

从上面的讨论可以看到,现有的多维数据模型在数据结构的表达能力上具有很大的不足.除此之外,现有的多维数据模型都没有提供完整的 OLAP 操作代数,操作能力不够完善,也不利于 OLAP 查询的优化处理.尤其值得注意的是,现有的多维数据模型没有或极少提供与维层次结构相关的 OLAP 操作.

针对现有多维数据模型在数据结构表达能力和数据操作能力方面的问题,本文基于偏序和映射的概念提出了一个新的多维数据模型,克服了现有的多维数据模型的不足.

#### 4 结论与继续研究的问题

本文提出了一种新的数据仓库的多维数据模型.该模型以偏序和映射概念为基础,提供了很强的复杂维层次结构表达机制,能够有效地表达数据仓库的各种复杂层次数据结构和语义.这个模型包括一个以 OLAP 操作为核心的操作代数,可以有效地支持 OLAP 应用.它引进了层次结构的聚集约束概念,提供了表达聚集约束的机制.它允许在多维数据集合的任一维的同一个层次链上使用不同的聚集函数执行 Roll-up 和 Drill-down 操作,允许维数据中包括描述度量属性的层次聚集语义的信息.与其他多维数据模型相比,本文提出的多维数据模型是一个具有很强表达能力和完整 OLAP 操作的多维数据模型.目前,我们正在研究基于本文提出的数据模型的数据定义和操纵语言、基于该数据模型的数据查询优化和处理方法.

#### 参考文献

- 1 Colliat G. OLAP, relational, and multidimensional database system. *SIGMOD Record*, 1996,25(3):64~69
- 2 Codd E F. Providing OLAP (on-line analytical processing) to user-analysts: an IT mandate. Technical Report, TR-9300011, E. F. Codd and Associates, 1993
- 3 Agrawal R, Gupta A, Sarawagi S. Modeling multidimensional databases. In: Jackson M, Pu C eds. *Proceedings of the 13th International Conference on Data Engineering*. Los Alamitos, CA: IEEE Society Press, 1997. 105~116
- 4 Rafanelli M, Shoshani A. STORM: a statistical object representation model. *Data Engineering Bulletin*, 1990,13(3):12~18
- 5 Gyssens M, Lakshmanan L V S. A foundation for multi dimensional databases. In: Dayal U, Gray P M D, Nishio S eds. *Proceedings of the the 23rd Conference on very large data bases*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers, Inc. . 1997. 106~115
- 6 Li C, Wang X S. A data model for supporting on-line analytical processing. In: Barker K, Manitoba U eds. *Proceedings of the 5th International Conference on Information and Knowledge Management*. New York: Springer-Verlag, 1996. 81~88
- 7 Lehner W. Modeling large scale OLAP scenarios. In: Jorg H, Ramos I eds. *Proceedings of the 6th International Conference on Extending Database Technology*. New York: Springer-Verlag, 1998. 153~167
- 8 Datta A, Thomas H. A conceptual model and algebra for on-line analytical processing in decision support databases. In: Thomas H eds. *Proceedings of the 7th Annual Workshop on Information Technologies and Systems*. San Mateo, CA: Morgan Kaufman Publishers, Inc. . 1997. 91~100
- 9 Pedersen T B, Jensen C S. Multidimensional data modeling for complex data. In: Kitsuregawa M, Maciaszek L, Papazoglou M *et al* eds. *Proceedings of the 15th International Conference on Data Engineering*. Los Alamitos, CA: IEEE Society Press, 1999. 336~345
- 10 Gray J, Bosworth A, Layman A *et al*. Data cube: a relational aggregation operator generalizing group-by, cross tab and sub-totals. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1997,1(1):29~54

## Multidimensional Data Modeling for Data Warehouses

LI Jian-zhong GAO Hong

(Department of Computer Science and Engineering Harbin Institute of Technology Harbin 150001)

**Abstract** Data model is a basic aspect in the research field of data warehouses. It has been argued that traditional data models, such as the ER model and the relational model, are in principle not powerful enough for modeling the data structure and semantics of data warehouse and supporting OLAP (on-line analysis processing). As a result, several multidimensional models based on multidimensional view of data have emerged. However, these multidimensional data models still fall short of ability to model complex data in some real-world application domains and to support complete OLAP operations. In this paper, the authors propose a new multidimensional data model based on the concepts of partial order and mapping. This model addresses supporting for complex data structure and semantics of data warehouses, especially complex hierarchies in dimensions. Along with the model, they also present an associated algebra that includes a complete set of OLAP operations and supports complex aggregation, roll-up and drill-down along hierarchies in dimensions. A new concept of aggregation function constraint is also presented in this paper, and the mechanism for expressing and checking the aggregation function constraint is included in the model.

