

一种有效的端到端延迟保证的资源预约策略*

詹永照 曾庆凯 何丹 谢立

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)

(南京大学计算机科学与技术系 南京 210093)

E-mail: zyz@dislab.nju.edu.cn

摘要 从把全局的延迟界 QoS 需求划分为各链路局部的 QoS 需求的角度出发, 讨论了满足端到端的延迟界进行资源预约的限制条件, 提出一种新的资源分配代价函数和按分配代价最小化的原则进行各链路资源分配的方法, 并且给出了一种分布式的三遍搜索资源预约算法. 其目标是使网络资源使用更均衡、更合理, 以利于接纳更多的调用请求. 同时, 还介绍了将这种资源预约法应用于多点通信连接建立资源预约处理过程中的情况. 最后, 给出该资源预约法的模拟结果, 显示了该方法的有效性.

关键词 延迟界, QoS, 代价函数, 多点通信会话, 接纳控制, 资源预约

中图法分类号 TP393

随着网络多媒体系统研究及应用的不断发展, 人们迫切地希望多媒体系统能够提供端到端间的延迟保证, 使音频、视频等时性较强的回放应用能够在用户所要求的回放时间内播放完毕. 然而, 要满足这种环境的服务质量(QoS)的要求, 目前的 Internet 的基础网络设施还难以胜任, 这主要是因为基于 IP 网络协议的 Internet 结构仅提供简单的服务模型, 即点到点尽全力服务, 而不能提供确定型和统计型的服务质量模型^[1].

实时传输和网络环境的适配性是对当前多媒体系统设计的新的挑战之一^[2,3]. 当一个等时的媒体服务请求到来时, 系统必须首先按请求的 QoS 进行接纳测试, 若接纳测试成功, 则应对媒体传输的源地和目的地路径上的资源(带宽)进行预约, 预约资源的方法常以满足接收者的延迟界要求及充分使用网络资源为准则. 已有不少人研究了一些调度算法, 这些算法靠限制流量突发性来提供保证的延迟界, 如使用漏桶(leaky bucket)进行流整形^[4~6]. D. Stiliadis 提出了一个计算端到端延迟界的总体框架, 其中路径上的服务器可使用不同的调度算法^[7]. S. Shenker, Q. Ma 和 S. Vemra 也论述了在分组交换网中提供实时服务的资源预约的相关问题^[8~11]. 然而, 这些方法大多存在下列不足之一或全部: (1) 未对资源分配很好地优化; (2) 不能与基于广义处理器共享(GPS)的调度规则一起使用; (3) 端到端的延迟界计算未考虑到相继链路的依赖性, 而只是简单地通过叠加路径中所有路由器间的延迟贡献的最坏情况来确定延迟界. 类似地, A. Bimran 提出了一个均等资源预约法^[12], 将端到端的 QoS 需求均等地划分成各链路的 QoS 需求, 从而分配各链路的资源. 另外, V. Firoiu 提出了多点通信会话(multicast session)的接纳控制和资源预约的总体框架^[13], 对研制基于 QoS 的多点通信寻径算法也有很好的参考价值. 因此, 本文从延迟界的 QoS 需求角度出发考虑应用的调用接纳和资源预约, 采用按分配代价最小化的方法分配沿途各链路的资源. 其目标是使资源使用更均衡, 在有宽裕的空闲资源的链路上多分配资源, 在较紧张的空闲资源的链路上少分配资源, 以利于今后还能接纳更多的调用请求. 同时, 本文还介绍了将这种资源预约法应用于多点通信资源预约的处理过程中的情况. 最后, 给出该资源预约法的模拟结果.

* 本文研究得到国家 863 高科技项目基金(No. 863-306-02-07)和日本邮政省 Telecommunication Advanced Organization (TAO)基金资助. 作者詹永照, 1962 年生, 博士生, 副教授, 主要研究领域为分布计算, 计算机图形学. 曾庆凯, 1963 年生, 博士, 副教授, 主要研究领域为分布式多媒体. 何丹, 1967 年生, 博士生, 主要研究领域为计算机网络, 分布计算. 谢立, 1942 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为分布计算, 并行系统.

