

一种多媒体通信机制——服务质量受控型管道*

王兴伟¹, 才国清¹, 刘积仁²

¹(东北大学 计算中心, 辽宁 沈阳 110004);

²(东北大学 软件中心, 辽宁 沈阳 110004)

E-mail: wangxw@mail.neu.edu.cn

http://www.neu.edu.cn

摘要: 提出一种多媒体通信机制——服务质量受控型管道, 作为基于服务质量的平台层点对点多媒体通信抽象, 以支持分布式多媒体应用的描述与开发. 给出了服务质量受控型管道的形式定义, 详细讨论了其工作过程. 该抽象已经成功地应用于分布式多媒体信息点播系统和分布式多媒体信息系统等. 实践表明, 服务质量受控型管道既可以直接支持点对点多媒体通信, 也可以作为多媒体组通信抽象的基础.

关键词: 分布式多媒体; 多媒体通信; 服务质量; 管道

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

传统通信机制难以满足多媒体通信的 QoS 要求. 为此, 计算机工作者深入研究了如何解决网络层与传送层的多媒体通信问题、多媒体通信的同步问题、通信量的整形问题、媒体调节问题^[1-4]等等. 但是, 总的来看, 仍然缺乏直接支持分布式多媒体应用的平台层多媒体通信抽象. 本文提出一种服务质量受控型管道 QCPIPE(QoS-controlled PIPE), 作为平台层通信抽象, 以方便分布式多媒体应用的描述与开发.

1 QCPIPE 定义

定义 1. QoS 受控型媒体生产者: 一个四元组 $\langle pid, m, qos_p, QCP \rangle$ 是一个 QoS 受控型媒体生产者当且仅当 pid 有能力在 QoS 控制器 QCP(QoS controller of producer) 控制下生产符合服务质量 $qosp$ 要求的媒体 m . 这里, pid 是该生产者的唯一标识符. 该抽象建模媒体源.

定义 2. QoS 受控型媒体消费者: 一个四元组 $\langle cid, m, qos_c, QCC \rangle$ 是一个 QoS 受控型媒体消费者当且仅当 cid 有能力在 QoS 控制器 QCC(QoS controller of consumer) 的控制下消费符合服务质量 $qosc$ 要求的媒体 m . 这里, cid 是该消费者的唯一标识符. 该抽象建模媒体源.

定义 3. 媒体管: 一个七元组 $\langle rid, m, e_1, e_2, qos_{in}, qos_{out}, E \rangle$ 是一条媒体管, rid 是媒体管的唯一标识符, m 代表媒体, e_1 和 e_2 代表媒体管的两个端点, qos_{in} 代表媒体 m 的输入 QoS, qos_{out} 代表媒体 m 的输出 QoS, E 是效应器. 当媒体 m 通过一个端点进入由 rid 标识的媒体管, 在效应器 E 的作用下, QoS 由 qos_{in} 变化为 qos_{out} , 在另一个端点输出, 即 $\langle m, qos_{out} \rangle = E(\langle m, qos_{in} \rangle)$. 该抽象建模通信链路.

定义 4. QoS 受控型连接器: 一个七元组 $\langle bid, m, qos_{in}, qos_{out}, U, V, QCT \rangle$, bid 代表唯一标识符, m 代表媒体, qos_{in} 代表媒体 m 的输入 QoS, qos_{out} 代表媒体 m 的输出 QoS, U 代表输入端口集合, 即 $U = \{inport_i | i = 1, \dots, k\}$, V 代表输出

* 收稿日期: 2000-08-17; 修改日期: 2000-12-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60003006); 国家 863 高科技发展计划资助项目(2001AA121064); 国家教育部现代远程教育教育关键技术与支持服务系统资助项目; 沈阳市科委基金资助项目

作者简介: 王兴伟(1968 -), 男, 辽宁盖州人, 博士, 教授, 主要研究领域为分布式多媒体信息处理, IP/DWDM; 才国清(1972 -), 男, 辽宁锦县人, 工程师, 主要研究领域为计算机网络; 刘积仁(1955 -), 男, 辽宁丹东人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为分布式多媒体信息处理技术与方法学, 组件技术.

