

一种基于遗传算法的负载均衡选播路由算法

陶 洋 陈 辉

(重庆邮电学院软件中心 重庆 400065)

摘 要 选播是定义在 IPv6 中的一种新型的网络服务。它可以实现一台主机与一组目的主机之间最“近”的一个通信。本文提出了一种负载均衡选播路由算法,并利用改进的遗传算法求最优解。该算法以路径延时、剩余带宽、服务器负载这三个参量为选路依据,保证了选播路由的服务质量。仿真结果表明,该算法可以达到合理利用系统资源,提高网络运行效率的目的。

关键词 选播, QoS 路由, 负载均衡, 遗传算法

A Load Balanced Algorithm for Anycast Routing Based on Genetic Algorithm

TAO Yang CHEN Hui

(Software Center of Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065)

Abstract Anycast is a new network service defined in IPv6, and it can make a host communication with the most appropriate one of a group of servers. This paper presented a load balanced algorithm for anycast routing, and used genetic algorithm to get the best result. The algorithm employed the delay, residual bandwidth and server load as routing metric to guarantee the quality of service. Emulation results indicate that system resource is adequately used and network efficiency is improved by the algorithm.

Keywords Anycast, QoS routing, Load balanced, Genetic algorithm

1 引言

随着现代计算机网络的飞速发展,特别是 Internet、移动计算和分布式计算的迅速普及。网络的作用从简单的信息传递发展到远程电视会议、视频点播、网络游戏等复杂的应用。这些应用不但需要消耗大量的网络资源,对通信的方式、服务质量等也提出了更高的要求。

Anycast(选播)是定义在 IPv6 中的一种新型网络服务,它可以实现一台主机与一组目的主机之间的通信,具有非常广泛的应用。首先,在服务器复制方面,多个 WWW 镜像服务器可共享一个选播地址;其次,选播可以极大地改善网络资源以及服务器的负载平衡;另外,选播还可以简化一些网络服务,比如主机的自动配置、DNS 解析等。

从以上对 Anycast 服务的介绍可以看出,这种服务的主要功能是为用户做出合适的服务器选择。因而路由问题是选播技术的根本问题,它直接决定服务的可用性和效率。目前,针对选播路由的研究才刚刚起步,虽然已有少量对路由算法的研究^[1~3],但目前提出的选播路由算法有些只是提出适用于选播通信服务的路由算法,没有考虑服务的 QoS 特性;而有些算法对 QoS 问题做了一些初步探讨,但未涉及到服务器负载、网络剩余带宽等重要内容。针对目前选播路由的不足,本文提出了基于遗传算法的负载均衡选播路由算法,保证了选播路由的服务质量。

2 算法的设计思想

2.1 选播路由算法模型

选播服务的基本模型可以从图论的角度抽象为:有向加

权图 $G=(V,E)$, 其中

$V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 是网络的节点集, $E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 是网络的链路集合。每一条链路 P_i 都有一个可用的链路带宽(或称为链路容量) B_i 。一个选播请求定义为 $R=(S, Limit, D)$, 包含源节点 S 、选播地址 D ; $Limit$ 是传输条件,可以是传输带宽 B 、传输延时等需求 N 。其中,选播地址 D 是一组可以向源节点提供相同服务的目的节点。

2.2 负载均衡的算法选路依据

本文针对实现 QoS 路由的目的,选择剩余带宽、时延、服务器负载作为本算法的选路依据。下面分别对这些量进行介绍。

剩余带宽:是反映网络动态性能的一个很好的参数,也是用户最为关心的参数。本算法采用 SNMP 协议中的 MIB 中的内容来得到路径已用带宽。假设某条带宽为 B 的路径 P , 在某一时刻由 SNMP 协议得到的已用带宽为 b , 则剩余带宽为 $B-b$ ^[4]。本文用剩余带宽率 $RBP(\text{residual bandwidth percentage})=1-b/B$ 来度量。

时延:这里我们假设路径上各节点的时延为静态的可加性时延,因此可以采用该路径中所有节点的时延的总和来作为所选路径的时延。即

$$D(P)=\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{i,j} \rho_{i,j} \quad i, j=1, 2, \dots, n$$

其中

$$\rho_{i,j} =$$

$\begin{cases} 1, & \text{如果节点 } i \text{ 到 } j \text{ 的链路是所选路径 } p \text{ 中的一条路径} \\ 0, & \text{如果节点 } i \text{ 到 } j \text{ 的链路不是所选路径 } p \text{ 中的一条路径} \end{cases}$

