

28-33

计算机科学 1999 Vol. 26 No. 1

宽带通信

B-ISDN

ATM

Internet网

体系结构

C

支持实时宽带通信的 Internet 网络控制体系结构^{*}

The Control Framework of Internet Network to Support Real-Time Communication

黄锡伟

毕厚杰

(上海交通大学电子工程系 上海 200030) (南京邮电学院信息工程系)

TN913.24 TP393

Abstract As rudiments of Global Information Infrastructure, Internet is going to support progressively multimedia services such as audio, video, image and data etc. But based on the transfer mechanism of datagram and the routing mechanism of hop by hop, Internet cannot provide real time service well. Based flow model of multimedia traffic, logical composition of broadband network and control interface of network, we give all new framework of Internet affording real-time communication services.

Keywords Real time Internet network, Broadband network, Multimedia services

1 引言

目前从理论上只有基于 ATM 技术的 B-ISDN 可以支持实时宽带通信, 满足各种业务的 QoS 需求(带宽, 信息传输的延时、抖动和差错率)并且能够具有较高网络利用效率。前者意味网络必须采用面向连接的资源预留策略, 后者说明必须采用分组复用技术。但 B-ISDN 体系结构过于复杂, 协议的完备、设备的制造、市场的推广尚需相当长的时间, 而且 B-ISDN 网络是无法从现有运作的通信网络上进行改造获得, 所以虽然 B-ISDN 被理论界看重, 但网络界的反应并不非常积极^[1~4]。

与 B-ISDN 相反, 被网络界看好的 Internet 网络试图提供包括话音、数据、图像和视频各种媒体传输, 但基于数据报业务方式 Internet 在满足网络高效动作同时却无法很好提供实时业务特别是宽带业务的 QoS 需求。目前实现 Internet 网络上实时业务通信有两种方法: (1) 基于现行网络协议, 改变用户终端媒体编码和解码实现技术, 例如面向组播的 mBone 网络^[5]和 Internet 上话音业务^[6], 这种方式只能在网络轻负载运行情况下提供低比特实时通信业务的支持; (2) 改造现有网络中的控制和管理体系结构, 目前 IETF 提出的各种改进性协议如资源预

留协议 RSVP^[7]、实时传输协议 RTP^[8]等, 目的是在兼容现有协议基础上改变 IP 网络设备的管理和控制工作模式。这是 Internet 网络迈向综合网络的第一步。但由于以上协议的制定都只是从某个角度或局部范围对 IP 网络协议改进, 从考虑兼容性出发这是可取的。如果从宽带通信业务角度出发, 必须重新考察基于 Internet 网络工作机制, 设计适合 IP 网络的管理和控制结构。

本文在基于宽带通信网络控制结构的基础上, 剖析 TCP/IP 协议簇中不适合实时业务和宽带多媒体业务的原因, 推导出新一代 Internet 网络中所必须具备网络控制体系。结合 IETF 提出的改进协议, 给出如何进一步改造目前的 TCP/IP 控制结构逐步适合实时业务通信。

2 宽带通信网络控制结构

宽带通信网络的发展应该吸收支持实时通信的电路交换网络(如电话网络)和支持业务复用的分组交换网络的优点, 即在网络高效运行前提下提供各种不同 QoS 需求的业务接入。在分析宽带通信网络控制体系之前, 有必要考察网络支持的业务流量分层模型, 信息传输过程可以分为: 呼叫级、突发级和分组级。

^{*} 信息产业部科技发展项目支持。黄锡伟 讲师, 博士生, 目前研究领域为 ATM 网络流量控制、吉比特级路由器和 Internet 上的实时通信。毕厚杰 教授, 目前研究领域为图像和多媒体通信与宽带接入网络。