端口集合即 $V=\{output_j|j=1,\dots,n\}$, QCT 代表 QoS 控制器, k 和 n 是不小于 1 的整数. 该七元组是一个 QoS 受控型连接器当且仅当满足 qos_{in} 的媒体 m 通过输入端口 $inport_i$ 进入连接器 bid , 在 QCT 的作用下通过输出端口 $output_j$, 输出时满足 qos_{out} , 即 $\langle m, qos_{out} \rangle = QCT(\langle m, qos_{in} \rangle)$. 该抽象既可以建模有 QoS 控制能力的网络节点, 也可以建模端系统通信机制.

定义 5. \bullet 算子: 定义 \bullet 是取元组元素算子, 即, 若 α 是一个元组而 β 是 α 的一个元素, 则 $\alpha \bullet \beta$ 代表取元组 α 的元素 β .

定义 6. $\oplus(p, b, m, qos)$ 操作: $\oplus(p, b, m, qos)$ 是基于 QoS 的 QoS 受控型媒体生产者 p 与 QoS 受控型连接器 b 之间的对接操作, 当且仅当 p 生产的媒体 m 通过 b 输出后满足 qos 要求, 即 $b \bullet QCT(\langle m, p \bullet qos \rangle) \bullet qos_{out} = qos$.

定义 7. $\oplus(b, c, m, qos)$ 操作: $\oplus(b, c, m, qos)$ 是基于 QoS 的 QoS 受控型连接器 b 与 QoS 受控型媒体消费者 c 之间的对接操作, 当且仅当通过 b 输出的媒体 m 满足 c 对媒体 m 的 qos 要求, 即 $b \bullet qos_{out} = qos = c \bullet qos_c$.

定义 8. $\oplus(b, r, m, qos)$ 操作: $\oplus(b, r, m, qos)$ 是基于 QoS 的 QoS 受控型连接器 b 与媒体管 r 的对接操作, 当且仅当从 b 输出的媒体 m 通过 r 后满足 qos 要求, 即 $E(\langle m, b \bullet qos_{out} \rangle) \bullet qos_{out} = qos$.

定义 9. $\oplus(r, b, m, qos)$ 操作: $\oplus(r, b, m, qos)$ 是基于 QoS 的媒体管 r 与 QoS 受控型连接器 b 的对接操作, 当且仅当从 r 输出的媒体 m 通过 b 后满足 qos 要求, 即 $b \bullet QCT(\langle m, r \bullet qos_{out} \rangle) \bullet qos_{out} = qos$.

定义 10. QoS 受控型管道 QCPIPE: 一个八元组 $\langle qcpid, m, p, c, qos, \sigma, \rho, I \rangle$ 是一个 QoS 受控型管道 QCP IPE (QoS-controlled PIPE), 当且仅当 $\forall t(t_s \leq t \leq t_e) \rightarrow (\sigma(p, qos, m, t) \wedge \rho(c, qos, m, t))$. 其中 $qcpid$ 是该 QCPIPE 的惟一标识符; m 是媒体; p 是 m 的 QoS 受控型生产者; c 是 m 的 QoS 受控型消费者; qos 是 p 和 c 就生产与消费 m 达成的 QoS 合同; I 代表 QCPIPE 生命期, 用 $\langle t_s, t_e \rangle$ 表示, $0 \leq t_s < t_e$, t_s 代表 QCPIPE 开始时间, t_e 代表 QCPIPE 结束时间, t_s 非无穷大; σ 是一个谓词且 $\sigma(p, qos, m, t)$ 代表 p 在时刻 $t_s \leq t \leq t_e$ 生产符合 qos 要求的 m ; ρ 是一个谓词且 $\rho(c, qos, m, t)$ 代表 c 在时刻 $t(t_s \leq t \leq t_e)$ 消费符合 qos 要求的 m . 这里, 假设系统计时从 0 开始.

