

# 启发式动态组多媒体通信目的节点加入算法的研究<sup>\*</sup>

Research on Heuristic Destination Node Joining Algorithms for Dynamic Group Multimedia Communication

王兴伟 张伟宏 芦宙新 张应辉 刘积仁

(东北大学计算机中心 沈阳110006)

**Abstract** The routing mechanisms, which can support distributed multimedia dynamic group applications, are very important. QoS based destination node joining algorithms are key components of dynamic group multimedia communication routing mechanisms. In this paper, with the support of the QoS-based initial route setup algorithms, two QoS-based algorithms, which can support the member to join in the group dynamically, are presented. Combined with the QoS based initial route setup algorithms and destination node leaving algorithms, the QoS guarantees for distributed multimedia dynamic group applications could be supported.

**Keywords** Distributed multimedia, Group communication, Quality of Service, Routing, Dynamic group

## 1 引言

很多分布式多媒体应用都属于组应用<sup>[1~3]</sup>,例如远程教学、远程医疗诊断、计算机会议。根据是否允许成员动态加入/退出组,分布式多媒体组应用可以分成动态组和静态组两类。支持动态组应用的基于QoS的路由选择机制<sup>[4~6]</sup>依然是分布式多媒体系统中有待进一步深入研究的问题。对于动态组应用,可以认为最初只有两个成员,随着应用的进行,成员可以动态加入与退出,因而路由选择机制需要支持以下三个问题的解决:初始路由建立、成员动态加入、成员动态退出。

我们以由单个源节点和多个目的节点组成的组应用为背景来研究组通信路由选择机制。多个源节点和多个目的节点的情形可以看作是多个单源节点多目的节点情形的合成。在寻找路由时,主要考虑成员之间的资源共享,将成员的最大资源需求作为整个组的资源需求。这既比较符合组应用的实际情况(多数组应用属于自我限制型应用,通常都有一定的发言权控制机制,在同一时间通常只能有一个成员拥有发言权,这样才能保证组应用的有序进行),也有利于提高网络资源的使用效率,还有利于降低应用使用网络的费用。同时,在进行路由选择时,与接纳控制、资源预约、QoS计费

和QoS协商等相结合,以便既满足组应用的QoS需求又使整个组应用的使用费用最低<sup>[1~3]</sup>。

本文着重对目的节点加入算法进行研究。

## 2 基于QoS的动态组多媒体通信路由选择机制的基本假设

我们将网络抽象成由节点(路由器)和边(通信链路)组成的一张无向连通图。图上的每个节点(路由器)都配备有限数量的CPU和缓冲区资源。当有一条媒体流(以下简称流)通过一节点时,该流将占用该节点一定数量的CPU和缓冲区资源;同时通过一节点的不同流占用的资源量累加;当一节点的可用资源(CPU和/或缓冲区)量不足以满足新流的资源(CPU和/或缓冲区)需求量时,将拒绝新流通过。图上的每条边都配备有限数量的带宽资源;当有一条流通过一条边时,该流将占用该条边一定数量的带宽资源;同时通过一条边的不同流占用的资源量累加;当一条边的可用带宽资源量不足以满足新流的带宽需求量时,将拒绝新流通过。流通过一节点时有排队延迟、发送延迟、出错率(可以认为是分组丢失率),通过边时有传播延迟、出错率(可以认为是比特出错率)。对于点对点通信,每条流涉及一个源节点和一个目的节点。对于组通信,每条流涉

<sup>\*</sup>“九五”国家科技攻关项目96-B08资助。王兴伟 博士,副教授,主要研究领域为分布式多媒体信息处理技术、计算机网络,张伟宏 硕士,工程师,芦宙新 助理工程师,张应辉 博士,刘积仁 教授,博士生导师,东北大学副校长,主要研究领域为分布式多媒体信息处理技术与方法学、CSCW、组件技术等。

