

集群式多媒体监控系统 QoS 管理模型^{*}

范圣印 张光卫 周 兵 李 波

(北京航空航天大学计算机科学与工程系 北京 100083)

QoS Management Model in the Cluster Multimedia Surveillance and Control System

FAN Sheng-Yin ZHANG Guang-Wei ZHOU Bing LI Bo

(Department of Computer Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

Abstract Considering characters and requirements of the Cluster Surveillance and Control System, the network topology structure of the system is presented and the hierarchy model of QoS management is studied. Based on the CORBA technology, an effective resources management and quality guarantee system is completed. It is used for managing resources in each point of the system and ensuring the quality of services.

Keywords Cluster, Multimedia surveillance, Control, CORBA, QoS

1 引言

分布式多媒体监控系统是一个集多媒体信息的综合性、计算机的交互性、通信的分布性和监控的实时性等技术于一体的综合系统,能实时地把多个被监控对象的多媒体信息同时传输给位于不同地点的多个监控者,同时身处异地的各个监控者也可主动地控制被监控对象获取所需的多媒体信息,可广泛应用于工业生产、交通、公安、银行和智能办公大楼。

随着网络技术、多媒体技术、存储技术的飞速发展,大型分布式多媒体监控系统开始出现。这类系统的典型特征是:数据量大、数据量的变化剧烈、有较高的质量要求,同时系统的可扩展性要求较高。

这类系统占用的资源量大。这里,资源主要指网络带宽、CPU 处理时间、存储容量等。实际应用中,网络带宽是非常有限的,CPU 的处理能力、系统的存储容量也不可能无限扩展,因此资源问题成为大型分布式多媒体监控系统提供良好服务和扩展能力的瓶颈。

当资源足够的情况下,监控系统能够提供优质服务,例如多路实时的本地和异地预览、存储、回放等。一旦出现资源临界状态或资源不足情况,系统所提供的各类服务的质量将大幅下降。为此,如何在有限资源情况下,最大程度地保障系统所提供的各类服务的质量就成为系统研究的主要问题之一。

本文根据当前分布式多媒体系统服务质量的研究状况,确定了系统的 QoS(Quality of Service,服务质量)研究的主要问题;根据大型多媒体监控系统本身的具体需求,提出了集群式监控的网络拓扑结构;采用层次模型的思想方法,分别构建了集群式多媒体监控服务端点和客户端点的 QoS 管理模型;基于 CORBA(Common Object Request Broker Architecture,公共对象请求代理结构)技术建立了一个资源管理与质量保证系统,实现系统中各端点内部以及各个端点之间的资源管理,保证系统在有限资源情况下仍能提供较好的 QoS。

2 研究现状

国内外有许多针对网络多媒体系统服务质量方面的研

究,它们可以划分为以下几类:

①IP QoS,即网络 QoS 的研究,例如 IETF 的综合服务(IntServ)和区分服务(DiffServ)^[1]。IP QoS 主要针对 Internet 的尽力而为服务的缺陷提出的,通过给予网络运营商对网络资源的控制权来传送有保证的区分式 Internet 服务,其研究主要集中于路由器的资源分配算法、分组调度和分组丢弃机制、QoS 路由选择策略等方面;

②操作系统层面的 QoS 研究,其目标是操作系统能同时提供多种区分服务等级的服务,研究多集中于新一代操作系统中 QoS 的实现,主要的原型系统有 Nemesis, TAO, Rialto 等^[2,3];

③服务质量体系结构的研究,当前的研究多是基于自定义的操作系统、网络结构和协议,例如宾州大学的 OMEGA 系统、IBM 欧洲网络中心的 Heidelberg QoS 模型等,这类系统均采用层次模型,在层次之间映射 QoS 参数。

以上针对网络多媒体系统服务质量的研究极大地推动了该类系统的应用,为进一步的研究奠定了坚实的基础。

当前,新一代的路由器和交换机都不断地加强对 IP QoS 的支持力度,其理论与算法较为成熟,对于多媒体监控系统需要研究如何获取相应的 QoS 保证,为多媒体信息的网络传输提供一个相对可靠的通道。

操作系统层面的 QoS 研究多基于改变操作系统的核心组件,其实用性和通用性较差。对于多媒体监控系统需要考虑针对当前流行的操作系统来实现操作系统的软 QoS 扩展,保证各个端点资源的有效调度。