呼叫级描述通信网络中呼叫到达和离去事件流特点,电路交换网络是在呼叫级进行控制的实例,在呼叫级上进行控制时,网络根据呼叫是否存在分配相应的网络资源,呼叫级控制并不考虑网络资源利用效率。呼叫级控制操作主要发生在网络中呼叫开始和结束时刻,所以网络处理的负担相对比较简单,但如果仅在呼叫级进行控制,则网络只适合呼叫过程中流量不发生很大变化的业务,并不适合于具有突发特征的业务。

突发级描述在呼叫过程中信源是否有信息发送状态,在电路交换中可用以描述传输资源利用效率,在分组交换网络中由于处理对象是分组,突发级只是反映发送端向网络输送的信息量多少,对于信源而言,突发级描述实际给出呼叫过程中信息产生的特性参数。

分组级描述是发送端向网络输送一个分组开始和结束事件流特点,分组交换网络是在分组级进行控制的实例,在分组级上进行控制时,网络根据链路是否空闲决定分组是否传输,这种方式便于实现网络资源共享。但由于用户数据传输延时是和网络负载有关,所以一般无法实现实时信息快速传输,同时由于网络控制粒度是“数据分组”,网络控制开销一般比较大,所以限制网络可承受负载量。

宽带通信网络必须支持实时连续媒体和数据类业务并能够高效利用网络资源,这就意味着宽带网络必须能够在网络级和分组级上同时进行控制。宽带网络在呼叫级上进行控制是指必须能够根据呼叫的 QoS 需求申请相应的网络资源,网络控制单元必须在呼叫开始时可以根据网络当前所处状态决定是分层次名

否能够接收呼叫,这里包括以下内容:各种业务 QoS 表示、基于 QoS 的路由选择、连接路由上的资源预留以及通信过程的监测过程。在分组级上进行控制是网络中各连接过程共享网络资源必要前提,宽带通信网络支持业务突发程度变化非常大,只有采用分组交换方式才有可能满足以视频为主要特征的宽带业务对带宽的需要。另外,分组级控制意味着在信息传输过程中监视呼叫双方传输的码流不多占网络资源。

宽带通信网络一般是作为综合业务通信平台,不同类型的呼叫过程具有不同的传输码率、误码率、持续长度需求。在当前软件和硬件条件下,网络控制设备无法针对任意呼叫过程都分配一个控制进程,以用于分配链路传输带宽和节点缓存并监控信息传输等操作。从简化控制和满足多媒体通信角度出发,有必要对网络中通信过程进行“聚类归并”,对相同和相近 QoS 需求业务采用相同方式进行处理,这种处理策略称为对通信连接的“成组控制”,可以看到,成组控制处理对象是“呼叫组”,这样宽带通信网络中信息模型必须在呼叫级上再外加一层“呼叫组级”作为对网络中特定类呼叫的描述。在电话交换网络中由于处理对象仅有电话业务,所以可以认为它是将整个网络的业务控制作为同一层次考虑,即整个网络中只有一个呼叫组,而分组交换网络中默认网络节点运作速率比较低,网络只是简单将每一个呼叫过程作为独立对象处理,即将“呼叫组”和“呼叫”作为相同对象处理。