及多个源和目的节点。资源分配是对流进行的,这样,对于组通信,为整个流分配资源,支持资源共享。

### 3 基于 QoS 的动态组多媒体通信的目的节点加入问题描述

已知图  $G(V, E)$ , 某流的源节点  $v_s$  已加入该流的目的节点集合  $M$  及已建立子图  $T(W, F)$  (该子图实际上是一棵树<sup>[5-11]</sup>),  $M \subseteq W \subseteq V, F \subseteq E, G$  上各节点  $v_i \in V$  有如下参数: 排队延迟  $t_i$ , 发送延迟  $\tau_i$ , 可用 CPU 资源量  $rc_i$ , 可用缓冲区资源量  $rb_i$ , 出错率  $\mu_i$ , 已被该流占用的 CPU 资源量  $hrc_i$ , 已被该流占用的缓冲区资源量  $hrb_i$ ,  $G$  上各边  $e_i \in E$  上有如下参数: 传播延迟  $\Delta_i$ , 可用带宽  $\alpha_i$ , 出错率  $\mu_{e_i}$ , 已被该流占用的带宽  $ha_i$ , 该流新增的目的节点为  $v_i \in V$  且  $v_i \notin M$ , 要求建立在源节点  $v_s$  与新增目的节点  $v_i$  之间的一条路  $l_i$ , 使其满足以下条件:

- 1) 增加使用费用最小且路  $l_i$  所经过的节点和边的总使用费用小于等于  $v_i$  愿意承担的使用费用  $c_i$ ;
- 2) 路  $l_i$  上所经过的节点的最小可用 CPU 资源量大于等于  $v_i$  的 CPU 资源需求量  $drc_i$ ;
- 3) 路  $l_i$  上所经过的节点的最小可用缓冲区资源量大于等于  $v_i$  的缓冲区资源需求量  $drb_i$ ;
- 4) 路  $l_i$  上所经过的边的最小可用带宽资源量大于等于  $v_i$  的带宽资源需求量  $\alpha_i$ ;
- 5) 路  $l_i$  上所经过的节点和边的总延迟小于等于  $v_i$  对延迟的要求  $\Delta_i$ ;
- 6) 路  $l_i$  上所经过的节点和边的总出错率小于等于  $v_i$  对出错率的要求  $\mu_i$ 。

其中, 增加使用费用是指在原有已建树  $T(W, F)$  上由于新用户  $v_i$  的增加而带来通信使用费用的增加量。

这一问题可用下述数学模型描述:

$$\begin{aligned} \min & \left( \sum_{v_i \in l_i} cav_i + \sum_{(v_i, v_j) \in l_i} cae_{ij} \right) \\ \text{s.t.} & \sum_{v_i \in l_i} cv_i + \sum_{(v_i, v_j) \in l_i} ce_{ij} \leq c_i \quad (1) \\ & \min_{v_i \in l_i} \{rc_i\} \geq drc_i \quad (2) \\ & \min_{v_i \in l_i} \{rb_i\} \geq drb_i \quad (3) \\ & \min_{(v_i, v_j) \in l_i} \{\alpha_i\} \geq \alpha_i \quad (4) \\ & \sum_{(v_i, v_j) \in l_i} \Delta_i + \sum_{v_i \in l_i} (t_i + \tau_i) \leq \Delta_i \quad (5) \\ & 1 - \prod_{v_i \in l_i} (1 - \mu_{v_i}) * \prod_{(v_i, v_j) \in l_i} (1 - \mu_{e_{ij}}) \leq \mu_i \quad (6) \end{aligned}$$

其中

$$cav_i = \begin{cases} k_1 * \max\{0, drc_i - hrc_i\} + \\ k_2 * \max\{0, drb_i - hrb_i\}, \forall v_i \in W \\ k_1 * drc_i + k_2 * drb_i, \forall v_i \in W \end{cases}$$

代表目的节点  $v_i$  的加入对路  $l_i$  上任意节点  $v_j$  所带来的 CPU 使用费用和缓冲区使用费用增加之和,

$$cae_{ij} = \begin{cases} k_1 * \max\{0, \alpha_i - ha_{ij}\}, \forall e_{ij} \in F \\ k_2 * \alpha_i, \forall e_{ij} \in F \end{cases}$$

代表目的节点  $v_i$  的加入对路  $l_i$  上任意边  $e_i$  所带来的带宽使用费用增加。

$cv_i = k_1 * drc_i - k_2 * drb_i > 0$  是目的节点  $v_i$  对路  $l_i$  上任意节点  $v_j$  的 CPU 使用费用和缓冲区使用费用之和,  $ce_{ij} = k_2 * \alpha_i$  是目的节点  $v_i$  对路  $l_i$  上任意边  $e_i$  的带宽使用费用。