本文通讯联系人: 詹永照, 南京 210093, 南京大学计算机科学与技术系

本文 1998-11-23 收到原稿, 1999-06-07 收到修改稿

1 用满足端到端的延迟界进行资源分配的限制条件

假定最有可能满足端到端延迟需求的路径 P 已经由某个寻径算法确定, 路径 P 的源地为 S , 目的地为 D , 所要求的 QoS 由接受者确定, 各路由器可提供足够的缓冲以保证不丢失报文. 这时所面临的第 1 个问题是确定路径 P 能否满足端到端的延迟需求; 第 2 个问题是: 对路径中各链路进行有效的资源分配以满足延迟需求. 为了表述方便, 把路径中的路由器称为结点, 路由器之间的传输介质称为链路.

假设会话中的报文传输符合漏桶参数 (b, r) , 并且通过 k 个路由器的传递服务才能实现. 一次会话中报文的延迟界的计算可采用 Stiliadis 等人提出的公式^[7]:

$$\frac{b}{R} + \sum_{j=1}^{k-1} \frac{L}{R_j} + \sum_{k=1}^k \alpha_k \tag{1}$$

其中 R_j 是从源地到目的地的路径中链路 j 所分配的传输率; R 是所分配的最小传输率, 并且为了满足队列的稳定性至少应为 r , r 为流的平均传输率; L 是最大的分组长度; b 为流的桶的大小; α_k 是一个常数, 完全由结点 j 的调度算法和转发延迟来刻画; 对于几个有名的工作保守型的调度算法来说, α_k 参数的取法见表 1. 其中 $L_{\max, j}$ 是链路 j 服务器所服务的最大分组长度; V_j 是可能积压在服务器的最大会话个数; C_j 是服务器的处理能力.

Table 1 Latency of several GPS-based schedulers

表 1 几个基于 GPS 的调度算法的延时

Server	α_k Latency constant
Virtual clock (VC)	$L_{\max, j}/C_j$
Packet-by-Packet generalized processor sharing	$L_{\max, j}/C_j$
Self clocked fair queuing	$L_{\max, j}/C_j * (V_j - 1)$

服务器, 延时常量, 虚拟时钟, 一包一包广义处理器共享, 自时化的公平排队.

由于各结点上的调度算法存在着延迟, 因此对于给定的端到端的延迟上限 d_{reqd} , 可计算出分组在所选路径传输过程遇到的延迟上限 d_m 为

$$d_m = d_{\text{reqd}} + \sum_{j=1}^k \alpha_j$$

设 $S_1, S_2, \dots, S_j, \dots, S_{k-1}$ 分别为链路 $1, 2, \dots, j, \dots, k-1$ 的可用空闲带宽, 如果把每个链路上所有带宽都分配给所考虑的连接, 则该连接的分组发送最小延迟界为

$$d_{\text{best}} = \frac{b}{\min S_j} + \sum_{j=1}^{k-1} \frac{L}{S_j} + \sum_{j=1}^k \alpha_j$$

这样, 调用接纳控制问题就可按如下方法解决: 判断应用所提的延迟界是否大于或等于 d_{best} , 若是, 则接纳本次连接; 否则拒绝本次连接.

当连接被接纳后, 就可以按如下的条件限制来分配各链路的资源 $R_1, R_2, \dots, R_j, \dots, R_{k-1}$:

$$h(R) = \frac{b}{\min R_j} + \sum_{j=1}^{k-1} \frac{L}{R_j} \leq d_m, \quad R_j \geq r, \quad j = 1, \dots, k-1. \tag{2}$$

2 基于分配代价的资源预约策略

要保证端到端的 QoS, 即要保证报文在整个路径上的 QoS 需求. 故在预约资源时, 应考虑把端到端的 QoS 需求合理地划分为各链路的 QoS 需求, 从而预约各链路的资源. 文献[10, 12]介绍了一种均等资源预约法. 该方法的基本思想是: 经各链路分配一个等量的资源. 该策略实现简单, 而且由接受者决定中间各链路的传输率, 因此可免去给中间结点发送信息的负担. 但该方法未考虑到紧张的资源少分配, 宽裕的资源多分配这个问题, 因此可能造成高度使用的链路出现资源短缺的情况, 以致于后来的一些传输要求更可能被拒绝. 为此, 我们提出了一种有效的按代价资源预约法, 即在所选择的路径上找一种使其资源分配代价最小化, 并且满足 QoS 需求的资源预约法.

