复杂媒体网络,信息编码,网络管理,QoS控制

中图分类号 TP393

COMPLEX MEDIA NETWORK AND CONTROL

DAI Qiong-Hai ZHAO Qian-Chuan JIN Yi-Hui

(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 10084)

(E-mail: qhdai@tsinghua.edu.cn)

Abstract Research on network convergence has recently become increasingly popular. This paper proposes a concept of complex media network, and introduces its content and relevant issues. Complex media network involves many fields which include information coding theory, information organization, distributed network control and management, information security, QoS control, and traffic control. Complex media network is also an important part in research of Grid.

Key words Complex media network, information coding, network management, QoS control

1 引言

复杂媒体网络可以被看作一个广义的系统,信息在其内部产生、传输,并且应用.信息的产生者与接收者的行为会对信息流产生影响,因此必须被包含到网络的研究范畴当中.近年来,我们试图把动力学系统的相关理论应用于复杂媒体网络的理论架构,争取对网络进行横向与纵向的分割,分别对各个层次的守恒性和耗散性进行研究;对网络的输入与输出进行抽象,从全新的视角对媒体和网络进行描述.

有关复杂媒体网络的研究就是将信息编码^[1]、信息组织、分布式网络管理、信息安全研究、QoS 控制和相关流量控制等理论融为一个复杂系统的研究,因此,首先要研究复杂媒体网络的结构和模型(包括信息网格)。

复杂系统^[2]的一个本质特征是能够实现不同动态之间的转换. 拥有大量节点与多种应用的网络具有极多的动态瞬间,而其平衡状态并不是唯一的,呈现出复杂系统的特征. 如何设计网络结构与协议体系,保证此系统的稳定性与收敛性,是研究的首要问题. 要达到这个目的,不仅需要引入动力学系统的观点,还要依赖控制理论和系统学等多学科的融合,归纳和抽象出网络系统要研究的问题,例如网络模型和网络拓扑^[3]的研究、复杂媒体网络模型的相关参数(如分层数量等)的配置和优化、服务质量保证的滤波器理论等等. 目前,在应用李亚普诺夫方法进行网络交换排队调度系统的稳定性分析、基于长相关网络业务的拥塞控制^[4]、基于接入网速率自适应匹配^[5]和边缘软交换等方面已经取得初步的研究成果. 复杂的媒体网络系统是分别由相对独立的子系统完成的(如编解码子系统、安全子系统、传输子系统等). 如何划分子系统的功能、配置子系统之间的接口,需要应用系统学和复杂性理论进行研究与试验.

复杂媒体网络复杂性还体现在媒体和网络行为^[6,7]的多样化. 对来自外界的指令以及由指令产生的行为进行测量和统计,并将结果反馈于媒体网络本身,属于媒体网络行为学的范畴,也是复杂性的体现. 近年来从复杂性角度对网络进行的研究已经取得一定成果,如基于 Petri 网模型的信息系统结构复杂性分析、复杂媒体网络中的相变和整体关联行为等.

复杂媒体网络与网格有相似的地方,但侧重点不同. 网格最初源于科学计算领域对于独立组件组成的大规模分布式网络计算的需要. 在这种网络结构中,计算机、存储设备、显示终端以及科学仪器组成一个大规模的“网格”,进行协同工作. 但在互联网上体现出来的计算资源互连互通,并且在网络内进行资源分配的趋势,正是复杂媒体网络中很重要的研究课题. 开展从 web 服务到网格规划的研究,消除信息孤岛和知识孤岛,对于网络复杂性的系统量测与设计都是非常重要的,有助于大量网络资源的高效组织与高效利用.

2 复杂媒体网络的编解码

研究可扩展的动态编解码^[8~13],按时域、空域和质量的扩展编解码,建立复杂的扩展编解码模型. 研究预测编码的基本层实现方法(分块运动补偿、DCT 变换分形等),增强层使用智能方法进行预测编码来覆盖网络带宽的变化范围,以达到自适应的网络传输. 应用信号重构思想,研究复杂音视频的自适应解码方法和算法.

分层可扩展性编码^[14]的研究已经有 10 多年的历史,由于它适于网络传输的特征,目前已被很多现行的国际压缩标准接纳,例如 H. 263+ 和 MPEG-4. 传统的分层可扩展编码主要有三种类型:时域可扩展性、空域可扩展性和质量可扩展性.

