

# 单一源节点选播路由算法的研究与实现<sup>\*</sup>

李旻朔<sup>1,2</sup> 李陶深<sup>1,3</sup>

(广西大学计算机与电子信息学院 南宁 530004)<sup>1</sup> (浙江师范大学计算机科学与技术学院 金华 321004)<sup>2</sup>

(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)<sup>3</sup>

**摘要** 本文探讨利用遗传算法研究选播路由算法的关键技术问题,设计实现了一个基于遗传算法的单一源节点选播路由算法,利用网络模拟平台,对设计的选播路由算法进行了网络仿真实验和分析。模拟结果表明我们的算法可提高网络搜索速度和网络资源利用率,进而改善网络服务质量。

**关键词** 计算机网络,选播路由,遗传算法

## 1 前言

为了增强网络服务质量(QoS)和改善网络的流量分布,常用的方法是在网络中复制多个服务器来满足网络用户的要求。在 Internet 上,可以采用一种新的服务模型—选播通讯模型(anycast)来支持分布式服务器复制。选播服务是指给定网络众源点和一组目标点,寻求从源点到任一目标点的路由路径。一组目的主机的地址是由一个选播地址表示;提供相同服务的不同服务器拥有相同的选播地址。例如:多个 WWW 镜像服务器可以共享一个选播地址,为得到所需要的信息(例如:天气情况、股票数据等),用户可以采用选播地址所对应的虚拟主机名访问若干个主机中的一个。选播通讯已被规定为 IPv6 中的一种标准通讯模型<sup>[1,2]</sup>。

对网络层进行选播通讯的研究是目前世界上对选播通讯模型的研究方式之一<sup>[2,3]</sup>,这种研究才刚刚起步,主要有对选播路由通讯中的路由表构造及路由算法的研究。由于基于多个不相关可加度量的 QoS 路由问题是一个 NP 完成问题,目前采用的方法多为启发式算法。现有的启发式算法存在着算法复杂,难以求解等问题,还不能应用于实际。在如何解决选播通讯方面的路由问题,目前仍然没有一种比较有效的路由算法。许多的技术仍处于实验室研究之中。

遗传算法是一类借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机化搜索算法,它模拟自然界生物体从低级到高级的演化过程,由初始种群出发,采用优胜劣汰,适者生存的自然法则选择个体,通过交配、边以来产生下一代种群,如此逐代演化,直到满足期望的条件。近年来,遗传算法作为求解 NP 难问题和最优问题及复杂工程问题的有效工具,引起了越来越

多人的关注。本文把遗传算法引入选播路由计算,以提高搜索效率和网络资源的利用率。

## 2 选播服务模型

选播服务的基本模型可描述为: $G = \langle V, E \rangle$ ,其中, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 是一个计算机网络的节点集合, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_{mw}\}$ 是网络的链路集合。每一条链路  $e_j$  都有一个可用的链路带宽(或称为链路容量) $B_j$ 。

一个选播服务请求可以表述为: $R = (S, D, B, N)$ ,其中,选播地址  $D$  是一组可向源节点提供相同服务的目的节点,可用  $G(D)$  来表示一组目的主机,即  $G(D) = \{D_1, D_2, \dots, D_m\}$ ,  $D_1, D_2, \dots, D_m \in V$ ;源节点  $S$  是一组请求服务的源节点,可用  $G(S)$  表示一组源主机,即  $G(S) = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ ,其中  $S_1, S_2, \dots, S_n \in V$  且  $S_1, S_2, \dots, S_n \text{ not.} \in G(D)$ ;  $B$  为传输带宽; $N$  为传输延时需求,如要简化延迟需求, $N$  可表示为传输路径所允许的最大链路数(假设所有链路具有相同的延迟及传输路径的延迟等于传输路径上所有链路延迟的累加),这样可以简化算法的讨论。

本文研究的单一源节点选播路由的服务模型可以描述如下:

给定一个网络  $G = \langle V, E \rangle$  和一个选播服务请求  $R = (S, D, B, N)$ ,寻找一条从源节点  $S$  到  $G(D)$  中任何一个目的节点的一条传输路径  $P$ ,使得路径  $P$  上每条链路  $[i, j]$  的带宽  $B_j$  都不小于  $B$ ,而且路径  $P$  上的链路数不大于  $N$ 。

