

# 基于多 QoS 约束的多播路由算法研究

余 萍

(重庆师范大学数学与计算机科学学院 重庆 400047)

**摘 要** 论文讨论了具有延迟、带宽和低代价等多 QoS 约束的多播路由算法,提出了适应于研究 QoS 多播路由的网络模型,并给出了一种具有多 QoS 约束的动态多播路由算法,分析了算法的复杂度。仿真实验证明,该算法是稳定有效的。它能够在满足多约束的情况下,使多播树的代价优化。

**关键词** QoS, 多播路由, 多约束

## A Survey on Multicast Routing Algorithm Based on Multiple QoS Constrained

YU Ping

(College of Mathematics and Computer Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047)

**Abstract** This paper discusses the multicast routing problem with multiple QoS constraints, which may deal with the delay, bandwidth and cost metrics, and presents a network model for researching the routing problem. It proposes a dynamic multicast routing algorithm with multiple QoS constraints. Simulations are showed to prove that the algorithm is effective and stable. It can minimize the multicast tree cost without violating the multi- constrained.

**Keywords** QoS, Multicast routing, Multi- constrained

## 1 引言

多播通信技术以有效降低网络带宽需求、减轻服务器负载及网络负载为主要特点,在当今网络业务中有着广泛的应用,作为支持多媒体应用的关键技术之一,保证服务质量(Quality of Service, QoS)的多播路由日益成为网络和分布式系统领域里一个非常重要的研究课题。

QoS 多播路由的主要目标是构建一棵多播树,其优势在于分组以并行方式沿着树枝发送到不同的信宿,从而降低信息传送延时;同时使得网络中需要传送的复制分组最少,且分组的复制只在树杈处进行,这样能够有效地节省网络带宽资源,提高每次多播通信时的资源利用率,减少拥塞,降低网络负载。而这棵多播树是由多播路由算法决定的,因此研究构造多播树的多播路由算法就非常重要。

## 2 BDCMR 网络模型

就 QoS 多播路由而论,一个网络可描述为一个加权图  $G=(V, E)$ , 其中  $V$  表示节点集,  $E$  表示节点间的通信链路集,  $|V|$  和  $|E|$  分别为节点数和链路数<sup>[1]</sup>。  $s(s \in V)$  表示多播的源节点,  $M$  表示目的节点集 ( $M \subseteq V - \{s\}$ )。  $R^+$  为实数集,  $R^*$  为非负实数集。对于任意的节点  $v_i$ , 定义 3 个 QoS 特征值, 即  $v_i = (n\_delay, n\_loss, n\_jitter)$ , 其中  $n\_delay(v_i): V \rightarrow R^+$  表示节点的延时;  $n\_loss(v_i): V \rightarrow R^+$  表示节点的包丢失率;  $n\_jitter(v_i): V \rightarrow R^+$  表示节点的延时抖动。对于任意的链路  $e_i$ , 定义 3 个 QoS 特征值, 即  $e_i = (cost, bandwidth, delay)$ , 其中  $cost(e_i): E \rightarrow R^+$  表示传输费用;  $bandwidth(e_i): E \rightarrow R^+$  表示传输带宽;  $delay(e_i): E \rightarrow R^+$  表示传输延时。

一般的 QoS 多播路由问题包含多个约束条件, 如延时、延时抖动、包丢失率、带宽和代价等。但在设计具体路由算法

时若考虑所有相关因素, 算法势必太复杂且不适用。由此, 笔者结合实际情况对其进行了一定的简化, 重点考虑延时、带宽和低代价等因素。为不失一般性, 该类网络中一对节点之间最多只有一条链路, 链路旁边的参数可用于描述该链路当前的状态。对于给定的源点  $s \in V$ , 目的节点集  $M$ , 设  $p(s, t)$  表示从源点  $s$  到端点  $t$  的路径,  $s$  和  $M$  组成的多播树  $T(s, M)$  存在下列关系:

$$\begin{aligned} (1) \text{delay}(p(s, t)) &= \sum_{e \in p(s, t)} \text{delay}(e) + \sum_{v \in p(s, t)} n\_delay(v) \\ (2) \text{bandwidth}(p(s, t)) &= \text{Min}\{ \text{bandwidth}(e), e \in p(s, t) \} \\ (3) \text{cost}(T(s, M)) &= \sum_{e \in p(s, t)} \text{cost}(e). \end{aligned}$$