可扩展编码方法从本质来说都是面向存储的,也就是它的目标是将视频压缩成一个或多个固定码率的码流,而这种方法已经越来越不适应当前复杂网络的特点——异构性、带宽变化随机性,因此如何将视频压缩成适于网络传输的有一定码率范围的码流,且有一定的自适应性,就成为当今可扩展编码研究的方向,以此为目的的可扩展视频编码方法被 MPEG 组织命名为精细的可扩展编码. 它的基本思想是将视频编码成一个可以单独解码的基本层

码流和一个可以在任何地点截断的增强层码流,其中基本层码流适应最低的网络带宽,而增强层码流用来覆盖网络带宽变化的动态范围.目前,精细可扩展性编码(FGSC)及渐进的精细可扩展性编码(PFGSC)被 MPEG 组织采纳.

为了在极低码率的传送环境中保证人眼敏感区域的图像质量和传送效率,已经有人提出了基于模型的视频时空可扩展性编码方法,即根据人眼视觉敏感程度的不同,将视频中的每帧图像根据模型划分为程度不同的区域,对每一个区域分配不同的时间和空间分辨率,折衷考虑图像内容的复杂性和视频序列的统计相关性,依靠人眼视觉系统模型的帮助来保证观察者敏感区域的图像质量和传送效率.如何进一步提高它的性能,还是一个值得研究的问题.

3 复杂媒体网络的信息源的控制与管理

复杂媒体网络的信息源管理^[15,16]的主要任务包括:建立信息源的复杂模型,研究业务源的定义原则、依据、粒度和等级;研究网络信息源的检测方法,包括信息流量的生成、信息量的大小以及信息量的变化规律;研究网络信息组织的性能的分析方法,即网络服务响应时间、服务接入时间和服务的可靠性.

对信息源产生数据流的规律进行归纳和总结是对网络业务进行管理和处置的基础.最初的网络业务(telnet 会话等)大多遵从泊松分布,由此而建立了整个网络的通信协议体系.在 WWW 网络和 IP 协议逐渐普及之后,大量的 web 数据流体现出了越来越强的自相似特性,而这一特性与更高层的应用或协议无关.与此同时,对网络业务进行的控制和管理在很大程度上加强了自相似特性的形成.以 TCP 的拥塞控制为例,由于拥塞控制本身是一个确定性过程,工作在自时钟(self-clocking)方式,每个事件(例如发送数据包或计算超时)都完全由过去决定,即系统的未来可以由过去描述;其反馈控制也具有非线性(nonlinearity)和周期性(periodicity)的特点,所以会产生具有短相关(short-range dependence)和长相关(long-range dependence)的自相似数据流(self-similar traffic)(可以用 Hurst 参数描述).因此在研究中除了像以前那样使用多个 ON/OFF 数据源(每个随机的 ON/OFF 周期呈“重尾”(heavy tailed)分布)模拟由源端发出的 TCP 数据流的自相似性外, TCP 拥塞控制本身的自相似性也构成了当前 Internet 数据流的分形(fractal)特征.

Paxson^[17]等人研究了互联网上 TCP 传输源以及在 TCP 连接上 FTP 和 TELNET 的传输,得出如下几点结论:

1) 一般使用的泊松分布模型严重地低估了 TCP 传输在广泛时间级别上的突发性.对于交互 TELNET 传输,连接到达可很好地由泊松分布模型描述,然而,分组到达的泊松假定将严重地低估了传输的突发性;

2) 对于 FTP 执行的大批量传输,传输的结构不同于泊松分布,同 TELNET 数据传输一样,FTP 会话达到对应于泊松模型,但数据连接有比较大的突发达到速率,此外,在每个突发区间的字节数量的分布是重尾上翘的.

与互联网络相比,复杂媒体网络的业务范畴中要增加大量的实时业务与多媒体音视频业务,网络上数据流的组成会发生变化,信息源与数据流特性会再次发生改变.以前对广播电视网络业务流的特性总结,以及对电信网络业务流的特性总结,在很大程度上只适用于复

杂媒体网络中一部分业务的特性.目前的互连网络业务已经呈现出一定的变化,已经有相关研究成果发表,大多认为目前的网络信息特性为大数分布或者帕雷托分布,不能用泊松分布来描述.相应地,在使用 ON/OFF 模型的同时也要增加通用调制确定过程模型的使用,尤其是对视频源的描述,需要研究自回归和离散马尔可夫到达过程模型.