**Key words** Data warehouse, data model, multidimensional data model, OLAP (on-line analysis processing).

### 第3届国际多模态接口会议

(The Third International Conference on Multimodal Interfaces)

#### 会议通知

Following the success of the first two conferences held in 1996 and 1999 respectively, the Third International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI'2000) will be held in Beijing on October 14~16, 2000. ICMI'2000 is intended to bring multimodal interfaces researchers, developers and end-users together to present and discuss their latest work. It will also provide those interested in multimodal interfaces a unique opportunity to keep abreast with the latest development in this increasingly important subject. Papers accepted for presentation at the conference will be included in the proceedings, which will be published by Springer-Verlag as a volume of the Lecture Notes in Computer Science Series.

#### 1. Technical Scope

Topics include but are not limited to the following:

- Perceptual computing models and systems
- Speech recognition and synthesis
- Character and handwriting recognition
- Hand gesture and lip-motion recognition
- Machine translation and multilingual interfaces
- Computer graphics for multimodal interfaces
- Sensors for multimodal interfaces
- Affective computing for HCI
- Distributed HCI
- Multimodal interfaces for the Internet and virtual reality
- Multimodal interfaces for wearable and mobile computing
- Multimodal interfaces for the disabled
- Human factors in multimodal interfaces
- Platforms and tools
- Gaze tracking, face detection and facial expression recognition

#### 2. Communications

Contact: with the Conference Secretariat at ICMI'2000 Secretariat National Laboratory of Pattern Recognition, P. O. Box 2728, Beijing 100089

100080 北京 2728 信箱 中国科学院自动化研究所 模式识别国家重点实验室 ICMI'2000 秘书组

Tel: +86-10-62545671 Fax: +86-10-62551993

E-mail: ICMI2000@nlpr.ia.ac.cn http://www.ia.ac.cn/nlpr/ICMI2000

### 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, 它还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  $S_i \leq S_j (1 \leq j \leq k-1 \text{ 且 } j \neq i)$ , 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

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

使总代价最小的各链路的最优资源分配的 Lagrange 多项式为

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

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

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

将式(7)代入式(6), 得

$$\sqrt{\gamma L} = \frac{\sum_{j=1}^{k-1} \frac{L}{\sqrt{S_j}} + \frac{b}{\sqrt{S_i}}}{d_m}. \tag{8}$$

再由式(7), 得

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

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  $\sum_{j=1}^{k-1} 1/\sqrt{S_j}$  和  $\sum_{j=1}^k \alpha_j$ . 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  $\sum_{j=0}^{k-1} 1/\sqrt{S_j}$  的单元  $INVS_{\text{curr}}$ 、存放  $\sum_{j=1}^{k-1} 1/R_j$  的单元  $INVR$  和存放  $\sum_{j=1}^k \alpha_j$  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  $MINS$ .

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 ( $j! = k$ ) {
       $INVS_{\text{curr}} = INVS_{\text{curr}} + 1.0/\text{sqrt}(S_j)$ ;
      if ( $S_j < MINS$ )  $MINS = S_j$ ;
    }
     $SUMALPHA = SUMALPHA + \alpha_j$ ;
  }
}

```

第 2 遍. 在接受结点计算可能的最小延迟  $d_{\text{best}}$ ;