以上业务流模型侧重于网络对信息控制对象的分层(如图 1 所示),并没有考虑到呼叫信息在网络相应层次上可能完成的操作

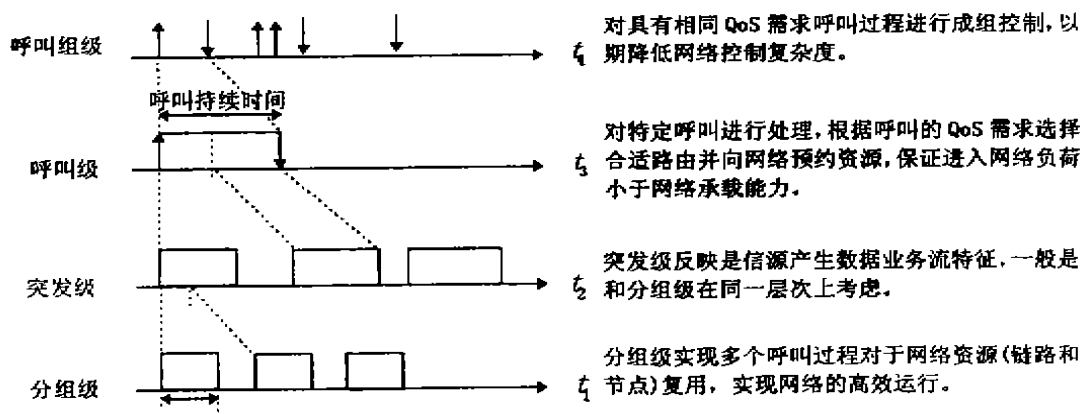


图 1 宽带通信网络中业务流量模型和相应的层次控制

中实际传输的比特流格式(如链路层帧格式)和物理层上的电平信号格式。业务流每个层次控制执行的频度是不相同的,例如对于呼叫级的控制操作频度是和呼叫到达和离开事件相对应的,分组级的控制操作频度则是和分组到达网络事件相对应的。

分析业务流模型,可以看到:在业务流模型中呼叫级和突发级是任何呼叫业务固有特性,分组级是为了将具有突发特性业务量适配到网络进行传输引入的流量层次,呼叫组则是从网络角度为降低控制复杂度引入的流量层次。窄带或专用业务网络一般只在某一层次上控制,宽带通信网络则必须在所有各个层次上进行管理和控制。不同层次之间存在关联:

(1)呼叫组级控制的引入可简化呼叫级控制。呼

叫组级实际是对网络资源进行分维处理,按照呼叫组的 QoS 需求,将支持所有业务的全局通信网络映射成为仅适合该业务的逻辑网络。这样呼叫级控制过程所面临的是逻辑网络而非全局物理网络,这实际是将问题域空间缩小了。

(2)分组级控制将兼顾呼叫级中引入的概念。分组级控制在原理上侧重于资源的复用。但呼叫级控制是将特定呼叫过程作为对象进行路由选择和资源预留,所以在分组级上必须能够保证特定呼叫过程按其在呼叫开始时所作的申请完成信息传输。

业务量模型是宽带通信网络控制的基础,网络控制实现是将上述分层控制过程设置在不同的网络组成单元的过程。这就涉及到通信网络组成和网络控制接口,如图 2 所示。

通信网络

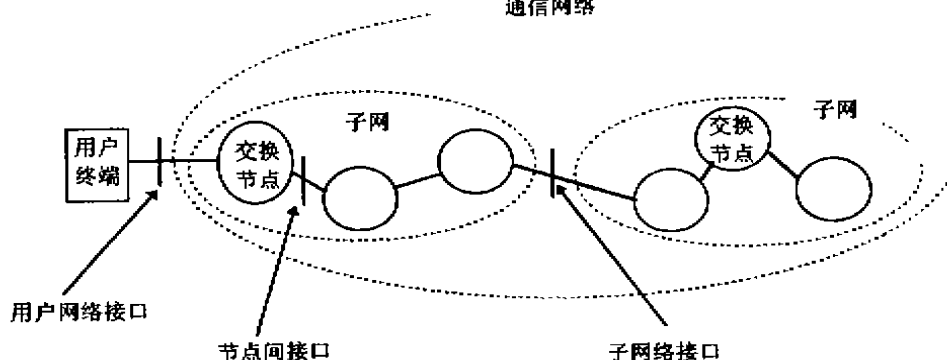


图 2 通信网络组成和控制接口

通信网络组成单元层次上可以分为链路级、节点级、子网级和网络级,分别表示网络控制从局部到总体,上级控制单元一般仅需了解近邻下级控制单元的状态,并对其进行控制,例如网络资源利用情况的依据是各子网应用状态,不必进一步查询网络中所有链路和节点的工作状态。