大数据量的广播业务、组播业务与实时交互业务在网络中大量增加后,如何将这些不同特性的业务协调起来,使得各自的特性都得到尊重;如何调和不同业务特性之间的不同,选择折衷的粒度和等级设置;如何总结这些业务综合以后整个网络数据流的规律以设计网络通信的控制体系;怎样设置和利用系统参数,在高层(关于质量与特性的)要求与数据流本身之间如何映射,都是复杂媒体网络要研究的内容.

复杂媒体网络需要对业务流的专用模型和通用模型都进行新的参数化描述,以适应在传输要求上差异很大的多种业务类型的需求;要在 ATM 对业务进行分类的基础上继续对不同的业务进行形式化描述.

4 复杂媒体网络的管理

复杂媒体网络管理包括:针对复杂媒体网络将形成核心存储、区域存储和边缘存储等;研究分布式智能网络管理^[18]的复杂模型;研究多智能体的拓扑分析、配置管理、故障检测和恢复以及性能检测的智能体实现方法;研究多智能体系统的任务调度问题的高性能最优化方法.

多智能体系统^[19]是由多个可计算的智能体组成的集合,其中每个智能体是一个物理的或抽象的实体,能作用于自身和环境,并与其它智能体通讯.多智能体技术将智能更方便地引入制造业、规划决策过程以及网络产业.通过智能体之间的通讯,可以开发新的规划或求解方法,用以处理不完全、不确定的知识;改善每个智能体的基本能力,而且可从智能体的交互中进一步理解群体行为;可以用模块化风格来组织系统等等.多智能体技术通过采用各智能体间的通讯、合作、协调、调度、管理及控制来表达实际系统的结构、功能及行为特性,为各种实际问题提供了一种统一的框架.多智能体系统的应用研究开始于 20 世纪 80 年代中期,近几年呈明显增长的趋势.由于在同一个多智能体系统中各智能体可以异构,因此多智能体技术对于复杂系统具有无可比拟的表达力.

利用多智能体一致性的组织、表示、通信等特点,通过定义不同类别的智能体,可构成网络的不同智能成员(包括网络单元智能体、管理对象智能体和操作系统智能体),实现网络管理.基于智能体的网络管理方法具有以下特点:1)网络能主动地分析和推理,给网络管理注入了智能化的功能;2)智能体的通信语法简洁、有效,使网络具有简单、有效、标准的通信协议;3)具有较好的开放性和扩充能力,能扩展网络管理的结构和功能;4)网络具有一定的智能决策能力,智能体能根据自身的知识和状态做出合理的选择. IBM, UNISYS 等公司已将智能体技术置于网络管理的核心地位.比尔·盖茨早在近 10 年前就在《未来之路》一书中多次强调智能体软件在信息高速公路中的重大作用,称它为软件中的软件.后来出现的移动智能体技术具有较强的独立性和异步动作能力,非常适合用于网络管理.

将智能体技术与复杂媒体网络相结合,可以实现网络环境下的大范围协同工作,建立以网络为基础、以一组协同工作的智能体为核心的应用环境(CAW).在 Internet 和 Intranet

中,通过采用 CAW 已经可实现 Web 要素之间的协同作用、异构资源的一体化信息检索。Web 服务器之间通过智能体主动地通信,已经可以解决 Web 站点负载过重的问题。

复杂媒体网络要求对计算能力进行组织和分配(其远景目标是实现网络架构),其目标是实现分散对等的协同计算。多智能体技术为实现这种方法提供了新的途径,基于智能体的计算是下一代软件开发的突破口。用多智能体技术建立分布式计算环境的核心部分是基于智能体的服务请求代理机制,它由客户环境和服务环境(一组服务智能体)组成。客户应用通过本地的服务请求智能体访问服务智能体,服务请求智能体使得客户应用所需的异地服务如同发生在本地一样。

目前智能体方面的研究重点是,抽象出符合复杂媒体网络业务特性的智能体模型,研究适合媒体流传输的基于智能体的服务请求代理机制、具备质量保证的智能服务技术及适用于多媒体数据的协同计算技术。

5 复杂媒体网络中的 QoS 控制理论

目前所研究的 QoS 技术主要是网络层,而很多应用(特别是实时音视频的通信)需要端对端的保证,这就要求应用层、中间件层和网络层相互协作,共同保证应用级的 QoS。研究内容包括 QoS 参数的形式化描述,服务质量保证的滤波器理论,系统中不同层次(应用层、中间层、网络层)之间的 QoS 映射机制,QoS 自适应调节的反馈控制机制等。