2.1 预约资源的估算

我们把在链路 j 上分配资源的代价定义为

$$C_j = R_j / S_j,$$

其中 R_j 为在链路 j 所分配的带宽, S_j 为链路 j 的空闲带宽

我们看到, 当 R_j 接近于 S_j 时, $C_j \rightarrow 1$, 即表明在链路 j 上分配带宽的代价大, 因为在为该连接分配带宽后, 以后很可能再也无法接纳经过该链路的连接了. 当 $R_j \ll S_j$ 时, $C_j \rightarrow 0$, 即表明在链路 j 上分配带宽的代价小, 本次分配后, 链路 j 还剩较多资源, 它有可能再接纳经过该链路的其他连接. 显然端到端的带宽分配代价为路径上所有中间链路的分配代价之和. 另外, 我们假设链路 i 为瓶颈链路, 即它的空闲带宽最少, 也就是 $S_i = S_j (1 \leq j \leq k-1)$. 为了更加强调在该链路分配带宽的代价, 将链路 i 的分配代价乘以一个因子 $(b+L)/L$, 这样, 在所选择的路径上, 报文传输的总代价可定义为

$$f(R) = \sum_{j=1, j \neq i}^{k-1} \frac{R_j}{S_j} + \frac{R_i(b+L)}{S_i L} \tag{3}$$

我们按 QoS 需求分配资源的限制条件(2)将其改写为

$$h(R) = \frac{b}{R_i} + \sum_{j=1}^{k-1} \frac{L}{R_j} = d_m, \quad R_j \geq r, \quad 1 \leq j \leq k-1 \tag{4}$$

使总代价最小的各链路的最优资源分配的 *Lagrange* 多项式为

$$\sum_{j=1, j \neq i}^{k-1} \frac{R_j}{S_j} + \frac{R_i(b+L)}{S_i L} + \lambda \left(\sum_{j=1, j \neq i}^{k-1} \frac{L}{R_j} + \frac{b+L}{R_i} \right) \tag{5}$$

限制条件为

$$\sum_{j=1, j \neq i}^{k-1} \frac{L}{R_j} + \frac{b+L}{R_i} = d_m \tag{6}$$

在式(5)中对 R_j 求导并令其为 0, 得

$$R_j = \sqrt{\lambda L} \sqrt{S_j}, \quad 1 \leq j \leq k-1 \tag{7}$$

将式(7)代入式(6), 得

$$\sqrt{\lambda} = \frac{\sum_{j=1}^{k-1} \left(\frac{L}{S_j} + \frac{b}{S_i} \right)}{d_m} \tag{8}$$

再由式(7), 得

$$R_j = \frac{\left(\sum_{j=1}^{k-1} \left(\frac{L}{S_j} + \frac{b}{S_i} \right) \right)^{1/2} \sqrt{S_j}}{d_m}, \quad 1 \leq j \leq k-1, \tag{9}$$

再结合限制条件可知, 中间链路的带宽分配应为

$$R_j = \max \{r, R_j\} \tag{10}$$

由 R_j 的计算式可以看出, 它是一个 S_j 的递增函数, 表明链路可用空闲带宽多时可多分配, 链路可用空闲带宽少时可少分配, 特别是在瓶颈链路分配的带宽可分配最少. 这样, 在满足应用的 QoS 需求的情况下, 尽量节省紧张的资源, 以利于以后还可接纳其他应用的连接. 显然, 这种资源预约策略可提高资源的利用率和系统服务的能力.

2.2 按代价预约资源算法

这是一种分布的资源预约算法. 为了尽量减少发送预约信息次数, 减小预约信息的长度以及高效地利用网络资源的原则, 我们采用沿路径三遍搜索预约过程. 第 1 遍, 计算 $1/\sqrt{S_j}$ 和 α_j . 第 2 遍, 在各链路预约带宽 R_j 并计算空闲时间 *Slack* 积累. 注意: 空闲时间 *Slack* 是由于算法产生的延迟界可能小于实际需求的延迟界而引起的, 它定义为报文需求的延迟界与分配资源后报文传输延迟之差, 它只会在具有分配带宽为 r 的链路(瓶颈链路)上产生. 第 3 遍, 将积累的空闲时间 *Slack* 重新分配给各非瓶颈链路, 以便让其在可允许的时间范围内去配已分配的资源. 可采用按延迟贡献比例分配 *Slack* 的方法, 使紧缺的资源多去配一些, 但调整后的带宽均应大于等于 r . 因为瓶颈链路已不可能去配资源, 故无需分配 *Slack*. 具体算法描述如下:

第 1 遍 发送结点在路径信息中初始化存放 $\prod_{j=1}^{k-1} 1/\sqrt{S_j}$ 的单元 $NV S_{\text{sqrt}}$, 存放 $\prod_{j=1}^{k-1} 1/R_j$ 的单元 NVR 和存放 α_j 的单元 $SUMALPHA$, 同时, 附上漏桶参数 (b, r) 和欲连接的最大分组长度, 并将第 1 个链路的可用带宽 S_1 置入 MNS

路径中的各结点按如下步骤进行:

```
when (路径中的结点收到上一结点传来的信息) do
{ if ( $S_j < r$ ) {
    发 ResvErr 信息给源结点, 拒绝本次连接;
  }
  else {
    if ( $j \neq k$ ) {
       $NV S_{\text{sqrt}} = NV S_{\text{sqrt}} + 1.0/\text{sqrt}(S_j)$ ;
      if ( $S_j < MNS$ )  $MNS = S_j$ ;
    }
     $SUMALPHA = SUMALPHA + \alpha_j$ ;
  }
}
```

第 2 遍 在接受结点计算可能的最小延迟 d_{best} :

```
if ( $d_{\text{reqd}} < d_{\text{best}}$ ) {
  发 ResvErr 信息给源结点, 拒绝本次连接;
}
else {
  在路径信息中置 slack 为 0; 置  $NVR$  为 0;
  按逆路径方向发送路径信息;
}
```

路径中的各结点按如下步骤进行:

```
when (路径中的结点收到下一结点传来的路径信息) do
{  $R_j = (L * NV S_{\text{sqrt}} + b/MNS) * \text{sqrt}(S_j) / (d_{\text{reqd}} - SUMALPHA)$ ;
   $R_j = \max\{r, R_j\}$ ;
  按  $R_j$  预约链路  $j$  的带宽;
  if ( $R_j = r$ )  $\text{slack} = \text{slack} + L * (1.0/R_j - 1.0/r)$ ;
  else  $NVR = NVR + 1.0/R_j$ ;
}
```

第 3 遍 路径信息中设置剩余的 $slack$ 域为 $Rslack$, 开始时置 $Rslack$ 为 $slack$ 的值 从发送结点开始, 沿路径各结点 j 计算非瓶颈链路 j 的 $slack_j$, 分配空闲时间, 以便适当地去配已分配的资源, 并将 $Rslack$ 减去 $slack_j$; 直至 $Rslack$ 为 0 或已到目的地, 则空闲时间 $slack$ 在各非瓶颈链路分配完毕

注: $slack_j$ 的计算为 $slack_j = (1.0/R_j) / INVR * slack$

3 按代价预约资源法在多点通信中的应用

在多点通信中, 由于其他接受者在公共路径上提出了严格的 QoS 需求, 对某一个接受者来说就会出现空闲时间 $slack$ 或额外的分配, 这就需要资源预约去调整多点通信寻径树 (multicast routing tree) 的资源分配^[13]. 当采用一种 QoS 划分策略后, 如果一个接受者在公共路径中的所有链路上施加的 QoS 需求均大于另一个接受者所施加的 QoS 需求, 则这种 QoS 划分策略可认为是保持一致的 (uniform), 相应的资源预约方案也是一致的. 假定路径 P_1, P_2 是同时或几乎同时建立的, 用于对 P_1 和 P_2 进行 QoS 计算的网路参数是相同的, 文献[13]给出了一致性的形式定义

定义 设 P 为一个 QoS 划分策略, $P^i = (S, D^i)$ ($i = 1, 2$), 是具有公共路径段 $P^1 \cap P^2$ 的两条路径, $Q(S, D^i)$, $i = 1, 2$ 是它们的端到端 QoS 需求, 且 $Q^i(l \in L(P^i))$ ($i = 1, 2$), 是用 P 后 QoS 在链路 l 上的划分结果. 如果 $Q^1 \leq Q^2$ ($\forall l \in L(P^1 \cap P^2)$) or $Q^1 \leq Q^2$ ($\forall l \in L(P^1 \cup P^2)$) 其中之一成立, 则 P 是一致的