推论 1. I 的存在使 QCPIPE 有能力支持资源预先预约.

定义 11. 有限期 QCPIPE: QCPIPE 是一个有限期 QCPIPE 当且仅当 t_e 是有限正数.

定义 12. 无限期 QCPIPE: QCPIPE 是一个无限期 QCPIPE 当且仅当 t_e 是正无穷大.

命题 1. QCPIPE 是通过 QCPIPE 建立操作 CQP(create qcpipe) 在媒体 m 的 QoS 受控型生产者 p 和 QoS 受控型消费者 c 之间建立起来的.

定义 13. QCPIPE 建立操作: QCPIPE 建立操作 $CQP(p, c, m, qos, I)$ 表示在媒体 m 的 QoS 受控型生产者 p 和 QoS 受控型消费者 c 之间建立支持 c 在 I 期间按 qos 消费由 p 生产的媒体 m 的 QCPIPE. ε 表示空.

$$CQP(p, c, m, qos, I) = \begin{cases} \langle qcpid, m, p, c, qos, \sigma, \rho, I \rangle, & \text{成功} \\ \varepsilon, & \text{失败} \end{cases}$$

图 1 是 QCPIPE 的示意图. 在图 1 中, N 代表网络, ES 代表端系统, QMP 代表 QoS 受控型媒体生产者, QC 代表 QoS 受控型连接器, MP 代表媒体管, QMC 代表 QoS 受控型媒体消费者.

命题 2. CQP 分为推式和拉式两种.

定义 14. 推式 QCPIPE 建立操作: 由 QoS 受控型媒体生产者发起的 CQP 操作称为推式 QCPIPE 建立操作, 支持生产者主动向消费者推送媒体.

定义 15. 拉式 QCPIPE 建立操作: 由 QoS 受控型媒体消费者发起的 CQP 操作称为拉式 QCPIPE 建立操作, 支持消费者主动从生产者拉入媒体.

命题 3. $CQP(p, c, m, qos, I)$ 是通过一次 $\oplus(p, b, m, qos)$ 操作、 n 次 $\oplus(b, r, m, qos)$ 操作、 n 次 $\oplus(r, b, m, qos)$ 操作和一次 $\oplus(b, c, m, qos)$ 操作完成的, n 是不小于 1 的整数.

定义 16. QoS 受控型连接系统: 通过 $(n-1)$ 次 $\oplus(r, b, m, qos)$ 和 $(n-1)$ 次 $\oplus(b, r, m, qos)$ 操作可以将 n 条媒体管和 $(n-1)$ 个 QoS

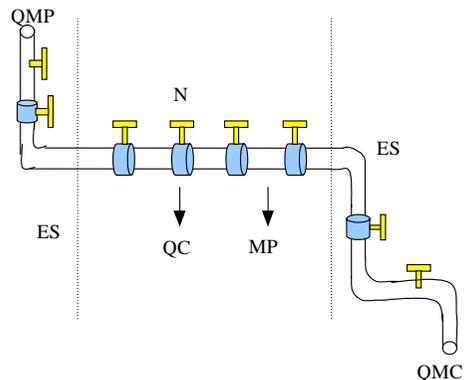


Fig.1 QCPIPE illustration

图 1 QCPIPE 的示意图

受控型连接器首尾相连,形成 QoS 受控型连接系统,记作 $bs.n$ 是不小于 1 的整数.该抽象建模 QoS 受控型网络连接.

命题 4. QoS 受控型连接系统可以看做是一条复合媒体管,如同媒体管一样使用.

推论 2. $CQP(p,c,m,qos,l)$ 是通过一次 $\oplus(p,b,m,qos)$ 操作、一次 $\oplus(b,bs,m,qos)$ 操作、一次 $\oplus(bs,b,m,qos)$ 操作和一次 $\oplus(b,c,m,qos)$ 操作完成的.