在 RED,REM 和马尔科夫链模型的基础上,研究组播通信^[20]时流量控制的方法。利用跳式网络通信模型,寻找不同的基于速率的流量控制方案,并进行各种方案的比较优化。将预测控制理论建立具有组播通信的流模型的控制。使用线性和非线性的多种控制方案进行流量控制器的设计,应用智能技术保证控制器具有稳定鲁棒性,有较好的瞬态响应和稳态响应,降低网络丢包率,提高带宽利用率。

Internet 中的流量拥塞控制^[10]成为确保 Internet 鲁棒性(robustness)的关键因素。普遍认为有两种拥塞控制的思路,一种要求在路由器进行资源预留和保持每个流的状态,另一种则是在“尽力而为网络”的基础上采用闭环控制达到控制拥塞的目的。由于第一种思路存在着成本高、可扩展性差的问题,人们普遍倾向采用第二种方法,并适当结合第一种方法中的有益思想。

多路广播拥塞控制问题的重要性随着多路广播应用的日益广泛,需求变得越来越迫切。发生在多路广播中的拥塞,对拥塞控制协议的设计提出了新挑战,同时也提供了一个对业已存在的控制方法与观点进行重新认识的机会。需要指出的一点是,多路广播既然是应用在 Internet 上的,其拥塞控制必然依赖于 TCP/IP 协议。传统的 TCP 拥塞控制和 IP 拥塞控制对多路广播的拥塞控制仍然具有极大的参考价值,传统算法和理念也是多路广播拥塞控制的出发点和技术基础。

多路广播流量控制涉及两个传统问题,即同步反馈和可扩展性。在多路广播树比较大的时候,从各支流反馈的同步信息可能在源节点和分支节点之间产生反馈内破裂,所以用一个合适的方法对每个分支节点合并拥塞控制信息是很重要的,而且这些分支节点应当采用同一种反馈算法来统一反馈信息。

为了提高多点信令的正确性,有人提出了通过所有分支节点的反馈信息估算同步反馈

算法. 在这个基础上, 提出了通过发送快速拥塞反馈信息的方法, 以消除合并拥塞控制信息产生的噪声. REM(早期随机标记)和 RED(早期随机检测)最初是为单播提出的, 但是它们也可以推广到多路广播环境中, RED 和 REM 有着很好的扩展性和自适应性, 可以在拥塞发生之前进行预测, 以减小拥塞发生的几率.

QoS 控制往往由用户驱动, 但是却在网络层实现, 这就要求在网络层和应用层有一个良好的接口, 现在正在得到广泛应用的中间件技术在这方面可以大有作为.

中间件是一种独立的系统软件或服务程序, 分布式应用软件借助这种软件在不同的技术之间共享资源, 中间件位于客户机服务器的操作系统之上, 管理计算资源和网络通信. 这就表明, 中间件是一类软件, 而非一种软件; 中间件不仅仅实现互连, 还要实现应用之间的互操作; 中间件是基于分布式处理的软件, 最突出的特点是其网络通信功能.

中间件是位于操作系统和应用软件之间的通用服务, 它的主要作用是用来屏蔽网络硬件平台的差异性和操作系统与网络协议的异构性, 使应用软件能够比较平滑地运行于不同平台上. 由于下一代 Internet 面向用户个性化需求的特性以及网络复杂性程度不断的提高, 可以预见下一代网络软件体系结构的变化, 就将建立在中间件基础之上.

无疑, 这种由协议到中间件再到应用的结构, 会免去许多开发中的冗余工作. 另外, 由于中间件支持分布式应用的特性, 所以中间件将是下一代因特网应用开发的关键成分. 中间件也支持多终点传输协议. 现在的应用和应用层协议是建立在可靠的点到点传输服务基础上的, 由于中间件支持多终点传输协议, 所以中间件的广泛应用可以促进一批新型应用的开发. 以中间件技术为核心的智能化“匹配器”将会继超文本、搜索引擎之后, 成为第三种访问因特网的方式, “匹配器”将会以文摘的形式为用户收集所关心的产品、服务信息, 实现因特网的个性化.