事实上, 延时、带宽和代价最小的 QoS 多播路由问题中, 就是对多播的源节点  $s \in V$ , 多播目的节点集  $M(M \subseteq V - \{s\})$  寻找一棵多播树  $T(s, M)$ , 使之满足下列 QoS 约束, 并且使  $\text{cost}(T(s, M))$  最小:

- (1) 延时约束:  $\text{delay}(p(s, t)) \leq D_{\max}$ ;
- (2) 带宽约束:  $\text{bandwidth}(p(s, t)) \geq B_{\min}$
- (3) 在所有满足延时约束和带宽约束条件的多播中,  $\text{cost}(T(s, M)) \rightarrow (\min)$ 。

其中,  $D_{\max}$  为实时业务所要求时延的上限值,  $B_{\min}$  为业务所需求带宽的下限值。算法构建同时满足以上约束的最大可用带宽的多播分布树, 这类问题简称为 BDCMR (available Bandwidth based Delay, minimum Cost constrained Multicast Routing) 问题, 其对应的算法称为 BDCMA。

## 3 BDCMA 算法

BDCMA 算法是一种满足带宽、时延和低代价约束的算法, 在动态路由中, 网络的拓扑结构、链路状态如时延和剩余带宽以及多播成员等是动态变化的, 动态多播路由强调多播

\* ) 基金项目: 重庆市教委项目 KJ070805。余 萍 讲师, 研究方向: 软件工程、数据库、网络算法。

成员的自由加入和离开,并且这些活动不能对多播产生不良的影响<sup>[2,3]</sup>。由此,在 BDCMR 中,路由器或网络节点需要保存一些特定信息在路由表 R 中。该算法首先选择多播信源构成初始多播树,然后根据多播成员的连接请求或退出请求,根据加入和退出操作规则,动态建立或切断连接,多播树的形成过程就是多播成员的动态加入和退出过程。

### 3.1 算法描述

为描述方便,BDCMR 路由和节点的主要消息可定义为<sup>[4]</sup>:Request—加入请求消息,即节点  $t$  向组播信源  $s$  发送“请求加入组播”;Accept—加入确认消息,即源节点  $s$  向请求授权点  $t$  发送“确认如何请求”;Delete—链路删除信息,即节点  $t$  沿组播树向父节点  $w$  逆向发送,请求删除链路  $(w,t)$ ;Establish—建立状态,路由节点在该节点已经分配完毕。另外,最优路径可定义为:如果  $p(s,t)$  满足:  $(d(s,*) + d(k,t)) \leq D \wedge (bw(i,j) \geq B) \wedge (cost(p(s,t))) = \min[cost_1, \dots, cost_l]$ , 则此路径为最优路径。

#### 3.1.1 多播成员的加入过程

多播成员要先发出请求,该操作由申请加入多播的网络节点完成,当  $G$  中某节点  $t$  申请加入标识号为  $id$  的多播树  $Tid$  时,由算法 BDCMA 找出有  $t$  到多播树  $Tid$  的满足式最优路径定义重要条件的路径  $P$ ,然后沿  $P$  及  $Tid$  向源节点请求加入多播组。算法描述如下:

```
//初始化
For  $\forall$  节点  $u \in V$  do
    If bandwidth( $p(u,v)$ )  $< B_{min}$  or delay( $p(u,v)$ )  $> D_{max}$  //
        Then delete 链路( $u,v$ );
//加入操作循环控制设置
L=True; Q=V;
While L do
    Q 中弹出具有最小费用路径的节点  $x$ ;
    If (delay( $p(x,v)$ )  $> D_{max}$ ) then delete 加入请求消息
    Else 计算每个与  $x$  相邻  $y$  的时延
    If  $p(x,v) + p(x,y)$  是所有  $x$  相邻  $y$  路径满足最小费用的约束条件
        Then  $[y]=x$ ;
    If  $x$  的状态为 Establish then 计算 delay( $p(u,x)$ )
    Else 发出加入请求消息
```