命题 5. CQP 具有原子性,即组成 CQP 的操作对 CQP 的使用者是不可见的,这些操作要么全部成功完成,要么就好像根本未曾发生过.

命题 6. QCPIPE 具有透明性,即 QCPIPE 一经建立,则在正常情况下由 QC 受控型连接器和媒体管组成的 QoS 受控型连接系统对 QCPIPE 的使用者透明.

定义 17. QCPIPE 启动操作:QCPIPE 启动当且仅当 t_c 等于 t_s ,其中 t_c 代表系统当前时间.

定义 18. 活跃 QCPIPE:QCPIPE 一经启动即进入活跃状态,称该 QCPIPE 为活跃 QCPIPE.

性质 1. 正常情况下,一经启动,有限期 QCPIPE 将运行至 l 满期时结束.

定义 19. 即时启动 QCPIPE:一个 QCPIPE 是即时启动 QCPIPE 当且仅当建立该 QCPIPE 之时的 t_c 等于 t_s .

定义 20. 定时滞后启动 QCPIPE:一个 QCPIPE 是定时滞后启动 QCPIPE 当且仅当建立该 QCPIPE 之时的 t_c 小于 t_s .

推论 3. 定时滞后启动 QCPIPE 需要资源预先预约支持.

定义 21. QCPIPE 拆除操作: $DQP(qcpid)$ 是 QCPIPE 的拆除操作.

命题 7. DQP 是 CQP 的逆操作.

命题 8. DQP 具有原子性.

命题 9. QCPIPE 拆除操作分成隐式拆除与显式拆除两种.

定义 22. QCPIPE 隐式拆除操作: $IDQP(qcpid)$ 是 QCPIPE 的隐式拆除操作当且仅当该 QCPIPE 是有限期 QCPIPE 而且运行至 l 满期时正常自行拆除.

定义 23. QCPIPE 显式拆除操作: $EDQP(qcpid)$ 是 QCPIPE 的显式拆除操作当且仅当在 l 期间 QCPIPE 正常运行时由生产者、消费者或连接系统主动发起 QCPIPE 拆除操作.

定义 24. 活跃 QCPIPE 断裂:在生产者、消费者或者连接系统崩溃时将造成活跃 QCPIPE 断裂,记作 $BREAKQCP(qcpid)$.

命题 10. $BREAKQCP(qcpid)$ 是一种异常现象,需要异常处理机制加以解决,将活跃 QCPIPE 断裂转换为 QCPIPE 拆除.

2 QCPIPE 工作过程

QCPIPE 内部结构如图 2 所示,QoS 代表服务质量合同,QB 代表 QoS 商定器,QMa 代表 QoS 映射器,AC&RR&RA 代表接纳控制、资源预约与资源分配器,BD 代表绑定器,SD 代表调度器,QSig 代表 QoS 发信器,QMe 代表 QoS 测量器,MS 代表媒体调节器,TS 代表通信量整形器,OR 代表协奏器,FC 代表流控器,EC 代表差错控制器,CC 代表拥挤控制器,QR 代表基于 QoS 的路由选择器,MD 代表媒体,NN 代表网络节点,PE 代表媒体生产者端系统,CE 代表媒体消费者端系统,CS 代表连接系统.

2.1 QCPIPE 建立

QoS 受控型媒体消费者通过启动文献[4]中所述的 QoS 建立过程与 QoS 受控型媒体生产者建立 QCPIPE.该过程一旦成功结束,则在 QoS 受控型媒体生产者与消费者之间建立起满足双方可接受、连接系统可支持的 QoS 的 QCPIPE.

对于有些预先计划好的需要提供 QoS 保证的分布式多媒体应用,如预约可视电话等,需要预先资源预约,以便能够在约定时间到来时按时启动符合 QoS 需求的应用,以满足用户的需要.为此,QCPIPE 引入了生命期概念,支持 QCPIPE 的定时滞后启动.为了支持定时滞后启动 QCPIPE,端系统与网络节点必须就时间概念达成共识,

以便在同一时间在 QCPIPE 沿途所有有关节点得到已预约的资源;如果在启动之前,涉及的端系统或(和)网络节点出现崩溃,则比照活跃 QCPIPE 断裂处理.