通信网络从控制接口上可以分为用户网络接口、节点间接口和子网间接口,表示网络控制可设置位置。通信网络控制接口和网络分层次组成模式是相对应的,用户网络接口是关于用户和网络级间控制,节点间接口是关于交换节点之间和相应链路控制,子网间接口是关于子网间和相关链路控制。

宽带网络业务流量三个控制层次(呼叫组、呼叫和分组)可以和不同层次网络组成单元相对应。呼叫组可对应网络级和子网级,完成的相应控制是将网络和子网资源根据不同业务的 QoS 需求进行映射;呼叫级控制也可在网络级和子网级上进行,实现不

同范围内用户(指子网内或跨多个子网)的信息传输;分组级控制则设置在网络节点和链路处,保证传输资源和交换资源被合理使用。

宽带网络业务流量控制层次和网络控制接口关系则在于:用户网络接口完成呼叫级和分组级控制,根据网络资源利用情况和业务的 QoS 需求确定是否接入呼叫,并且在呼叫过程中确保进入网络的信息量不超过网络的可以承受的负载能力;节点间和子网间接口完成分组级的控制,在通信过程中保证业务的 QoS 需求同时保证网络高效运行;呼叫组控制实现网络资源映射,所以一般只在子网间接口和某些节点间接口处完成。

3 新一代 Internet 网络控制结构

作为全球信息高速公路 GII 雏形的 Internet 网络实现不同网络的硬件和软件资源共享,由于进行互联的计算机网络运行机制各不相同(链路层上有

不同的实现方案),所以 Internet 网络协议簇只能在网络层统一不同子网的分组格式和传输方式。IP 层上采用分组方式进行跨网络信息传输,可以保证网络高效运行,但由于 IP 协议运作在不同实现技术的 IP 子网上,所以导致分组方式采用的是逐站寻径(hop by hop routing)方式即面向非连接数据报方式实现信息传输和网络控制。任何呼叫过程的信息分组(数据报)在网络中独自寻径,采用的“尽力传输(best effort)”方式传输信息。分组传送到接收端的时延、顺序和准确性是和分组传送所经 IP 子网的负载情况和可靠性相关的,在网络层上 IP 协议是无法保证的。由于 Internet 网络首要任务是支持计算机之间的数据通信,必须保证端到端信息传输的可靠性即低误码率,这是通过在 IP 层上设置传输控制协议(TCP)实现的。TCP 协议是在呼叫的用户端对传输分组信息进行流量控制和差错控制协议,本质上在业务流量的分组级完成工作,但操作是在用户端进行的。网络节点并不介入处理,这对于实时业务通信是远远无法满足的。另外如果默认 IP 层能够可靠传输数据,可以采用另一种传输层协议—用户数据报协议(UDP)实现端到端快速无控制的传送。可以看到 Internet 网络控制方法和宽带通信网络的业务流量控制模型相比尚缺乏许多机制用以保证实时宽带多媒体业务,具体而言:

(1)网络控制对象是分组,没有对业务呼叫级对象进行控制。只要用户提出申请,网络将尽力完成信息传输,但并不保证业务 QoS 需求。这种控制方式只适合低速率数据通信需求,无法支持音频、视频等连续媒体的业务,所以须引入呼叫级控制。

(2)在网络传输分组过程中,不区分来自不同呼叫的分组,对所有的分组采用同样策略处理,没有针对不同呼叫对传输延迟、带宽和差错率需求采取不同的处理策略(如缓存排队方式、分组丢弃方式等)。

(3)由于上述控制方式和 Internet 网络结构可以动态变化的默认前提,更没有针对不同业务的 QoS 映射网络资源,即在呼叫组上进行控制。

Internet 网络为了支持实时通信业务必须根据宽带网络的业务特征,修改和增加相应的控制层次。考虑到 Internet 是目前实际运行全球互联的计算机网络,协议变动须考虑与现有协议的兼容,保证网络的逐步进化和过渡到可支持实时通信业务。