定理 按代价预约资源法具有一致性

证明: 考虑具有一条公共路径的两条路径 $P^l = (S, D^l) (l = 1, 2)$, 由式(10)的按代价预约资源法, 路径上各链路预约的资源为

$$R_j = \max \left\{ r, \frac{\left(\sum_{j=1}^{k-1} \frac{L}{\sqrt{S_j^l}} + \frac{b}{\sqrt{S_j^l}} \right) \sqrt{S_j^l}}{d_m^l} \right\}$$

令 $\frac{\left(\sum_{j=1}^{k-1} \frac{L}{\sqrt{S_j^l}} + \frac{b}{\sqrt{S_j^l}} \right) \sqrt{S_j^l}}{d_m^l} = C^l$, 则 $R_j^l = \max \{ r, C^l \sqrt{S_j^l} \}$, 因为 r 为常数且 C^l 对于某条路径来说也是固定数, 对于所有的 $j \in L(P^1, P^2)$, 有 $S_j^1 = S_j^2$, 所以, 如果 $C^1 < C^2$, 则对于所有的 $j \in L(P^1, P^2)$, 有 $R_j^1 < R_j^2$ 成立, 或者如果 $C^1 > C^2$, 则对于所有的 $j \in L(P^1, P^2)$, 有 $R_j^1 > R_j^2$ 成立

由定义知, 按代价预约资源法具有一致性

由于按代价预约资源法具有一致性, 在多点通信中使用该方法可较方便地对各条路径上的所需资源进行计算, 最后逐一地在多点通信树上调整所预约的资源, 从而较好地满足文献[1]所提出的设计目标. 下面介绍在多点通信中应用的处理方法

3.1 静态多点通信中的处理方法

在多点通信树建好后, 就可逐一地对从源地(根)开始到各个接受者路径上的链路采用按代价预约资源法计算所需带宽, 此过程与单点(unicast)通信路径上各链路预约资源方法相同. 对于公共路径上各链路的所需带宽取为每一个单一路径上该链路所需带宽的最大值, 即公共路径上的 QoS 需求取为最严格的 QoS 需求. 这对于经过该路径的其他接受者来说将产生空闲时间, 这个空闲时间可用于去配最后一链路(链到叶子的链路)的部分带宽

例如, 图 1 给出了多点通信树中各链路的空闲带宽及接收者 D_1 和 D_2 的延迟界需求. 图 2(a) 给出了分别按 D_1 和 D_2 的延迟界需求, 采用按代价预约资源法预约带宽的各自的结果. 图 2(b) 是公共链路上预约带宽的综合及 slack 重利用后的带宽预约结果. 其中 D_1 的延迟界需求为 $3.34ms$, D_2 的延迟界需求为 $3.14ms$, 网中各结点的处理能力 $C = 100M b/s$, 报文最大长度 $L = 1KB$, 漏桶参数 $b = 1KB$, $r = 1.5M b/s$

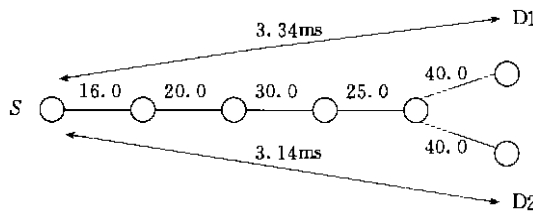


Fig. 1 The multicast tree with available bands and delay bound requirement
图1 具有空闲带宽和延迟界需求的多点通信树

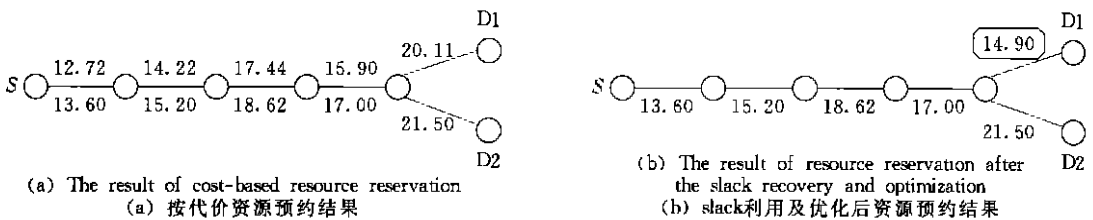


Fig. 2 The results of cost-based resource reservation before and after optimization
图2 按代价资源预约优化前后结果