实际的大型多媒体监控系统中需要考虑如何基于流行的操作系统、存储结构和网络协议,构建相应的资源管理与质量保证的层次模型。

3 系统的拓扑结构研究

传统的多媒体监控系统多采用基于单播技术的客户/服务器模型,但随着系统容量的扩展,它将带来严重的负载及性能问题,例如网络路由器和主干网的流量过载。为解决大系统

^{*} 本文受国家高技术研究发展 863 计划专项经费(2001AA114142)、国家自然科学基金重点项目(69935010)和教育部优秀青年教师计划的资助。范圣印 博士生。张光卫 博士生。周 兵 副教授。李 波 教授,博士生导师。

及其扩展性问题,本文采用基于组播技术的客户/服务器模型作为系统构建的基础。

多媒体监控系统内的各端点分为两类:服务端点和客户端点。服务端点是指能提供视频的端点、提供存储空间的端点或者提供系统管理的端点。多个服务端点组成一个集群的服务系统,它们对客户端点是透明的。服务端点对网络和本机资源的要求较高。客户端点是指直接向用户提供一些简单功能的端点,其功能包括远程实时预览、远程检索回放、部分前端控制功能等,对网络和本机资源的要求较低,可以是普通的计算机、便携机,可以通过 PSDN、ISDN、Intranet、Internet 等多种方式接入到服务端点所在的网络中。

本文所构建的系统的拓扑结构如图 1 所示。

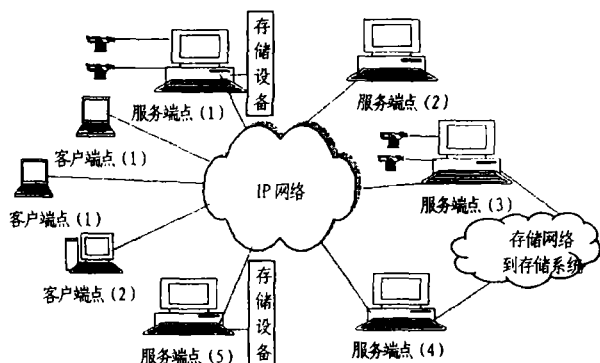


图 1 集群式多媒体监控系统拓扑结构

图 1 中的多个服务端点组成了系统的核心部分,即集群服务系统。集群服务系统内各端点间的互操作和访问能力不受地域和距离限制,但受系统的安全机制和各端点的权限控制。当前,存储系统的结构由面向总线的连接结构逐渐转向面向网络的存储结构^[4],但很长一段时间内将是两种存储结构共存的局面。本文系统的拓扑结构中充分考虑了这一发展趋势。服务端点(1)是指连接前端设备(摄像机、云台等)并有存储设备的端系统;服务端点(2)是指提供系统安全机制、用户认证和管理的端系统;服务端点(3)是指连接有前端设备(摄像机、云台等)并连接到存储区域网络上的端系统;服务端点(4)是指连接到存储网络上提供存储功能的端系统;服务端点(5)是指通过其自身存储设备提供存储功能的端系统。

各客户端点对集群服务系统的访问是透明的,其访问能力也不受地域和距离限制,但受系统的安全机制、用户权限和级别控制。客户端点(1)是指移动的安装有客户端程序的便携式系统,能向客户提供远程预览、远程服务端的前端控制、远程检索回放功能;客户端点(2)是指位置相对固定的安装有客户端程序的普通计算机系统,提供与客户端点(1)相同的功能。

4 服务端点 QoS 管理层次模型

集群服务系统是集群式多媒体监控系统的核心,服务端点对网络及其自身资源的要求较高,其运行状况决定着系统所提供的服务的最终质量。

对于集群服务系统的各个服务端点,综合考虑客户端点的应用需求、本地资源(OS 系统、CPU、内存、显卡)、网络资源和存储资源,采用层次模型,构建如图 2 所示的服务质量管理层次模型。该模型主要由 3 个层面构成:

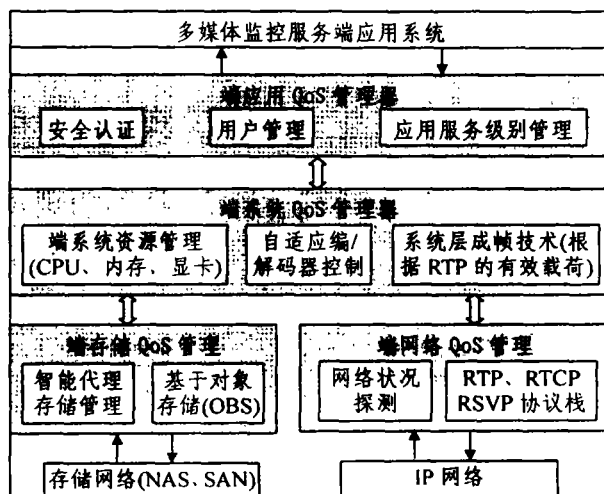


图2 服务端的服务质量管理层次模型

顶层为端应用 QoS 管理器,提供面向应用的高层 QoS 接口,实现应用层服务级别的区分与管理,负责服务端点系统与客户端点系统的安全认证与管理,以及用户权限管理。

中间层为系统层 QoS 管理器, 主要实现对当前流行操作系统的软 QoS 扩展, 首先建立对本地资源 (OS 系统、CPU、内存、显卡) 的统一管理与调度的机制; 其次针对网络层反馈的网络状况参数, 实时控制媒体编码系统, 自适应地调整输出码率, 保证好的音频和视频效果; 再根据网络层的 RTP 的有效载荷说明和系统当前的编码系统 (JPEG/MPEG-1/ MPEG-2/ MPEG-4/H. 263) 来产生网络层的发送数据帧^[5~7]。

底层有两个独立的子层面:网络 QoS 管理部分和存储 QoS 管理部分。网络 QoS 管理部分负责网络资源状况的探测,网络 IP QoS 保证的获取,RTP、RTCP、RSVP 协议的实现与控制以及 RTP 有效载荷说明的反馈;存储 QoS 管理部分主要实现智能代理存储管理,即实现分布式的数据移动、数据同步、数据冗余备份镜像等功能,同时实现基于对象的存储,创建一个可以自管理的存储子系统,能针对不同的上层需求级别提供不同的服务和存储带宽资源,应能适应本地存储结构和网络存储结构。

5 客户端点 QoS 管理层次模型

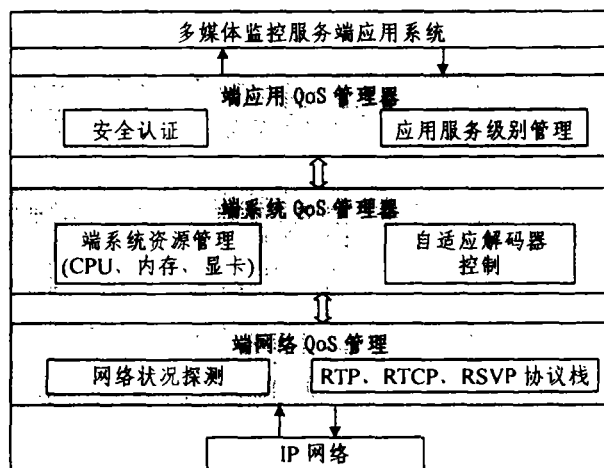


图3 客户端的服务质量管理层次模型

客户端点对网络和本机资源的要求较低,可以多种方式接入到服务端点所在的网络中。客户端点系统中远程预览和

远程回放的质量主要受网络和自身资源的限制。对于客户端服务质量的管理,建立如图3所示的层次模型。该模型主要由3个层面构成:

顶层为应用层 QoS 管理器,提供面向应用的高层 QoS 接口,负责客户端系统向服务端系统的安全认证;

中间层为系统层 QoS 管理器,主要实现对操作系统的软 QoS 扩展,建立对本地资源(OS 系统、CPU、内存、显卡)的统一管理与调度的机制,同时针对网络层反馈的网络状况参数,实时控制媒体解码系统,自适应地解码显示,保证好的音频和视频效果;

底层网络 QoS 管理器负责网络资源状况的探测,网络 IP QoS 保证的获取,RTP、RTCP、RSVP 协议的实现与控制。

6 服务质量管理的实现

基于 CORBA 技术建立一个有效的资源管理与质量保证系统,实现分布式多媒体监控系统中各个端点内部以及各个端点之间的资源管理,保证有限资源情况下的 QoS。

这里,基于 CORBA 的 QoS 管理系统是指在 CORBA 标准接口的基础上,根据分布式多媒体监控的各种服务要求,结合多媒体传输协议 RTP/RTCP 的实现和其它技术,建立多个满足服务端和客户端 QoS 管理层次模型的分布式对象,实