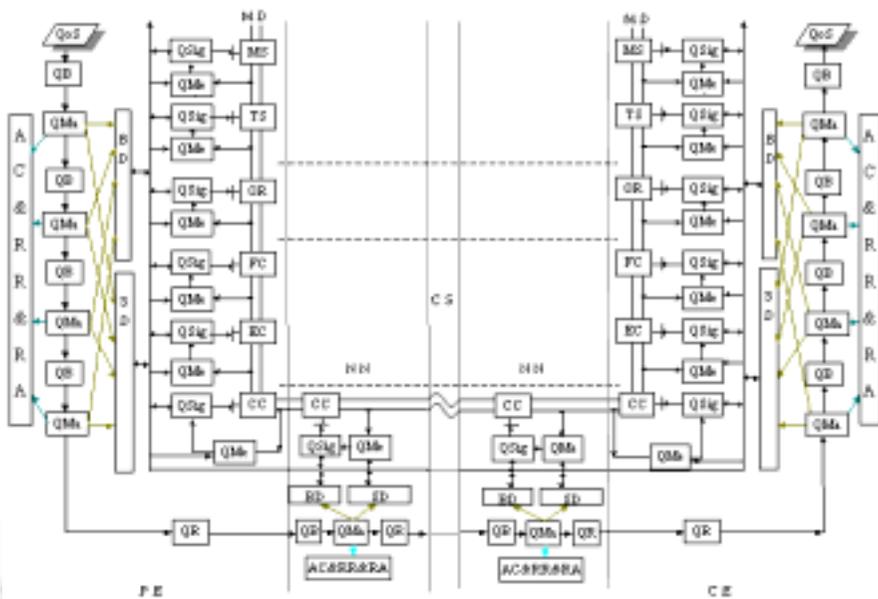


Fig.2 QCPIPE internal structure

图 2 QCPIPE 内部结构

2.2 QCPIPE运行

QCPIPE 运行过程实际上就是在动态 QoS 管理机制的控制下执行多媒体数据传送的过程.通过通信量整形器的“自查自纠”,可以实现通信量管制功能.通过协奏器、流控器、差错控制器、拥挤控制器的“自查自纠”以及这些构件与调度器的交互作用,可以实现 QoS 调谐功能.当构件自身与调度器均无能为力时,通过 QoS 信号的传递可以实施 QoS 的进一步调节.

媒体调节器提供如下功能:对于视频流,可以通过调节帧速率、帧分辨率、调节图像压缩算法的 DCT 系数个数、调节图像像素色度、调节彩色空间项数等控制 QoS 受控型媒体生产者的视频输出.对于音频流,可以通过调节音频采样速率、采样大小、声道个数等控制 QoS 受控型媒体生产者的音频输出.调节时,选用哪一(些)种调节方法应该根据应用级知识来决定.

通信量整形器提供的功能较多.它需要监视 QoS 受控型媒体生产者的输出,以使之满足签约的 QoS 合同.同时,对于压缩媒体,可以通过将 VBR 通信量尽量平滑为 CBR 通信量从而尽可能减轻通信量的突发性,但是,需要更多的端系统处理资源,而且会增大端到端延迟.通信量平滑技术对于预先制作好的压缩媒体比较有效,可以通过在传送前精心构造平滑计划,使媒体传送尽可能全局优化;对于实时在线产生的压缩媒体,由于只拥有媒体组织的部分知识,因此平滑技术难以实现通信量传送的全局优化.此外,对于压缩媒体,为了方便消费者一方的解压缩,还可以在传送之前调整媒体量子的发送顺序.

