

# 基于不精确网络状态信息的 Anycast 路由算法的研究\*

蔡倩华<sup>1</sup> 李吉桂<sup>2</sup>

(华南师范大学物理与电信工程学院 广州 510631)<sup>1</sup> (华南师范大学计算机系 广州 510631)<sup>2</sup>

**摘要** MRP 算法作为 Anycast 路由算法,可以减少部分不精确信息的影响。但是作为确定性算法的 MRP 算法在均衡网络负载方面不如随机性算法。本文改进了 MRP 算法,增大了相同请求选择不同路径的概率,在不增加路由器的计算时间和存储空间的情况下,理论上能够提高 QoS 满足率、降低网络负载不均的情况和减少不精确信息的影响。本文对几种 Anycast 路由算法进行了模拟。模拟结果基本上证实了理论分析。

**关键词** Anycast, QoS 路由, 不精确的网络状态信息, MRP 算法

## A Study of Anycast Routing Algorithm of the Inaccurate Network Information

CAI Qian-Hua<sup>1</sup> LI Ji-Gui<sup>2</sup>

(School of Physics and Telecommunication Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510631)<sup>1</sup>

(Computer Department, South China Normal University, Guangzhou 510631)<sup>2</sup>

**Abstract** MRP algorithm, as an Anycast routing algorithm, can reduce the impact of some inaccurate information. But, as a confirmability algorithm, it does not work well as random algorithm in network load balancing. In this paper, MRP algorithm is improved, the probability for selecting different path in the same request is increased, the QoS satisfaction rate can be enhanced theoretically, the network load asymmetry and inaccurate information impact can be reduced at a certain extent. This paper simulates several kinds of Anycast routing algorithm and on the whole, the result approves theoretical analysis.

**Keywords** Anycast, QoS routing, Inaccurate network information, MRP algorithm

基于 Anycast 技术本身具有的可以均衡网络负载、降低数据流的聚合程度和端-端时延、提高网络的可用性和可靠性的特性,以及基于它是实现透明服务器的关键技术等原因,使得它成为人们关注的下一代互联网的热点问题之一。Anycast 的核心问题是路由问题。本文研究了获取的网络状态信息往往是不精确的这个实际网络的 Anycast 路由算法无法避免的问题,并且找到了简单可行的路由算法,再在分析其优缺点后改进了算法。最后对几个算法进行了模拟,得出结论。

### 1 产生不精确信息的原因

考虑到路由器依赖网络节点和链路的可利用资源的状态信息来进行路由选择,获取的网络状态信息的不精确容易使路由选择做出错误的判断,进而降低业务流的 QoS 满足率和网络资源利用率。所以它是 Anycast 路由算法必须面对的难题。而状态信息的不确定性大致来源于以下几个方面<sup>[3,5]</sup>:(1) 现有协议为了节约网络资源,无法对网络状态信息进行频繁的更新;(2) 目前部分网络使用层次路由策略。这个策略将多个网络节点合成一个逻辑实体。这样聚合成的一个逻辑实体会丢失一些节点和链路的信息;(3) 连通网络中包含了一些私有网络,它们隐藏了部分或全部的网络资源信息,这样它们的信息是外部网络难以获取的;(4) 由于无线信道的不可靠,无线网络无法保证其获得的网络状态信息的准确性;(5) 现有的测量机制获取所谓“精确”的参数,实际是通过对实际参数取近似值得到的,其结果通常是取上限或混合了一些不精确的

假设。

上述原因有一个共性:它们是 Internet 和下一代互联网的网络体制或测量机制造成的,而不是路由算法可以控制的。而且众所周知的是,对一个被广泛使用的甚至是已经被标准化的网络体制或机制的修改是一个长期艰巨的过程。所以网络信息不精确的情况会在网络中长期存在,路由算法必须考虑不精确 QoS 信息对路由选择的干扰问题。