重复上述过程,加入其他所有节点,就组成了一棵满足延时、带宽约束和最小代价的多播树。

#### 3.1.2 多播成员的退出过程

退出操作由退出请求、删除请求及链路删除三部分组成。退出操作时,节点  $v$  先向源节点  $s$  发送退出请求, $s$  接收退出请求即从路由表中删除节点  $v$ 。如果  $v$  不是  $Tid$  终端节点, $v$  先释放先前分配的资源,然后沿路径  $pT(u,v)$  向其父节点  $w$  发送链路删除消息 Delete,父节点  $w$  接收到删除消息后,如果  $w$  仅仅是  $v$  的中继节点,删除链路  $(w,v)$  即可,否则删除链路  $(w,v)$  后,继续沿路径  $pT(u,v)$  向其父节点发送删除消息。对于退出操作,非终端节点请求退出操作时,多播树拓扑结构不作任何改变。终端节点退出操作时,移去路径  $pT(w,v)$ ,新的多播树  $Tid = Tid - pT(w,v)$ ,其中  $w$  为  $v$  在  $Tid$  上的断开节点。

### 3.2 性能分析

**定理 1** BDCMA 算法所构造的组播树 定能满足延时和带宽约束的要求。

证明:据 BDCMA 算法最优路径定义来计算 delay 和 bandwidth,对于  $\forall x,v \in V$ , bandwidth( $p(x,v)$ )  $\geq B_{min}$ ;另一方面,当且仅当 delay( $p(s,v)$ )  $\leq D_{max}$ ,算法才发出加入请求消息,所以对于  $\forall p(x,v) \subseteq TBDCMR$ ,有  $p(s,v)$  定能满足时延和带宽约束要求,证毕。

**定理 2** BDCMA 算法的计算复杂度为  $O(|M| \cdot |V|^2)$ ,

$|V|$  为网络节点数, $|M|$  是多播组的成员数。

证明:BDCMA 算法的计算复杂度由加入请求、加入和退出操作三部分组成,while 和 for 循环分别执行  $m$  和  $n^2$  次,当算法找到的目标节点不满足约束条件时,无论是否可以找到节点  $v$ ,在  $n^2$  的时间内都将找到一个目标节点,如果 QoS 的特征值是时延和带宽,现存启发式算法的复杂度为  $O(|V| \cdot |E|)$ , $|V|$  为网络节点数, $|E|$  为网络边数。对于大多数网络而言, $|E| = O(|V|)$ ,因此,该算法在最坏情况下其时间复杂度为  $O(|M| \cdot |V|^2)$ ,证毕。

## 4 仿真结果

仿真试验的硬件环境为 P IV2. 4G/1024MB 微机,软件环境为 FreeBSD9.0 操作系统,网络仿真平台为 Network Simulator 2.0。仿真实验中的网络图是有 Waxman 随机图模型生成<sup>[5,6]</sup>。为进一步验证 BDCMR 的有效性和可用性,将 BDCMR、SPT 和 QMRP 在算法的成功率和平均开销方面进行了仿真实验研究。每次试验中,随机选择多播源节点和若干个请求点,每种类型的试验重复 50 次,取各次结果的平均值,以保证结果的可信度。仿真结果如图 1~图 3 所示。