问题的数学描述为:

Find a path  $P$ , subject to:

For all edge  $[i, j] \in E$ :

$$\sum_{[i,j] \in P} \text{delay}([i,j]) \leq N$$

<sup>\*</sup> 基金项目:广西自然科学基金(桂科 0640026),广西十百千人才工程专项基金项目(桂人字 2001213 号)。

$$\min\{B_{i,j} | [i,j], in, P\} \geq B$$

其中,  $delay([i,j])$  表示路径  $p$  上各条链路  $[i,j]$  的时延, 模型中以链路数小于  $N$  (特定常数) 来简化对时延的要求;  $B$  是与服务请求相关联的流量 (动态值), 路径  $p$  上各条链路  $[i,j]$  的带宽  $B_{i,j}$  都要求不小于  $B$ 。

### 3 基于遗传算法的单一源节点选播路由算法

#### 3.1 选播路由数据结构

要设计选播路由算法, 首先要根据选播路由模型, 对算法中所需的数据结构进行设计, 下面是我们在设计选播路由算法中使用的数据结构。

##### (1) 网络仿真拓扑结构

网络仿真拓扑结构用链路容量矩阵  $Re[][]$  表示。实验网络仿真的拓扑结构为无向图, 因此链路容量矩阵  $Re$  是一个对称矩阵, 即:

$$Re[i][j] = Re[j][i]; \quad (i, j) \in V$$

链路容量矩阵  $Re[][]$  的值可以通过网络仿真得到。

图 1 是一个网络的仿真拓扑结构, 包含 40 个节点, 图中各节点按序号 0—39 进行编号。链路容量矩阵  $Re$  的值可通过网络仿真拓扑结构得到, 如节点 2 与节点 6 之间构成链路, 有:

$$Re[2][6] = Re[6][2] = B_{2,6};$$

节点 0 与节点 6 之间不直接构成链路, 则有:

$$Re[0][6] = Re[6][0] = 0;$$

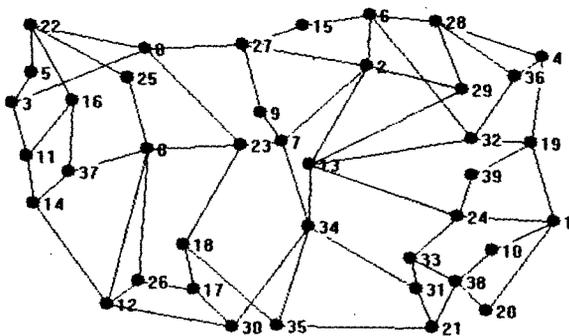


图 1 一个网络仿真拓扑结构例子

##### (2) 源/目的组站点

用链表  $dA$  来存放系统生成的目的组节点, 用链表  $sA$  来存放其余站点中选择有服务请求的源点组。链表  $dA$  和  $sA$  可通过网络仿真得到。

##### (3) 各源节点对目的组的发送需求

用矩阵  $Req[][]$  存放各个源点对目的组节点的发送需求。对于任意源点  $s=i$ , 如果目的节点组为  $G(D) = \{D_1, D_2, \dots, D_m\}$ , 则有:

$$Req[i][D_1] = Req[i][D_2] = \dots = Req[i][D_m]$$

##### (4) 候选路径

用一个链表来表示候选路径, 链表中的每一结

点为该路径上的节点。每一对要求通信的源/目的组节点对的可能候选路径, 可用广义表表示, 也可用矩阵表示。本文把求得的候选路径存放于链表矩阵  $rou[i][j]$  中, 其中  $i$  是源节点的序号; 把得到的每一对源/目的组的候选路径总数存放于矩阵  $k[]$ , 这样可方便遗传算法中的变异操作。候选路径按路径的单位通信延迟值由小到大排序, 体现了算法在路径改道时使用最短路径最先的思想。

根据网络结构, 通过本文设计的选播路由算法, 可求出全部源/目的组站点间的候选路径, 每一条路径作为路由选择遗传算法中的基因。采用它们作为基因寻求最优路由, 可以减少搜索范围, 仅取每一对源/目的组节点的一条路径拼成一次路由选择, 作为一个染色体。