服务器负载:这是针对选播特性专门选择的一个重要参

数,选播的优点之一就是体现在能够选择一个相对较优的服务器来提供服务。服务器负载由服务器的处理能力、内存容量以及响应事件的能力等决定。本文通过选播组管理协议来获得服务器的负载,对于选播服务器成员组 $D=\{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 中的服务器 d_j 的负载为 P_j 。

在具体的应用中,我们当然希望所选择的路径满足最大的剩余带宽、最小的传输时延、最快的服务器响应速度。但是,在实际的计算机网络中,我们知道这些目标可能会相互冲突。为了平衡这些度量参数,我们提出了公式(1)作为一个选路的目标函数,即后文提到的适应度函数。

$$f_a = k_b(1 - \frac{b}{B}) + k_p(1 - p); f_b = \frac{1}{k_d D};$$

$$\text{fitness}(P) = f_a f_b \quad (1)$$

其中, k_b, k_p, k_d 是调整系数,用来调整剩余带宽、服务器负载、时延三者之间的依赖关系,根据实际的应用和具体网络系统环境来制定。

3 基于遗传算法的路由算法设计

遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是一类借鉴生物界的进化规律(适者生存、优胜劣汰遗传机制)演化而来的随机化搜索方法。它由美国的 J. Holland 教授 1975 年首先提出,其主要特点是直接对结构对象进行操作,不存在求导和函数连续性的限定;具有内在的隐并行性和更好的全局寻优能力;采用概率化的寻优方法,能自动获取和指导优化的搜索空间,自适应地调整搜索方向,不需要确定的规则。遗传算法的这些性质,已被人们广泛地应用于组合优化、机器学习、信号处理、自适应控制和人工生命等领域。它是现代有关智能计算中的关键技术之一^[5]。

3.1 遗传算法的编码和初始种群的形成

在遗传算法中,如何将问题的解转换为编码表达的染色体,是遗传算法的关键问题。在遗传算法中,初始种群应力求包括各种基因,使它们在遗传过程中发挥作用,实现优胜劣汰的演化效果。大部分用遗传算法求解网络路由的算法均采用利用含有所有基因的等长编码来构成染色体。当网络节点数较多,并且相关节点形成的边集数量非常大的时候,这种方法非常复杂。本文针对选播路由的特点以及遗传算法的编码规则,采用符号编码法,利用不定长的节点序列来编码。一条从源节点到目的节点的路径就是一条染色体。例如源节点为 5,目的节点为 9,存在一条路径 5-3-0-7-9,该路径就可以编码为(5,3,0,7,9)。这种编码方式非常直观,易于理解,且能满足 DeJong 的有意义木块编码规则。另外,结合网络的特性,网络拓扑中的节点标识是事先给定且保持不变的,因此这种编码方式 also 具有很强的稳定性。

形成初始种群的方法采用带权的宽度优先搜索算法。因为使用普通的宽度优先搜索算法,只要存储图的链表结构不变,每次从源节点到目的节点选择的路径都相同。这样选择的初始种群不具有全局最优性。本文采用加权的宽度搜索,对原有的宽度优先搜索做一定的改进。新算法须遵守两个规则:(1)若初始种群的大小为 popsize,则为图中任意一条边赋权值为 p_i ;(2)对节点进行宽度优先选取下一个节点时,按照节点所在边的权值从大到小优先入队。按宽度优先算法找到一条路径 p_1 后,将这条路径上所有的边的权值减 1。这样再对改变权值后的图做宽度优先搜索。如果 p_1 这条路径上的权值较小,就会优先搜索其他路径。依此类推,最终找到

popsize 条路径,构成含有 popsize 条染色体的初始种群。这样找到的染色体避免陷入局部最优,而具有一定的代表性。

3.2 适应度函数

由于遗传算法在进行进化搜索过程中基本不用外部信息,仅以适应度函数为依据,利用种群中每个个体的适应度值来进行选择、复制染色体,所以适应度函数直接影响到遗传算法的收敛速度以及有效性。根据本问题的提出,在本文第 2 节中已详细介绍了本算法需要考虑剩余带宽、服务器负载、时延等与服务质量密切相关的参数并提出了算法的适应度函数,即公式(1)。

3.3 选择操作

选择操作是用来确定或者交叉个体,以及被选个体将产生多少个子代个体。选择操作一般有两个过程:首先是计算适应度值;然后按照适应度值从大到小进行排序,即 $F(h_1) \geq F(h_2) \geq \dots \geq F(h_n)$,即适应度值最大的就是最好的个体,将最好的个体选作父个体。本算法中利用轮盘法则做子代的选择,即各个个体的选择概率与其适应度值成比例,个体适应度越大,被选择的概率也越大。