在 QoS 受控型媒体生产者生产的媒体通过协奏器时,协奏器根据协奏 QoS 参数控制媒体间同步,保证各种媒体在离开生产者时满足媒体间同步要求.这是实现媒体间同步的基础.媒体通过网络节点时的同步关系的维护可以通过非工作保养型调度算法实施.当各种媒体到达消费者一方时,最终的同步消除可以通过设置适当的消抖缓冲区实现.这些措施主要是针对连续同步的.对于事件驱动同步,可以通过信号总线传递 QoS 控制信号来实现.QoS 信号传递通常要求快捷、可靠.

流控器采用基于速率的流控,支持媒体内时间连续性的实现.为此,提出了媒体量子等时序概念:

定义 25. 媒体量子 Δ 等时序:记媒体 $m = \{m_1, \dots, m_n\}$, m_i 是组成媒体 m 的媒体量子, $1 \leq i \leq n$, n 是不小于 2 的整

数, Δ 代表确定的有限时间间隔. 媒体 m 满足媒体量子 Δ 等时序当且仅当 $\forall i(((m_i \in m) \wedge (m_{i+1} \in m) \wedge (1 \leq i < n)) \rightarrow m_i \xrightarrow{\Delta} m_{i+1})$, 其中 $m_i \xrightarrow{\Delta} m_{i+1}$ 表示 m_i 在 m_{i+1} 之前时间发生.

等时序是一种全序关系.

对于压缩媒体, 提出如下语义因果依赖关系与语义因果序概念.

定义 26. 语义因果依赖关系与语义因果序: 记媒体 $m = \{m_1, \dots, m_n\}$, m_i 是组成媒体 m 的媒体量子, $D(m_i)$ 代表对媒体量子 m_i 执行的某一操作. 如果对 m_i 执行 $D(m_i)$ 操作依赖于 m_j 的存在, 则 m_j 要先于 m_i 发生, 称 m_i 语义因果依赖于 m_j , 同时称 m_j 和 m_i 之间存在语义因果序, 记作 $m_j \xrightarrow{SC} m_i$. 这里, $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n, i \neq j, n$ 是不小于 2 的整数.

语义因果序是一种部分序关系, 而且具有传递性. 对于压缩连续媒体, 媒体量子的产生、传送与消费不仅要维护 Δ 等时序而且要维护语义因果序. 因此, QCPIPE 在传送媒体量子时, 不仅携带时间戳, 而且携带必要的语义信息, 从而可以较好地满足应用的实际需要.

对于差错控制器, 提出了应用制导差错控制策略, 即 QCPIPE 根据应用对 QoS 的实际需要对差错控制策略进行必要的剪裁. 理想情况下, QCPIPE 提供以下 5 种差错控制策略供应用选择: 同时忽略比特错和分组丢失、忽略比特错但指示分组丢失、同时指示比特错与分组丢失、忽略比特出错但纠正分组出错、同时纠正比特错和分组丢失.

对于压缩连续媒体的分组丢失处理, 可以进一步引入语义信息. 为此, 提出应用环境与语义制导丢失分组重传策略. 该策略简述如下: 如果 $m_j \xrightarrow{SC} m_i$, 则优先保证 m_j 的可靠传送; 如果应用环境允许, 则采用重传丢失分组. 这样就可以使差错控制尽可能地融入应用语义, 而且尽可能地考虑应用环境特征, 从而更好地适应应用的实际需要.

在传统的计算机网络中, 当出现拥挤时, 常用的拥挤控制策略是甩尾策略和随机丢弃策略. 但是, 这两种策略都没有考虑应用的实际需要, 因此在出现拥挤时, 应用的 QoS 可能受到严重影响, 不适合多媒体通信. 为此, 对于拥挤控制器, 提出了一种优先级丢弃与语义因果连锁丢弃相结合的混合拥挤控制策略: 在出现拥挤时, 如果 $m_j \xrightarrow{SC} m_i$, 则优先丢弃 m_i ; 如果 $m_j \xrightarrow{SC} m_i$ 而且必须丢弃 m_j , 则连锁丢弃 m_i .