```

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  $INVR$  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
{  $R_j = (L * INVS_{\text{curr}} + b/MINS) * \text{sqrt}(S_j) / (d_{\text{reqd}} - SUMALPHA)$ ;
   $R'_j = \max\{r, R_j\}$ ;
  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  $INVR = INVR + 1.0/R_j$ ;
}

```

第 3 遍. 路径信息中设置剩余的  $\text{slack}$  域为  $R\text{slack}$ , 开始时置  $R\text{slack}$  为  $\text{slack}$  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  $\text{slack}_j$ , 分配空闲时间, 以便适当地去配已分配的资源, 并将  $R\text{slack}$  减去  $\text{slack}_j$ ; 直至  $R\text{slack}$  为 0 或已到目的地, 则空闲时间  $\text{slack}$  在各非瓶颈链路分配完毕.

注:  $\text{slack}_j$  的计算为  $\text{slack}_j = (1.0/R_j) / INVR * \text{slack}$ .

### 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  $\text{slack}$  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<sup>[13]</sup>. 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  $Q_i^j (j \in L(P^i)) (i=1, 2)$ , 是用  $P$  后 QoS 在链路  $j$  上的划分结果. 如果  $Q_i^j \leq Q_i^k (\forall j \in L(P^1 \cap P^2))$  or  $Q_i^j \geq Q_i^k (\forall j \in L(P^1 \cap P^2))$  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  $j \in L(P^1 \cap P^2)$ , 有  $S_j^1 = S_j^2$ . 所以, 如果  $C^1 \leq C^2$ , 则对于所有的  $j \in L(P^1 \cap P^2)$ , 有  $R_j^1 \leq R_j^2$  成立, 或者如果  $C^1 \geq C^2$ , 则对于所有的  $j \in L(P^1 \cap P^2)$ , 有  $R_j^1 \geq R_j^2$  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D1和D2的延迟界需求.图2(a)给出了分别按D1和D2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D1的延迟界需求为3.34ms,D2的延迟界需求为3.14ms,网中各结点的处理能力  $C=100\text{Mb/s}$ ,报文最大长度  $L=1\text{KB}$ ,漏桶参数  $b=1\text{KB}$ ,  $r=1.5\text{Mb/s}$ .

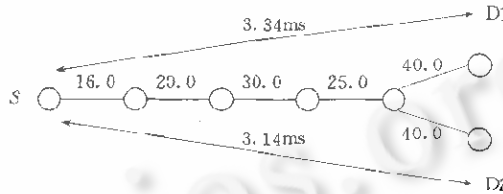
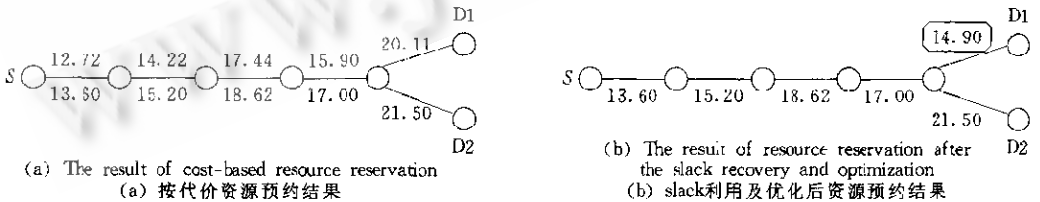


Fig.1 The multicast tree with available bands and delay bound requirement  
图1 具有空闲带宽和延迟界需求的多点通信树



(a) The result of cost-based resource reservation  
(a) 按代价资源预约结果  
(b) The result of resource reservation after the slack recovery and optimization  
(b) slack利用及优化后资源预约结果  
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  $D1, D2$  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  $d_2$  的接受者  $D3$  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  $D3$  的路径上按延迟界为  $d_2 - d_1$  采用前面介绍的方法进行资源预约. 若预约成功,则接纳  $D3$  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  $D2$  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  $D2$  路径上的所分配的资源,如图 4 所示.

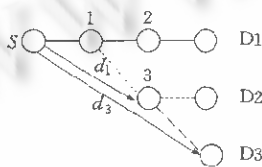


Fig. 3 The new receiver joining multicast session  
图3 新接受者加入多点通信会话

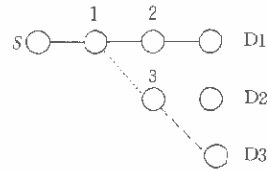


Fig. 4 The receiver leaving a multicast session  
图4 接受者离开多点通信会话

### 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 200Mb/s,各结点的处理能力  $C=200\text{Mb/S}$ ,报文最大长度  $L=1\text{KB}$ ,漏桶参数  $b=1\text{KB}$ ,  $r=1.5\text{Mb/s}$ ,每对结点间的路由由最短程方法确定,每次传输调用的延迟界需求均为 2.0ms,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.

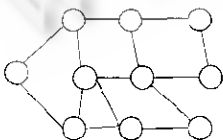


Fig. 5 Architecture of the network  
图5 网络结构

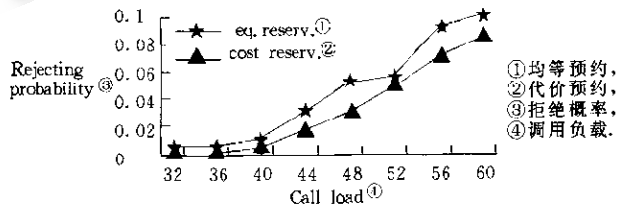


Fig. 6 The simulation results  
图6 模拟结果图

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,使在有充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, Serpanos 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 Stiladis D, Varma 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 Verma 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 Verma S, Pankaj R K, Lean Garlia A. Call admission and resource reservation for guaranteed quality of service (CQoS) services in internet. *Computer Communications*, 1998,21(4):362~374
- 12 Birman A, Firoiu V, Gueirin R *et al.* Provisioning of RSVP-based services over a large ATM network. *IBM Research Report-RC 20250*, 1995
- 13 Firoiu V, Towsley 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.