3.4 路径交叉操作

交叉操作是按一定概率从亲代群体中选择两个个体,随机将两个亲代个体的部分结构相互交换,生成两个新的子代个体。交叉操作产生的两个子代个体,都包含两个亲代个体的遗传物质,但与亲代个体不同。因此,交叉操作能提高遗传算法的搜索能力。在适当选择策略下,通过交叉操作可提高向最优解的收敛程度。

在本算法中,两个染色体选择一个公共基因(公共的节点)作为交叉点。交叉点不依赖于节点在路径中的位置,当有两个以上的公共节点时,只需选择第一个作为交叉点。两条染色体将交叉点后的基因全部交换。图 1 示出了节点 n_4 作为这两条染色体中的公共节点的交叉过程。可以看出,经过交叉操作后,两条染色体较好地保留了父代的一些基因。

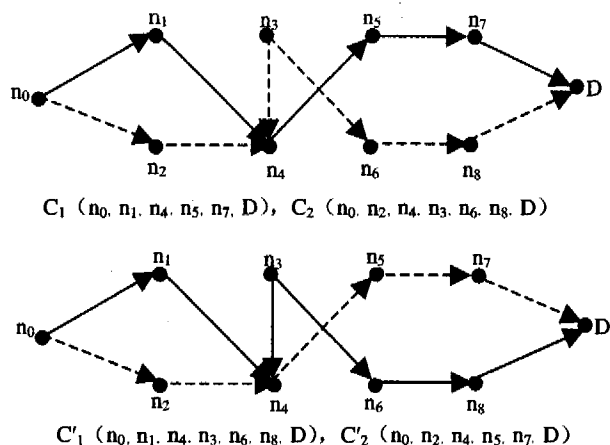


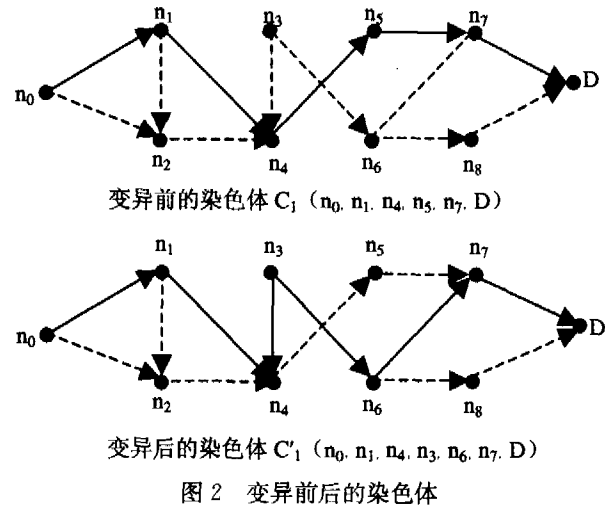
图 1 原路径(染色体)经过交叉操作的路径(染色体)

3.5 变异操作

变异操作的目的在于保持群体的多样性,避免求解过程陷入局部最优。变异首先在群体中随机选择一个个体,对于选中的个体以一定的概率随机地改变串结构数据中某个串的值。同生物界一样,GA 中变异发生的概率很低,通常取值在 0.001~0.01 之间。变异为新个体的产生提供了机会。

根据本算法的编码规则,采用双位变异操作,即用一条随机生成的新链路替代染色体中两个变异位间的部分链路。例

如图 2 中有路径(染色体) $C_1(n_0, n_1, n_4, n_5, n_7, D)$, 随机选择该染色体中的两位 n_4, n_7 , 用这两个节点随机生成的链路 n_4, n_3, n_6, n_7 替代原路径, 完成变异操作。



3.6 修复函数

在染色体经过交叉变异等操作后,形成的链路有可能形成环路。修复函数用于删除染色体中重复的节点,避免循环路由,保证染色体的有效性。例如,染色体 $P=(n_1, n_2, n_5, n_5, n_2, n_6, D)$ 中出现了重复节点 n_2 , 则合并 n_2 , 修复后的染色体成为 $P=(n_1, n_2, n_6, D)$ 。

4 算法分析与仿真实现

4.1 算法的有效性分析

本算法在遗传过程中采用了以下几种策略:(1)以交叉概率 $PC \in [0,1]$ 进行交叉操作;(2)以变异概率 $PM \in (0,1)$ 进行变异操作;(3)按比例选择且在选择前保存最优个体。K. A. DeJong 等人证明了满足此三个条件的遗传算法能够收敛到最优解。因此,本算法可以收敛到全局最优解。