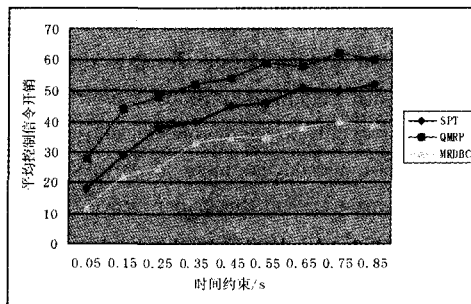


图 1 三种算法的多播树代价

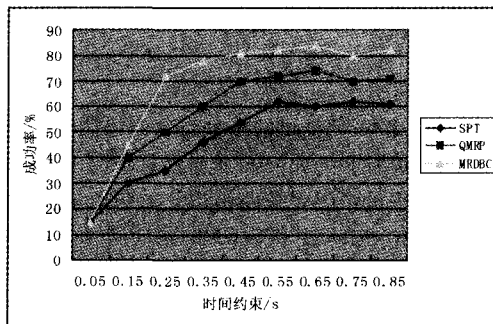


图 2 三种算法的寻径成功率

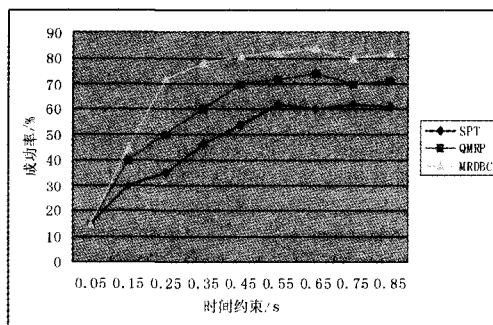


图 3 三种算法的平均消息开销

用频率高,因此其访问频率比 OGR 略高。

表 4 EMFRT 模型下的各资源访问频率

Transactions	NGR	NCR	NBR	OGR	OCR	OBR
300	91	73	11	76	42	7
600	211	154	13	156	57	9
900	342	235	14	232	67	10
1500	689	362	14	349	76	10
5000	2614	1151	14	1044	167	10
10000	6225	1846	14	1673	232	10

表 5 传统信任模型下的各资源访问频率

Transactions	NGR	NCR	NBR	OGR	OCR	OBR
300	85	74	13	77	42	9
600	185	154	16	159	73	13
900	304	229	18	237	97	15
1500	583	372	20	392	116	17
5000	2189	1225	23	1287	257	19
10000	5535	1989	23	2129	305	19

**结束语** 网络环境的动态、多组织的特性引入了新的具有挑战性的安全问题,信任模型对安全信息进行度量和评估,能较好地反映出网络环境的动态性和不确定性,因此与实际的应用策略相结合是一种服务于网格系统安全的有意义和实用价值的途径。本文提出了针对教育资源管理的一种新的信任评估模型,根据实体访问资源的推荐信任值、资源的活动因子、资源信任度的时间衰减函数以及资源所在域的信任度进行资源信任度综合评估。通过对信任评估模型的量化实验表明,该模型可作为一种有效的手段,既可以有效地防止恶意资源对数据网格中资源破坏的扩散,又可以在资源定位时增加定位的准确度,且为数据网格中为资源的信任决策提供支持。同时,该信任模型同样适用于对实体行为的信任评价。将来进一步的工作是对本文提出的信任模型进行进一步完善,如根据不同实体对相同资源的信任推荐的差异性建立模型,以及研究策略防止一些实体的恶意评价。