#### 3.2 基于遗传算法的选播路由算法

基于遗传算法的选播路由算法的设计思想是: 首先进行路由计算, 即根据网络拓扑结构、源/目的节点组及其发送需求, 生成所有的候选路径, 构造完整的路由表; 然后在此基础上进行遗传演化, 利用遗传演化算法的特定功能得到最优选播路径。下面是算法的具体描述:

算法: Anycast-Routing

输入: 网络拓扑结构关系容量矩阵  $Re[][]$ , 源节点链表  $sA$ , 目的节点链表  $dA$ ;

输出: 最优选播路径  $P$ ;

begin

  step1. 节点序号  $m=0$ ;

  for 链表  $sA$  的每个节点 do

    1.1 { 候选路径数目  $k=0$ ;

      路径  $P$  的初始节点为  $s$ ;

      for  $j=0$  to  $netSize$  (网络节点总数) do

        if 存在链路  $[s,j]$  then

        { 节点  $j$  添加至路径  $P$ ;

        路径  $P$  合法性检验;

        if 路径  $P$  合法 then

          if ( $j$  in  $dA$ ) then

            路径  $P$  放入矩阵

$rou[m][k++]$ ;

          else 路径  $P$  入队列

$cq$ ;

    1.2 while 队列  $cq$  不空 do

      { 队列  $cq$  的首路径  $P$  出队;

      路径  $P$  的末节点赋予  $s$ ;

      for  $j=0$  to  $netSize$  (网络节点总数) do

        if 存在链路  $[s,j]$  then

        { 节点  $j$  添加至路径  $P$

        尾;

        路径  $P$  合法性检验;

        if 路径  $P$  合法 then

          if ( $j$  in  $dA$ ) then

            路径  $P$  放入矩

            阵  $rou[m][k++]$ ;

          else 路径  $P$  入队列

$cq$ ;

        }

      }

```

1.3 k 值赋给 k[m]; //该节点的候
    选路径总数;
    m++; //考虑下一个源节点;
step2: 设置演化代数 maxgen;
    根据矩阵 rout[][] 构造初始种
    群;
    计算个体适应值;
    寻找最优个体作为种染色体;
    for i=0 to maxgen do
    {
        if 最优个体适应值的变化满足
            条件 then
            得到选播路由最优解, 结束循
            环;
        else
        { 父代染色体经过交叉、复制、变
            异操作, 得到子代染色体;
            计算子代个体的适应值;
            寻找子代中最优个体作为新的
            种染色体;
        }
    }
    显示最优个体所对应的路径 P;
end.

```

我们知道, 在选播通信中, 由于一个信包可能存  
 在多条路径(这是选播固有的性质), 因此路由中有  
 出现循环的危险。显然, 这种循环现象是因为路由  
 器之间的弱合作造成的。为了避免循环, 在构造候  
 选路径时, 必须保证要添加的新节点与已存在路径  
 中的节点不能产生回路, 如果产生回路, 则放弃该新  
 节点。

在上述的选播路由算法中, 通过生成所有的候  
 选路径, 大大降低了遗传算法的候选集合量, 从而可  
 以在较短的时间内得到全局最优解。候选路径的计  
 算需要获得整个网络的相关信息, 在时间和空间上  
 会增加一定的开销, 如果我们处理的是节点数较少  
 的局域网络, 那么这个开销是可以接受的。因此, 本  
 文设计的选播路由算法比较适合规模较少的网络模  
 型。

#### 4 算法分析与评价

本文采用模拟作为分析和评价路由算法性能  
 的主要手段, 设计了一个用于选播路由算法评价的网  
 络模拟系统(如图 1 所示)。通过大量网络模拟实验  
 和分析表明, 算法的总适应值能快速收敛, 很快就趋  
 于平稳, 从全局上体现了该算法有很好的收敛性; 另  
 一方面由于我们考虑了各代的最优个体, 每个基因  
 对应着一个源节点, 最优个体适应值随着演化的进  
 行很快收敛于一个最优值。