总而言之, 在网络建模方面, 可以采用以下分析方法:

- 1) 在信息源模型方面研究的基础上, 重视信源激发的随机性和短相关性, 采用模糊理论、随机过程、概率论等理论和方法对网络交通流进行模拟和仿真;
- 2) 在网络、链路状态模型方面, 采用动力学系统方法进行分析和仿真;
- 3) 将控制理论应用到流量控制中, 这是因为网络本身就是处于一个闭环状态, 流量控制对于 QoS 是很重要的一个环节; 现在大多数相关理论建立在信源确定性基础上, 因而有很大的局限性, 下一步应该在考虑信源激发随机性、网络行为的动态性的基础上, 抽象出网络系统的传递函数或转移矩阵, 对网络负载进行分析和配置, 可能会在多路广播流量控制方面有所突破.

6 复杂媒体网络的网络安全

针对复杂媒体的数字版权保护, 研究具有鲁棒性和不可见性的适合复杂媒体数字水印技术. 针对复杂媒体的授权管理, 研究基于信息网格的多级密码保护管理体系, 保护复杂媒体网络中各种密钥的安全性. 针对复杂媒体的网络传输, 研究基于信息网格的安全模型和协议.

媒体与网络之间的结合遇到的最大问题是阻止或者减缓那些具有版权的数字媒体的复制扩散速度. 已有的几种版权保护技术都在一定程度上对数字媒体进行了保护: 对那些被怀

疑的网站和文件共享进行逐一的访问和监视,观察它们是否非法使用数字媒体;依赖于网络硬件,通过网络硬件控制如何对内容进行路由,把它们发送往指定的地方.传统普通的版权保护技术只针对版权保护问题中的单个问题,而没有从全局考虑到版权保护问题,因而使这些技术暴露出相应的缺点.而 DRM 系统,是一系列协同工作的技术的集合,它可以检测、跟踪、甚至中断数字媒体的非法传播.

为了能够在 Web 中检测、跟踪并终止那些非法媒体的传播,数字媒体本身必须被重新编码. DRM 系统根据不同数字媒体需要保护的程序不同,提供多种形式的编码方式.一种方法是加标签,将文件的验证信息加入到文件名中或者数字媒体文件的文件头信息里面.这种方法是简单而有效的.因为标签可以无条件地很容易更改,所以这种方法通常应用到那些不是很重要的数字媒体.另一种更具鲁棒性和安全性的技术是数字水印技术,这种方法将数字水印嵌入到数字媒体中.数字水印就是一种标识码,被永久的嵌入到数字媒体中,标识码包含版权保护和数字签名的必要信息.嵌入到数字媒体的标识码对用户来说是不可见的,而只能被水印的加入者检测出来.这个方法有很多优点:第一,即使在数字媒体经过复制和修改后仍旧保持嵌入的信息完整性;第二,可以使检测的过程瞬间完成,这就使得它在高速传播中有很大的吸引力.

复杂媒体网络安全体系必须包括一个入侵检测原型系统,主要研究新的入侵检测体系结构模型,并探讨在网络结构异常复杂、数据海量的条件下实施入侵检测所面临的各种问题.研究统一的入侵检测表达形式与汇总决策模型、作用域模型、基于海量数据的异常检测模型和性能评价模型.传统的基于主机或基于网络的入侵检测模型在网络规模足够大的情况下有非常大的局限性,因此必须研究针对获取的互联网上传输的公开信息,研究信号参数的逆向求解、数据完整性检测的研究、将信源编码、纠错编码和密码分析作整体考虑.新的入侵检测体系结构模型,将能够适应各种复杂的网络结构,能够在网络带宽足够高的条件下仍可实时地进行入侵信息的检测、处理,并重点解决非广播式网络的无瓶颈接入问题.

复杂环境下关键系统的应急反应也是网络安全^[21~23]研究的重要方面.由于网络环境以及攻击手段的复杂化,使得关键系统遭遇攻击时进行有效地实时响应变得非常困难.因此需要从理论上探讨在目前的条件下,对于网络攻击的实时响应模型,在该模型中应有机地组合各种响应的关键技术和方法,使其能够最快地阻止攻击并将攻击所带来的损失降到最低.重点解决攻击源的反向追踪问题.高可用性是评价网络中的关键系统的重要指标,一旦被网络攻击所破坏,则可能造成巨大的损失.需要解决关键系统的灾难恢复问题,研究发生灾难时的可量化的后果评价体系,建立普遍适用的灾难实时恢复的框架模型和关键系统的灾难恢复模型.研究能够评价基于该应急反应模型所实现的系统的各种可量化的指标,建立相应的安全性能评价模型.