现各个端点内部以及各个端点之间的资源管理。

CORBA^[3]是由 OMG (Object Management Group) 提出的分布式对象的概念,目的是为面向对象的应用提供一个通用的框架结构。CORBA 对象具有平台无关性、语言无关性等特点。在不同平台上,用不同语言开发的 CORBA 对象能够彼此通过网络进行通讯。CORBA 的目的是通过封装在 ORB 中的各种功能,解决多个进程之间通讯的问题。CORBA 技术作为实现分布式对象思想的一种手段,满足分布式对象概念提出的各种要求。客户端程序在网络的任意位置通过方法调用,都可以激活服务端上某个对象的指定应用。

总的来讲,CORBA 的运行效率不高,通过 CORBA 直接来进行多媒体数据传输效果欠佳。我们采用将 CORBA 管理结构与 RTP/RTCP 多媒体传输协议实现相结合的方法,这样就回避了 CORBA 的多媒体传输效率较低的问题。利用 CORBA 来实现系统中各种功能模块的命令交互和各个层面间的 QoS 参数的映射,保证系统的结构分明,功能划分清晰;通过 RTP/RTCP 协议来完成多媒体数据传输。

通过将系统的各功能封装在多个即插即用的 CORBA 对象中,可以很方便地根据实际应用的需要对这些对象进行组合,形成一个新的系统,并可以通过增加对象实现应用的功能扩展。这些 CORBA 对象之间的关系如图4所示。