4.2 算法的复杂度分析

遗传算法为并行算法,搜索速度快。本文中的算法的复杂度主要与初始种群形成的复杂度有关。本算法采用图的邻接表来表示,若总时间代价为 $O(e)^{[6]}$, 则本算法的时间代价为 $O(\text{generation} \cdot \text{popsize} \cdot e)$ 。

4.3 算法的仿真结果

在仿真实验中采用如图 3 所示的网络拓扑图。图中链路的特征可以采用二元组 (B_{ij}, D_{ij}) 来表示,选播组成员的服务器负载用 P_j 表示。

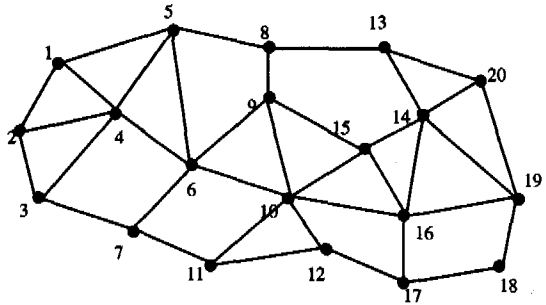


图 3 仿真网络拓扑图

设定遗传算法的群体规模 P 为 20,交叉率为 0.90;变异率为 0.05。图 3 为一个具有 20 个节点的网络拓扑图,一个选播路由请求为 $R(S, D)$, S 为源节点, D 为选播服务器地址, $D=(5,7,13,19)$ 。设某一时刻的延时为 10~30 间的随机数,剩余带宽率 RBP 为(0~1)之间的随机数,四个服务器的利用率分别设为 $p_5=0.40, p_7=0.35, p_{13}=0.25, p_{19}=0.2$ 。本例中适应度函数的调整系数分别取值为 $k_b=1.5, k_p=2, k_d=0.1$ 。对不同的源节点 S 应用本算法,仿真后选路的结果如表 1 所示(斜体为选择的最优路径)。从仿真得到的结果来看,该路由选择算法可以均衡网络带宽/服务器负载,达到较优的选路效果。

表 1 仿真后选路结果

	S	到达选播地址的路径	延时	RBP	P_j	fitness
1	1	<i>1, 4, 5</i>	33	0.55	0.40	0.5303
2	1	1, 2, 3, 7	41	0.67	0.35	0.4176
3	1	1, 5, 8, 13	53	0.58	0.25	0.3700
4	1	1, 5, 8, 13, 14, 19	79	0.70	0.20	0.3354

	S	到达选播地址的路径	延时	RBP	P_j	fitness
1	12	12, 10, 6, 5	55	0.52	0.40	0.3600
2	12	12, 11, 7	50	0.63	0.35	0.4490
3	12	12, 10, 15, 14, 13	62	0.60	0.25	0.3870
4	12	12, 10, 16, 19	57	0.48	0.20	0.4070

	S	到达选播地址的路径	延时	RBP	P_j	fitness
1	15	15, 9, 8, 5	46	0.70	0.40	0.5488
2	15	15, 14, 13	32	0.42	0.35	0.5375
3	15	15, 9, 6, 7	47	0.65	0.25	0.4574
4	15	15, 16, 19	49	0.57	0.20	0.4428

结束语 本文针对选播通信服务特点,对负载均衡的 QoS 路由做了一些研究工作,提出了一种负载均衡的选播路由算法,利用改进的遗传算法进行设计。该算法能够平衡路径延时、剩余带宽、服务器负载三个 QoS 相关的参量,从而更好地体现选播服务的优点。通过仿真说明该算法有效、可行并且有较好的运行效率。

参考文献

- 1 Xuan D, Jia W J. A Routing Protocol for Anycast Messages. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2000, 11 (6)
- 2 Chan P S, Karupiah E K. Dynamic Routing Protocols for Anycast Packet Forwarding. IEEE 2003
- 3 Li Z, JIA W J. An Efficient Anycast Routing Protocol Based on Multi-Metrics. Algorithms and Networks (ISPAN'04)
- 4 Brownlee N. Traffic Flow Measurement, Meter MIB. RFC 2064
- 5 李敏强. 遗传算法的基本理论与应用. 北京: 科学出版社, 2002
- 6 殷人昆, 陶永雷, 等. 数据结构(用面向对象方法与 C++ 描述). 清华大学出版社, 1999