3.1 呼叫组级控制

呼叫组级控制完成网络资源分维处理,即根据网络业务的 QoS 需求构建适合不同业务网络资源

映射。呼叫组控制包括网络支持业务分类、呼叫组级资源分配处理策略以及呼叫组控制设置位置等三方面内容。

呼叫组级上资源映射前提必须明确网络可支持的业务种类,不同网络对于接入业务有不同划分,B-ISDN 网络将所有通信业务分成 4 类即:定比特率或恒比特业务 DBR/GBR、统计比特率或变比特业务 SBR/VBR、适宜比特率业务 ABR 和非确定比特率业务 UBR^[2,16]。作为支持实时通信的 Internet 网络目的是作为所有通信业务的公共的传输平台,所以也可将上述 4 种业务的划分作为 Internet 网络呼叫组控制考虑的出发点。目前 IETF 将 Internet 业务分成质量可保证和质量不可保证两类。其中,质量不可保证业务即是当前 Internet 网络运作的方式,而质量可保证业务则是指网络可满足业务 QoS 的需求,所以又称 QoS 业务^[11],可以看到 QoS 业务实际包括了 ATM 网络中 DBR/GBR、SBR/VBR 以及 ABR 类型。目前在研究第 2 代 Internet 网络时主要有连续媒体业务和尽力传输业务两类,其中连续媒体业务是 QoS 业务中最为复杂的业务。

呼叫组级的根本任务是简化呼叫控制,其核心是将网络资源根据呼叫种类进行划分。对于特定的业务网络资源的映射可以根据子网间和子网内该业务流量特点,设置子网间的带宽、规划子网内路由以及相应带宽分配。由于呼叫组级是通过为映射网络资源以减少呼叫过程中开销,必须降低呼叫组级上资源设置分配频度。呼叫组资源重新分配是和网络中该呼叫种类需要网络资源相关的,如果呼叫组级分配的资源大于需要网络资源,可减少呼叫组上控制执行频度,但却降低了网络复用效率;如果呼叫组级的资源接近或小于网络资源,导致呼叫拒绝(用户满意度降低)或频繁进行呼叫组控制操作而增大控制开销。为此,在进行网络资源分配处理时必须考虑到平衡呼叫组级进行资源预留导致资源浪费的代价和资源频繁设置导致控制成本增加这两者的矛盾。

呼叫组级资源分配处理过程是在通信网络中所有相应的网络节点和传输链路上分配交换资源和传输资源,由于 Internet 网络中子网的运作机制的不同,完成这样的操作比较困难。如果子网是基于共享媒体访问的局域网,则子网本身无法保证业务的 QoS。此时一方面可以改造 LAN 的接入机制,另一方面在 LAN 互联边界一路由器中设置测试和控制单元用以保证子网中出现的过载数据量不向其他网络扩散,在这种结构中呼叫组控制一般设置在子网

边界。如果子网是基于交换机制的,当子网覆盖比较大的地域时,子网节点分为核心层、接入层和用户层,接入层和用户层一般容量比较小,完成呼叫级控制,核心层节点间通信业务量比较大,另外由于许多呼叫过程的复用导致网络流量呈现某种特定规律,适合作呼叫组级资源映射。可以看到,在 Internet 网络中,网络节点将根据其处理能力和处于的位置,分为呼叫组级处理和呼叫级处理。呼叫组级处理可设置在子网间的边界节点处和交换型子网核心节点处。

3.2 呼叫级控制

呼叫级控制是在呼叫到达时判决网络是否可以接收呼叫,如果可以则预约网络资源,否则网络与用户进行再协商或者拒绝用户呼叫请求;同时呼叫级控制还包括在呼叫结束时释放呼叫过程占用的网络资源。