我们可以发现此问题分为以下两种情况:

①  $v_i \in W$ . 此时如果  $pc(v_i) \leq c_i$  且  $prc(v_i) \geq drc_i$  且  $prb(v_i) \geq drb_i$  且  $pa(v_i) \geq \alpha_i$  且  $p\Delta(v_i) \leq \Delta_i$  且  $p\mu(v_i) \leq \mu_i$ , 则该节点可直接加入网络, 它的加入所带来的网络增加使用费用为零; 否则, 需通过目的节点加入过程确定从源到该节点的路。

②  $v_i \notin W$ . 此时必须通过目的节点加入过程确定从源到该节点的路。

### 4 基于 QoS 的启发式目的节点加入算法

目的节点加入过程是以增加使用费用最小为目标, 因而目的节点加入过程的核心思想是尽量保证资源共享, 这是因为在目的节点加入过程中在资源共享得到满足的情况下有利于满足约束条件且有利于在树上增加的费用小, 即代价小。为此, 我们提出两种启发式目的节点加入算法。这两种算法使用的启发式费用定义如下:

$$c(\beta, \delta, \varphi) = \frac{p_1}{\delta} + \frac{p_2}{\beta} + \frac{p_3}{\varphi}$$

其中:  $\delta_i$  可用 CPU 资源量,  $\beta_i$  可用缓冲区资源量,  $\varphi_i$  可用带宽资源量。

从  $c(\beta, \delta, \varphi)$  的定义可以看出, 启发式费用与节点可用 CPU 资源量、可用缓冲区资源量和边的可用带宽资源量成反比, 因此该启发式算法鼓励通过轻载节点与轻载边建立路由。这样既有助于满足资源需求, 也有助于满足延迟、出错率指标的要求, 还有助于网络负载均衡。

#### 4.1 源节点启动启发式算法

该算法步骤描述如下:

步 0: 初始化, 由该算法的用户指定  $q$  值,  $i=0$ 。

步 1:  $i=i+1$ , 如  $i \leq q$ , 转步 2, 否则, 无解, 与用户协商。

步 2: 如果  $i=1$ , 以启发式费用最小为目标, 用 Dijkstra 算法<sup>[12]</sup>求启发式费用最小路, 在进行中, 为了避免出现圈, 如果出现第一个  $v_i \in W$ , 将树  $T$  上所有点及边从图中去掉得  $G'$ , 再在  $G'$  上继续运行算法。算法结束时转步 3; 否则, 以启发式费用最小为目标, 用求第  $k$

(下转第 121 页)

施乐公司(Xerox)目前也在致力于 E-Paper 的研究,用纤维状的物质代替纸张来显示文字。这种“纸”有很好的弹性,相对于掌上电脑来说耗电量极小。它可以达到激光打印机的打印效果,更重要的是价格可以降低到 1 美元 1 页,大大低于液晶显示屏的价格。Xerox 公司称它为 Gyricon 技术,一个 Gyricon 由上千个微小的球体组成,每个球都是一半黑一半白,小球浮在充满了液体的一些小洞里,通过旋转来表示一个电子显示区域。就象激光打印机纸上的油墨颗粒一样,小球可组成各种图案、字符、图像。与油墨不同的是,这些小球可无数次地重组。

从以上的介绍中不难看出,随着 Internet 应用的普及,E-Book 和 E-NewsPaper 将得到广泛的应用。这是一个刚刚启动的市场,也是一个极有潜力的市场,它

将极大地促进网络出版的发展,它的出现,标志着印刷出版业进入到了一个崭新的时代。

### 参考文献

- 1 Open eBook Forum. Open eBook Publication Structure V1.0. Available at <http://www.openebook.org/specification.htm>
- 2 Microsoft Reader Web Page. Available at, <http://www.microsoft.com/reader/>
- 3 Greene J. E-books' Brass Band. Available at, [http://www.businessweek.com/2000/00\\_14/b3675033.htm](http://www.businessweek.com/2000/00_14/b3675033.htm)
- 4 Rist O. Getting a Read on the E-Book. Available at, <http://www.zdnet.com/computershopper/edit/cshopper/content/9903/387612.html>
- 5 Martin J A. True eBook Debuts. PC World, 1998(11)