3.2 动态多点通信中的处理方法

在多点通信会话期间, 接受者可能会随时加入多点通信会话或离开多点通信会话. 假设在接受者加入多点通信或离开多点通信之前, 静态的通信树已经建立并且从源地到各个目的地的所有链路上的资源分配已经进行了优化, 同时, 在优化的多点通信树中的所有结点均知道从源地将分组传到该结点的延迟界. 当一个新的接受者

要加入多点通信树时, 首先由寻径算法在通信树中找出离接受者最近的一个结点 *closest_node*。由于从源地到各中间结点的延迟界是已知的, 则由接受者的所需延迟需求可方便地计算出 *closest_node* 到欲加入的接受者链路上所需的延迟界。这样, 从 *closest_node* 到欲加入的接受者链路上的资源预约可按已介绍的按代价预约资源法进行预约。若该连接请求被接受, 则接受者加入多点通信会话的资源预约就可结束; 否则意味着原有多点通信树中的公共路径上的资源分配不足。基于资源利用的有效性和减少资源预约开销方面来考虑, 可从 *closest_node* 开始逐一地逆多点通信树方向向源地回退一个结点, 从该结点开始到加入的接受者的链路上, 重新进行资源预约, 并调整以该结点为根的其他相关的叶子链路上所预约的资源。直至资源预约成功, 接纳接受者的连接, 或者已退到源地且资源预约失败, 拒绝该接受者连接。

当一个接受者欲离开多点通信会话时, 也由寻径算法找出多点通信树中离该接受者最近的一个内分支结点, 去配从该内分支结点到该接受者的路径上所分配的资源。

如图 3 所示, 设具有两个接受者 D_1, D_2 的多点通信树及树中各链路的资源已预约好, 现有延迟界为 d_3 的接受者 D_3 欲加入多点通信会话, 由寻径算法找到离其最近的结点 3, 从 S 到结点 3 的延迟为 d_1 。这样从结点 3 到 D_3 的路径上按延迟界为 $d_3 - d_1$ 采用前面介绍的方法进行资源预约。若预约成功, 则接纳 D_3 的连接; 否则可能退到结点 1 甚至源地 S , 重新进行资源预约并调整相关叶子链路上所预约的资源。

若接受者 D_2 欲离开多点通信会话时, 由寻径算法找出最接近的内分支结点 3, 去配结点 3 到 D_2 路径上的所分配的资源, 如图 4 所示。

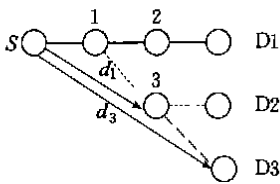


Fig. 3 The new receiver joining multicast session
图3 新接受者加入多点通信会话

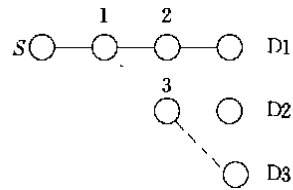


Fig. 4 The receiver leaving a multicast session
图4 接受者离开多点通信会话

4 模拟结果

我们在如图 5 所示的具有 10 个结点的网络中进行了均等资源预约和按代价资源预约算法的模拟。假定的前提是: 网中的各链路最大带宽为 200M b/s, 各结点的处理能力 $C = 200\text{M b/s}$, 报文最大长度 $L = 1\text{KB}$, 漏桶参数 $b = 1\text{KB}$, $r = 1.5\text{M b/s}$, 每对结点间的路由由最短游程方法确定, 每次传输调用的延迟界需求均为 20ms, 并均以最大长度的报文传输。模拟按如下方法进行: 采用均匀分布的随机数产生法, 产生发送和接受结点对, 以及确定释放哪个传输调用。使整个网络的传输调用负载始终控制在指定的调用次数上。用同样的传输调用请求, 分别按均等资源预约和按代价资源预约算法进行调用接纳和资源分配的模拟。模拟程序共对 100 000 次传输调用请求进行了两种算法的模拟, 并统计了各自的拒绝调用请求的次数, 从而得到拒绝概率统计数据。模拟结果如图 6 所示。