在下面的实验中。每个数据点均作 100 次随机  
 实验, 然后统计所有实验的平均值。

我们首先对网络规模变化时遗传算法的效率与  
 收敛性进行实验, 实验中的网络规模由 8 到 48  
 变化, 目的节点数固定为 8, 遗传算法初始种群的规模

设为 20, 进化 70 代; 遗传算法的交叉概率近似于  
 0.5, 变异概率约为 0.01。实验结果见图 2 和图 3。

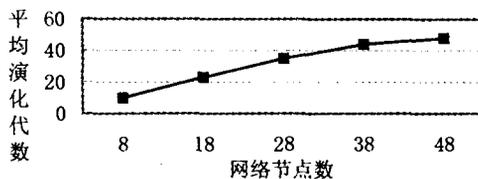


图 2 网络节点数目变化时平均演化代数

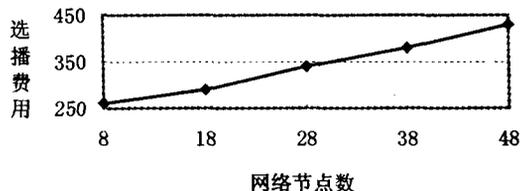


图 3 网络节点数目变化时选播费用

从图 2 中可以看出, 当网络规模增大时, 算法得  
 到解所需的平均进化代数增多, 这是由于网络节点  
 数增多时, 遗传算法的染色体编码变长, 搜索空间增  
 大, 为此求解需进化的代数增多。算法的平均演化  
 代数随着网络节点数增大的曲线增长比较缓慢, 这  
 是因为算法是在生成所有候选路径后进行全局寻优  
 的, 网络节点数目的增多对演化代数的影响不是很  
 大。

图 3 反映了网络节点数目的变化对选播费用  
 的影响。在网络节点数目小于一定值时, 采用本文算  
 法所需的选播费用比较低, 算法确可体现出它快速  
 收敛的优越性。当网络规模逐步增大时, 算法就需  
 要花费大量的时间与空间来处理全局候选路径的生  
 成, 算法选播路径的费用也在逐步增高。显然, 该算  
 法只适合小型网络的选播路由。

然后我们针对网络规模固定、目的节点数变化  
 的情况下算法的收敛性进行了实验, 此时网络固定  
 为 20 个节点, 目的节点数从 3 到 10 变化, 遗传算法  
 初始种群的规模设为 20, 进化 60 代; 遗传算法的交  
 叉概率近似为 0.5, 变异概率约为 0.01。图 4 和图  
 5 给出了实验的结果。

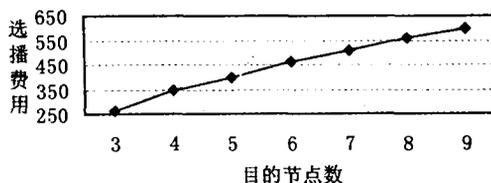


图 4 目的组节点数目变化时选播费用

图 4 表明在网络规模固定而目的节点数变化  
 时, 算法的选播费用增加, 这是显而易见的。由于目

的节点增多时,搜索范围扩大,因而算法的费用增加较快。图5表明在网络规模固定而目的节点数变化时,算法1的运行时间几乎没太大的变化。

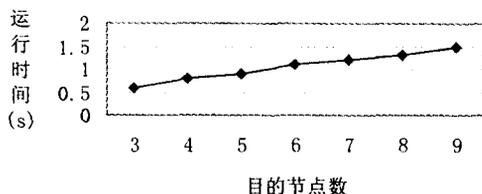


图5 目的组节点数目变化时运行时间

**结束语** 本文在现有计算机网络路由问题研究的基础上,针对单一源节点选播路由问题,提出了一种基于遗传算法的选播路由算法。由于引入了遗传算法,大大提高了算法的搜索效率,使路由算法跳出

局部最优解,尽量能达到全局最优;另一方面,我们的路由算法使网络负载充分平衡,从而大大提高网络的利用率。网络模拟实验表明,该算法具有良好的服务性能,并能有效平衡网络负载。我们的研究只是初步的,下一步我们将开展选播路由中的出错网络、非独立信包、多组系统等方面的研究。

## 参考文献

- 1 Hinden R, Deering S. IP version 6 addressing architecture[R]. RFC 1884, IETF, 1995
- 2 Basturk E, Engel R, Heas R, et al. Using network layer anycast for load distribution in the Internet[R]; [IBM Research Report, RC20938]. 1997
- 3 Xuan D, Jia Weijia, Zhao W. Routing Protocols for Anycast Messages. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2000, 11(6):571~588