### 2 简单可行的基于不精确网络信息的 Anycast 路由算法——MRP 算法

目前,对 Anycast 的研究还比较薄弱,能够找到的关于 Anycast 的 QoS 问题的研究基本上都是基于精确网络路由信息的。而下一代互联网已经进入了多点、局部的试运行阶段,正迫切需要一个能够适应其复杂多变网络状态的算法。考虑到 Internet 的经验——简单的协议(如 IP 协议)更具有灵活性和可扩展性。这里继承了 Internet 的“let it simply”的设计思想,希望找到的算法简单、具有可扩展性,能够适应复杂的真实网络。

根据上述目标,本文选择基于带宽受限的概率算法 MRP 算法<sup>[1,3]</sup>作为 Anycast 路由算法。下面是它的具体思路:

多约束路由问题可以转化为带宽受限的路由问题的依据是在公平加权队列(WFQ)等调度算法下,传输延时、延时抖动和丢失率等限制条件可以定义为带宽的函数。以此为据,基于带宽受限的概率算法——MRP 算法被提出了。在一个有向

\* )广州市科技局 2002 年重点科研项目(022G2160)。蔡倩华 在读硕士,主要研究方向:计算机网络。李吉桂 教授,主要研究方向:计算机网络、知识工程等。

图  $G(V, E)$  表示的网络中, 假定带宽的真实值落在以获得的带宽的值为上限, 以获得的带宽的值一经验值  $\lambda$  为下限的区间内。  $g_l(b)$  可利用下面的公式(1)得出:

$$g_l(b) = \begin{cases} 1, & 0 < b < r_l - \lambda; \\ \frac{1}{\lambda}(r_l - b), & r_l - \lambda \leq b \leq r_l; \\ 0, & b > r_l \end{cases} \quad (1)$$

此时问题可表示为: 在网络  $G$  上找出一条满足  $\prod_{l \in p} g_l(b) \geq \prod_{l \in p} g_l(b)$  的路径  $p^*$ 。再通过对  $g_l(b)$  取负对数, 可以把求乘积最大值问题转化成求和的最小值问题, 用最短路径算法求解。

input: 用户请求  $(s, v, BW)$ , 其中  $s$  代表源结点,  $v$  代表目标结点, 每段链路的带宽限制为  $BW$ 。

output: 一条满足其 QoS 需求的路径或出错信息。

a) 对于任何  $l \in E$ , 计算它的  $wl(b) = -\log g_l(b)$

b) 利用最短路径算法, 求出从  $s$  到  $v$  的多条路径中,  $W$  值最小的那条路径。

本文将 MRP 算法移植到 Anycast 中, 改写为 Anycast 路由算法。Anycast 路由算法与一般路由算法的不同之处是其数据报将被投递给用一个 Anycast 地址标识一组提供某种服务的主机中的一台。Anycast 的服务器选择标准有两个: 最近服务器、随机服务器, 所以其路由算法也有两个。

1) 算法 1 最近服务器和 MRP 算法(算法略)

2) 算法 2 随机服务器和 MRP 算法(算法略)

MRP 算法比较简单, 只有多项式的计算复杂度, 但是它无法为不同 QoS 等级的业务流分配符合其需要的不同路径。另外虽然真实值与路由器获得的网络信息(测量值)有一定的差距, 但它一般落在测量值所在的区间之内, 当网络变化频繁时, 真实值就很可能落在测量值所在的区间外了。但是由于一般网络都使用触发机制, 当网络检测到其信息变化过于频繁时, 就会被触发, 重新进行网络数据采集和广播的工作。此时, 真实值会重新落在测量值所在的区间内。所以以测量区间的函数作为选路依据的 MRP 算法可以在一定程度上减轻网络负载不均衡的情况。还有作为确定性算法的 MRP 算法, 在同一个状态参数的广播周期内, 路由器对相同源点所选择的路径是相同的, 这样对减少“聚流”无帮助。但是使用随机性算法需要占用大量的存储空间和比确定算法更多的计算时间, 又容易加重路由器的负担、降低路由器的效率的缺点。人们希望找出一种简单可行、不会加重路由器的负担的算法。