7 结束语

在三网融合的研究领域中,信息编码、网络控制与管理、QoS 控制等都是复杂媒体网络研究中的重要问题.在过去的几十年中,人们在网络理论和技术方面进行了大量的实践和研究工作,提出了很多方法,根据这些方法的特点和具体的应用环境可以做出分析和选择.本文根据三网融合的迫切需求,提出了复杂媒体网络的概念和相关的理论,希望用系统学、控

制论的观点对三网融合问题进行研究,从另一个角度探讨三网融合的理论问题。

参 考 文 献

- 1 Wu F, Li S, Zhang Y-Q. A framework for efficient progressive fine granularity scalable video coding. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2001, **11**(3):332~344
- 2 Nicolis & Prigogine 著,罗久里,陈奎宁译. 探索复杂性. 成都:四川教育出版社,1986
- 3 Tim Parker, Mark Sportack. TCP/IP 技术大全. 北京:机械工业出版社,2000
- 4 Shi Chengge. An integrated metric based hierarchical routing algorithm in broadband communication system. *Chinese Journal of Electronics*, 2001, **10**(4):506~514
- 5 Shen Shiann-Tsong. A new network architecture with intelligent node to enhance IEEE 802. 14 HFC networks. 0018-9316, *IEEE Transaction on Broadcasting*, 1999, **45**(3):308~317
- 6 单志广,戴琼海,林 闯,杨 扬. Web 请求分配和选择的综合方案与性能分析. 软件学报,2001, **12**(3):355~366
- 7 林 闯,戴琼海. 基于时间 Petri 网模型的缓冲优先调度策略稳定性分析. 自动化学报,2000, **26**(6):771~775
- 8 Li Weiping, Ling Fan, Chen Xuemin. Fine granularity scalability in MPEG-4 for streaming video. *IEEE Circuits and Systems Society IEEE*, **1**:299~302
- 9 钟玉琢,王 琪,赵 黎,杨小勤. MPEG-2 运动图像压缩编码国际标准及 MPEG 的新进展. 北京:清华大学出版社,2002
- 10 Chen Xin-Jian, Dai Qing-Hai. A fast algorithm for computing multidimensional DCT on certain small sizes. *IEEE Signal Processing*, Accepted
- 11 Federal Communications Commission. Fact Sheet of cable television, 2000
- 12 Wu F, Li S P, Zhang Y Q. Progressive fine granular scalable video coding. *Chinese Journal of Computers*, 2000, **23**(12):1276-1282
- 13 Cohen Robert, Radha Hayder. Streaming fine-grained scalable video over packet-based networks. In:IEEE Global Telecommunications Conference, 2000, 288~292
- 14 Li W. Overview of fine granularity scalability in MPEG-4 video standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2001, **11**(3):301~317
- 15 何淑贞,王日远编著. CATV 网与多媒体通信. 北京:电子工业出版社,1998
- 16 Nada Golmie. A review of contention resolution algorithms for IEEE 802. 14 networks. *IEEE Communications Surveys*, 1999
- 17 Paxson V, Floyd S. Wide area traffic: the failure of poisson modeling. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1995
- 18 Danny Raz, Shavitt Y. Active networks for efficient distributed network management. *IEEE Communications Magazine*, 2000, 138~143
- 19 Chares J Petrie. Agent-based engineering, the web and intelligence. *IEEE Expert*, 1996, **11**(6):24~29
- 20 Almeroth K. The evolution of multicast: from the mbone to inter-domain multicast to internet2 deployment. *IEEE Network, Special Issue on Multicasting*, 2000
- 21 Stinson D R. Cryptography Theory and Practice. New York: CRC Press, 1995
- 22 Benoit M Macq, Jean-Jacques. Cryptology for digital TVBroad casting, quisquater. *Proceeding of the IEEE*, 1995, **83**(6):944~957
- 23 Fred Mintzer, Jeffrey Lotspiech, Norishige Morimoto. Safeguarding Digital Library Contents and Users. D-Lib Magazine DEC, 1997

戴琼海 1996年在东北大学获自动化专业工学博士学位.现为清华大学副教授,清华大学多媒体中心常务主任,深圳研究生院宽带多媒体中心主任,清华大学自动化系数字媒体实验室主任.主要研究领域为宽带信息网络、信号处理、信息编码和网络.

赵千川 1996年在清华大学获博士学位.现为清华大学副教授,主要从事 DEDS 和 HDS 的理论与应用研究.

金以惠 1959年毕业于清华大学自动化系,1963年清华大学自动化专业研究生毕业.现为清华大学教授.主要研究领域为过程控制及网络控制等.