(上接第7页)

有源S,且组地址G和DSCP值与到达的数据包的状态相同时,则进行简单的复制,然后转发复制的数据包。如果检查到源和组地址与到来的数据包的状态相同而服务等级比到达的数据包服务等级低时,则需将已复制的数据包中的DSCP变成出接口中相应的DSCP值,然后再进行转发。这一步很重要,因为这将决定在下一跳路由器组播数据如何被对待。这种情况是下一个链路的服务级别将要降低,所以要将代表优先级高的DSCP转换成优先级低的值来节省网络资源,并满足用户的要求。

(3)基于组播数据包中的DSCP值在出接口上把数据分配给相对应的QoS队列。

当前的路由器实施服务区分采用的是优先权或加权的排队技术比如基于类的排队(CBQ)和加权公平队列(WFQ)。在区分服务网络中,数据包被不同的DSCP值所标记,在队列中采用不同的优先权来调度,从核心路由器角度看,携带相同DSCP值的数据包会以统一的方式来转发。类似地,对待组播数据时也是依赖包头中的DSCP值,DSSM中核心网络的带宽分配给每个QoS通道,来自不同通道的数据包按照相应的优先级队列来调度。另外,对于有相同DSCP值的数据包在相应的队列中被统一对待。

**结束语** 本文在研究区分服务和源特定组播的基础上,提出了将两者结合的解决方案,讨论带QoS请求的组成员加入、离开过程和数据包的转发机制,文[10]提出在区分服务网络的路由器中保存数据包的源地址,组地址以及DSCP值,本文同样采用此结构保证区分服务下组播的实现。该方案能够支持具有不同QoS等级要求的组播服务并且能满

足同组内组成员间不同的QoS请求,加入请求是由接收者发出的并且该消息中捎带了DSCP值,因此,QoS的驱动和多样化问题得以解决。而BB的引入,提供了接纳控制,有效的解决了NRS问题。来自相同QoS类的不同源的组播数据在网络中可以得到汇聚。本方案需要修改组播路由协议和区分服务结构,能建立带有服务等级的组播树并且数据包能在区分服务域内被复制,实现组播应用。

## 参考文献

- 1 Striegel A, Manimaran G. A Survey of QoS Multicasting Issues. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(6):82~87
- 2 Bhattacharyya S. An Overview of Source-Specific Multicast (SSM). IETF RFC 3569, Jul. 2003
- 3 Bless R, Wehrle K. IP Multicast in Differentiated Services (DS) Networks. IETF RFC 3754, Apr. 2004
- 4 Blake S, Black D, Carlson M, et al. An Architecture for Differentiated Services. IETF RFC 2475, Dec. 1998
- 5 Holbrook H, Cain B. Source-Specific Multicast for IP. IETF Internet Draft, draft-ietf-holbrook-ssm-arch-07.txt. 4 Oct. 2005
- 6 Li Z, Mohapatra P. QoS-aware Multicasting in DiffServ Domains. In: Proceedings of IEEE Global Internet Symposium, Nov. 2002
- 7 Striegel A, Manimaran G. DSMCast: a scalable approach for DiffServ multicasting. Computer Networks, 2004, 44(6):713~735
- 8 Vrontis S, Sykas E. Extending Differentiated Services Architecture for Multicasting Provisioning. Computer Network, 2004
- 9 Striegel A, Bouabdallah A, Bettahar H, et al. EBM: A New Approach for Scalable DiffServ Multicasting. In: Proceedings of International Workshop on Networked Group Communication (NGC), September. 2003
- 10 Bianchi G, Blefari-Melazzi N, Bonafede G, et al. QUASIMODO: Quality of Service-aware Multicasting over DiffServ and Overlay Networks. IEEE Network, 2003, 17(1):38~45
- 11 Striegel A, Manimaran G. Dynamic DSCPs for Heterogeneous QoS in DiffServ Multicasting. In: Proceedings of IEEE GLOBECOM, 2002
- 12 Yang B, Mohapatra P. Multicasting in Differentiated Service Domains. In: IEEE Globecom'02, Nov. 2002