### 3 改进的 MRP 算法

考虑到 MRP 算法的效果与其区间函数的定义方式相关, MRP 算法把函数设定为线性函数, 这明显与现实不符。本文改进了 MRP 算法, 把  $wl(b)$  值划分为多个区间。并且以其中的一个点代表整个区间。从理论上说, 改进算法的概率函数值更接近真实值的概率函数值; 并且与 MRP 算法相比, 改进的 MRP 算法求出的具有相同概率值的链路和路径的数量大幅度增加。算法对相同概率的链路和路径进行随机选择, 这样对相同的请求可能有不同的结果可能性也大幅度增加。由此, 改进的 MRP 算法以简单的方法减少了部分“聚流”现象, 达到既克服了不精确的网络信息的干扰、实现了选路的随机性, 又提高了路由器的效率、减少占用存储空间的目的。另外基于下一代互联网结合多种协议实现了给应用提供多种服务质

量, 把 IPv6、区分服务、ATMQoS、改进的 RSVP、802.1p 结合起来提供端-端的 QoS 就是其中一个例子。所以考虑到区分服务所定义的业务流等级不同, 它们对带宽的需求也随着不同, 算法通过根据业务流等级对  $wl(b)$  进行调节, 达到了选择合适路由的目的。下面以最近服务器和改进的 MRP 算法为例, 给出改进后的 MRP 算法:

算法 3 最近服务器和改进的 MRP 算法

input: 用户请求  $(s, anycast, BW, M)$ , 其中  $s$  代表源结点, anycast 地址代表了能够提供相同服务的一系列节点, 每段链路的带宽限制为  $BW$ , 最大跳数限制为  $M$ 。

output: 一条满足其 QoS 需求的路径或出错信息。

a) 对于任何  $V \in anycast$  数组, 计算其到源地址  $s$  的最小跳数  $V[m]$ , 选择  $V[m]$  最小节点为目的节点  $v$ 。if  $v[m]$  的值  $> M$ , error(“不满足跳数限制”), break;

b) 对于任何  $l \in E$ , if  $l$  到  $v$  的最小跳数小于或等于  $M$ , 计算它的  $wl(b)$

if  $l$  的业务流等级为(AF)and  $wl(b) \leq 0.6$ ,  $wl(b) = 1$

if  $l$  的业务流等级为(EF)and  $wl(b) \leq 0.4$ ,  $wl(b) = 1$

对  $wl(b)$  进行如下的量化, 得  $Wl(b)$  值:

IF  $wl(b) = 1$ ,  $Wl(b) = 1$

IF  $1 < wl(b) \leq 0.8$ ,  $Wl(b) = 0.8$

IF  $0.8 < wl(b) \leq 0.6$ ,  $Wl(b) = 0.6$

IF  $0.6 < wl(b) \leq 0.4$ ,  $Wl(b) = 0.4$

IF  $0.4 < wl(b) \leq 0.2$ ,  $Wl(b) = 0.2$

IF  $0.2 < wl(b) < 0$ ,  $Wl(b) = 0.1$

IF  $wl(b) = 0$ ,  $Wl(b) = 0$

IF  $wl(b) = nil$ ,  $Wl(b) = nil$

c) 利用 Dijkstra 算法, 求出从  $s$  到  $v$  的多条路径中, 利用

$$W = \sum_{l \in p} wl(b)$$

求出的  $W$  值最小且满足最大跳数限制的那条路径。

If 没有合适的路径, error(“不满足带宽和跳数限制”)

算法 4 随机服务器和改进的 MRP 算法(算法略)

算法 3 和算法 4 分别比算法 1 和算法 2 增加了  $O(M)$  的计算复杂度, 所以它们的计算复杂度还是多项式的。但是它们在选路上的计算更加方便简单。