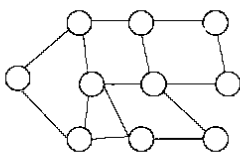


Fig. 5 Architecture of the network
图5 网络结构

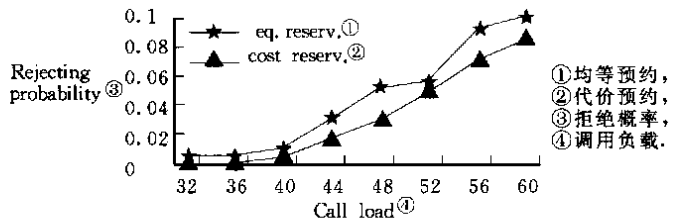


Fig. 6 The simulation results
图6 模拟结果图

从图 6 可以看出: 与均等资源预约法相比, 按代价资源预约法拒绝概率小, 故按代价资源预约策略可提高资源的利用率和系统服务的能力。

5 结 论

本文从把全局的QoS需求划分为各链路局部的QoS需求的角度出发,提出按分配代价最小化的原则,在各链路间划分QoS需求,从而在各链路上预约资源。这种资源预约法能较充分地考虑到网络资源使用的均衡性和合理性,使在有宽裕的空闲资源的链路上多分配资源,在较紧张的空闲资源的链路上少分配资源,有利于今后还能接纳更多的调用请求。同时,这种资源预约法也便于应用到多点通信资源预约的处理过程中,以便找出提供QoS保证的最小耗费的多点通信路由。

参考文献

- 1 Zhang L, Deering S, Estrin D *et al*. RSVP: a new resource ReSerVation protocol. *IEEE Network*, 1993, 7(5): 8~ 18
- 2 Flynn R J, Tetzlaff W H. Multimedia——an introduction. *IBM Journal of Research and Development*, 1998, 42(2): 165~ 176
- 3 Dan A, Feldman S I, Sepanos D N. Evolution and challenges in multimedia. *IBM Journal of Research and Development*, 1998, 42(2): 177~ 183
- 4 Cruz R L. A calculus for network delay (Part I). *IEEE Transactions on Information Theory*, 1991, 37(2): 114~ 131
- 5 Cruz R L. A calculus for network delay (Part II). *IEEE Transactions on Information Theory*, 1991, 37(2): 132~ 141
- 6 Parekh A K, Gallager R G. A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: the multiple node case. *IEEE Transactions on Networking*, 1994, 2(2): 137~ 150
- 7 Stiliadis D, Vamva A. Latency-Rate servers: a general model for analysis of traffic scheduling algorithms. In: *Proceedings of the Conference on Computer Communications of IEEE Infocom'96*. Los Alamitos, CA: IEEE Communications Society Press, 1996. 111~ 119
- 8 Shenker S, Breslau L. Two issues in reservation establishment. *ACM Computer Communications Review*, 1995, 25(4): 14~ 26
- 9 Ma Q, Steenkiste P. Quality-of-Service routing for traffic with performance guarantees. In: *Campbell A, Nahrstedt K eds. Building QoS into Distributed Systems*. London: Chapman & Hall Press, 1997. 115~ 126
- 10 Vemva S, Pankaj R K, Lean-Garlia A. QoS based multicast routing for multimedia communications. In: *Campbell A, Nahrstedt K eds. Building QoS into Distributed Systems*. London: Chapman & Hall Press, 1997. 127~ 130
- 11 Vemva S, Pankaj R K, Lean-Garlia A. Call admission and resource reservation for guaranteed quality of service (GQoS) services in internet. *Computer Communications*, 1998, 21(4): 362~ 374
- 12 Bimani A, Firoiu V, Guerin R *et al*. Provisioning of RSVP-based services over a large ATM network. *IBM Research Report-RC 20250*, 1995
- 13 Firoiu V, Towseley D. Call admission and resource reservation for multicast sessions. In: *Proceedings of the Conference on Computer Communications of IEEE Infocom'96*. Los Alamitos, CA: IEEE Communications Society Press, 1996. 94~ 101

An Effective Resource Reservation Strategy for Guaranteed End-to-End Delay Requirements

ZHAN Yong-zhao ZENG Qing-kai HE Dan XIE Li

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Based on the perspective of dividing the total QoS requirement of delay bound into local QoS requirements among links along the path, the authors examine the constraint conditions of resource reservation for satisfying end-to-end delay bound, present a new cost function for resource allocation and a method of the resource allocation for the links according to the principle of cost minimization, and give a distributed three-phase resource reservation algorithm in this paper. The purpose is to make the use of network resources more balanced and more reasonable in order that more call requests can be admitted in future. Furthermore, also discuss resource reservation processing for multicast connection establishment to which the method is applied. Finally, the results of simulations for the method are given and the effectiveness of the method is confirmed.

Key words Delay bound, quality of service, cost function, multicast session, admission control, resource reservation