2.3 QCPIPE 拆除

QoS 受控型媒体生产者或者消费者或者连接系统可以主动通过启动 QoS 结束机制^[4]完成 QCPIPE 的拆除. 对于有限期 QCPIPE, 当其生命期满时, 系统自动启动 QoS 结束机制拆除 QCPIPE. 这要求 QCPIPE 的各个构件具有统一的时间观念.

2.4 活跃 QCPIPE 断裂处理

为了处理活跃 QCPIPE 断裂现象, 要求每个构件运行问询协议, 探测其上游邻居构件是否存活. 如果在预先设定的问询间隔定时器超时, 依然没有收到来自上游邻居构件的任何报文, 则该构件主动问询其上游邻居构件, 看一看上游邻居构件是否存活. 如果上游邻居构件存活, 则两者相互协调尽量使工作恢复正常; 如果上游邻居构件已不存在或者已无法正常工作, 则该构件通过在线动态重新选择构件, 或在线动态路由选择更换构件, 并且实施动态再绑定; 如果这一切都失败, 则该构件自行销毁. 通过这种构件的分布式异常情况自行销毁过程, 可以实现将 QCPIPE 断裂自动转换成 QCPIPE 拆除.

3 结束语

QCPIPE 通信抽象已经成功地应用于国家自然科学基金重点项目子项“分布式多媒体信息点播系统”和国家经贸委重大技术开发项目“分布式多媒体信息系统”等多个项目中^[4]. 这些项目都已经通过国家有关部门组织的鉴定和验收, 取得了国内领先或者国际水平的研究成果. 应用结果表明, QCPIPE 既可以直接支持点对点多媒体通信, 也可以作为多媒体组通信机制的基础. 期望 QCPIPE 通信抽象能对分布式多媒体系统, 特别是多媒体通信机制的研究与发展起一定的推动作用.

References :

- [1] Bernet, Y. The complementary roles of RSVP and differentiated services in the full—service QoS network. *IEEE Communication Magazine*, 2000,38(2):154~162.
- [2] Guerin, R. Peris, V. Quality-of-Service in packet networks: basic mechanisms and directions. *Computer Networks*, 1999,31(1-2):169~189.
- [3] Diaz, M., Owezarski, P. From multimedia models to multimedia transport protocols. *Computer Networks and ISDN Systems*, 1997,29(7):745~758.
- [4] Wang, Xing-wei. Research on quality-of-service management and group communication mechanisms in distributed multimedia systems [Ph.D. Thesis]. Shenyang: Northeastern University, 1998 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [4] 王兴伟.分布式多媒体系统服务质量管理与组通信机制的研究[博士学位论文].沈阳:东北大学,1998.

A Multimedia Communication Mechanism——QoS-Controlled Pipe*

WANG Xing-wei¹, CAI Guo-qing¹, LIU Ji-ren²

¹(Computer Center, Northeastern University, Shenyang 110004, China);

²(Software Center, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

E-mail: wangxw@mail.neu.edu.cn

<http://www.neu.edu.cn>

Abstract: In order to support distributed multimedia application description and development, a multimedia communication mechanism——QoS (quality-of-service)-controlled pipe is presented as a QoS-based platform point-to-point multimedia communication abstraction. The formal definitions of QoS-controlled pipe are introduced and its enforcement procedures are discussed in detail. It has been applied to distributed multimedia information-on-demand systems and distributed multimedia systems successfully. Experimental results show that it not only can act as a comprehensive and integrated solution of point-to-point multimedia communication mechanism, but also can act as the basis of multimedia group communication mechanism.

Key words: distributed multimedia; multimedia communication; quality of service; pipe

* Received August 17, 2000; accepted December 4, 2000

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60003006; the National High Technology Development 863 Program of China under Grant No.2001AA121064; Modern Distance Education Key Technology and Supporting Service System Program of the Ministry of Education of China; Science and Technology Committee Foundation Shenyang City of China