### 4 模拟模型与结果分析

本文采用了 ARPANET 骨干网的拓扑结构(图 1)进行测试。图 1 的网络拓扑结构包含 28 个节点和 45 条链路, 1 个节点代表一个骨干路由器, 其中 4 个骨干路由器所在的网络中包含了 Anycast 的服务器。

系统还作了如下假设:

1) 带宽值在 10M 到 50M 之间随机选取。

2) 每个结点上的请求到达服从泊松分布。并相互独立, 平均到达间隔为  $\Delta t$  秒。

3) 请求维持时间服从指数分布, 平均为 3 分钟。

4) 每次请求带宽要求满足在 64k bps ~ 6M bps 中均匀分布。

这里以随机服务器和最短路径算法(算法 5)为对比算法, 模拟了网络中存在平均请求到达间隔为 15s 的请求和每隔 20s 对网络信息进行一次测量时, 处理 2 万个 Anycast 请求 20 次所体现出的平均性能。其中基于由网络负载不均引起的数据“聚流”的直接后果是网络中部分链路的剩余带宽严重不足、其相连节点的数据包等待队列长; 随着请求的大幅度增

加,剩余带宽严重不足的链路数量也大幅增长。所以这里选择剩余带宽小于 2M 的链路数占全体链路数量的百分比来表示数据流的聚合情况。

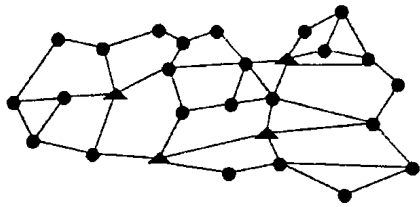


图 1 ARPANET 骨干网的拓扑结构

模拟结果如下:

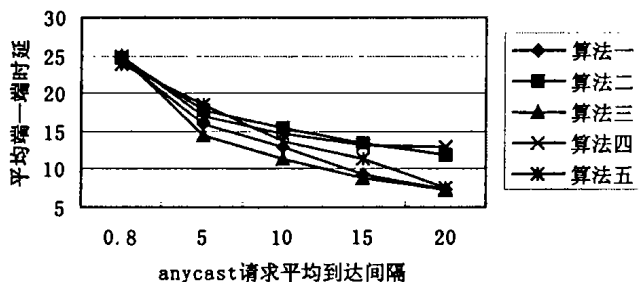


图 2 采用 ARPANET 骨干网拓扑处理 2 万个 anycast 请求的模拟结果(1)

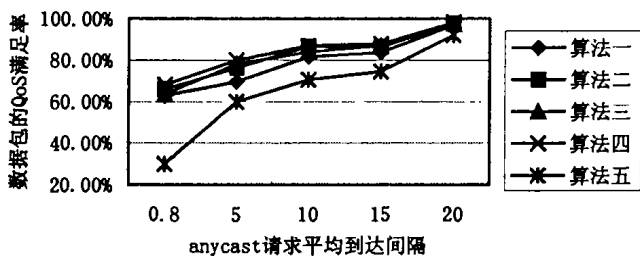


图 3 采用 ARPANET 骨干网拓扑处理 2 万个 anycast 请求的模拟结果(2)

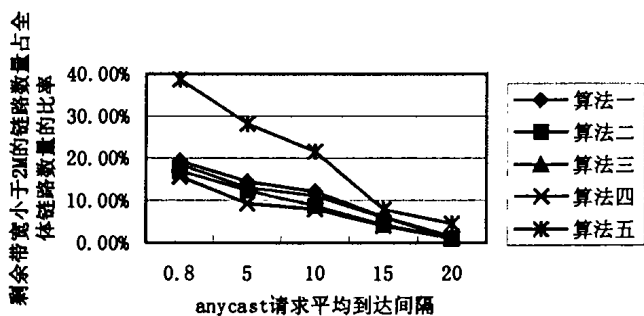


图 4 采用 ARPANET 骨干网拓扑处理 2 万个 anycast 请求的模拟结果(3)