呼叫级控制默认前提是能够标识呼叫开始和结束状态,并约定网络能够对一个呼叫所有分组采取同样方式处理。对于前者的直观解决是用户向网络发送信息指明通信开始和结束,电路交换网络采用这种方法。但为了和目前用户协议兼容,可采用网络测试方法,网络根据在特定的时间段用户是否发送数据信息或控制信息而获得呼叫事件的状态。对于后者意味着网络必须能够统一标识一个呼叫过程中所有分组。在采用虚电路方式的分组交换网络中对于呼叫信息流是由逻辑通道号标识的,但 Internet 中由于采用数据报方式,并没有对呼叫信息流标识。支持实时业务的 Internet 网络必须能够标识呼叫并规定同一呼叫的分组按照同一路由传递。IPv6^[22]、RSVP^[7]和 RTP^[8]协议中是通过“流(flow)”标识的。可以看到对于 Internet 呼叫过程标识呼叫开始和结束,并对一个呼叫的所有分组采用“流”标识,实际是在呼叫级上将原有面向非连接通信过程改造成面向连接过程,便于网络的管理和控制。

用户呼叫是否被网络接收涉及到网络当前资源利用状态和呼叫的 QoS 需求。呼叫组级对于网络资源映射可以简化呼叫级的判决过程,但呼叫信息传输过程中分组传输的速率是变化的即具有波动性,如果按照峰值分组速率分配显然会浪费网络资源,但是如果按照分组平均速率分配又可能出现当呼叫处于峰值速率时网络无法保证信息传送。这样在进行判决必须能够在一定 QoS 前提下计算单个呼叫所需要的网络资源(如路由器中缓存资源和排队延时,网络上所需要带宽)、网络中相应呼叫组级资源

使用(涉及到多个已有呼叫过程统计复用占用等效资源)以及新呼叫加入后该呼叫组所需带宽,从而判决网络是否可以接收这个新呼叫。

判决网络是否能够接收新呼叫之另一个必须进行的操作是路由选择。呼叫组控制介入会简化寻径的路由选择空间,但映射逻辑网络一般仍存有多条可能路由,所以仍旧存在“路由选择问题”。特别是 Internet 网络中默认网络拓扑动态变化更增添寻径的难度。目前 Internet 网络中使用的“开放最短路径法(OSPF)”等路由选择算法并不符合多业务 QoS 和网络负载平衡的需求,只有采用基于知识和基于业务特性的路由算法才能满足 Internet 综合业务的需求。

如果网络可以接收新的呼叫过程,则必须为该呼叫分配相应传输资源。在网络中控制接口处设置的资源预留数据库中标识呼叫过程申请占用的资源,对于不同类型的呼叫过程将有不同的处理方式。点到点的呼叫过程中,呼叫方和被叫方协商确定资源预留,ATM 网络和电路交换网络采用信息发送方预约资源。点到多点的呼叫过程中,由于发送端将信息传送到多个接收端,是否仍旧采用发送端预约资源是值得商榷的问题。RSVP^[7]协议推荐采用接收端预约,接收端根据其所处的位置(是否可以和其他接收端共享某段接收链路)和本端处理机处理能力(如对于分层编码视频信号是否只考虑接收其基本码流)等决定接入的路由和相应的资源。但我们认为:除非对于发送端无需了解接收端情况的完全广播性业务可以采用接收端预约。对于诸如网络会议和协同工作等多点通信过程,需设置专用的多点控制服务器进行会场进度、用户加入/退出控制以及组通信过程中全局路由选择和资源控制。从资源优化使用和保证通信安全性的角度出发,专用多点控制器(可设置在发送端或由专门的组播服务器实现)预留资源优越于接收端预约方式。