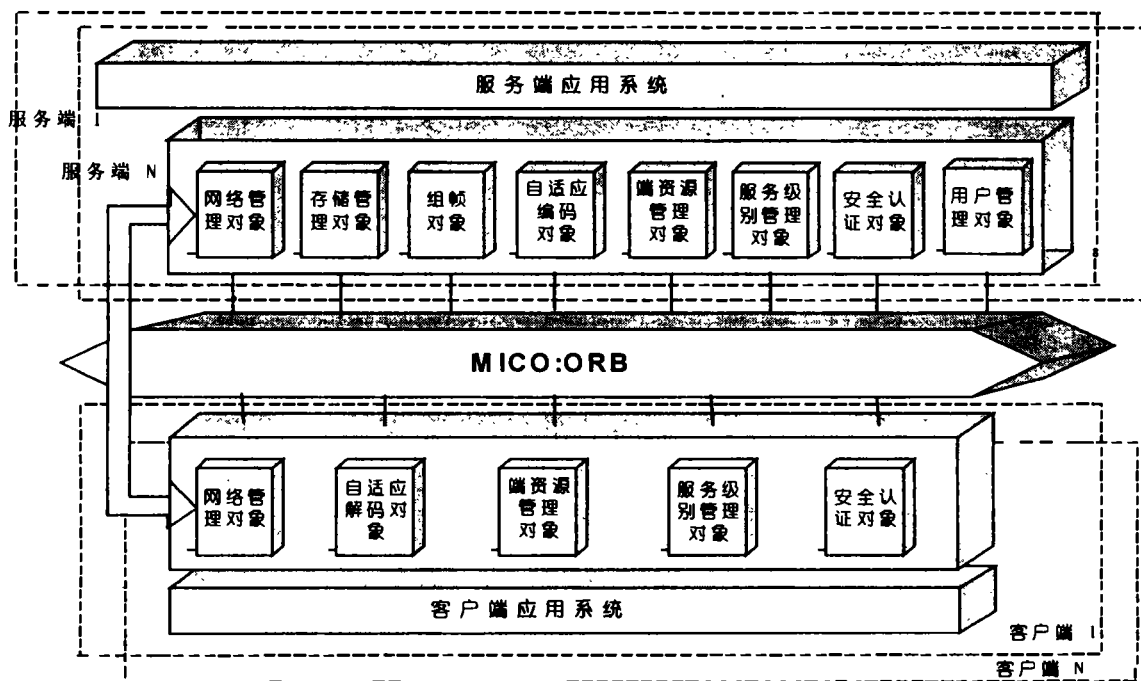


图4 系统的软件结构

整个系统以多个 CORBA 对象构成其分布式体系结构的基础,系统由若干个客户端和若干个不同种类的服务端点组成(当前实现的系统的服务端点类型主要包括服务端点(1)、(2)和(5),即没有考虑存储网络的情况)。客户端点对服务端点的多媒体请求通过网络管理对象提交给服务端点(2)。系统中可能存在多个不同类型的服务端点,它们事先通过网络管理对象进行注册,服务端点之间通过不同的 IP 地址、主机名、类型和所处的位置进行区分。客户端点对服务端点的请求被透明地传递到网络管理对象中,再由网络管理对象搜索并访问服务端点(2),找到能提供相应服务的服务端点,激活服务端点的 CORBA 服务对象,并向客户端点返回合适的代理。一旦客户获得了服务端点对象的代理,便可使用该服务器

上的 CORBA 对象所提供的操作,所有操作对客户端点来说都是透明的。

图4中,ORB 对象总线选用 MICO^[3]。MICO 是一个免费的 ORB 实现,是由 GNU 提供的开放式源码,是 CORBA 2.2 标准的完全实现,已经得到广泛认可,当前在它的基础上开发了相当多的 MICO 应用。每个 CORBA 对象代表一种服务,对外都留有标准的公共接口。

用户管理对象负责增加、删除、修改用户以及用户角色,并为用户分配不同的权限;安全认证对象主要负责信息的加密和解密、用户登陆的身份验证、各类操作的用户权限认证和操作的记录;服务级别管理对象主要负责与用户的交互,将用户的操作转换为应用层的 QoS 参数,并将之映射到系统层的

QoS 管理器,例如客户端对某个场景要求的预览帧尺寸、预览的延时、预览帧率等。

端资源管理对象建立对端点资源(OS 系统、CPU、内存、显示适配器)的统一管理与调度的机制。对于 CPU 的资源管理,通过线程优先级的调整,采用实时调度算法 EDF(Earliest Deadline First,最早截止时间优先)^[10]分配时间片,为不同服务级别要求的媒体流任务;为减轻 CPU 的负荷,将显示处理移交显示适配器处理;对显示适配器资源的调度,基于 DirectDraw 技术^[11],采用 EDF 算法分配和切换画面缓冲区。

自适应编码对象根据网络管理对象反馈的网络状况参数(带宽、丢包率、延时)来控制编码器,当前的编码器是基于 MPEG-1 压缩方式的。当带宽较高时,编码对象输出系统流(由音频和视频包组成),通过调整输出码率来动态地适应带宽的变化;当带宽较低时,考虑到端点的存储服务要求,编码器输出的仍为系统流,此时自适应编码对象滤掉音频包,剔除系统层的数据,得到纯视频码流,然后根据网络状况和当前的输出码流确定输出帧率,对视频码流进行抽帧处理。这样,在带宽较低的情况下,就可以采用输出码率和输出帧率相结合的方法来自适应网络状况,保证了客户端点的视频质量。如果客户端点有音频要求,低带宽状况下,自适应编码对象仅输出音频码流。

组帧对象根据网络管理对象的 RTP 的有效载荷说明和系统当前的编码系统(JPEG/MPEG-1/MPEG-2/ MPEG-4/ H. 263)来产生网络管理对象的发送数据帧。这里采用了 Clark 和 Tennenhouse^[12]提出的应用级成帧 ALF(Application Level Framing)和集成层处理 ILP(Integrated Layer Processing)原则。当前系统实现的仅是 MPEG-1 的编码和传输,当网络管理对象探测到的网络状况较好,需要传输 MPEG-1 系统码流时,严格按照 MPEG-1 编码器输出的包来打 RTP 包,即一个 MPEG-1 包对应一个 RTP 包。当网络带宽较低时,网络管理对象发送的是纯视频帧或纯音频帧。考虑到小包优先的状况,将每个数据帧分成 N 个较小的 RTP 包发送。客户端点得到所有这 N 个小的数据包后,将它们组成一个帧进行解码播放。对于视频帧,根据不同的帧类型采用不同的处理级别,I 帧最重要,必须是有保证的,P 帧次之。