## 参考文献

1 Altman J. PKI Security for JXTA overlay network: [Technical

- Report, TR-I2-03-06]. Palo Alto: Sun Microsystem, 2003
- 2 Cornelli F. Choosing reputable servants in a P2P network. In: Lassner D, ed. Proc. of the 11<sup>th</sup> Int'l World Wide Web Conf. Hawaii: ACM Press, 2002. 441~449
- 3 Khambatti M, Dasgupta P, Ryu K D. A role-based trust model for Peer-to-Peer Communities and dynamic coalitions. In: Cole J L, Wolthusen S D, eds. Proc. of the 2<sup>nd</sup> IEEE Int'l Information Assurance Workshop. New York: IEEE Press, 2004. 141~154
- 4 Wang Y, Vassileva J. Bayesian network trust model in peer-to-peer networks. In: Moro G, ed. Proc. of the 2<sup>nd</sup> Int'l Workshop on Agents and Peer-to-Peer Computing. Berlin: Springer-Verlag, 2004. 23~34
- 5 Kamvar S D, Schlosser M T. EigenRep: Reputation management in P2P networks. In: Lawrence S, ed. Proc. of the 12<sup>th</sup> Int'l World Wide Web Conf. Budapest: ACM Press, 2004. 123~134
- 6 Beth T, Borcherding M, Klein B. Valuation of trust in open system, In D. Collmann, Editor, Computer Security, ESORICS'94, volume 875 of Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, Berlin, 1994. 3~18
- 7 Abdul-Rahman A, Hailers S. A distributed trust model. In: Proceeding of the 1997 New Security Paradigms Workshop, Cumbia, UK. ACM Press, 1997. 48~60
- 8 Azzedin F, Maheswaran M. Integrating Trust into Grid Resource Management Systems. In: Proceedings of the International Conference on Parallel Processing, 2002. 47~54
- 9 Azzedin F, Maheswaran M. Evolving and Managing Trust in Grid Computing Systems. In: Proceedings of the IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering, 2002. 1424~1429
- 10 Azzedin F, Maheswaran M. Towards Trust-Aware Resource Management in Grid Computing Systems. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, 2002. 452~452
- 11 Li M S, Yang S B. A grid resource transaction model based on compensation. Journal of Software, 2006, 17(3): 472~480
- 13 Abdul-Ranman A, Hailes S. Supporting Trust in Virtual Communities. In: Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000. 908~918
- 14 Dyson J R D, Griffiths N E, Lim Choi Keung. Trusting Agents for Grid Computing. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2004. 3187~3192
- 15 Azzedin F, Maheswaran M. A Trust Brokering System and Its Application to Resource Management in Public-Resource Grids. In: Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium, 2004. 289~298

(上接第 43 页)

从图 1 可以看出,当多播组数量增加时,三种算法所产生的代价也随之增加,但其中 BDCMA 增加的幅度最小,即在相同多播组的条件下,它的代价最小。从图 2 和图 3 可以看出,当时延约束增加时,三种算法寻径成功率和平均消息开销也随之增加。但相比较而言,BDCMA 比 SPT 和 QMRP 的寻径成功率要高。这主要是由于 SPT 采用单路径搜索,QMRP 在不满足 QoS 要求时就自动转换到多路径,而 BDCMA 则采用动态链接而形成的结果。

**结束语** 笔者重点讨论了具有多 QoS 约束的多播路由问题,主要涉及到带宽、时延和代价等特征值,提出了一种具有多 QoS 约束的动态多播路由算法 BDCMA,该算法避免了以往算法中大部分的盲目路径搜索,它仅仅要求网络的局部状态信息,而不要求维护全局网络状态信息。BDCMA 算法可通过分布式方式搜索到多条可行的路径分支,且能选择较优路径将新成员连入多播树,从而有效减少多播树生成的开销,使之有效的分配网络资源来满足不同的 QoS 需求。仿真

试验结果表明,BDCMA 为多约束 QoS 多播路由技术提供了一种新的有效途径,能适用于各种网络规模和群组模型,可扩展性良好,具有较好的应用前景。

## 参考文献

- 1 许红梅,许毅. 多 QoS 约束的动态多播路由算法. 交通与计算机, 2006(1): 70~72
- 2 李道奇,许毅. 基于时延及带宽约束的多播路由算法. 武汉理工大学学报-信息与管理工程版, 2005(4): 72~76
- 3 李腊元,李春林. 多 QoS 约束的多播路由协议[J]. 软件学报, 2004, 15(2): 286~291
- 4 石坚,董天临,石瑛. 基于 QoS 的动态组播路由算法. 通信学报, 2001, 8(8): 14~22
- 5 Waxman B W. Routing of Multipoint Connections [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1988, 6(9): 1617~1622
- 6 高茜,李勇,罗军舟. 一种新的 QoS 约束的多播路由协议[J]. 计算机学报, 2003. 1441~1449