模拟结果证明,大体上,选择距离向量最小的路径,“尽力而为”地传输数据,而不理会数据流的 QoS 要求的最短路径算法(算法 5)有最低的请求的 QoS 满足率、最严重的数据“聚流”现象和最大的端-端时延。另外网络资源极其不足时,使用哪种算法的效果都区别不大,此时使用最短路径算法就可得到最小时延。

还有 MRP 类算法比最短路径算法的各项性能基本上都强一些,证明了 MRP 类算法更能减少不精确网络状态信息

的影响。而在减少数据“聚流”、满足业务流 QoS 需求方面,改进的 MRP 类算法比 MRP 类算法的效果略好一些。但同时改进的 MRP 类算法的请求拒绝率更高一些,如随机服务器的改进的 MRP 类算法的请求拒绝率为 3.13%时,随机服务器的 MRP 类算法的请求拒绝率为 2.82%。可见根据业务流等级对  $Wl(b)$  进行的调节,可以拒绝一些请求,减少了网络中的数据包、提高请求的 QoS 满足率。而改进的 MRP 类算法在轻载时有较大的端-端时延和拥有较低的剩余带宽比率说明其有一定分散数据流的作用。但是这两类算法性能方面的差距不是很大,改进算法的效果是有限的。但是,基于还没有找到简单可行的算法能够比改进的 MRP 算法更好地解决网络负载不均等问题,所以改进的 MRP 算法还是有现实应用和研究价值的算法。

还有选择随机服务器的 MRP 类算法又比选择最近服务器的 MRP 类算法的端-端时延大。在减少数据“聚流”、满足业务流 QoS 需求方面,选择随机服务器的 MRP 类算法比选择最近服务器有优势,显然,选择随机服务器在一定程度上分散了数据流,所以在均衡负载等方面做得更好,同时它也付出了更多时延的代价。

小结 下一代互联网已经进入了局部的试运行阶段,但对 Anycast 的 QoS 路由算法的研究还处在初级阶段。为此本文选择了一个简单可行的算法——MRP 算法作为 Anycast 的路由算法,并且根据 Anycast 的特点对算法进行了改写。然后再分析其优缺点,对算法进行了改进,得出改进的 MRP 算法。经过模拟和测试,本文发现:①MRP 类算法简单可行、可扩展性强,在 Internet、下一代互联网以及它们的混合网络都可以运行;②MRP 类算法,特别是改进的 MRP 算法,与最短路径算法相比,可以减少不精确网络状态信息对路由的干扰、减少数据“聚流”和网络负载不均衡的现象,提高网络资源利用率。但是 MRP 类算法实际上是从最短路径算法的基础上发展出来,它只能在一定的限度上改善“聚流”等现象,无法完全避免这些问题;③改进的 MRP 算法可以配合区分服务选择符合其需要的路径,对提高其 QoS 满足率有帮助;④随机服务器的 MRP 类算法在均衡负载、减少数据“聚流”现象方面做得更好一点;最近服务器的 MRP 类算法在减少端-端时延方面更强一些。

### 参考文献

- 1 Guerin R A, Orda A. QoS routing in networks with inaccurate information: Theory and algorithms [J]. IEEE/ACM Transactions Networking, 1999, 7(3): 350~364
- 2 Lorenze D, Orda A. QoS routing in network with uncertain parameters [J]. IEEE/ACM Transactions Networking, 1998, 6(6): 768~778
- 3 冯径, 顾冠群. 基于不确定参数的 QoS 研究. 计算机研究与发展, 2002(5)
- 4 Shaikh, Rexford J, Shin K G. Evaluating the Impact of Stale Link State on Quality-of-Service Routing. [J] IEEE/ACM Transactions Networking, 2001, 9(2): 162~176
- 5 徐格, 吴建平, 徐明伟, 编著. 高等计算机网络——体系结构、协议机制、算法设计与路由器技术[M]. 机械工业出版社, 2003
- 6 张品, 李乐民, 王晟. 运用模糊数解决非确定环境下的路由问题. 电子学报, 2003(12)