3.3 分组级控制

分组级控制对象是呼叫过程中的分组传送,包括分组在网络中传送控制和端到端分组的控制过程,相对 OSI 协议的链路层、网络层和传输层中部分控制功能。从网络控制全局出发,分组级控制和呼叫级控制实际上是“实现”和“预测”关系,呼叫级根据网络状态和默认预测规则确定网络是否可以接收呼叫并预约呼叫所需带宽,分组级在呼叫级的假设前提下保证呼叫顺利完成,分组级的处理策略就是呼叫级控制中假设部分实现。

分组级对于数据处理实际上是来自发送端的具有突发性数据转换成网络接收的分组形式,对于实时通信媒体业务控制包括以下两方面的内容:

(1) 经过网络传输的数据在接收端被解码是否可以再现原有信息,例如经过网络传输的话音信息是否可实时还原成可接收语音信号。为了保证实时媒体再现,必须能够将连续媒体流中时钟信号传送到接收端,接收端可以根据分组中时戳标记将分组中数据递交给应用层的解码系统。时钟信号的传送和处理在 B-ISDN 网络中是通过 ATM 适配层完成^[1],Internet 网络中则必须由传输层实现。目前人们提出 RTP^[2]协议中已考虑对时钟信号的支持,但没有进一步考虑时钟同步和抖动处理。信息在网络内部传送时,网络节点可以根据分组中时戳标记确定路由器或交换机对分组传送的先后,但是这可能导致网络节点处理负担增加,可采用媒体分类和 FIFO 策略决定分组数据处理次序。

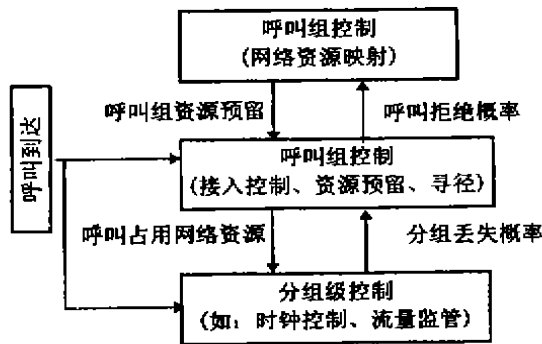


图3 宽带 Internet 网络控制体系

(2) 当应用层编码器产生突发数据超过网络可承载量时网络如何处理。如果在分组级上对过载数据不予控制可能会导致网络的阻塞,同时意味呼叫级上的资源预留、网络预测和路由选择等操作是无意义的。比较可行的方案是在用户网络接口上对分

组数据进行监管处理,保证符合要求的数据快速通过,不符合条件数据进行缓存或丢弃。但是这些操作由于是对数据分组当前业务流特征,如何测试瞬态业务参数并减少对通信过程干扰是一个需要研究的课题。

图3给出支持实时通信 Internet 网络的控制分层结构。

参考文献

1. Eula R. IP on speed Data communication, 1997, 26 (3) 84~98
2. George P. Next generation LAN switched Ethernet's answer to ATM' QoS Telecommunication, 1997, 63~65
3. 黄锡伟,朱秀昌. 宽带通信网络,北京:人民邮电出版社,1998
4. 陈廷标,黄锡伟. 网间网技术及应用,南京:东南大学出版社,1998
5. Hans E. Mbone, the Multicast Backbone. CACM, 1994, 37(8):54~75
6. Handman V, et al. Reliable audio for use over Internet. In: Proc. Inet' 95. Available at: <http://info.usoc.org/itaup/paper/070/abst.html>
7. Bob B, et al. Resource Reservation Protocol (v1). RFC draft, 1997
8. Schulzrinne, et al. RTP, A transport protocol for real time application. RFC 1889, 1996
9. Xuedao G, et al. Control and performance in Packet, Circuit and ATM networks USA. Kluwer Academic Public, 1995
10. James R, et al. Broadband Network Teletraffic. Germany: springer-verlag corp., 1996
11. Broden D, et al. Integrated services in the Internet Architecture, an overview RFC1633, 1994
12. Deering S, Hinden R. Internet Protocol Version 6 specification. RFC1883, 1996