(上接第 90 页)

最短路的算法<sup>[9-10]</sup>求启发式费用第  $i$  小的路,为了避免出现圈,如果出现第一个  $v_i \in W$ ,将树上所有点及边从图中去掉得  $G'$ ,再在  $G'$  上继续运行算法。算法结束时转步 3。

步 3: 验证启发式费用第  $i$  小的路上的各项指标(式 1-6)是否满足,如果满足,输出结果,算法结束;否则转步 1。

该算法的复杂性为  $O(i \cdot n^2)$ 。

#### 4.2 目的节点启动启发式算法

该算法步骤描述如下:

初始化: 由该算法的用户指定  $q$  值,  $i=0$ 。

步 1:  $i := i + 1$ , 如  $i \leq q$ , 转步 2, 否则, 与用户协商。

步 2: 从目的节点  $v_i$  开始, 以启发式费用最小为目标, 用第  $k$  最短路算法(如  $i=1$ , 用 Dijkstra 算法), 找从目的节点到源节点的启发式费用第  $i$  小的路, 此过程中, 当遇到第一个已生成树  $T(W, F)$  上的节点  $v_j \in W$  时, 记下连接  $v_i$  与  $v_j$  的这条路  $l_{ij}$ , 转步 3。

步 3: 如果从源节点  $v_s$  沿  $l_{sj}, l_{ij}$  到目的节点  $v_i$  的路上  $v_j$  愿意承担的使用费用  $c_j$ 、CPU 资源需求  $drc_j$ 、缓冲区资源需求  $drb_j$ 、带宽资源需求  $a_j$ 、延迟要求  $\Delta_j$ 、出错率要求  $\mu_j$  这六项指标约束均能得到满足, 则算法终止, 否则, 转步 1。(  $l_{ij}$  代表  $T$  上从  $v_i$  到  $v_j$  的路)

该算法的复杂性为  $O(i \cdot n^2)$ 。

结束语 我们已经设计并实现了上述支持动态组应用的基于 QoS 的启发式目的节点加入算法仿真软件。仿真结果表明算法是有效的。

分布式多媒体动态组应用极其广泛。本文基于资

源共享原则提出支持成员动态加入组的基于 QoS 的启发式目的节点加入算法, 以期与动态组多媒体通信初始路由由建立算法和动态组多媒体通信目的节点退出算法<sup>[10-12]</sup>一起构成可以支持分布式多媒体组应用 QoS 需求的路由选择算法。

### 参考文献

- 1 Shenker S. Fundamental Design Issues for the Future Internet. IEEE JSAC, 1995, 13(7): 1176~1188
- 2 Diet C, Dabbous W, Crowcroft. Multipoint communication: a survey of protocols, functions and mechanisms. IEEE JSAC, 1997, 15(3): 277~290
- 3 刘积仁, 王兴伟, 张应辉. 分布式多媒体系统通信平台及若干相关技术问题的探讨. 电子学报, 1997, 25(11): 54~59
- 4 Deering S E, Cheriton D R. Multicast routing in internet networks and extended LANs. ACM Transactions on Computer Systems, 1990, 8(2): 85~110
- 5 Rouskas G N, Baldine. Multicast routing with end-to-end delay and delay variation constraints. IEEE JSAC, 1997, 15(3): 346~356
- 6 Pomavalai C, Chakraborty G, Shiratori N. QoS based routing algorithm in integrated services packet networks. Journal of High-speed Networks, 1998, 7(2): 45~56
- 7 Jia Xiaohua, et al. A distributed multicast routing protocol for real-time multicast applications. Computer Networks, 1999, 31(1-2): 101~110
- 8 Huitema C. Routing in the Internet. Prentice Hall, 1995
- 9 谢政, 李建平. 网络算法与复杂性理论. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995. 5
- 10 王兴伟, 张应辉, 刘积仁. 一种基于服务质量的启发式点对点多媒体通信路由选择算法. 计算机科学, 2000, 27(5)
- 11 王兴伟, 刘积仁. 一种基于服务质量的动态组多媒体通信初始路由由建立算法. 计算机学报, 2000, 27(5)
- 12 王兴伟, 刘积仁. 一种用于动态组多媒体通信路由选择机制的基于服务质量的的目的节点退出算法. 投《计算机学报》