网络管理对象负责 RTP、RTCP、RSVP 协议的实现与控制,网络状况的探测及反馈,组播组的管理,RTP 有效载荷说明的反馈以及网络 IP QoS 保证的获取。当前的系统仅针对 MPEG-1 码流实现了 RTP 和 RTCP,通过 RTCP 探测网络状况,RTP 传输打包的媒体流,在局域网内实现了 IP 多路选播技术,达到可以进行数据组播、单播、广播的目的。对非局域网的客户端点和远程回放的客户端点仅进行单播。

存储管理对象当前仅实现了本地存储资源的管理和调度,主要完成多媒体文件的存储、循环删除、本地及异地的多媒体文件的查询和回放功能。存储管理对象根据监控点(通道)的存储质量要求(码流、帧率)、存储时间(保留天数)要求和系统的存储容量和空间分布,确定存储调度、备份和循环删除策略,可根据得到的一组或多组检索条件(日期、场景)向相应的多个客户端点同时提供远程回放服务。

客户端点的自适应解码对象根据网络管理对象的 RTP 的有效载荷说明,确定合适的解码器。由于客户端点的系统硬

件配置差别很大,系统性能差别较大,为此根据视频帧类型对 I、P、B 帧采用不同的管理策略:I 帧最重要,采用有保证的 QoS 策略^[10];P 帧次之,B 帧再次之,采用统计 QoS 策略^[10]。

本文实现的 QoS 管理系统对以 MPEG-1 为编码方式的集群式监控系统取得了良好的应用效果,系统能自动地适应多种网络带宽(从电话拨号的 56kbps 的 PSDN,到 128kbps 或 128kbps ISDN,及 10Mbps 和 100Mbps 的局域网)来分别提供不同质量的实时预览、远程回放等服务(0.5 帧/s 中等码率的纯视频、2 帧/s 中等码率的纯视频,到流畅的多路、高码率的音视频混合码流)。

结束语 本文针对大型多媒体监控系统的特点和需求提出了集群式监控的网络拓扑结构,研究了集群式多媒体监控系统 QoS 管理的层次模型,基于 CORBA 技术建立了一个资源管理与质量保证系统。当前实现的 QoS 管理系统在以 MPEG-1 为单一编码方式的集群式监控系统取得了较好的应用效果,但它实际上是集群式多媒体监控系统 QoS 管理层次模型的一个简化的实现,还有许多有待解决的问题。例如,网络 IP QoS 的获取和保证;实时甚至预先的网络运行状况的探知;成帧对象功能的扩展,对 MPEG-2、MPEG-4、H. 263 等编码方法,组帧的研究和实现;基于存储网络的存储管理对象的研究和实现等。这些,也正是笔者进一步研究的课题。相信随着研究的深入,QoS 保证系统将会得到不断的完善。

参 考 文 献

- 1 Vegesna S. IP 服务质量. 人民邮电出版社,2001
- 2 Chu Hao-hua. CPU Service Classes; A Soft Real Time Framework for Multimedia Applications; [Ph. D. thesis]. Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, Aug. 1999
- 3 Jones M B, Barrera J S III, et al. An Overview of the Rialto Real-Time Architecture. In: 7th ACM SIGOPS European Workshop, Sep. 1996
- 4 Farley M. SAN 存储区域网络. 机械工业出版社,2001
- 5 RFC 1890. RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control
- 6 RFC 2250. RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video
- 7 RFC 3016. RTP Payload Format for MPEG-4 Audio/Visual Streams
- 8 Mowbray T, et al. Authors, The Essential CORBA. John Wiley & Sons; ISBN: 0471106119, Aug. 1995
- 9 Romer K, Puder A. MICO is CORBA--CORBA 2.2 Implementation. University Frankfurt FB Information, International Computer Science Institute Berkeley, Morgan Kaufmann Publishers; ISBN: 3932588428, Dec. 1998
- 10 谷云洪. 视频回放的关键技术研究; [北京航空航天大学硕士学位论文]. 2001
- 11 Barga B, Donnelly P. Inside DirectX 从入门到精通. Microsoft PRESS
- 12 Clark D D, Tennenhouse D L. Architectural considerations for a new generation of protocols. in SIGCOMM Symposium on Communications Architectures and Protocols, (Philadelphia, Pennsylvania), IEEE, Sept. 1990. Computer Communications Review, 1990, 20(4): 200~208